MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Volume 3 - Primeiro relatório de avaliação nacional

pbmc
painel brasileiro de mudanças climáticas

Mitigação das mudanças climáticas

Volume 3 - Primeiro relatório de avaliação nacional

pbmc

painel brasileiro de
mudanças climáticas

Carlos Afonso Nobre
Presidente do Conselho Diretor

Suzana Kahn Ribeiro
Presidente do Comitê Científico

Andrea Souza Santos
Secretária-Executiva

Flávia Beatriz Beserra Azevedo Carloni
Vivien Green Short Baptista
Assessoras Técnicas do Grupo de Trabalho 3

Daniela de Oliveira
Leandra Fatorelli
Unidade de Apoio Técnico do Grupo de Trabalho 3

Papier Brasil
Revisão ortográfica

Duoeme Brasil
Projeto gráfico

Ficha Técnica

PBMC, 2014: Mitigação das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 3 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Bustamante, M. M. C., Rovere E.L.L, (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 463 pp.

ISBN: 978-85-285-0207-7

ÍNDICE GERAL - VOLUME 3

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO 7

CAPÍTULO 2: TEMAS ESTRUTURANTES 25

CAPÍTULO 3: CAMINHAS PARA MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS 89

CAPÍTULO 4: AVALIAÇÃO DE POLÍTICAS, INSTITUIÇÕES E RECURSOS FINANCEIROS 394

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Coordenação: Emilio Lèbre La Rovere (UFRJ) Mercedes Bustamante (UnB)
Autores Principais: Emilio Lèbre La Rovere (UFRJ)

ÍNDICE

INTRODUÇÃO 9

1.1. A NECESSIDADE DE MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM NÍVEL GLOBAL 9

1.2 A MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO BRASIL ATÉ 2020 12

1.3 PERSPECTIVAS PARA A MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA A LONGO PRAZO 16

1.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS 21

1.5 APRESENTAÇÃO DO RELATÓRIO 21

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 23

INTRODUÇÃO

Nesta introdução são primeiramente destacadas:

i. a evolução recente das emissões mundiais e as necessidades de mitigação em nível global,

ii. a recente evolução das emissões brasileiras e os objetivos voluntários de mitigação estabelecidos na Política Nacional de Mudanças Climáticas,

iii. as perspectivas da mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) a longo prazo, ressaltando-se o fosso entre os objetivos de limitação de emissões já aprovados pelos principais países emissores e a trajetória compatível com a estabilização da temperatura 2 graus acima do nível pré-revolução Industrial, e a posição do Brasil frente às negociações da Plataforma de Ação de Durban.

Em seguida, apresenta-se a estrutura e o conteúdo dos capítulos que compõem este relatório.

1.1. A NECESSIDADE DE MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM NÍVEL GLOBAL

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*IPCC*), constituído por mais de mil cientistas, publica periodicamente o estado do conhecimento sobre este tema, incorporando os recentes avanços das pesquisas, com base na revisão dos trabalhos publicados na literatura especializada. Esses relatórios forneceram elementos importantes para a implementação da Convenção do Clima, principalmente através do Tratado de Quioto. Em 2007, o *IPCC* publicou seu quarto Relatório de Avaliação (*AR4*), que subsidia o processo de negociação pelos governos de novas medidas nesse campo, dando continuidade às metas do Tratado de Quioto após 2012. Esta seção sumariza os principais pontos da contribuição do grupo de trabalho III, sobre a Mitigação das Mudanças Climáticas, para este quarto relatório de avaliação do *IPCC* (*IPCC*, 2007). Um novo relatório, o quinto Relatório de Avaliação (*AR5*) está previsto para ser lançado em 2014.

As emissões globais de Gases de Efeito Estufa (GEE), entre 1970 e 2004, cresceram 70%, sendo 24% desde 1990. As liberações de CO_2 – que configuraram 77% do total das liberações em 2004 - aumentaram 80% naquele período (28% desde 1990). A explicação está no fato de que a redução da intensidade do uso de energia pela economia internacional (-33%) não contrabalançou o crescimento do PIB (77%) e da população (69%), o que gerou um incremento de 145% das emissões resultantes do uso de combustíveis fósseis.

Os países industrializados, que concentram 20% da população mundial, responderam por 57% do PIB e emitiram 46% do total de GEE em 2004. No caso de não serem implantadas políticas adicionais para restringir as emissões, calcula-se uma expansão das emissões globais de GEE de 25% a 90% em 2030. Nessa hipótese, as liberações de CO_2 pela queima de combustíveis fósseis cresceriam de 45% a 110% até lá. A maior parte desse aumento entra na conta das nações em desenvolvimento. Entretanto, suas emissões médias de CO_2 *per capita* seguiriam bem inferiores que as dos países industrializados (de 2,8t a 5,1t CO_2 *per capita* contra 9,6t a 15,1t CO_2 *per capita*). Se as emissões de gases continuarem aumentando de acordo com as tendências atuais, estima-se que a temperatura da superfície do planeta cresça de 2°C a 4,5°C no final deste século. Este intervalo de variação se explica por diferentes tipos de incertezas sobre a evolução futura de variáveis de natureza distinta, tais como:

- os fatores determinantes das emissões globais de GEE no longo prazo: trajetórias de crescimento demográfico e econômico, da demanda de energia e do peso dos combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo e gás natural) na estrutura da oferta mundial de energia;
- as concentrações de GEE na atmosfera correspondentes às diversas trajetórias possíveis de emissões, em função do comportamento de fatores como a absorção de CO_2 pelos oceanos;
- as variações de temperatura do planeta correspondentes aos diversos níveis de concentração de GEE a serem atingidos no futuro, resultam do comportamento de outros fenômenos naturais e de

outras ações antropogênicas que também influenciam as trocas de calor entre a superfície terrestre e a atmosfera.

O objetivo principal da Convenção do Clima[1] é estabilizar a concentração de GEE na atmosfera em um nível seguro, que não comprometa a segurança alimentar e permita a adaptação natural dos ecossistemas, dentro de um modelo de desenvolvimento sustentável. É ainda imprecisa a extensão dos impactos das mudanças climáticas em âmbito regional, o que torna difícil definir qual seria exatamente o índice seguro de concentração de GEE. Mas os estudos mostram que os impactos das mudanças climáticas crescem fortemente a partir de um aumento de temperatura de 2°C a 3°C. Com base neles, na Conferência das Partes de Copenhague (COP15) foi definido um limite aceitável de no máximo 2°C, como objetivo da Convenção do Clima.

A concentração de GEE na atmosfera correspondente a esse objetivo depende da resposta da biosfera às emissões antropogênicas de GEE (a absorção de carbono pelos oceanos) e, principalmente, da chamada sensitividade do clima, que está associada à quantidade de nuvens. Usando a melhor estimativa atual dessa sensitividade, a Tabela 1.1 sintetiza as estimativas revisadas no capítulo 3 da contribuição do GT3 ao quarto relatório do *IPCC*, apresentando os níveis de estabilização das concentrações de GEE na atmosfera correspondentes a diferentes faixas de aumento da temperatura média global.

Tabela 1.1. Mitigação das Mudanças Climáticas Globais no Longo Prazo

CENÁRIOS DE ESTABILIZAÇÃO	MAIS AMBICIOSOS	INTERMEDIÁRIOS	MENOS AMBICIOSOS
Aumento da Temperatura *	2 – 2,4 °C	2,8 – 3,2 °C	3,2 – 4,0 °C
Concentração de GEE (em ppm CO_2-eq **)	445 – 490	535 – 590	590 – 710
Concentração de CO_2 (ppm)	350 – 400	440 – 485	485 – 570
Ano de Pico das Emissões de CO_2	2000 – 2015	2010 – 2030	2020 – 2060
Emissões Globais de CO_2 em 2050 (% do valor no ano 2000)	-85 % a -50%	-30% a +5%	+10% a +60%
Custos de Mitigação em 2050 (% do PIB mundial)	< 5,5% ****	-0,0 a 4% ****	-1% a 2% ****
Redução da Taxa Média de Crescimento da Economia Mundial 2000-2050	< 0,12% a.a. ***	< - 0,1% a.a.***	< -0,05 % a.a***.

Fonte: *IPCC*, 2007

ppm = partes por milhão (em volume)

[1] Durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento ocorrida no Rio de Janeiro em 1992, fosse criada a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Sob o princípio da precaução, os países signatários comprometeram-se a elaborar uma estratégia global "para proteger o sistema climático para gerações presentes e futuras". Não obstante, ela enfatiza que as responsabilidades das partes signatárias, embora comuns, devem ser diferenciadas, observando-se as necessidades específicas dos países em desenvolvimento e as dos países mais vulneráveis. Convém destacar que o Brasil foi o primeiro país a assinar a Convenção, que somente começou a vigorar em 29 de maio de 1994, 90 dias depois de ter sido aprovada e ratificada pelo Congresso Nacional. A Convenção estabeleceu como seu objetivo principal estabilizar as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera em um nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático. Para tanto, foram definidos compromissos e obrigações para todos os países (denominados Partes da Convenção), e, levando em consideração o princípio das responsabilidades comuns, porém diferenciadas, foram determinados compromissos específicos para os países desenvolvidos (Brasil, 2013).

* em relação ao nível médio de temperatura da superfície do planeta anterior à Revolução Industrial (desde então já ocorreu até hoje um aumento de 0,7 °C)
** cálculo efetuado com base no potencial de aquecimento global (GWP), coeficiente que fornece a contribuição para o aquecimento de cada GEE em relação ao CO_2; entretanto esses coeficientes estão em fase de revisão pelo *IPCC*
*** relativos aos níveis de estabilização entre 445 e 535 ppm CO_2-eq
**** PIB mundial calculado com base em taxas de câmbio de mercado; as faixas excluem os cenários da literatura com resultados extremos (os 10% maiores e os 10% menores).

A estabilização das concentrações de CO_2 implica que suas emissões anuais sigam constantes, tanto quanto os oceanos possam absorvê-las. Estima-se que em 2004 as emissões globais de CO_2 atingiram, aproximadamente, 32 bilhões de t de CO_2 por ano, das quais 7 bilhões de t vão para os oceanos, 7 bilhões paras as florestas e 18 bilhões invadem a atmosfera. Contudo, no longo prazo, apenas os oceanos serão capazes de sequestrar permanentemente este carbono. Em 2004, 25,6 bilhões de t de CO_2 acabaram se concentrando na atmosfera, aumentando o acúmulo de GEE e induzindo ao aquecimento global. O maior problema é que tudo indica que essa propriedade dos oceanos pode vir a ser reduzida no futuro, em consequência da progressiva acidificação da água do mar. Sob esta perspectiva, calcula-se que as emissões atuais devam ser minimizadas em pelo menos 80% para possibilitar uma estabilização da concentração dos GEE na atmosfera.

Naturalmente, quanto mais ambiciosa for a meta de limitação do aquecimento global, mais cedo as emissões globais têm de começar a declinar, para se estabilizar a concentração de GEE em nível menos elevado, e maiores os custos de mitigação das emissões, conforme ilustrado na Tabela 1.1: os custos de mitigação são mais elevados para os cenários de estabilização mais ambiciosos, que admitem menores concentrações finais de GEE na atmosfera para estabilizar a temperatura entre 2 e 2,5° C acima do nível anterior à Revolução Industrial. Dedicamos um subcapítulo inteiro deste relatório para descrever as opções de mitigação e as análises de diferentes cenários que descrevem seus custos e benefícios (subcapítulo 3.1). A Tabela 1.1 acima apresenta os principais resultados levantados na literatura científica a este respeito, revisados no capítulo 3 do GT3 do *IPCC*, que fornecem importantes subsídios para as negociações dos países participantes da Convenção do Clima. É importante ressaltar que estes resultados se baseiam na melhor estimativa atual da sensitividade do clima, ou seja, caso haja no futuro uma deterioração da capacidade dos oceanos de absorverem carbono, os aumentos de temperatura podem ser superiores aos indicados para cada uma das faixas de concentração de GEE na atmosfera.

A solução desse problema no curtíssimo prazo, entretanto, através de um corte abrupto no nível das emissões globais de GEE, implicaria em custos elevados e exigiria altos investimentos para a economia mundial: por exemplo, uma queda de até 5,5% do PIB mundial, em um único ano, conforme reportado na Tabela 1.1. Dessa forma, os cenários de estabilização da concentração dos GEE consideram hipóteses que permitem, inicialmente, um aumento das emissões mundiais, a taxas decrescentes, até um determinado ano em que alcancem um máximo e passem a decair gradativamente até se fixarem em um nível entre 10% e 20% das emissões atuais. Esta é uma trajetória mais factível para a curva de emissões de GEE, através de um ajuste da economia mundial, em um prazo que possibilite a introdução progressiva de tecnologias limpas e a custos ainda razoáveis: por exemplo, uma queda de apenas 0,12% na taxa média anual de crescimento do PIB mundial, num período de 2000 a 2050, conforme reportado na Tabela 1.1. Quanto mais agressiva for a meta de limitação do aquecimento global, mais cedo as emissões globais precisam sofrer queda e maiores os custos de sua mitigação.

Os cenários de mitigação indicam para 2030 um potencial economicamente viável de redução das emissões mundiais a um preço de carbono de US$ 20 por tonelada da ordem de 13% a 27% em comparação com os 68 bilhões de t de CO_2 projetados em uma conjuntura de referência. Já a US$ 50 por tonelada de CO_2, o potencial seria de 20% a 38% e, a US$ 100, de 23% a 46% do total do quadro estimado para 2030.

Para restringir o aumento de temperatura a uma faixa entre 2°C a 3°C acima da temperatura da época pré-industrial, é fundamental solucionar o problema nas próximas duas décadas. O custo para evitar mudanças climáticas mais graves é estimado em 0,12% do PIB global até 2030 e em até 2% do PIB mundial em 2050. Os prejuízos que podem ser causados à economia mundial em razão dos impactos das mudanças climáticas com o prosseguimento das tendências atuais foram estimados pelo Stern Review de 2007 numa faixa em torno de 10% do PIB mundial. Em síntese, esses estudos indicam que é muito mais barato mitigar as emissões do que arcar com seus impactos.

É preciso lembrar que ao postergar a adoção de políticas de mitigação das emissões o objetivo de manter o aumento da temperatura dentro de limites seguros pode ser prejudicado. Pelas dúvidas ainda existentes quanto à definição de que nível seria realmente seguro à concentração de GEE na atmosfera e, também, quanto à capacidade de absorção de carbono pelos oceanos no futuro, uma estratégia que considere o "princípio da precaução" vem sendo recomendada pelo *IPCC* para minimizar o valor total dos custos das mudanças climáticas dentro da economia mundial (*IPCC*, 2007). Este valor é composto pelo somatório dos custos dos danos causados pelos impactos das mudanças climáticas, da adaptação a esses impactos e da mitigação das emissões de GEE. Sob essa ótica, minimizar somente a parcela da mitigação significará gastos maiores de adaptação, sem contar os impactos ainda mais elevados nas mudanças climáticas. Os custos de mitigação podem ser reduzidos e mesmo parcialmente compensados por ganhos agregados produzidos por ações que reduzam a poluição atmosférica urbana e gerem outros benefícios socioambientais.

O quarto relatório do *IPCC* (2007) revela o efeito de políticas adotadas no passado recente, apontando os ganhos que elas proporcionaram até hoje e o quanto vão colaborar no futuro. Os biocombustíveis, por exemplo, podem incrementar sua participação de 3% para 5% a 10% no setor de transportes em 2030.

Nesse mesmo ano, as fontes renováveis de energia elétrica, que em 2005 configuravam 18% da oferta, têm a possibilidade de atingir de 30% a 35 % da geração mundial, com preços do carbono de até US$ 50 por tonelada. Para este mesmo patamar de preços, a energia nuclear, responsável pelo suprimento de 16% da eletricidade mundial em 2005, pode crescer sua participação em mais 2% em 2030, se vencer as restrições de segurança, proliferação e resíduos radioativos.

Entre as iniciativas para mitigação das emissões de gases, sobressaem as decisões a respeito da ampliação da infraestrutura energética em âmbito mundial, que deverá envolver recursos na casa de US$ 20 trilhões até 2030. Políticas públicas capazes de criar um valor, real ou implícito, para ações que evitem emissões de GEE podem constituir estímulos a produtores e consumidores para investimentos em tecnologias, processos e produtos com esse fim. Os quadros de estabilização sugerem que o aumento dos preços do carbono é consistente com trajetórias de equilíbrio da concentração de gases. No entanto, no caso de políticas públicas que optem por uma conjunção de instrumentos econômicos com outros instrumentos de regulação que levem ao desenvolvimento tecnológico para redução de GEE, os preços de carbono necessários para sustentar essa trajetória cairiam.

1.2 A MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO BRASIL ATÉ 2020

A principal fonte de emissões de GEE no Brasil é o desmatamento causado pela expansão das fronteiras agrícolas, principalmente na região amazônica. As atividades agrícola e pecuária tem participação expressiva no PIB brasileiro e são referências no cenário global no suprimento da demanda por várias *commodities*. Por serem setores-chave da economia brasileira, não só por sua expressiva participação nas exportações, mas também por seu encadeamento com os demais setores da economia, ocupam o segundo lugar entre as principais fontes de emissões de GEE (ver subcapítulo 3.6). O setor de energia vem apenas na terceira posição, devido ao papel da energia hidrelétrica e da biomassa renovável (etanol de cana de açúcar, madeira e carvão vegetal de

plantações florestais, bem como biodiesel de óleos vegetais a partir do cultivo) que permitem uma participação de 45% de energias renováveis no abastecimento energético total do país. A evolução nacional das emissões pode ser observada na Tabela 1.2 a seguir.

Tabela 1.2. Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa no Brasil, de 1990 a 2005

Emissões de GEE (Mt CO_2-eq / ano)	1990	1994	2000	2005	Variação % 1990/2005	Part % 1990	Part % 2005
Mudanças no Uso da Terra e Florestas	813	883	1328	1329	63%	58%	61%
Agropecuária	304	329	348	416	37%	22%	19%
Energia	192	217	301	329	71%	14%	15%
Processos Industriais	53	59	72	78	47%	4%	4%
Resíduos	29	32	39	41	41%	2%	2%
TOTAL	**1389**	**1520**	**2088**	**2193**	**58%**	**100 %**	**100 %**

Fonte: Brasil, 2010

A análise das estimativas das emissões brasileiras de gases de efeito estufa, através da evolução de 1990 a 2005, apresentada na Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção do Clima (Brasil, 2010a), mostra o crescimento significativo das emissões da agropecuária, da energia, dos processos industriais e dos resíduos. Ao longo de todo o período, o valor total das emissões foi fortemente influenciado pelas flutuações das emissões provenientes das mudanças no uso da terra e florestas. Em particular, o desmatamento na Amazônia e no cerrado é determinante no estabelecimento da tendência de aumento ou redução do valor total das emissões anuais. A elevação do desmatamento foi a principal causa do aumento das emissões brasileiras de 1,5 para quase 2,1 bilhões de toneladas de CO_2-eq em 2000. A seguir, as emissões nacionais aumentaram levemente de 2,1 para 2,2 bilhões de t CO_2-eq/ano, entre 2000 e 2005. Das 44 bilhões de toneladas de CO_2-eq emitidas globalmente no ano de 2005, as emissões nacionais representariam 6%, colocando o Brasil como o quarto maior emissor mundial, atrás da China, com 17%, dos EUA, com 16% e da União Européia (27 países), com 12% (WRI, 2012).

Para o futuro, o Plano Nacional de Mudanças Climáticas – PNMC (Brasil, 2008) estabeleceu uma meta de drástica redução no desmatamento da Amazônia: após recente revisão, o objetivo fixado corresponde à ambiciosa meta de até 2020 eliminar 80% do desmatamento médio verificado na Amazônia, no período de 1996 a 2005, que era de 19.500 km^2 por ano.

Esta meta do PNMC balizou o anúncio, em 13 de novembro de 2009, dos objetivos voluntários de limitação de emissões de GEE apresentados pelo Brasil para a conferência das partes COP15. Estes objetivos, de reduzir entre 36,1 e 38,9% as emissões projetadas para 2020, em relação a um cenário de referência[2], foram aprovados pelo Congresso Nacional e incluídos na Lei Federal nº 12187, que instituiu a Política Nacional de Mudança do Clima, sancionada pelo Presidente da República em 29 de Dezembro de 2009. Após a publicação da Segunda Comunicação Nacional

[2] Na Convenção do Clima, foi adotado o princípio da "responsabilidade comum, mas diferenciada". Segundo este princípio, as partes do Anexo I da Convenção (os países industrializados), devido à sua responsabilidade histórica pelo aquecimento global, devem reduzir, em termos absolutos, suas emissões de GEE. Já para as partes não incluídas no Anexo I, os países em desenvolvimento, se admite um aumento das emissões, pois uma redução poderia comprometer a realização de seus objetivos de desenvolvimento. Assim, os países emergentes apresentaram na COP15 objetivos voluntários de limitação de suas emissões de GEE expressos em termos de uma redução no crescimento de suas emissões, em comparação com um cenário de referência (linha de base) em que suas emissões cresceriam ainda mais rapidamente. O Brasil observou esta métrica na apresentação de seus objetivos à COP15, apesar do corte de emissões da proposta ter sido tão significativo que representou uma redução em termos absolutos, em comparação com o nível de 2005.

(Brasil, 2010a), alguns ajustes foram efetuados no cenário de referência e em 9 de dezembro de 2010, durante a COP16 em Cancún, o governo publicou um decreto (Decreto Federal nº 7390) regulamentando os artigos da Lei nº 12187 referentes aos valores finais dos objetivos voluntários, resumidos na Tabela 1.3.

Tabela 1.3 Ações de Mitigação da Política Nacional sobre Mudança do Clima

Setores	1990	2005	Variação 1990 – 2005	2020	Variação 2005–2020 Cenário de Referência	Redução de Emissões no ano de 2020 em relação ao Cenário de Referência
	Dados do Inventário	Dados do Inventário		Cenário de Referência		
	(Mt CO_2-eq)	(Mt CO_2-eq)	%	(Mt CO_2-eq)	%	(Mt CO_2-eq)
Mudança de Uso do Solo	813	1329	63%	1404	6%	
Amazônia				948		
Cerrado				323		
Outros				133		
Agropecuária	304	416	37%	730	75%	
Energia	192	329	71%	868	164%	234
Processos Industriais + Resíduos	82	119	45%	234	97%	
TOTAL	1389	2193	58%	3236	48%	1168 a 1259

Fonte: Decreto Federal do Brasil nº 7390 de 09 de dezembro de 2010.

O cenário de referência simula a manutenção da média histórica do desmatamento na Amazônia, entre 1996 e 2005, e o cenário de mitigação inclui as emissões evitadas com o atingimento do objetivo fixado pelo PNMC em 2020. O governo acrescentou ainda, no uso da terra, um objetivo de evitar emissões devidas ao desmatamento do cerrado, graças ao monitoramento e vigilância deste bioma, que deverá ser intensificado. O resultado final é que o país se compromete, voluntariamente, a reduzir significativamente suas emissões de mudanças no uso da terra e florestas em 2020, com relação ao nível observado em 2005. Entretanto, os resultados dos últimos anos mostram que esta meta parece ser factível, caso o governo tome as medidas necessárias para disciplinar o uso do solo na Amazônia (Assunção *et al*, 2012). Os dados do desmatamento na Amazônia indicaram (INPE, 2013) em 2007 um nível de 12 mil km^2/ano, cerca de 40% menores que a média histórica. Isto permitiu reduzir em cerca de 500 M t CO_2/ano as emissões de gases de efeito estufa oriundas das mudanças no uso da terra e florestas, entre 2005 e 2007, segundo estimativas do MMA. O número para 2008 foi ainda menor, cerca de 7 mil km^2/ano, e em 2012 se chegou a 2 mil km^2/ano, o mínimo de toda a série temporal desde que começou sua mensuração, há 25 anos. Os esforços governamentais no sentido da aplicação de leis e regulamentos que impedem o desmatamento ilegal de unidades de conservação e propriedades privadas surtiram efeito. Segundo Assunção *et al.* (2012), as políticas recentes evitaram o desmatamento de cerca de metade da cobertura florestal que teria sido derrubada se as políticas adotadas não tivessem sido implementadas. Assim, o declínio observado nos níveis de desmatamento não foi apenas uma resposta às condições de mercado e à dinâmica da economia (preços agropecuários), mas foi também o resultado do conjunto de políticas implementadas, que se demonstrou efetivo na contenção do desmatamento.

Complementarmente, o governo apresentou no Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) um

cenário de referência para os demais setores de emissões de GEE, para servir como linha de base dos objetivos setoriais de limitação do crescimento das emissões. Assim, as premissas desse cenário são cruciais para a análise do alcance dos objetivos voluntários propostos pelo Brasil. Diferentemente da projeção das emissões provenientes de mudanças no uso da terra e de florestas, as projeções dos demais setores não se baseiam em médias históricas, mas em hipóteses de evolução futura das emissões dessas fontes. O cenário tendencial das emissões da agropecuária projeta um crescimento de 75% entre 2005 e 2020, acima dos 37% registrados no período anterior, de 1990 a 2005, dado o recente dinamismo das exportações de grãos e de carne do país. Entretanto, alternativas de mitigação economicamente viáveis já existem e têm grande potencial (recuperação de pastagens degradadas, e a integração lavoura / pecuária, por exemplo, dada a baixíssima relação média de 0,5 unidades animais por hectare de nossa pecuária), algumas com um histórico recente de rápida expansão na sua adoção (a fixação biológica do nitrogênio e a área cultivada com técnicas de plantio direto, que já supera 20 milhões de ha no país). O Plano Setorial da Agropecuária, conhecido como Plano ABC – Agricultura de Baixo Carbono, estabelece os meios de se alcançar estes objetivos Brasil, 2010b.

No caso das emissões de processos industriais e da disposição de resíduos – agrupadas em Outros Setores por sua menor contribuição ao total – a exemplo do setor de agropecuária o cenário tendencial projetou um crescimento maior do que no período anterior. Novamente, existem opções de mitigação de baixo custo nesses setores (como por exemplo, a captura, queima e/ou aproveitamento energético do biogás de aterros sanitários) que podem viabilizar a consecução desse objetivo.

O caso do setor energético requer especial atenção. Vêm crescendo significativamente no país as emissões devidas ao uso de energia fóssil, na forma de derivados de petróleo, gás natural e carvão mineral. Estes combustíveis desempenham papel fundamental na movimentação dos setores modernos da economia brasileira, como a indústria e os transportes, além da agropecuária, e dos setores residencial, comércio e serviços. Também tem sido crescente sua participação na geração de energia elétrica no país, em complementação ao aproveitamento do potencial hidroelétrico brasileiro, que é a fonte energética predominante para geração de eletricidade no país. Assim, as emissões de gases de efeito estufa devidas ao uso de energia, principalmente o dióxido de carbono resultante da queima dos combustíveis fósseis, apresentaram a mais alta taxa de crescimento setorial no período de 1990 a 2005, situando-se em 2005 num patamar 71% acima do valor de 1990[3]. De fato, o crescimento econômico, a urbanização crescente e a predominância do transporte rodoviário na matriz de deslocamento de cargas no país são fatores determinantes do aumento do consumo de energia fóssil e das emissões de CO_2 associadas.

Assim, diferentemente dos outros setores, o cenário de referência projetado pelo governo apresenta um crescimento expressivo para as emissões devidas ao consumo de energia fóssil até 2020: um aumento de 164 % em relação a 2005. Esta elevação é muito maior do que a registrada no período precedente dos 15 anos entre 1990 e 2005, que foi de 71%. Parte dessa diferença se explica pela preocupação do governo em evitar que os objetivos voluntários de limitação de emissões criem qualquer restrição ao crescimento da economia brasileira: foram adotadas como premissas das projeções taxas médias de crescimento do PIB de 4 a 6 % ao ano ao longo de todo o período até 2020. Os valores apresentados pelo governo para as emissões de GEE em 2020 no cenário de referência são consistentes com a manutenção de um coeficiente de elasticidade de crescimento das emissões em relação ao PIB similar ao observado no período de 1990 a 2005.

Outro fator que explica uma projeção tão elevada é de ordem conceitual: o governo se posicionou

[3] Foram utilizados os dados do Balanço Energético Nacional (BEN), 2005, pois possibilita a comparação entre outras fontes de emissões, cujo dado mais recente é 2005 (emissões derivadas da atividade produtiva contidas no inventário nacional). Apesar de existirem fontes mais recentes, tal como o BEN 2011, este não apresenta resultados finais das emissões relacionadas ao uso de combustíveis, ou as conversões para as emissões.

no sentido de que parcelas significativas dos programas de expansão da geração hidroelétrica, de aumento da eficiência no uso de energia elétrica e da produção de etanol de cana de açúcar no país devem ser consideradas como ações de mitigação. No cenário de referência, a hipótese para a expansão do Proálcool incluiu somente o aumento da produção de álcool anidro para manter a adição de 25% ao volume crescente de gasolina consumida, mantendo-se constante a produção de etanol hidratado no mesmo nível atingido em 2007. O cenário de referência para a hidroeletricidade somou, ao nível de 2007, apenas a geração de novas usinas hidroelétricas já licitadas (leilões de energia nova). O nível de eficiência energética no uso de eletricidade permaneceria constante, no nível de 2005. O atendimento ao restante do crescimento da demanda de eletricidade e de combustível veicular projetada até 2020 no cenário tendencial se daria pelo uso de combustíveis fósseis (gás natural e gasolina, respectivamente), elevando o nível de emissões de CO_2 neste cenário.

No cenário de mitigação, foram então incluídos os níveis de geração hidroelétrica, de eficiência energética e de produção de álcool projetados no Plano Decenal de Expansão (PDE) para 2020 (EPE, 2011). Além disso, foram incluídas como ações de mitigação a produção e uso de biodiesel em mistura de 5% ao óleo diesel, no nível de sua demanda projetada para 2020 (B5) e o incremento da geração de eletricidade por meio de outras fontes renováveis: pequenas centrais hidroelétricas, biomassa (principalmente bagaço de cana) e energia eólica, conforme projetado no PDE. Ainda assim, as emissões totais no cenário de mitigação atingem o dobro do nível das emissões devidas ao uso de combustíveis fósseis no país em 2005.

O detalhamento das ações de mitigação incluídas nos objetivos voluntários de limitação das emissões brasileiras de gases de efeito estufa até 2020 foi objeto de Planos Setoriais de Mitigação, elaborados pelos ministérios pertinentes para o período 2012-2020. Além dos Planos para o controle das emissões de GEE dos setores de Energia, Uso do Solo e Agropecuária, elaborados anteriormente, os de Indústria, Transporte e Mobilidade Urbana, Mineração e Saúde foram submetidos à consulta pública em 2012 (disponíveis em www.mma.gov.br). Assim, as medidas governamentais de mitigação de emissões de GEE abrangem o período até 2020.

1.3 PERSPECTIVAS PARA A MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA A LONGO PRAZO

O anúncio dos objetivos voluntários de limitação das emissões de GEE representa um marco da evolução da posição do governo brasileiro em relação a este tema. Tal anúncio ainda reforça a credibilidade pela discussão prévia com representantes de diversos segmentos da sociedade (comunidade científica, indústria, organizações não-governamentais), promovida no âmbito do Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sua importância, porém, transcendeu as fronteiras nacionais, e significou o início de uma nova postura dos países emergentes na negociação de acordos com os países industrializados sobre a mitigação das emissões de gases de efeito estufa após 2012, quando se encerrou o 1° período de compromisso do Tratado de Quioto.

No âmbito da Convenção do Clima, os países do Anexo I (países industrializados) que ratificaram o Protocolo de Quioto se comprometeram com metas vinculantes de redução de suas emissões de GEE em relação ao nível absoluto de 1990 (o objetivo era de obter uma redução de 5,2% para o conjunto dos países do Anexo I), a serem atingidas até 2012, ao final do 1° período de compromisso do Protocolo. Para o próximo período, até 2020, a discussão de novas metas para os países do Anexo I vem sendo balizada por duas vertentes:

- de um lado, os cenários de estabilização apresentados no 4° relatório de avaliação do *IPCC* indicam que uma trajetória das emissões mundiais, consistente com o objetivo de limitar o aumento final de temperatura do planeta em 2 – 2,4 °C acima da média pré-Revolução Industrial, provavelmente requer o início do declínio das emissões mundiais de GEE já por volta de 2015, para atingirem em 2050 um nível de 50 a 85% inferior ao do ano 2000

(*IPCC*, 2007);

- por outro lado, o anúncio dos principais países do Anexo I do nível máximo de redução de suas emissões que estão dispostos a atingir em 2020: 30 a 40 % abaixo de 1990 no caso da União Europeia, 25 % abaixo de 1990 para o Japão, e 17 % abaixo de 2005 no caso dos Estados Unidos (conforme o projeto de lei que chegou a ser formulado pelo Governo Obama mas que não foi aprovado pelo Congresso americano).

Como bem notaram Winkler *et al.* (2009), com este balizamento a pressão sobre os países em desenvolvimento é enorme, pois uma vez fixados a quantidade total permissível para as emissões mundiais, e o valor das emissões dos países do Anexo I, então o limite para as emissões dos países não-Anexo I fica determinado por diferença, como o resíduo da equação:

Emissões não-Anexo I = Emissões mundiais – Emissões Anexo I (Equação 1)

Aos olhos da opinião pública mundial, o ônus de um eventual fracasso das negociações internacionais de um acordo para a mitigação das mudanças climáticas pode então recair sobre os países não-Anexo I, caso sejam incapazes de aceitar os objetivos que lhe são impostos por esta lógica, controvérsia sempre presente nas Conferências das Partes da Convenção do Clima, como observam Winkler *et al.* (2009).

A formulação de objetivos voluntários de limitação de emissões de GEE por parte dos principais países emergentes fornece uma oportunidade para reverter esta lógica. O simples anúncio dos objetivos brasileiros na COP15 de Copenhague, em 2009, já contribuiu para que China e Índia adotassem postura semelhante, estabelecendo objetivos voluntários de limitação de suas emissões de GEE em 2020. A China o formulou em termos de uma redução de 40 a 45% na intensidade de emissão de carbono por unidade adicional de PIB. Ora, a China emitiu 6 bilhões de t CO_2 em 2008; caso sua economia cresça em média 6 % ao ano até 2020, numa projeção bastante conservadora, este objetivo corresponde a uma emissão em torno de 9,5 bilhões de t CO_2 em 2020, contra 12 bilhões de t CO_2 no cenário tendencial, ou seja, um total expressivo de emissões evitadas, da ordem de 2,5 bilhões de t CO_2 em 2020, cerca de 20% abaixo do cenário tendencial. A Índia anunciou uma redução de 25 % de suas emissões de GEE em 2020, em relação a um cenário tendencial que deverá ser melhor detalhado. Indonésia (20% abaixo do cenário tendencial em 2020), México (redução de 50% de suas emissões em 2050 com relação às de 2002) e África do Sul também anunciaram objetivos análogos (UNFCCC, 2009).De 2009 até hoje, a discussão sobre objetivos voluntários de limitação de emissões de GEE por todos os países, Anexo I e não-Anexo I, vem evoluindo, tendo sido uma das bases da Plataforma de Ação de Durban, aprovada na COP17 da Convenção do Clima.

Conforme preconizado por Winkler *et al.* (2009), uma consolidação dos objetivos voluntários dos países emergentes em 2020 pode permitir a inversão dos termos da equação anterior, colocando os países do Anexo I diante da responsabilidade de complementarem os esforços possíveis para os países não-Anexo I, de forma a atingir os limites preconizados pela ciência para permitir a estabilização do clima mundial em nível seguro:

Emissões Anexo I = Emissões mundiais – Emissões não-Anexo I (Equação 2)

Dada não só a maior responsabilidade histórica dos países do Anexo I como causadores das mudanças climáticas, mas também sua maior capacidade de resposta ao problema, graças a seus recursos financeiros e tecnológicos, esta forma de colocar a negociação internacional parece não só mais justa como também mais eficaz para a resolução do problema Winkler *et al.* (2009).

Neste enfoque, a eventual diferença entre o total de metas dos países do Anexo I mais objetivos voluntários de países não-Anexo I e o esforço requerido para estabilizar a temperatura média global em 2 – 2,4 °C acima da média pré-Revolução Industrial deveria ser coberta por ações dos países do Anexo I.

Deve-se lembrar que essas ações podem ser de três tipos:

- reduzir as emissões de GEE dentro de suas fronteiras;
- usar os mecanismos de flexibilidade (comércio de emissões, atividades implementadas em conjunto e o mecanismo de desenvolvimento limpo) para complementar o atingimento de sua meta nacional de redução de emissões;
- financiar, ao menos parcialmente, os esforços dos países não-Anexo I para implementarem ações de mitigação apropriadas a seu desenvolvimento, as chamadas NAMAs (*"nationally appropriate mitigation actions"*).

Para um objetivo global de aumentar em apenas 10% as emissões de GEE até 2020, e considerando-se que os países não-Anexo I desviem suas trajetórias para 20% abaixo do cenário tendencial em 2020, os países do Anexo I teriam de assumir a responsabilidade de reduzir suas emissões para um nível de 35 a 52% abaixo de 1990, segundo os cálculos de Winkler *et a.l* (2009). Parte desse total poderia ser alcançada através do MDL e do financiamento de NAMAs, devendo-se evitar, porém, o risco de dupla contagem dos esforços de mitigação[4].

Por outro lado, Heller (2009) estimou em 17 bilhões de t CO_2-eq o esforço global de mitigação requerido até 2020, baixando de 61 em um cenário tendencial para 44 bilhões de t CO_2-eq de forma a colocar o mundo numa trajetória com cerca de 50% de probabilidade de estabilização da temperatura média global em 2 °C acima da média pré-Revolução Industrial. Partindo da hipótese de que em 2020 os países do Anexo I evitariam a emissão de 5 bilhões de t CO_2-eq dentro de suas fronteiras, de que 3 bilhões de t CO_2-eq seriam compradas através dos mecanismos de flexibilidade, mais 3 bilhões de t CO_2-eq seriam resultantes de esforços domésticos de países não-Anexo I (através de ações economicamente viáveis, com valor presente líquido - VPL positivo), então caberia aos países do Anexo I financiarem a mitigação de 6 bilhões de t CO_2-eq adicionais, a serem realizadas nos países não-Anexo I através de ações envolvendo um custo incremental (Heller, 2009). Estimativas mais recentes tal como UNEP (2012), do fosso entre os objetivos de limitação de emissões já aprovados pelos principais países emissores e a trajetória compatível com a estabilização da temperatura 2 graus acima do nível pré-revolução Industrial chegam a 8 bilhões de t CO_2-eq em 2020, na melhor das hipóteses (mais precisamente, de 8 a 13 bilhões de t CO_2-eq, dependendo de como serão implementados esses objetivos) contra 6 (6 a 11) bilhões de t CO_2-eq na estimativa feita 1 ano antes, indicando que o fosso está aumentando

Tão ou mais importante que a própria localização dos esforços de mitigação, nos países do Anexo I ou não-Anexo I, é saber quem é responsável pelo ônus de seu pagamento. Para que os acordos internacionais sobre mudanças climáticas possam estimular a adoção de políticas e medidas de mitigação em países em desenvolvimento, caberá aos países em desenvolvimento identificarem NAMAs e estabelecerem suas necessidades de financiamento e tecnologia para viabilizar sua execução. Por sua vez, caberá aos países industrializados, além de reduzirem significativamente suas emissões domésticas, fornecerem o financiamento e a tecnologia necessárias.

No caso do Brasil, diversos programas podem ser desenhados de forma a contribuir para desenvolvimento sustentável do país e simultaneamente contribuir para evitar emissões de gases de efeito estufa, constituindo-se em NAMAs. Por exemplo, pode-se destacar algumas das ações a serem utilizadas para atingir os objetivos voluntários pelo governo (ver Tabela 1.2) e alguns programas tal como:

- redução do desmatamento na Amazônia;
- redução do desmatamento no cerrado;
- reflorestamento para produção de carvão vegetal de origem renovável, a ser utilizado no setor siderúrgico;
- integração lavoura/pecuária, para limitar as emissões do setor agropecuário;

[4]Os projetos MDL que obtiverem créditos de carbono não podem ser incluídos novamente na contabilização das emissões reduzidas por programas e políticas públicas dos países em desenvolvimento (NAMAs) que venham a ser apoiadas através da Convenção do Clima.

- eficiência energética;
- expansão da produção e uso de biocombustíveis;
- expansão da geração de energia elétrica de fontes renováveis;
- adequada coleta, disposição e tratamento de resíduos, incluindo a captura, queima e possível utilização como energético do biogás proveniente de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos e de estações de tratamento de esgotos.

Após o comprometimento político das lideranças mundiais com um acordo, vinculado a objetivos quantitativos, para a limitação das emissões de GEE, a tarefa seguinte será o detalhamento dos NAMAs, incluindo os custos de sua execução a serem assumidos pelos países do Anexo I, as formas de monitoramento, relato e verificação de sua realização, e os mecanismos operacionais de transferência de recursos financeiros e de tecnologia dos países do Anexo I para os países não-Anexo I, necessários à sua viabilização.

Os compromissos voluntários brasileiros de redução de emissões até 2020 devem ser alcançados graças às ações de mitigação previstas nos Planos Setoriais, destacando-se a contribuição do controle do desmatamento, responsável pela maior parte desta redução. Com efeito, as estimativas anuais de emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil recentemente publicadas pelo MCTI (2013) indicam uma queda de 2,03 para 1,25 bilhões de toneladas de CO_2-eq entre 2005 e 2010, registrada graças à redução das emissões do desmatamento, de 1,17 para 0,28 bilhões de toneladas de CO_2-eq, conforme ilustrado na Tabela 1.4 a seguir.

Tabela 1.4 Estimativas anuais de emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil, de 1990 a 2010 (em Mt CO_2-eq = milhões de toneladas de CO_2-eq)

Setores	1990 Mt CO_2-eq	1995 Mt CO_2-eq	2000 Mt CO_2-eq	2005 Mt CO_2-eq	2010 Mt CO_2-eq	Variação de 2005 a 2010 (%)
Florestas	816	1950	1324	1168	279	-76,1%
Agropecuária	304	336	348	416	437	5,2%
Energia	192	232	301	329	399	21,4%
Processos Industriais	53	63	72	78	82	5,3%
Resíduos	29	34	39	42	49	16,4%
TOTAL	1393	2615	2084	2032	1246	-38,7%

Fonte: MCTI, 2013

No entanto, após 2020, depois que as emissões por desmatamento diminuírem e se estabilizarem em um nível baixo, como projetado, o total de emissões nacionais deverá subir novamente, caso não sejam tomadas novas medidas de mitigação. Isto porque o crescimento econômico induzirá um aumento do consumo de energia, que a partir de 2020 já será a principal fonte de emissões de GEE no país, pois sua dinâmica é ainda mais acelerada do que a das emissões de GEE da agropecuária, devido principalmente ao maior crescimento das emissões do setor de transportes (La Rovere *et al.*, 2013).

Na Convenção do Clima, o Plano de Ação de Durban, aprovado na COP17 em dezembro de 2011, estabeleceu o prazo de 2015 para as negociações internacionais em torno de compromissos de mitigação para todas as partes, considerando um horizonte que deve se estender até o longo prazo, após 2020, possivelmente com objetivos de mitigação para 2030, 2040 e 2050.

Exercícios sobre cenários de emissões de GEE no país até 2030 (McKinsey&Co, 2009; Gouvello *et al*, 2010; La Rovere *et al.*, 2011) identificaram possíveis ações de mitigação, avaliando o potencial

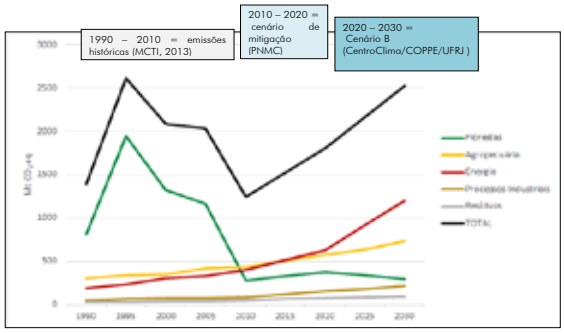
de redução de emissões e respectivos custos sob as óticas pública e privada.

No entanto, as implicações macroeconômicas e sociais mais amplas de cenários de mitigação ainda têm de ser avaliadas de modo a subsidiar a discussão de objetivos nacionais de mitigação até 2030, conforme apontam os resultados preliminares de algumas pesquisas acadêmicas nesse campo, que devem ser objeto de análise mais aprofundada (Rathmann, 2012; Wills, 2013; Grottera, 2013).

Um horizonte de mais longo prazo, até 2050, também é necessário para identificar as implicações do uso dos recursos de petróleo e gás natural encontrados recentemente na camada do pré-sal, do pleno aproveitamento do potencial hidrelétrico nacional e da difusão de novas tecnologias (como por exemplo, veículos elétricos, biocombustíveis de segunda geração, geração elétrica descentralizada em *smart grids*, dentre outras), e fornecer subsídios para a política nacional de desenvolvimento científico-tecnológico.

A Figura 1.1 mostra as emissões históricas no Brasil de 1990 a 2010, as políticas governamentais para reduzir as emissões de 2010 a 2020, e o cenário central de emissões estimadas no estudo do CentroClima para o PNUD/MMA (La Rovere *et al.*, 2011) de 2020 a 2030. A partir desta figura podemos ver que há uma perspectiva de retomada do crescimento das emissões de GEE do país no longo prazo, mesmo com a implantação das ações de mitigação previstas para cumprir os objetivos voluntários de 2020. Verifica-se assim que o país caminha para uma situação, no longo prazo, análoga à do resto do mundo, pois com raras exceções, as emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis são as mais importantes em todos os países, sendo responsáveis pela maior parte da intensificação do efeito estufa. Com efeito, a anomalia da situação brasileira até recentemente era devida à excessiva contribuição do desmatamento para as emissões totais do país. Caso, como se espera, estas emissões possam ser controladas no futuro, o desafio será a construção de um estilo de desenvolvimento sustentável, com um perfil menos intensivo no uso de energia fóssil: uma sociedade de baixa emissão de carbono (La Rovere *et al.*, 2013). Por outro lado, o Brasil se encontra em forte posição para assumir uma liderança na promoção de um desenvolvimento social e econômico de baixo carbono, devido à sua grande riqueza em recursos energéticos renováveis, permitindo ações de mitigação adicionais a serem adotadas depois de 2020 (ver Gouvello *et al.*, 2010 e La Rovere *et al.*, 2011). Este posicionamento brasileiro pode ser relevante para superar o impasse na política climática global, através das negociações no âmbito da Plataforma de Durban que preconiza um "protocolo, instrumento legal ou acordo legal vinculante" a entrar em vigor a partir de 2020.

Figura 1.1 Projeção das emissões brasileiras de GEE até 2050, totais e por fonte: Uso do Solo, Energia,Agropecuária, Processos Industriais e Resíduos



Fontes: 1990 – 2010 = emissões históricas (MCTI, 2013) 2010 – 2020 = cenário de mitigação com os objetivos de Copenhague (metas voluntárias) (Decreto Federal 7390, 2010) 2020 – 2030 = Cenário B (cenário central)[5], elaborado pelo CentroClima/COPPE/UFRJ para o Ministério do Meio Ambiente/PNUD (La Rovere *et a.l*, 2011)

[5]Para o estudo foram formulados três cenários de emissão de GEE baseados nas atividades socioeconômicas do país. O cenário B – cenário central mais dois cenários constratados: cenário A (contrafactual) e cenário C (adição de medidas).

1.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do panorama apresentado, destacam-se os seguintes pontos:
A quase impossibilidade de estabilização da temperatura em apenas 2 graus acima do nível pré-Revolução Industrial em planos e ações de curto-prazo;
A viabilidade de se alcançar os objetivos voluntários de limitação de emissões já aprovados pelo Governo brasileiro até 2020, graças ao êxito das ações de combate ao desmatamento;
A tendência de retomada do crescimento das emissões brasileiras após 2020, caso não sejam aprovadas medidas adicionais de mitigação;
A necessidade de se discutir cenários de mitigação das emissões brasileiras após 2020, além do controle do desmatamento.

Este relatório fornece subsídios para a discussão da posição brasileira nas negociações da Plataforma de Ação de Durban, contribuindo para o debate dos diversos segmentos da sociedade nacional sobre os custos, benefícios e meios de uma transição para uma sociedade a baixa emissão de GEE, com perfil menos intensivo no uso de energia fóssil.

Na seção seguinte é apresentada a estrutura e o conteúdo de cada capítulo do relatório.

1.5 APRESENTAÇÃO DO RELATÓRIO

Este relatório foi estruturado de forma semelhante ao do Grupo de trabalho 3 (Mitigação) do 5º Relatório de Avaliação do *IPCC*, atualmente em elaboração. Está dividido em 4 grandes capítulos: a Introdução (capítulo 1), Temas Estruturantes (capítulo 2), Caminhos para a Mitigação das Mudanças Climáticas (capítulo 3) e Avaliação de Políticas, Instituições e Recursos Financeiros (capítulo 4).

O capítulo 2, sobre Temas Estruturantes, abrange três subcapítulos:

2.1. Riscos e incertezas das políticas de resposta às mudanças climáticas
Neste subcapítulo relata-se a percepção e comunicação do risco e da incerteza da mudança climática. A distinção fundamental entre 'risco' e 'incerteza' foi contemplada buscando evidenciar que o risco pode ser definido como a probabilidade de se obter resultados que podem ser verificados através de teorias bem estabelecidas, que se utilizam de informações confiáveis e completas, enquanto a incerteza refere-se a situações em que as informações podem ser fragmentadas ou não disponíveis.

2.2. Desenvolvimento e equidade: desafios das políticas de mitigação
Este subcapítulo apresenta uma discussão sobre as forças determinantes e as barreiras existentes para o Desenvolvimento Sustentável e a Equidade no que diz respeito à mudança global do clima. São apresentados diferentes indicadores recentemente propostos no âmbito das mudanças climáticas. O foco do capítulo é em Mitigação considerando, entretanto, as ligações existentes entre mitigação e adaptação às mudanças climáticas. São abordados os desafios para a implementação de políticas para o desenvolvimento sustentável no Brasil, com exemplos de políticas de melhoria da qualidade de vida conjugadas com redução de emissões de GEE.

2.3. Forças motrizes, tendências e mitigação
Este subcapítulo tem a finalidade de identificar estudos sobre as causas básicas e forças motrizes das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil, com o objetivo de fornecer insumos para políticas capazes de mitigar as emissões, ao menor custo econômico e social possível na realidade do século XXI e dentro das necessidades de desenvolvimento do país.

O capítulo 3, sobre Caminhos para a Mitigação das Mudanças Climáticas, abrange sete subcapítulos, sendo um subcapítulo introdutório sobre a avaliação das trajetórias de transformação e

seis subcapítulos setoriais:

3.1. Avaliação das Trajetórias de Transformação
Este subcapítulo analisa os cenários de transformação da economia convencional para a economia de baixo carbono construídos para o Brasil, sob a ótica econômica. São descritos as ferramentas e o instrumental de análise de que se dispõe na literatura especializada e levantados estudos referentes ao País, bem como apresentados seus resultados. Para esta análise são usados modelos *top-down*, *bottom-up* e híbridos utilizados nos diferentes estudos e que têm por finalidade descrever distintas trajetórias (cenários) e respectivos custos, de modo que se possa estimar o "potencial de mitigação" da economia brasileira em curto e médio prazos (dependendo do horizonte temporal de cada estudo).

3.2. Sistemas Energéticos
Este subcapítulo analisa a situação do setor de energia (tendências de desenvolvimento e de emissão de gases de efeito estufa); o potencial de recursos energéticos primários (grandes hidrelétricas, nuclear, fósseis e renováveis); a indústria de energia elétrica (geração, transmissão e distribuição); os potenciais e os custos de mitigação; as políticas e instrumentos para a redução de emissões, fomento às renováveis, eficiência energética, P&D e financiamento; e as políticas energéticas no contexto do desenvolvimento sustentável e as lacunas de conhecimento.

3.3. Transportes
Este subcapítulo aborda o potencial de mitigação das emissões de CO_2 (políticas, práticas e opções tecnológicas) associado ao consumo de combustíveis fósseis na operação dos transportes de carga e de passageiros no Brasil. Aborda também os riscos tecnológicos, incertezas ambientais e aceitação social de determinadas ações para mitigação dos GEE e os custos para adequação da infraestrutura.

3.4. Edificações e Entorno Construído
Este subcapítulo aborda o potencial de mitigações de CO_2 associado às edificações (onde o setor residencial responde a 80% dessas emissões). Apresenta as opções de mitigação de emissões: políticas, ações em desenvolvimento, implementação de medidas para melhoria do desempenho energético de edificações, bem como as lacunas de conhecimento.

3.5. Indústria
Este subcapítulo analisa a situação do setor (emissões totais de gases de efeito estufa relacionados ao consumo de energia); as tendências identificadas na evolução de emissões devido à indústria brasileira (médio e longo prazo); as opções de mitigação para a indústria brasileira (tecnológicas - equipamentos e novos processos, suprimentos alternativos e ecologia industrial - reciclagem); o potencial de implementação das medidas (técnico e curvas de custo marginal de abatimento de CO_2), e as políticas nacionais vigentes com impacto sobre mitigação de emissões de CO_2 na indústria.

3.6. Agricultura e Silvicultura
Este subcapítulo analisa a situação do setor agropecuário brasileiro em relação as emissões absolutas de gases de efeito estufa; e identifica o potencial de redução de emissão de GEE através das práticas que estimulam o dreno de carbono pelo solo ou pela planta ou que contribuem para reduzir das emissões.

3.7. Mudança e Uso da Terra
Este subcapítulo apresenta em sua parte introdutória uma caracterização biofísica e o histórico do uso e mudanças na cobertura da terra para cada bioma brasileiro. Em seguida identifica e analisa as tecnologias, práticas de mitigação em florestas, a efetividade de mitigação (estimativas de estoques e análise de custos) e as implicações para o desenvolvimento sustentável.

O capítulo 4, sobre Avaliação de Políticas, Instituições e Recursos Financeiros, abrange três

subcapítulos:

4.1. O Brasil na política global sobre clima: desafios de governança
Este capítulo adota, como ponto de partida, o campo de estudos das relações internacionais no Brasil e a questão da mudança global do clima, a partir da perspectiva dos estudiosos dessa área acadêmica, e considera a política global do clima como uma questão que envolve atores estatais, do mercado e da sociedade civil, tendo se tornado uma problemática central da política mundial contemporânea, que compreende relações inter-estatais, trasnacionais e transgovernamentais num contexto de interdependência complexa e assimétrica. Neste contexto, aborda os temas: (i) estrutura do sistema internacional e a política climática; (ii) arquitetura da governança global do clima (acordos e instrumentos, e o Brasil na governança do clima; e o papel dos outros segmentos e atores).

4.2. Políticas Nacionais e Subnacionais
Apresenta em sua parte introdutória com as características e classificação das políticas, planos e instrumentos, bem como as abordagens e instrumentos utilizados para avaliar tais políticas e instituições. Em seguida analisa as Políticas de Mitigação e Adaptação, a Política Nacional de Mudanças Climática e as Políticas Regionais a luz da(s) (i) tipologias e formatos das políticas propostas, (ii) regulamentação e transparência da governança; (ii) compatibilização entre as políticas nacionais e subnacionais (iv) solução de conflitos de implementação das leis de políticas do clima, (v) convergência regulatória com outras políticas de meio ambiente.

4.3. Temas transversais em investimentos e recursos financeiros
Este capítulo trata de temas transversais em investimentos e recursos financeiros. O investimento em tecnologias que emitem menos gases de efeito estufa (GEE) relaciona-se de modo essencial com o desenvolvimento sustentável, que está associado a uma maior equidade entre gerações. Analisa os instrumentos financeiros adequados para sua efetiva implementação e que viabilizem os mecanismos de flexibilização introduzidos no Protocolo de Quioto.

Este trabalho é fruto do esforço de mais de 100 autores, entre coordenadores, autores principais, colaboradores e revisores, pertencentes à comunidade científico-tecnológica nacional, provenientes de universidades, centros de pesquisa, órgãos de governo, indústrias e organizações não-governamentais, selecionados exclusivamente por critérios de mérito. Espera-se poder atualizar periodicamente esta contribuição para o debate pela sociedade brasileira das opções de mitigação das emissões de GEE no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Assunção, J., C.C. Gandour, e R. Rocha, 2012: A Queda do Desmatamento na Amazônia Brasileira: Preços ou Políticas? Climate Policy Initiative Rio de Janeiro. Núcleo de Avaliação de Políticas Climáticas, PUC-Rio de Janeiro.

Brasil, 2008: Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC. Brasília – DF.

Brasil, 2010a: Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Brasília: MCT. p. 280 Disponível em: www.mct.gov.br/clima

Brasil -Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2010b: Plano Agrícola e Pecuário 2010-2011. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. – Brasília : Mapa/SPA, 2010.46 p. ISBN 1982-4033

Brasil, - Ministério de Meio Ambiente , 2013: Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Clima. Disponível em: http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas

EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2011: Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 (PDE 2020).

Gouvello, C.D. *et al.*, 2010 : Estudo de Baixo Carbono para o Brasil. Departamento de Desenvolvimento Sustentável – Região da América Latina e Caribe/Banco Mundial. Washington DC, p. 280.

Grottera, C., 2013:Impactos de políticas de redução de emissões de gases do efeito estufa sobre a desigualdade de renda no Brasil, Rio de Janeiro - dissertação de mestrado, PPE/COPPE/UFRJ.

Heller, T., 2009: Finance and investment: economy toward low carbon society. Presentation of Project Catalyst: Carbon Finance after Copenhagen at the Low Carbon Society Network Meeting, Bologna (Italy), October 2009

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007: Climate Change 2007 - The Mitigation of Climate Change. Contribuição do grupo de trabalho III para o quarto relatório de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. Cambridge University Press, New York / London, 851 p.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais, 2013. Projeto PRODES – Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. Coordenação de Observação da Terra. Disponível em: http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php

La Rovere, E.L. *et al.*, 2011: Estudo Comparativo entre Três Cenários de Emissão de Gases de Efeito Estufa no Brasil e uma Análise de Custo-Benefício. Projeto BRA /00/020 MMA/PNUD.

La Rovere, E.L., C.B.S. Dubeux, A.O. Pereira Jr e W.Wills, 2013:. Brazil beyond 2020: from deforestation to the energy challenge, Climate Policy, volume 13, supplement 01, p.70-86.

McKinsey & Company, 2009: Caminhos para uma Economia de Baixa Emissão de Carbono no Brasil.

MCTI, 2013: Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil.

Rathmann, R., 2012: Impactos da adoção de metas de redução de emissão de gases de efeito estufa sobre a competitividade de setores industriais energointensivos do Brasil, Rio de Janeiro – tese de doutorado, PPE/COPPE/UFRJ.

Stern, N. 2007: The Economics of Climate Change - The Stern ReviewOffice - HM Treasury. ISBN:9780521700801.Disponível em: http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+/http:/www.hml/treasury.gov.uk/sternreview_index.htm

UNEP - United Nations Environment Program, 2012: The Emissions Gap Report 2012.

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change, 2009: 15th Conference of the Parties, Copenhagen Disponível em: www.unfccc.org

Wills, W., 2013: Modelagem dos efeitos de longo prazo de políticas de mitigação de emissão de gases de efeito estufa na economia do Brasil, Rio de Janeiro - tese de doutorado, PPE/COPPE/UFRJ.
Winkler, H., S. Vorster, S., e A. Marquard, 2009: Who picks the remainder? Mitigation in developed and developing countries, Climate Policy, vol. 9, issue 6, November / December 2009, p.634-651

WRI - World Resources Institute, 2012: Climate Analysis Indicator Tool. Disponível em: http://cait.wri.org/ Acessado em 1 de outubro de 2012

CAPÍTULO 2

TEMAS ESTRUTURANTES

Coordenação: Martha Macedo de Lima Barata (FIOCRUZ), Eurídice Mamede (UFRJ), Maria Sílvia Muylaert de Araújo (UFRJ), Ricardo Abramovay (USP), Edson Domingues (UFMG
Autores Principais: Martha Macedo de Lima Barata (FIOCRUZ), Eurídice Mamede (UFRJ), Gleide Borges Lacerda (UFRJ), Maria Sílvia Muylaert de Araújo (UFRJ), Ricardo Abramovay (USP), Edson Domingues (UFMG), Donald Sawyer (UnB)
Autores colaboradores: Rodrigo Pacheco Ribas (UFRJ), André Felipe Simões (USP), Petterson Molina Vale (London School of Economics), Aline Souza Magalhães (UFMG)
Revisor: Ronaldo Seroa da Motta – IPEA, Marcel Bursztyn - UNB

ÍNDICE

2.1. RISCOS E INCERTEZAS DAS POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO À MUDANÇA CLIMÁTICA 27
2.1.1. RISCO E INCERTEZA 28
2.1.2. RISCOS E INCERTEZAS NAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS 29
2.1.3. PERCEPÇÃO E COMUNICAÇÃO DO RISCO E DA INCERTEZA NA MUDANÇA DO CLIMA 32
2.1.4. PREFERÊNCIAS SOCIAIS E COMPORTAMENTO DE INDIVÍDUOS E NAÇÕES 34
2.1.5. MODELANDO AS INCERTEZAS 36

2.2. DESENVOLVIMENTO E EQUIDADE: DESAFIOS DAS POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO 36
2.2.1. ÉTICA, DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E EQUIDADE 36
2.2.2. ASPECTOS DETERMINANTES, INDICADORES DE DIREÇÃO E RESPECTIVAS BARREIRAS 39
2.2.2.1. CONCEITOS E LINHAS TEÓRICAS ENVOLVENDO EQUIDADE 39
2.2.2.2. INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 42
2.2.2.3. EQUIDADE E DIVISÃO DE RESPONSABILIDADES RELATIVAS A MUDANÇAS CLIMÁTICAS 44
2.2.3. DESAFIOS DAS POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO 47
2.2.3.1. MAGNITUDE, ESPAÇO E ORÇAMENTO 49
2.2.3.2. O LONGÍNQUO HORIZONTE DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS 55
2.2.3.3. INTENSIDADE ENERGÉTICA E PADRÕES DE CONSUMO 58

2.3. FORÇAS MOTRIZES, TENDÊNCIAS E MITIGAÇÃO 60
2.3.1. INTRODUÇÃO 60
2.3.2. FORÇAS MOTRIZES, TENDÊNCIAS E MITIGAÇÃO 62
2.3.2.1. MUDANÇAS NO USO DE SOLO E FLORESTAS 62
2.3.2.2. ATIVIDADES PRODUTIVAS 70
2.3.2.3. ENERGIA 72
2.3.2.4. TRANSPORTES 73

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 76

2.1. RISCOS E INCERTEZAS DAS POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO À MUDANÇA CLIMÁTICA

O refinamento e a divulgação de informações científicas consistentes e úteis na orientação de políticas de longo prazo para o País é relevante e desafiador. Nesse sentido, cientistas empenham-se em explicar a leigos no tema, quais são os riscos e as incertezas da mudança climática a longo prazo (*IPCC*, 2007a). O *IPCC* foi estabelecido pela Organização Mundial de Meteorologia (*WMO*, no acrônimo inglês) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (*PNUMA*) para reunir e avaliar informações relevantes que permitam entender a mudança do clima, seu impacto potencial e, ainda, a identificação das opções de mitigação e adaptação a tal processo.

O *IPCC* reúne cientistas no âmbito mundial que revisam a literatura especializada no que tange aos resultados de estudos sobre o tema e, após criteriosa avaliação, os consolida a cada cinco anos em Relatórios de Avaliação – os *Assessment Report* ou *AR*. Esses textos são elaborados para subsidiar os trabalhos da Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudança do Clima (*UNFCCC*) e apoiar as negociações para que se venha a estabilizar, em níveis seguros, a concentração dos gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera (Budescu *et al*., 2009; *IPCC*, 2010; Barata, 2011).

Reconhece–se a gravidade da mudança do clima para a economia global (Stern, 2007) e, em especial, para a economia de países em desenvolvimento que têm dificuldades de responder adequadamente a eventos climáticos extremos e cuja população se encontra, em grande parte, exposta a riscos associados a tal processo de modificação ambiental (*IPCC*, 2012).

Os efeitos da mudança do clima e suas possíveis soluções são frequentemente debatidos nos meios de comunicação. Políticos e sociedade civil procuram soluções para este problema global de impacto local (Brekkee Johansson-Stenman, 2008). Entretanto, a adoção e a manutenção de políticas e ações de mitigação de GEEs têm sido insuficientes. Evidências empíricas mostram que a comunicação científica sobre os riscos da mudança do clima não tem sido suficientemente eficaz para ajudar na adoção dos acordos e estratégias necessários à redução do risco climático.

Após vinte anos, as negociações no âmbito da *UNFCC* para a mitigação de emissões de GEEs e a consequente redução do risco de mudança do clima, permanecem sem avanços em termos de alcançar resultados. Tais dificuldades podem ser explicadas, em parte, pelos seguintes fatos:
(i) é relativamente fácil para aqueles que não são cientistas, mesmo que em minoria, lançarem controvérsias em torno do tema, justificando o atraso e a inação por meio da ampliação das incertezas (Pidgeon e Fischhoff, 2011);
(ii) há confusão no entendimento dos resultados e incertezas informadas nos relatórios do IPCC (Budescu *et al*., 2009; 2012); e
(iii) há dificuldade em lidar com escolhas direcionadas para longo prazo, que embutem risco e incerteza (Brekke e Johansson-Stenman, 2008).

Não obstante, têm sido implantados acordos multilaterais e iniciativas independentes de mitigação de emissões por países. No campo das ciências econômicas, observa-se crescente interesse do segmento da economia comportamental para apoiar a melhoria da informação para a mitigação do risco climático (Brekke e Johansson-Stenman, 2008).

Este subcapítulo relaciona a percepção e a comunicação de risco e incerteza de mudanças climáticas. Trata-se de um tema relevante para o Brasil, onde se ampliam a identificação, a avaliação e a adoção de políticas e ações destinadas a mitigar os determinantes do aquecimento global de forma consistente com o desenvolvimento sustentável.

Observa-se a mobilização nacional e a articulação entre as diferentes esferas de governo – a federal, a estadual e a municipal –, a sociedade civil e os setores acadêmicos e empresariais em busca de iniciativas que possibilitem o avanço concreto em torno da *Agenda do Clima* no País. Destaca-se também, a nova moldura político-institucional adotada pelo Brasil para o enfrentamento

das alterações climáticas, especialmente consubstanciada nos seguintes aspectos: a aprovação da Política Nacional de Mudanças Climáticas por meio da lei nº 12.187 – promulgada em 29 de dezembro de 2009 –, a adoção voluntária de metas de redução de GEEs, o estabelecimento de novos instrumentos financeiros de gestão que apoiem ações de mitigação do efeito desses gases e o incentivo dado por órgãos de fomento à pesquisa acerca deste tema (La Rovere, 2009; BNDES, 2012).

2.1.1. RISCO E INCERTEZA

A distinção fundamental entre *risco* e *incerteza* foi introduzida pelo economista Frank Knight ([1921] - 2002)[1], que apresenta o risco como sendo a probabilidade de se obter resultados que possam ser verificados por meio de teorias bem estabelecidas e se utiliza de informações confiáveis e completas. Por outro lado, a incerteza é aquilo que se refere a situações em que as informações podem estar fragmentadas ou não disponíveis (Halsnaes *et al*., 2007).

O interessado em conhecer e gerenciar o risco entende que este é função da probabilidade de ocorrência de eventos e da respectiva magnitude do impacto (*ISO*, 2002).

A incerteza ocorre quando há desconhecimento da probabilidade ou da magnitude da consequência. E/ou ainda pouco entendimento em relação à confiabilidade da informação. Isto conduz ao desconhecimento do valor esperado das perdas ou ganhos, relacionados ao evento em análise e tem, em geral, como resultado, a inação para preveni-los ou adotá-los. Indivíduos em condições de incerteza não conhecem a probabilidade de ocorrência de determinados eventos e, por isso, não podem fazer escolhas racionais (Pope e Schweitzer, 2011). De forma geral, tal situação representa a ausência do conhecimento necessário – ou como tal, considerado – para a formação de um julgamento acertado acerca de algo (Palludeto e Ribeiro, 2011). A estruturação de modelos que considerem a opinião de especialistas contribui para a redução das incertezas e, em consequência, apoia a melhoria da percepção e da gestão do risco (Cooke, 2008).

A literatura científica relacionada ao tema das mudanças climáticas apresenta incertezas cujas características são, em geral, assim categorizadas: aleatoriedade, possibilidade, risco knightiano – ou incerteza profunda – estrutural e imprecisão – em inglês, *fuzzyness* (Halsnaes *et al*., 2007). Cada um desses tipos está descrito no Quadro 2.1.

[1]Referenciado no quarto relatório do IPCC (2007) do grupo de trabalho III – WTIII – sob o título Mitigação à mudança do clima, à página 131. A obra original foi publicada em 1921 e republicada em 2002 pela Beard Books (Knight, F. H., 2002. Risk, uncertainty and profit. Washington, D.C.: Beard Books).

Quadro 2.1. Classes de risco e incertezas

- **Aleatoriedade:** a incerteza pode ser apresentada numa fundamentada distribuição de probabilidade. Assim, por exemplo, assumindo que o clima não muda, o potencial suprimento de vento, sol e precipitação em uma área específica pode ser estatisticamente conhecido. Em casos de incerteza aleatória, a maximização da utilidade esperada é o modelo padrão para a tomada de decisão.

- **Possibilidade:** o grau de "não-implausibilidade" de um futuro pode ser definido rigorosamente usando a noção de exceções aceitáveis (Halsnaes *et al.*, 2007, apud De Finetti, 1937; e Shackle, 1949). Exemplificando, verifica-se que, a despeito da controvérsia científica sobre a atribuição de uma distribuição de probabilidade precisa do futuro distante para variáveis influenciadas por escolhas sociais como, por exemplo, a temperatura global em 2100, conclui-se que alguns resultados são menos possíveis de ocorrer que outros.

- **Knightian risk ou incerteza profunda**: estudo publicado por Knight em 1921 descreve situações em que a lista de possíveis resultados é conhecida, mas as probabilidades de ocorrência são imprecisas. A ausência de informações no momento em que as decisões devem ser tomadas implica incerteza quanto ao curso futuro dos eventos (Palludeto e Ribeiro, 2011). O relato de séries de resultados possíveis, mesmo que em situação de profunda incerteza, pode permitir que precauções sejam adotadas para prevenir o risco climático.

- **Incerteza estrutural**: é caracterizada pelo "desconhecimento do desconhecido". Nas palavras de Palludeto e Ribeiro (2011), parte das informações está oculta por, simplesmente, não existir ainda; ou seja, a realidade manifesta a natureza *sui generis* da incerteza fundamental. Assim, não existe um modelo que inclua todas as variáveis e associações (conexões) possíveis de ocorrerem. A incerteza estrutural é atenuada quando resultados convergentes são obtidos através de modelos diferentes e métodos de análise, bem como de observação.

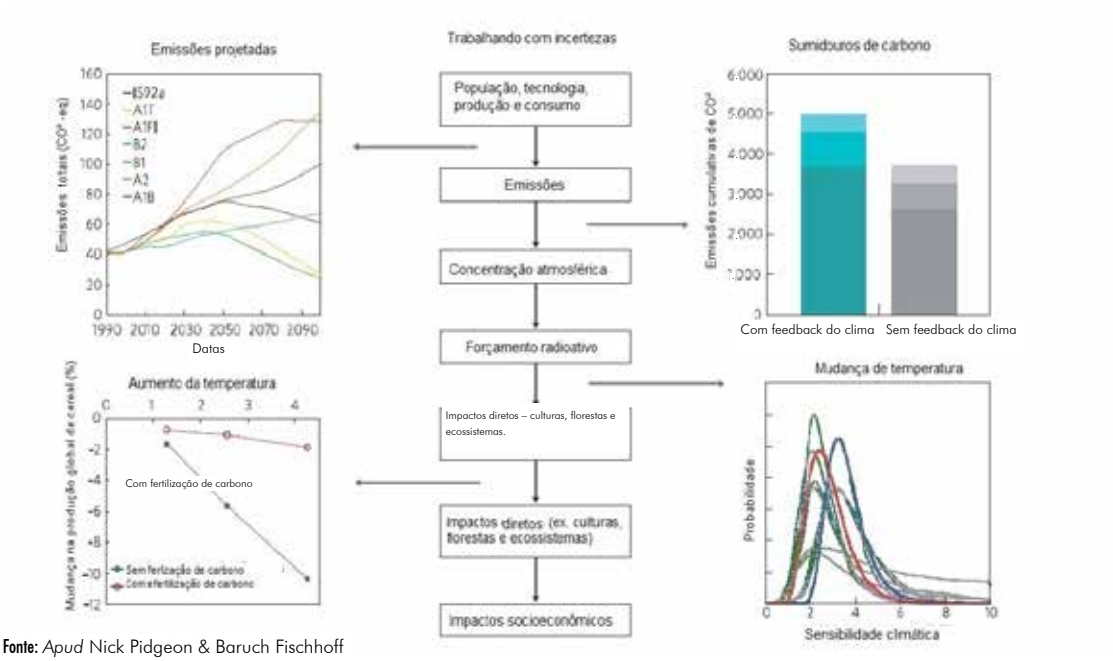
- **Fuzzyness ou imprecisão**: descreve a natureza de variáveis e/ou resultados difusos.

Adaptado de Halsnaes *et al*. (2007)

2.1.2. RISCOS E INCERTEZAS NAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Cientistas do clima ainda se deparam com incertezas, mesmo sendo esta uma ciência conhecida e bastante investigada (Oppenheimer *et al.*, 2007). A complexidade do clima torna extremamente difícil se estabelecer qualquer projeção precisa da relação entre uma concentração específica de GEEs e mudanças na temperatura global (IPCC 2007a; Trenberth, 2011). O sistema climático envolve interações entre várias partes em movimento, com incertezas aparecendo tanto na estruturação dos modelos climáticos, como na avaliação de seus parâmetros e conexões (NRC – National Research Council – 2010; Trenberth, 2011). O volume I do Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas aborda essas questões com mais detalhes. A Figura 2.1 representa abaixo, de modo sucinto, a cadeia de fatores que podem ser percebidos como fontes de incertezas à ciência do clima (Stern, 2007).

Figura 2.1. Incertezas sobre os impactos das mudanças climáticas



Fonte: *Apud* Nick Pidgeon & Baruch Fischhoff

Fonte: Adaptado de Stern, 2007

Margulis *et al*. (2011) identificara alguns dos fatores de incerteza incluídos na Figura 2.1., a saber:
Emissões de gases de efeito estufa: projetadas em função de diferentes pressupostos socioeconômicos tais como, a evolução esperada do crescimento populacional, a inovação tecnológica e o padrão de produção e consumo ao longo do tempo. Há grande incerteza na projeção de cada um destes pressupostos a médio e longo prazos.
Concentração atmosférica e sumidouro de carbono: a permanência de gases de efeito estufa na atmosfera depende da taxa em que os sumidouros de carbono, tais como os oceanos e a vegetação, absorvem o elemento da atmosfera, bem como dos respectivos e complexos mecanismos de retorno – *feedback* – a que estes processos estão submetidos.
Forçamento radioativo: O forçamento radioativo é uma medida da influência de um fator externo na alteração do equilíbrio energético do sistema Terra-Atmosfera–Equilíbrio, dado pela energia que dele entra e sai. Essa medida é expressa em *watts* por metro quadrado –W/m ^{2} (*IPCC*, 2007a).
Modelos e sensibilidade climática: os modelos climáticos pretendem replicar as relações causais físicas que definem, no longo prazo, as condições atmosféricas. Entretanto, eles ainda apresentam incertezas relacionadas à especificação, por exemplo, de seus parâmetros principais e da forma das funções que o compõem. Assim, o parâmetro da *sensibilidade climática*, aqui exibido na Figura 2.1., que relaciona o aumento da concentração dos gases de efeito estufa com a mudança da temperatura e determina resultados climáticos, ainda é representado com probabilidades variadas.

Margulis *et al*. (2011) apontaram também, para os riscos associados aos pouco conhecidos processos de descontinuidade, irreversibilidade e inércia no sistema climático. É o caso da anomalia climática que pode contribuir para a descontinuidade de atividades portuárias ou agrícolas em determinadas regiões ou causar dano irreversível a uma atividade econômica e/ou a um ecossistema, tal como a extinção permanente de uma espécie biológica ou a incapacidade de se reproduzir um tipo de cultura.

No sistema climático, inércia se refere tanto à *inércia dos fenômenos* quanto à *de decisões no presente*. A primeira está relacionada ao fato de que, mesmo que se conseguisse eliminar em curto prazo todas as emissões de GEEs, subsistiria a inércia do efeito dos gases acumulados na atmosfera e, portanto, ainda assim, estes provocariam aquecimento global. Já o efeito de inércia das decisões

tomadas no presente é o que se configuraria mesmo se, em dado momento, todos os países optassem por emitir menos GEEs. Isto porque a adoção imediata e eficaz das medidas necessárias para controlar as emissões seria impossível, demandando tempo e investimento tecnológico para surtir alterações nos processos produtivo, logístico e de oferta de serviços.

Pidgeon e Fiscchhof (2011) demonstraram que o sistema, por envolver fatores determinantes e impactos decorrentes de mudanças climáticas é complexo e, para quem não é cientista, pouco familiar. Intuitivamente, pode-se perceber que há uma relação não linear entre as emissões e a concentração de gases de efeito estufa, assim como entre a mudança de temperatura média global e os impactos regionais causados pela mesma. Há também, o entendimento de que transformações tecnológicas e de estilo de vida podem influenciar a possível anomalia climática futura além da resiliência ambiental e social (NRC, 2010).

Percebe-se, ainda, que os estudos da economia do clima precisam buscar respostas para lidar com todas as incertezas sobre os possíveis riscos ambientais, econômicos e sociais que a mudança climática pode apresentar a prazo longo nos âmbitos regional e local (Stern, 2007). Os estudos destinados a oferecer respostas têm sido intensificados, mas na medida em que se amplia o conhecimento sobre o tema, novas e maiores fontes de incerteza são identificadas a respeito. Mesmo assim, isso não invalida o uso de seus resultados para apoiar decisões (Trenberth, 2011).

O artigo 3 – *Princípios* – da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (*UNFCCC*), firmada em 1992, dispõe que as partes – os países-membro – necessitam adotar medidas de precaução para antecipar, prevenir ou minimizar as causas de mudanças climáticas e seus efeitos adversos. As incertezas relativas a esses impactos não justificam o adiamento de soluções que visem mitigar as emissões de GEEs (Halsnaes *et al*, 2007).

O debate social e a inserção do tema nas agendas políticas e do setor produtivo (Brekk e Johansson-Stenman, 2008) tem se ampliado. Entretanto, a decisão pela prevenção do risco e da incerteza climática não é trivial, principalmente em países como o Brasil, onde os eventuais investimentos em mitigação do efeito estufa de gases emitidos competem com aqueles em infraestrutura e serviços essenciais, tais como saúde e educação, indispensáveis ao desenvolvimento do País.

A identificação de alternativas que contribuam conjuntamente para reduzir as emissões de GEEs e os determinantes da pobreza no País é relevante e desafiadora. Cientistas do setor de saúde têm identificado e avaliado alguns possíveis benefícios colaterais à Convenção–Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – ver Quadro 2.2. – para a qualidade de saúde humana e a segurança alimentar, provenientes da mitigação da mudança do clima (*WHO*, 2011; Haines *et al*., 2006).

Quadro 2.2. *Potencial benefício colateral para o setor de saúde decorrente da mitigação da mudança do clima*

O desenvolvimento econômico e social de um País está vinculado ao crescimento da renda nacional, associado ao bem-estar social equitativo de sua população, à redução dos riscos ambientais e à manutenção dos respectivos serviços ecossistêmicos. O bem--estar social não pode estar dissociado da qualidade da saúde humana da população.

A adoção imediata de políticas, programas e tecnologias de mitigação à mudança do clima podem contribuir, também, para a redução concomitante dos danos à saúde humana, caracterizando-se, assim, como benefício social (WHO, 2011).

No Brasil, alguns estudos realizados já mostram que a adoção de políticas de mitigação na redução dos GEEs, mediante a implantação preventiva de programas de energias limpa e eficiente, resulta em benefícios colaterais para as populações urbanas. Evento realizado em São Paulo, anterior a um encontro dos prefeitos das grandes cidades – São Paulo *C40 Large Cities Climate Summit*, 2011 – resultou em publicação dos possíveis benefícios para a saúde humana de medidas que mitigam os efeitos da mudança do clima (Rede C40, 2011).

Pode-se citar três exemplos de políticas de baixo carbono para a cidade de São Paulo em vários setores. A saber:

- Transporte público. A diminuição do tempo de deslocamento através do sistema metroviário, em 2010, permitiu um ganho de mais de 575 milhões de horas e a redução de treze mil acidentes de trânsito, com economia de R$ 138 milhões nos gastos com saúde pública (Metrô de São Paulo, 2010);

- Saneamento: um estudo estimou que, se a mesma cobertura da coleta de esgotos das dez maiores cidades fosse estendida para o conjunto das 81 cidades brasileiras com população acima de 300 mil habitantes, haveria uma redução de aproximadamente metade das internações hospitalares por diarréia e uma economia da ordem de R$ 11 milhões em custos de internação (Kronenberger e Junior, 2010);

- Energia: estudo realizado na cidade de São Paulo estimou que a troca do combustível – diesel para etanol – nos ônibus do transporte público municipal possibilitaria redução de internações hospitalares – à razão de 8.002 casos por ano – e da mortalidade – 130 casos por ano (Saldiva, 2010).

A intensificação de eventos climáticos, com seus consequentes impactos sociais e econômicos ocorridos ao longo desta década, evidencia a necessidade de, a despeito das incertezas, agir-se preventivamente a fim de evitar os riscos associados à mudança do clima.

Portanto, os benefícios da prevenção podem viabilizar a manutenção do bem estar social e a sustentabilidade do sistema econômico do País, trazendo segurança, não só para a população, mas também para as organizações dos diferentes segmentos.

2.1.3. PERCEPÇÃO E COMUNICAÇÃO DO RISCO E DA INCERTEZA NA MUDANÇA DO CLIMA

Todo indivíduo, sociedade ou organização se expõe a uma variedade de riscos. Na escala dos riscos enfrentados pelas organizações há, na realidade, quatro respostas possíveis, conforme estudos realizados pelo Programa de Iniciativas Financeiras das Nações Unidas para o Ambiente (*UNEPFI*): evitá-lo, mitigá-lo, retê-lo ou transferi-lo.

No gerenciamento desses riscos, as primeiras duas respostas – evitar a ameaça e mitigar seu efeito

– podem ser categorizadas como ações de controle, assim como as duas últimas – as de reter e transferir – remetem a financiamento (Andrade e Lacerda, 2009). Assim, conforme sustenta a organização citada, nem todos os riscos empresariais podem ser transferidos. Já quanto àqueles que dizem respeito à saúde humana ou ambiental, não se poder fazer mais do que evitar ou mitigar (Andrade e Lacerda, 2009).

O conhecimento e a comunicação dos riscos e incertezas climáticos são relevantes para o desenho de mecanismos eficientes que evitem a mudança do clima. Mas, como apresentado no item 2.1.2. deste subcapítulo, se trata de um campo do conhecimento em que ainda há grandes incertezas. É necessário lidar com o desafio de avaliá-las e comunicá-las assim como aos riscos econômicos e políticos, relacionados às mudanças climáticas e à eficácia das ações propostas para mitigá-las.

O estudo de Stern (2007) realçou as dificuldades com a avaliação e a comunicação dos perigos incertos da mudança do clima (Stern, 2007; Haurie *et al*., 2011). Políticos e empresários, mesmo em condições de incerteza, procuram tomar decisões valendo-se de informações claras e objetivas, bem como da consistência da comunicação e das evidências do fato incerto apresentado (Budescu, 2009; Pidgeon e Fischhoff, 2011). Assim, lidar com a comunicação do risco e da incerteza, de modo efetivo, é um objetivo importante para a avaliação e a definição de políticas ambientais de longo prazo (Halsnaes *et al*., 2007).

A "ciência" se esforça para obter informações empíricas com o objetivo de testar a teoria e os modelos. Mas, ao mesmo tempo "a ciência para a política" deve ser reconhecida como diferente da "ciência" em si, já que a ciência para a política implica ser sensível às necessidades dos formuladores de políticas, dadas as informações disponíveis no momento, mesmo que essas decisões envolvam um considerável grau de subjetividade (Moss & Schneider, 2000).

Pidgeon e Fischhoff (2011) ressaltaram que cientistas do clima ainda encontram dificuldade na comunicação de perigos e incertezas climáticos que induzam à mudança de atitude da sociedade. Os primeiros relatórios do IPCC procuraram não falar em incertezas, enquanto o quarto recomendou que elas fossem apresentadas em termos qualitativos para indicar os seus intervalos. Entretanto, a informação apresentada qualitativamente é pouco clara para todo os usuários dos documentos do IPCC (Budescu *et al*., 2009; 2012).

Os pesquisadores das ciências sociais e comportamentais identificaram lições relevantes para a comunicação no âmbito da ciência do clima. Dentre elas, destacam-se as descritas a seguir:

- O risco pode ser definido de diferentes formas por especialistas e não especialistas, dependendo de como eles aquilatam os resultados em jogo (Pidgeon e Fischhoff, 2011). Caso a informação não esteja adequadamente direcionada ao seu usuário, pode ser desconsiderada.

- O entendimento do risco requer mais que o mero conhecimento de suas estimativas. As pessoas precisam elaborar *modelos mentais* ou representações cognitivas do processo gerador e de controle do risco que conduzem às incertezas (Pidgeon e Fischhoff, 2011). Exemplificando: um estudo realizado entre habitantes do município de Santa Maria, no Estado do Rio Grande do Sul, mostrou que há maior percepção por parte da população rural sobre os fatores determinantes da variação do clima do que da urbana. Em consequência, a primeira é muito mais consciente do tema (Sartori, 2007).

- A emoção é parte integrante da percepção e do comportamento humano e social. Ela pode ser essencial para a avaliação da informação e o estabelecimento de decisões adequadas (Pidgeon e Fischhoff, 2011).

- O processo social pode atenuar ou amplificar o risco. Isto é, o conhecimento do risco por partes interessadas pode contribuir para o adequado entendimento e/ou para quehaja

progressos no seu controle e apoio social para evitá-lo, independente das incertezas envolvidas (Pidgeon e Fischhoff, 2011).

- A inação pode não estar relacionada apenas à falta de informação sobre o ecossistema global, mas pode ser influenciada por aspectos sociais, psicológicos e estratégicos na tomada de decisão (Halsnaes *et al*, 2007).

Os desafios enfrentados por cientistas do clima para informar a público não especializado acerca do fenômeno assemelham-se aos inerentes a qualquer comunicado técnico, acrescidos das incertezas. Budescu *et al*. (2009) recomendaram que os relatórios do *IPCC* sejam comunicados de modo a atender ao seu objetivo: contribuir para que os assim chamados *tomadores de decisão* tenham as mais precisas informações possíveis. Para tanto, esse autor propõe que:

- haja distinção entre as ambiguidades do conhecimento e as de eventos esperados, mesmo que acompanhados de incertezas; bem como,
- que sejam informados os diferentes tipos, a natureza e a magnitude de incerteza implícitos nos eventos esperados; e
- que a informação qualitativa seja acompanhada de informação qualtitativa, sempre que possível.

Assim, os relatórios devem usar as linguagens, verbal e numérica para comunicar a incerteza e ajustar a amplitude dos intervalos entre os números, a fim de que esta última coincida com aquela subjacente ao evento informado ou com a meta proposta.

2.1.4. PREFERÊNCIAS SOCIAIS E COMPORTAMENTO DE INDIVÍDUOS E NAÇÕES

O clima é um exemplo típico de bem público[2], sobre o qual a mitigação do efeito estufa das emissões de gases será percebida por todos os indivíduos ou nações, independentemente de eles terem ou não contribuído para o aquecimento global. Isso favorece o comportamento denominado por Mancur Olson (1999, *apud* Fonseca e Bursztyn, 2007) de *free-rider* ou caroneiro.

> *O free-rider é aquele que desfruta do bem coletivo sem que tenha pago custo algum por sua obtenção. Seja porque a relação custo/benefício desestimula o ator a agir em prol de seus interesses ou por ser impossível excluir o ator que não contribui com a ação do grupo dos beneficiários (Fonseca e Bursztyn, 2007, p.179).*

Esta característica do clima explica em parte porque nações e agentes produtivos permanecem emitindo GEEs e realizando investimentos – que se apresentam com melhor relação de custo-oportunidade no presente –, esperando que outros agentes ou nações tomem a iniciativa de mitigar o efeito estufa das emissões de gases (Stern, 2007). Neste contexto, iniciativas para que sejam estabelecidos acordos globais ainda não conseguiram apresentar os resultados necessários para a redução do risco climático.

Observa-se, atualmente, uma tendência a acordos multilaterais em prol da prevenção da mudança do clima (Brekke e Johansson-Stenman, 2008; Helm, 2008). As cooperações para alcance de objetivos são mais eficazes quando realizadas por meio de interações intergrupais. Elas contribuem para que haja motivação e se evite o sentimento de culpa em relação à tomada de decisão que tenha reflexos sobre o bem-estar de terceiros, bem como ao exercício de controle e pressão social quanto ao atendimento de normas e/ou regulamentos (Gong *et al*., 2009).

[2]Bem público é aquele cujo consumo não é rival nem excludente, isto é, além do seu consumo por um agente econômico não inviabilizar que outro também o consuma, não se pode evitar que outro agente o faça.

O estudo coordenado por Stern (2007) concluiu que ações imediatas para a estabilidade das emissões de GEEs devem ser adotadas, pois o benefício de se mitigar a mudança do clima superaria seu custo. Esses resultados visam contribuir para a orientação de tomadores de decisão sobre o custo-benefício da política para a mitigação dos efeitos da mudança do clima (Weitzman, 2007).

Em face das múltiplas dimensões do risco e da incerteza no âmbito da mudança climática, sua governança deve ser estabelecida com base em três pilares: precaução, prevenção e gestão do risco (Halsnaes *et al.*,2007).

O resultado do estudo Stern (2007) derivou, em parte, de duas premissas relevantes adotadas: a taxa de desconto aplicada e o argumento de que é relevante evitar o risco quando há grande incerteza sobre os impactos esperados (Stern, 2007). Baixa, a primeira embutiu prêmio de risco pelos custos associados aos possíveis impactos mais relevantes decorrentes da mudança climática (Margulis *et al.*, 2011).

Assim, independente dos resultados apresentados, o estudo coordenado por Stern (2007) contribuiu para apresentar, no âmbito dos tomadores de decisão, a relevância dos impactos econômicos da mudança do clima (Weitzman, 2007), além de realçar as incertezas subjacentes ao conhecimento dos sriscos e do comportamento econômico futuro frente ao fenômeno (Nordhaus, 2007; Weitzman, 2007).

Usuais entre cientistas, os questionamentos em torno das incertezas da mudança do clima podem ser, no entanto, mal interpretados pela comunidade em geral (Pidgeon e Fischhoff, 2011) e dificultar negociações entre nações.

A economia comportamental enfatiza a noção de que as pessoas têm limitações cognitivas e buscam aprovação social em suas decisões, de modo que, muitas vezes, adotam posturas irracionais. Entender como pessoas e nações fazem suas escolhas sob a incerteza e o risco, ao longo do tempo, é crucial. Na literatura científica – como em Brekke e Johanson-Stenman (2008) sobre o uso da teoria dos jogos nas negociações transnacionais em prol da redução da poluição –, observa-se que estas são realizadas inúmeras vezes, tendo-se em conta que as partes envolvidas:

(i) são assimétricas – ou seja, os países exibem diferentes níveis de desenvolvimento, econômico e cultural – e, muitas vezes, interagem estrategicamente entre si; além de

(ii) estarem sujeitas a mudanças de orientações, ao longo do tempo, em virtude de alternância de governo ou ocorrência de eventos marcantes – como aliás, se deu no acidente nuclear em Fukushima, no Japão, acarretando a revisão do programa alemão para esse tipo de energia. Assim, a otimização simultânea dos resultados alcançados não é um processo simples e pode desencadear conflito entre partes. O consenso entre estudiosos do tema é o de que nas negociações, os países – ou unidades – levarão em conta aquilo que beneficia a si próprios, de modo similar àquele com o qual se estuda na microeconomia convencional tópicos como comportamento e tomada de decisão individual.

As preferências sociais também são pautadas na decisão entre benefícios sociais futuros e presentes. A taxa de desconto usada no modelo econômico para mostrar a relação entre custo e benefício de se mitigar, no presente, as emissões de GEEs em contrapartida a se postergar tal ação (Stern, 2007), foi avaliada e questionada (Nordhaus, 2007; Weitzman, 2009). Isto trouxe à tona o questionamento, ainda atual, que dificulta acordos, relativo à preferência social por se atuar no presente para amenizar riscos futuros, deixando de fazer outros investimentos ou, ainda, a possibilidade de se trilhar justamente o caminho oposto. Este é um debate ainda inconcluso e que realça a necessidade de se mostrar com clareza à sociedade, parâmetros, premissas e avaliações que estão sendo consideradas por cada estudo que é divulgado.

Há necessidade de se apresentar a incerteza futura de modo claro, acompanhada das análises técnicas, de modo a evitar que as decisões sejam adotadas de modo simplista (Krupnick*et al.*, 2000).

2.1.5. MODELANDO AS INCERTEZAS

A ampliação de estudos que contribuem para a análise econômica das mudanças climáticas apoia a comunicação entre cientistas e formuladores de políticas públicas.

Observa-se progresso no refinamento dos modelos integrados de avaliação – em inglês, conhecidos pela sigla *IAM* – que integram as variáveis relevantes e possíveis de serem usadas – energia, ambiente e economia –, de modo a permitir analisar as múltiplas dimensões e incertezas da mudança do clima (NRC, 2010). Esses modelos contribuem para o planejamento de políticas, estudos e ações setoriais adequadas à mitigação de emissão de GEEs.

A avaliação de estudos recentes de modelagem das incertezas na economia do clima, usando os *IAM* , concluíu que alguns fatores são prioritários para a pesquisa. A saber: o entendimento dos desenhos tecnológicos das opções de mitigação e as perspectivas e oportunidades para implementação e melhoria, bem como a incorporação das incertezas nos modelos de clima a fim de melhorar a percepção para se lidar com questões não resolvidas enquanto partilha de encargos, segurança energética e instrumento eficaz de política climática (Haurie *et al*., 2011).

A ampliação do diálogo e da colaboração entre os cientistas do clima e os dedicados às ciências sociais pode permitir o aprimoramento da modelagem e a compreensão da incerteza neste campo (Haurie *et al*., 2011). Uma equipe interdisciplinar de pesquisadores das principais instituições científicas brasileiras iniciou, em 2007, a partir de proposta apresentada pela Embaixada da Grã Bretanha no Brasil, um estudo intitulado *Economia da Mudança do Clima no Brasil* (Margulis *et al.*, 2011). Nele, os modelos computacionais que produzem projeções sobre o comportamento futuro do clima no território nacional – fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – alimentaram outros, que simularam para algumas áreas estratégicas da economia do País, os impactos econômicos esperados em cada setor, considerando-se duas trajetórias de emissões futuras desenvolvidas pelo *IPCC* em 2000.

A despeito das incertezas envolvidas nesta modelagem, este estudo contribuiu para o aprimoramento de políticas públicas associadas à mitigação de emissão de GEEs. Seus resultados mostram que as duas regiões de menor produto interno bruto (PIB) do Brasil – Norte e Nordeste –, seriam as mais afetadas pela mudança do clima. Este estudo contribuiu também, para a ampliação da massa crítica e da pesquisa sobre o tema, permitindo se observar com maior clareza os instrumentos capazes de reduzir as incertezas e aprimorar os modelos de economia do clima no País.

Percebe-se também, no Brasil. o crescimento do diálogo e da colaboração entre cientistas do clima e sociais para a construção de modelos integrados de avaliação do risco climático, o que tem contribuído para reduzir as incertezas relativas às mudanças climáticas e, assim, melhorar sua governança no País.

2.2. DESENVOLVIMENTO E EQUIDADE: DESAFIOS DAS POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO

2.2.1. ÉTICA, DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E EQUIDADE

O conceito de equidade no âmbito do tema de mudanças do clima apresenta características específicas e envolve aspectos presentes e atinentes a várias gerações. Há referências à equidade nos documentos da *UNFCCC* e do *IPCC*. O artigo 3 da referida convenção, por exemplo, refere-se ao tema de modo bastante subjetivo, indicando que:

> (...) *as Partes devem proteger o sistema climático em benefício das gerações presentes e futuras da humanidade com base na equidade e em conformidade com suas responsabilidades comuns, mas diferenciadas, e respectivas capacidades. Em decorrência, as Partes Países Desenvolvidos devem tomar a iniciativa no combate à mudança do clima e a seus efeitos*.

Há um enorme esforço em definir de forma mais concreta o conceito de equidade no debate. Esse esforço tem o papel de tentar amenizar as dificuldades de enfrentamento das consequências das resoluções da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, conhecida como *Convenção do Clima*[3], em termos do que se pode considerar razoavelmente justo (*UNFCCC*, 1992; Munasinghe e Swart, 1999).

Diversas abordagens sobre equidade surgiram nesse debate, criando muitos indicadores para o conceito. Responsabilidades presentes ou passadas quanto aos problemas do clima, disposição a pagar danos causados pelas mudanças climáticas, igualdade de emissão *per capita* de gases para a atmosfera, áreas dos territórios nacionais, além de critérios *ad hoc*, são alguns exemplos. Eles expressam a diversidade de abordagens relacionadas ao conceito de equidade, geralmente baseadas em argumentos que buscam respaldo em algum preceito do domínio da Ética.

Existe ceticismo quanto ao interesse na aplicação de áreas do conhecimento como Ética e Moral. Evocações públicas de princípios morais estão frequentemente legitimando políticas cujas decisões foram tomadas em diferentes bases (Engel, 1990).

Entretanto, é possível apontar algumas razões de ordem prática que explicam um recente novo interesse, por parte de pessoas de todas as áreas de reflexão, quanto a ambos os aspectos. Uma delas é a ênfase dada à necessidade de tomada de consciência sobre a importância do papel daquilo que se tem mencionado como *valores* e do conceito de cultura nas atividades humanas.

Outra razão estaria no papel que a Ética teria em esclarecer conceitos vagos, tais como democracia, equidade e respeito à natureza. Essa disciplina do conhecimento, conforme aqui entendida, pode ajudar na compreensão não do que é certo e errado, mas daquilo que estrutura os diversos comportamentos.

Da mesma forma, o conceito de desenvolvimento sustentável envolve aspectos controversos e subjetivos. Se a noção de *sustentabilidade* há até pouco tempo era quase que universalmente considerada como algo positivo (Jamieson e Luce, 1999), atualmente ela provoca tensões associadas à sua compreensão que põem em dúvida o próprio termo.

Uma das principais críticas a esse conceito se refere à amplitude da definição de sua ideia central, sem clareza e objetividade para delimitar que necessidades são aquelas descritas originalmente no relatório Bruntdland – *Nosso Futuro Comum* (1987) –, ou ainda, qual o modo pelo qual a própria sustentabilidade seria alcançada (Castro, 2004; Redclift, 2006).

Assim, tal conceito nos remete à manutenção da existência, assim como ao passado, ao presente e ao futuro (Redclift, 1987 e Daly, 1995), mas pode ser utilizado sob muitas perspectivas e para ações diversificadas, eventualmente excludentes, insustentáveis e inócuas à medida que, de fato, não desafiam o *status quo* (Lélé, 1991; Redclift, 2006).

Tal como a *UNFCCC*, o *IPCC* também tem dedicado atenção aos conceitos de desenvolvimento sustentável e equidade desde seu primeiro relatório, elaborado em 1990. Nos documentos preparatórios do Grupo III (*WT3*) para o *IPCC/Fifth Assessment Report 5*, ficou evidente o tratamento

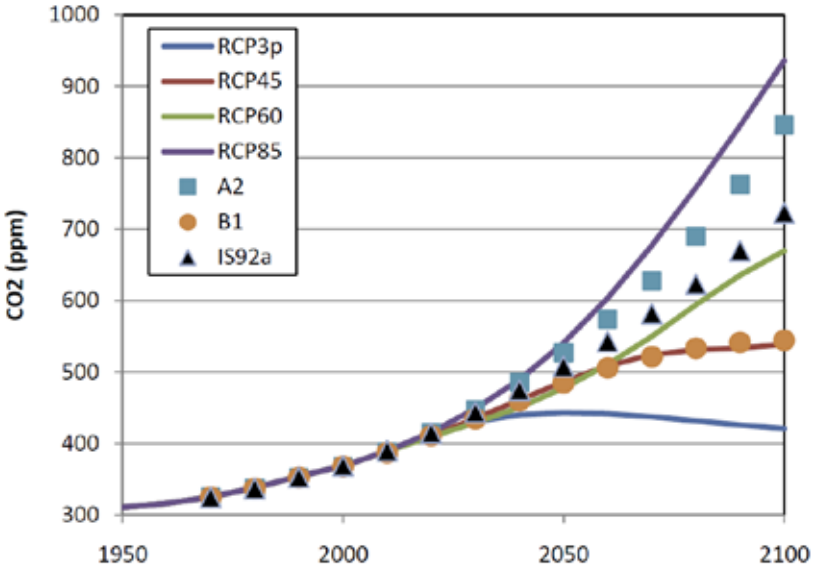
[3] Mais precisamente, as resoluções do Protocolo de Quioto, de 1997.

necessariamente imbricado entre os dois conceitos, principalmente no que diz respeito às análises de médio e longo prazos, inerentes ao assunto das mudanças climáticas (*IPCC,* 2012).

Até a edição do *IPCC/Fourth Assessment Report* (*IPCC-AR4*, 2007a, b e c), foram utilizados os seis cenários representativos de emissão de gases de efeito estufa do *SRES* – o *Special Report Emission Scenarios* –, desenvolvidos pelos grupos de trabalho I e II do Painel. Eles revelaram resultados de longo prazo para concentração desses gases na atmosfera, forçamento radioativo, aumento da temperatura na Terra e elevação do nível do mar. Já as próprias emissões de GEEs, nos moldes em que foram consideradas nos *SRES*, baseavam-se em três indicadores: população, PIB e tecnologia.

No estágio atual, os grupos I, II e III do *IPCC* estão discutindo novos modelos de cenários com base em trajetórias para forçamento radioativo que foram batizados de *RCP* – sigla, em inglês, para o título *Representative Concentration Pathways*. Entretanto, os *SRES* continuam a ser utilizados pelo *IPCC*, uma vez que alguns de seus cenários são perfeitamente iguais ao comportamento das curvas dos novos modelos, como representado na Figura 2.2.

Figura 2.2. Concentração histórica e projetada de CO_2 em partes por milhão



Comparação entre cenários: *RCPs* e alguns dos cenários [IS92a, A2 e B1] utilizados pelo *IPCC* em relatórios anteriores.
Fonte: Prather, M. (2011)

A análise das projeções desses três indicadores – PIB, população e tecnologia – continua a ser utilizada para a avaliação do desenvolvimento das emissões de GEEs ao longo do tempo. Convém, portanto, discuti-los à luz de um novo olhar – o da sustentabilidade global evocada pela questão climática.

O Sistema de Contas Nacionais (SCN), utilizado pela Organização das Nações Unidas (ONU) e outras instituições multilaterais para comparar medidas agregadas da atividade econômica dos países é centrado no conceito de fronteira de produção. Ele não contabiliza perdas de *capital natural* enquanto atividade produtiva. Surgiram algumas propostas para se modificar tais critérios de cálculo e considerar a variável ambiental como sendo um deles.

O escritório de estatísticas da própria Nações Unidas – o *United Nations Statistics Office* –, propôs o Sistema Integrado de Contas Econômicas e Ambientais (SICEA), cuja matriz de contas nacionais incluiria as contas ambientais. Essa matriz, conhecida em inglês pela sigla *NAMEA*, foi criada pelo Centraal Bureau voor de Stastitiek – o instituto de estatísticas holandês – em trabalho piloto de 1993

e, posteriormente, adotada pelo Eurostat, o escritório estatístico da União Europeia (Silva, 2003; Young, 2003).

Portanto, todos esses institutos de pesquisa e estatística propõem, desde a década de 1990, a contabilização das perdas de *capital natural* nas contas nacionais, considerando-as não mais como fatores externos – ou, no jargão do ramo, como *externalidades* –, mas sim, como ativos econômicos. Para a contabilização ambiental em contas econômicas nacionais, o primeiro passo é a elaboração de inventários em unidades físicas, o que viabiliza a posterior valoração econômica da degradação dos recursos ambientais.

No Brasil, diversas publicações recentes abordaram o tema do desenvolvimento sustentável e da equidade social, econômica e ambiental, tais como *Mudança do Clima no Brasil* (Seroa da Motta *et al*., 2011), *Economia da Mudança do Clima no Brasil* (Margulis *et al.,* 2010) e *Mudanças Climáticas, Pobreza e Desigualdades* (COEP, 2011).

Cabe destacar na primeira dessas publicações, a discussão crítica sobre a qualidade de vida e o aumento de emissões de GEEs (Morello *et al*., 2011). Esses autores mostraram que, em alguns casos, a melhoria do padrão de consumo pode reduzir o lançamento desses gases à atmosfera, o que é exemplificado ao se trocar a lenha usada em domicílios de populações pobres. Como combustível não renovável, a substituição desse recurso natural por alternativa energética passível de renovação acarretaria um menor volume emissor de CO^2 por conta da implícita redução do desmatamento de áreas virgens, podendo assim, resultar em progressos locais em termos de saúde e meio ambiente.

Esse mesmo livro abordou a questão da justiça climática sob a perspectiva de desigualdade e vulnerabilidade sociais para a adaptação a impactos provocados pela mudança do clima. Populações atingidas por desastres recentes – que podem futuramente vir a ser relacionados a eventos estudados como causadores de mudanças globais do clima – estiveram entre os temas em discussão (Milanez e Fonseca, 2011).

Já os objetivos do texto *Economia da Mudança do Clima no Brasil* (Margulis *et al.*, 2010) foram os de apresentar oportunidades de mitigação no Brasil e calcular seus respectivos custos. Pretendeu-se, também, comparar estes últimos, quando relativos à prevenção de mudanças climáticas, com os resultantes da inação no presente.

Por sua vez, o estudo publicado pelo Comitê de Entidades no Combate à Fome e pela Vida (COEP) em 2001 – *Mudanças Climáticas, Pobreza e Desigualdades* – investigou a vulnerabilidade das populações mais pobres frente às mudanças climáticas, o acirramento das desigualdades sociais, a mobilização popular junto a instituições de ensino, empresas, comunidades e redes sociais, além da construção de habilidades para se lidar com os efeitos das modificações do clima.

2.2.2. ASPECTOS DETERMINANTES, INDICADORES DE DIREÇÃO E RESPECTIVAS BARREIRAS

2.2.2.1. CONCEITOS E LINHAS TEÓRICAS ENVOLVENDO EQUIDADE

A origem da palavra equidade remete a Aristóteles – séc. V a.C. – e tem assumido, ao longo dos anos, diferentes significados. Tal conceito foi utilizado nos acordos internacionais relativos a mudanças climáticas, mais precisamente no seu sentido de *equidade entre gerações, presente e futuras*, conforme se lê, por exemplo, no Protocolo de Quioto.

Neste capítulo, equidade é conceito que deve ser entendido sob três aspectos: espacial, temporal e social. O primeiro – também conhecido como intergeracional– envolve a escolha de uma taxa de desconto apropriada para se calcular os impactos das mudanças climáticas nas gerações futuras.

É, porém, problemática, uma vez que a incorporação dos valores ambientais presentes já tem se mostrado bastante complexa em termos econômicos e tende a se tornar ainda mais difícil quando se trata de quantificar impactos sociais futuros.

Quanto à equidade no presente, alguns autores (Munasinghe e Swart, 1999) priorizaram a maior vulnerabilidade da população pobre do planeta às mudanças climáticas. Assim, a pobreza deveria ser analisada não apenas em termos de necessidades básicas ou nível de renda, mas também, da capacidade dos pobres participarem dos discursos sociais que envolvem sua própria vida.

Para Sen (1999a), o desenvolvimento deve ser visto como um processo de expansão das liberdades substantivas das pessoas. Como meta principal a ser atingida, o autor preconizou a capacidade humana de levar uma vida mais livre e digna de ser vivida.

Mas, como o conceito de liberdade é complexo por demais e, nele, se poderia enquadrar a liberdade individualista, cabe assinalar que, entre três dos argumentos éticos bastante usados na defesa de decisões – os de *igualdade de renda*, *utilitarismo clássico concentrado na medida do prazer* e *da felicidade* e *qualidade de vida* –, Sen defendeu o terceiro. Isto porque, privilegiar uma medida tomada com base em uma análise de qualidade de vida leva os benefícios de uma liberdade mais ampla até número maior de pessoas.

Ao discorrer sobre os fundamentos éticos da economia do bem-estar, Sen (1999b) criticou a hipótese de que o comportamento humano possa ser previsto com base na maximização do interesse próprio.

A equidade, portanto, não é um conceito acabado e, sim, a ser construído em cada contexto. No âmbito das mudanças climáticas, ele provoca debates calorosos. Tem se apresentado completamente vulnerável em função da ausência de clareza acerca da responsabilidade pelo dano – a equidade no que tange a emissões de GEEs – e em sanar seus efeitos – a equidade quanto à capacidade de enfrentar os impactos.

Alguns pensadores (Perelman, 1999) qualificaram o termo como muleta usada pela Justiça, ou melhor, como uma adaptação da Justiça quando esta se manifesta de modo *injusto* diante de certos casos. Apela-se para a equidade em tais situações, quando não se tem instrumentos de Direito bem definidos para se avaliar determinado caso. Conforme Kant (1984), a equidade não se presta à reivindicação jurídica e, sim, ao tribunal da consciência.

Nicola Abbagnano (1960), p. 321, escreveu sobre o assunto, conforme o transcrito abaixo:

> (...) *o apelo à justiça enquanto voltado à correção da lei em que se exprime a justiça. Esse é o conceito clássico de equidade tal qual foi esclarecido por Aristóteles e reconhecido pelos juristas romanos. Diz Aristóteles: 'A própria natureza da equidade é a retificação da lei onde esta se revela insuficiente pelo seu caráter universal'. A lei tem necessariamente caráter geral; por isso, revela-se, às vezes, de aplicação imperfeita ou difícil em casos particulares. Nesses casos, a equidade intervém para julgar, não na base da lei, mas na base daquela justiça que a mesma lei deve realizar. Portanto, nota Aristóteles, o justo e o equitativo são a mesma coisa; o equitativo é superior, não ao justo em si, mas ao justo formulado em uma lei que, em virtude da sua universalidade, está sujeita ao erro. Fundamentando-se em um conceito análogo, Kant (1984), conforme dito acima, considerava todavia, que a equidade não se prestasse a uma autêntica reivindicação jurídica e que, portanto, coubesse não aos tribunais, mas ao tribunal da consciência.*(Abbagnano, 1960, p. 321)

Perelman é um autor que vem desenvolvendo discussões sobre teoria da argumentação em Direito. Ele pesquisou a justiça formal como o princípio de ação segundo o qual os seres de uma mesma categoria essencial devem ser tratados da mesma forma. Isso suporia uma classificação – ou uma

ordenação dos seres – de acordo com a característica essencial que lhes serve de base. Como exemplo, utilizou o universo do discurso formado por todos os chefes de família de uma cidade – os que têm e os que não têm profissão –, formando duas categorias essenciais. Entretanto, mostrou o especialista que, infelizmente, a realidade é muito mais complicada e o nosso sentimento de justiça leva em conta, simultaneamente, várias categorias essenciais, nem sempre concordantes entre si. Segundo Perelman:

> *(...) quando aparecem as antinomias da justiça e quando a aplicação da justiça nos força a transgredir a justiça formal, recorremos à equidade. Esta é complemento indispensável da justiça formal, todas as vezes que a aplicação desta se mostra impossível. Consiste ela, numa tendência a não tratar de forma por demais desigual os seres que fazem parte de uma mesma categoria essencial*. (1999, pp.36-37)

Contrariamente à justiça formal, cujas exigências são bem precisas, a equidade consistiria apenas numa tendência oposta a todo formalismo, ao qual ela deve ser complementar. Intervém sempre que dois formalismos entram em choque: para desempenhar seu papel de equidade, ela própria só pode ser, pois, informal.

A vida social apresentaria uma contínua oscilação entre a justiça e a equidade. Recorre-se a esta última, todas as vezes que, na elaboração de uma lei ou de uma regulamentação, não se teve a menor consideração por certas características essenciais, às quais importantes camadas da população – a chamada *opinião pública* – atribuem relevância.

Vê-se, imediatamente, que o apelo à equidade, condicionado pela introdução de novas categorias essenciais, será mais frequente nas épocas de transição, em que certa escala de valores está sendo substituída por outra. Seria mais comum o apelo à equidade nas épocas de conturbações econômica e monetária, nas quais as condições que existiram no momento da fixação das regras se modificaram a ponto de se perceber diferença grande demais entre aquelas anteriormente adotadas e as que se admitiria no presente. Em tal eventualidade, o conflito não se dá entre fórmulas diferentes de justiça, mas entre as normas que delas se deduz hoje e aquelas que teriam sido deduzidas anteriormente, em vista de um estado de coisas profundamente modificado.

Em relação às mudanças climáticas, não havia na justiça internacional formal nenhuma regra capaz de dar conta dessa questão global. O resultado foi um acordo assinado pela *UNFCCC* em 1992 baseado na equidade: *responsabilidades comuns, porém diferenciadas*, por falta de conceito mais apropriado para o tema. Sua complexidade tem merecido novos aportes conceituais.

Para concluir, apela-se ao conceito de equidade, toda vez que a aplicação simultânea de mais de uma fórmula da justiça concreta – ou a aplicação da mesma fórmula em circunstâncias diferentes – conduz à inconformidade com exigências da justiça formal. Para que se possa dispensar a equidade, é fundamental aplicar uma única fórmula da justiça concreta, sem que se deva levar em conta mudanças que alterações imprevistas da situação são capazes de determinar. Isto só é possível, se nossa concepção de justiça for muito estreita ou se a fórmula utilizada for suficientemente complexa para levar em conta todas as características consideradas essenciais.

Alguns comentários podem ser feitos sobre a relação entre ética e justiça no trabalho de Perelman (1999). De acordo com Estrada-Oyuela (2000), o estudo do primeiro usou o conceito de equidade como forma de evitar o de igualdade. O argumento aí é o de que os princípios de igualdade formulados em 1972, na Declaração do Meio Ambiente Humano – concebida e adotada em Estocolmo, na Suécia e cujo princípio 1 se referia à igualdade entre os seres humanos –, foram substituídos pelo conceito de equidade. Essa substituição se deu 20 anos mais tarde, durante a realização no Brasil da II Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano – a Rio 92, cujo princípio 3 se referiu à equidade entre gerações presentes e futuras –, e também, na mesma ocasião, pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do

Clima – *UNFCCC*.
Dessa forma, a crítica desse autor concluiu que equidade tem diferentes significados em diferentes contextos, enquanto que igualdade teria apenas um.

A título de exemplo, cita Estrada-Oyuela (2000) que o que teria levado o grupo III do *IPCC-AR3* a utilizar o princípio de equidade em lugar de igualdade, teria sido a dificuldade em se lidar com os múltiplos interesses específicos que envolvem a questão. Interesses já então fortes o suficiente para serem acomodados sob a ótica da equidade, mas sem qualquer perspectiva de progresso sob aquela da equidade.

Diversas considerações sobre equidade podem ser ressaltadas no debate do clima mundial. De início, ela emerge como um princípio segundo o qual o sistema climático deve ser protegido em benefício das gerações humanas presente e futuras, em conformidade com suas responsabilidades comuns e capacidades diferenciadas.

Por sua vez, é através do princípio de *responsabilidades comuns, porém diferenciadas* que os países mais desenvolvidos, considerando-se suas responsabilidades históricas e seus respectivos passivos ambientais, devem adotar iniciativas em prol da conservação, proteção e restauração da saúde e da integridade dos ecossistemas no combate à mudança do clima e a seus efeitos negativos, ao levarem em conta as necessidades específicas e as circunstâncias especiais das nações menos desenvolvidas.

Segundo Rose (1992), os critérios de equidade associados a bases de referência sobre as quais ocorrem as negociações são[4]:

- **Equidade horizontal**: a alocação dos direitos de emissão de forma a igualar o resultado final contabilizado das mudanças líquidas de bem estar, resultando em uma razão constante entre o custo líquido de redução das emissões e o PIB de cada país.
- **Equidade vertical**: a distribuição progressiva dos direitos de emissão, correlacionada de maneira inversa ao PIB *per capita*.
- **Soberania**: a alocação de direitos de emissão proporcionalmente às emissões.
- **Justiça de mercado**: o leilão dos direitos de emissão a quem pagar mais.
- **Consenso**: distribuição dos direitos de emissão de forma que nenhum país sofra perda líquida de bem-estar.
- ***Maximin*** de John Rawls: distribuição de uma parcela maior dos direitos de emissão aos países mais pobres.
- **Igualitária**: alocação de direitos de emissão proporcionalmente à população.

Nos critérios de equidade apontados por Rose, percebe-se a diferenciação entre os conceitos de equidade, sempre baseada em princípios econômicos. É a análise de um leque de opções preexistentes. Para cada uma delas, existem cálculos associados quantificando as responsabilidades de cada nação, fundamentais para os acordos sobre redução de emissões de gases de efeito estufa, mas que não revelam os pressupostos impossíveis de serem mensurados e embutidos em cada uma das alternativas consideradas.

2.2.2.2. INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Desde a reunião da Comissão *Brundtland* – que concebeu e aprovou o documento *Nosso Futuro Comum*, (1987)–, realizada na década de 1980, diversos estudos sobre desenvolvimento sustentável foram elaborados por instituições públicas, tais como o dos indicadores do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, que são calculados desde 2002 e envolvem quatro dimensões: ambiental, social, econômica e institucional (IBGE, 2004). Ou ainda, os confeccionados por instituições privadas, como é o caso do Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE) medido pela BM&F Bovespa – a bolsa de valores brasileira –, baseado em eficiência econômica, equilíbrio ambiental, justiça

[4]Gutierrez, 1998.

social e governança corporativa (Marcondes e Bacarji, 2010).

Em 2000, a ONU lançou o documento *Metas do Milênio* (*UN*, 2000) de modo a estabelecer oito grandes blocos de procedimentos a serem seguidos por toda a sociedade, com indicadores quantitativos e datas específicas a serem cumpridos. Foi uma tentativa de aliar mais praticidade à subjetividade que envolvia o tema.

Atualmente, está em negociação um Acordo Internacional para o Desenvolvimento Sustentável que leva em conta metas pós-2015, batizadas de *Objetivos de Desenvolvimento Milênio* (ODM), e a discussão iniciada durante a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (CNUDS), também conhecida como *Rio+20,* sobre *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável* (ODS).

Esse acordo prevê novos indicadores de desenvolvimento, cujas diretrizes visam utilizar métrica para o desenvolvimento que considere, além do PIB, impactos sociais, custos dos ativos e de serviços ambientais comprometidos na produção de bens e serviços, nível de renda nacional e acesso da população a serviços públicos – tais como saneamento, saúde, educação, mobilidade e cultura (CDES, 2011).

Um novo estudo foi apresentado no contexto do encontro internacional Rio + 20, intitulado *Metas de Consumo do Milênio* – ou *MCG*, na sigla em inglês, Apresentou importante perspectiva de foco nos consumidores e não apenas nos setores produtivos da sociedade. Como o ato de consumir pode ser considerado a principal força motriz das economias modernas, as *MCG*s buscam auxiliar no estabelecimento de um futuro mais aderente a princípios e conceitos intrínsecos ao tão propalado termo *desenvolvimento sustentável*.

Trata-se de algo que pode vir a ocorrer através de uma visualização mais explícita dos padrões insustentáveis de consumo, produção e exploração dos recursos naturais do planeta, que conduziram a crises múltiplas e, por ameaçarem a sobrevivência da humanidade, precisam ser reavaliados. Afinal, problemas como pobreza, dificuldade no acesso à água potável, fome, escassez de energia – ou insegurança energética –, epidemias e conflitos podem se intensificar no contexto de uma provável aceleração das mudanças climáticas globais – ou mesmo, de seu mais proeminente fenômeno, o aquecimento global.

Ou seja, a manutenção do cenário *business as usual*, no que tange, em especial, ao elevado padrão de consumo de combustíveis fósseis, passível de ser associada ao agravamento das emissões de GEEs previstas para o futuro (*IPCC,* 2007a), pode intensificar uma série de problemas para a vida de milhões de seres humanos provavelmente de pessoas integrantes de grupos sociais menos favorecidos sob a perspectiva socioeconômica, em um primeiro momento. As *MCG* buscam explicitar o quão insustentáveis são os estilos de vida de 1,4 bilhão de pessoas – cerca de 20% da população mundial – mais ricas. Elas consomem mais do que 80% de produção global – incluindo-se nesse cálculo, todos os possíveis itens gerados pelas diversas atividades econômicas que caracterizam a economia global –, ou 60 vezes mais do que o contingente de 1,4 bilhão de pessoas mais pobres do mundo.

Nesse contexto, cabe frisar que as *MCG* não surgem no sentido de taxar as parcelas mais ricas das sociedades como principais *culpadas* pelo agravamento dos problemas anteriormente mencionados. O que se pretende é que os ricos passem a consumir de modo sustentável, com a observância, por exemplo, dos frágeis ciclos naturais de reprodução da natureza.

As *MCG* complementam as Metas de Desenvolvimento do Milênio – *Millennium Development Goals* (*MDG*) – que a ONU adotou em, 2000 e foram planejadas para auxiliar no processo necessário de atendimento às necessidades básicas de milhões de pessoas à margem das benesses do atual estilo hegemônico de desenvolvimento econômico. Ou seja, a concepção das *MDG* se relaciona com a

intenção de mitigar problemas do *mundo pobre*.

As *MCG* não são objetivos compulsórios, mas sim um conjunto de pontos de referência a ser alcançado através de uma combinação de ações voluntárias realizadas por produtores e consumidores sustentáveis e apoiadas por programas ou ações governamentais.

Já a Iniciativa das Metas de Consumo do Milênio – do inglês *Millennium Consumption Goals Initiative* (*MCGI*) – foi lançada para alavancar sistematicamente a ideia das *MCG*. Alicerçada por uma ampla coalizão de *stakeholders* – termo que engloba todo tipo de agente diretamente envolvido no objeto da iniciativa –, foi batizada de *MCG Network* (*MCGN*).

Cabe mencionar que, no plano da definição das *MCG*, as metas estão sendo escolhidas pela *MCGN* de modo difuso – ou seja, não há, até o momento, objetivos definidos. A despeito disso, seu foco tende a recair sobre emissões de carbono e padrões de consumo de água e energia.

2.2.2.3. EQUIDADE E DIVISÃO DE RESPONSABILIDADES RELATIVAS A MUDANÇAS CLIMÁTICAS

No debate sobre mudanças climáticas, podemos identificar o uso da equidade – conforme definida pelos diversos autores supracitados – como própria de períodos transitórios, durante os quais a Justiça não ofereça instrumentos fortes e definitivos para apontar soluções. A teoria da argumentação de Perelman (1999) também pode ser útil para a compreensão de formulações de acordos internacionais envolvendo o debate sobre o clima mundial.

É muito presente a força da retórica dos blocos dos países ao procurarem definir as regras a serem seguidas, assim como na definição de conceitos – como é o caso do que se deve entender por equidade. O maior exemplo disso são os dois grandes blocos de países definidos como partes da *Convenção do Clima*: as dos países integrantes do Anexo I a tal documento, envolvendo tanto os países desenvolvidos como aqueles cuja economia se encontra em transição, e as dos países em desenvolvimento, todos eles ausentes do referido rol.

O dimensionamento das responsabilidades dos diferentes países é o ponto mais importante a ser explorado nesta seção, que discute qual a melhor forma de se gerenciar essas emissões mundiais de modo equitativo – seja através da análise de renda e emissões de GEEs *per capita* das demandas do desenvolvimento econômico envolvendo crescimento populacional ou dos respectivos produtos interno bruto.

Apesar dos países do Anexo I terem tido, historicamente, um número maior de representantes no *IPCC* –, mais de 70% (Miguez *et al.*, 2009), que influenciam diretamente a *Convenção do Clima* –, cabe observar que a proposta brasileira para esta última, datada de 30 de maio de 1997 (*UNFCCC*, 1997), causou bastante impacto sob dois aspectos: o da contabilização das emissões de gases de efeito estufa no passado pelos diversos países, que incorpora uma componente histórica dos modelos de crescimento dos mesmos, e o da imposição de uma pena, por meio da criação de um fundo alimentado por multas, às nações que descumpram metas futuras de redução para seu desempenho como emissoras.

Todos os participantes da *Convenção do Clima* consideraram a proposta brasileira inovadora, embora tenha chegado um tanto atrasada nas negociações (Goldemberg *et al.*, 2004). Alguns países, ainda hoje, utilizam as emissões pregressas de gases de efeito estufa como argumento para apontar as responsabilidades pelas mudanças climáticas em curso.

A proposta brasileira levava em consideração a responsabilidade histórica das emissões de GEEs pelos países desde o início da Revolução Industrial. Teve como premissa, o fato de que as mudanças climáticas não são determinadas pelo que se está emitindo hoje, mas sim, pelo efeito

acumulado da concentração daquilo que foi lançado na alta atmosfera ao longo dos últimos 150 anos aproximadamente. Incorporava aspectos científicos e metodológicos complexos, que foram estudados pelo *Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice* da *UNFCCC* (*SBSTA*) e, também, por um grupo *ad hoc*, batizado de *Modelling and assesssment of contributyions to climate change* (*MATCH*), no quinquênio até 2007, com recursos dos governos alemão e inglês coordenados pelo ECOFYS – grupo holandês especializado em consultoria sobre energia renovável.

Mesmo entre os países integrantes do Anexo I, existem blocos disputando poder nas negociações atinentes à questão do clima, à semelhança do que se pode observar, por exemplo, nas discussões para acordos internacionais de comércio exterior. Percebe-se aí, dois blocos principais de poder: o da Comunidade Europeia e o liderado pelos Estados Unidos. Já no rol das nações que não integram tal anexo, há um grupo identificado como grande emissor de gases de efeito estufa, formado por China, Brasil e Índia, que vem sendo pressionado pelos Estados Unidos para que se comprometa com metas de redução de emissões.

Outra forma de equidade é a que se refere à adaptação à mudança do clima. Para alguns países, como os Países Baixos e as ilhas oceânicas – aquelas que se encontram em pleno oceano, distantes do litoral –, as consequências de mudanças climáticas naquilo que diz respeito à elevação dos mares são de enfrentamento mais difícil do que para outros. Por exemplo, é iníqua a dimensão da vulnerabilidade à transformação do clima por parte de nações que emitem comparativamente pouco volume de GEEs, como é o caso das ilhas citadas.

Responsabilidade histórica é outra forma importante para análise da equidade entre gerações com respeito à mudança climática. Combatê-la, se justifica com base no argumento da justiça diacrônica.

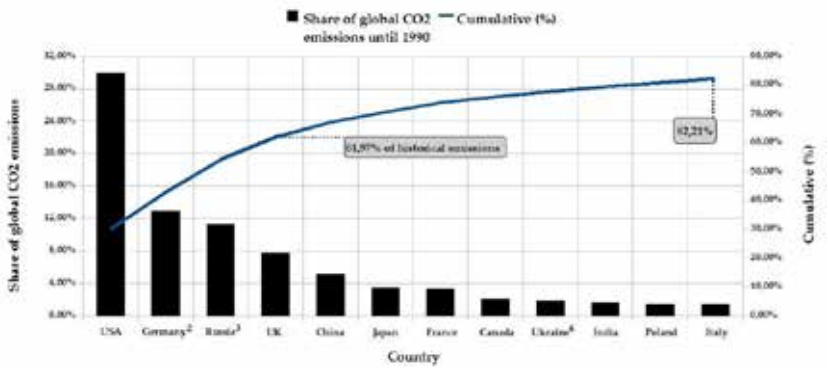
O fato de que as gerações futuras não poderão defender seus interesses perante a sociedade atual imbui a atual da responsabilidade moral de lhes entregar um mundo com, ao menos, tanto bem-estar quanto aquele hoje existente. Seria injusta, a subtração de qualidade de vida a um grupo de pessoas que não pode se defender, independentemente de que elas venham, no futuro, a assumir posturas completamente diferentes da exibida hoje por seus antecessores, seja em relação a este tema ou a qualquer outro. Tal é o princípio da justiça diacrônica: ele indica que se tenha a obrigação moral de preservar os interesses dos que virão.

Igualmente, o princípio moral que se aplica ao futuro deve ser estendido ao passado. As gerações que nos antecederam foram responsáveis pelo problema que estamos enfrentando hoje, na medida em que emitiram a maior parte dos GEEs que estão na atmosfera. Em seu tempo, ignorava-se o fato de que isso causaria danos ambientais. Ainda assim, a geração presente deve internalizar essas consequências, pois conforme acima discutido, não é moralmente aceitável empurrá-las para os tempos que virão. Sendo assim, há que definir quem, na geração atual, pagará mais e menos por aquilo que foi provocado por seus antepassados.

Ao se considerar que os habitantes de determinados países emitiram a maior parte dos GEEs, conforme representado na Figura 2.3, segue-se que seus descendentes devem ser responsabilizados por parte correspondente do ônus. Caso contrário, estar-se-á cometendo uma injustiça diacrônica com relação ao passado em nome da mitigação de outra, relativa ao futuro.

As figuras 2.4 e 2.5 evidenciam as diferenças entre países quanto às emissões acumuladas de CO_2 – mesmo as provenientes de mudanças no uso de solo e florestas –, bem como suas responsabilidades históricas. Por já terem alterado o modo de ocupação da maior parcela de seus territórios – se não a sua quase totalidade –, sobretudo por via de desmatamento, os países desenvolvidos apresentam evolução recente inversa quando comparados, neste aspecto, aos países em desenvolvimento, como evidenciado na Figura 2.5.

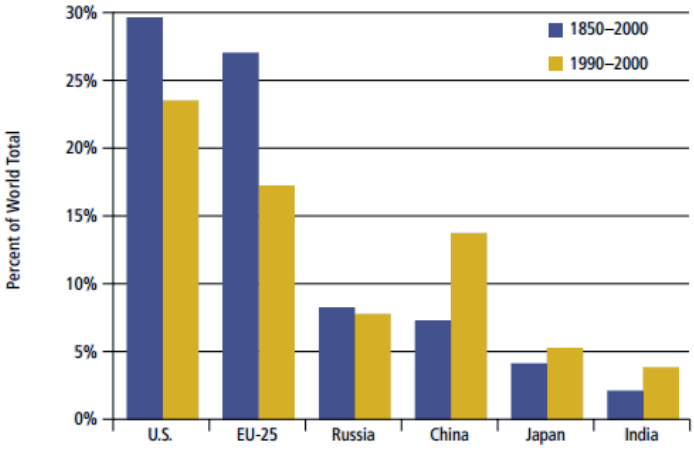
Figura 2.3. Volumes estimados de CO_2 lançados à atmosfera até 1990 pelos doze maiores emissores históricos entre todos os países.



1. As datas iniciais se baseiam no período em que o carvão passou a ser utilizado em larga escala: EUA (1800), Alemanha (1792), Rússia (1830), Reino Unido (1750), China (1899), Japão (1868), França (1802), Canadá (1785), Ucrânia (1830), Índia (1858), Polônia (1800) e Itália (1860). **2.** Inclui a República Democrática Alemã e a República Federal da Alemanha, existentes de 1949 a 1990. **3.** Inclui 85,74% das emissões pela União Soviética (1922 a 1991), igual à participação dos antigos estados soviéticos – exceto a Ucrânia – nas emissões de 2004 pela Comunidade dos Estados Independentes, em inglês *Commonwealth of Independent States (CIS)*. **4.** Inclui 14,26% das emissões da União Soviética – participação da Ucrânia nas emissões de 2004 pela *CIS – Commonwealth of Independent States*. **5**. Dados do *Carbon Information Analysis Center* (*CDIAC*).

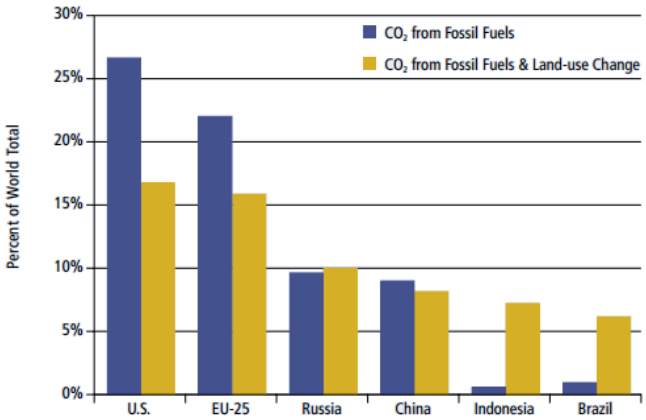
Fonte: Veiga & Vale (2009).

Figura 2.4 Emissões acumuladas de CO_2, Comparação entre os períodos de 1850 a 2000 e 1990 a 2000.



Fonte: Baumert *et al.* (2005)

Figura 2.5. Emissões acumuladas de CO_2, com e sem mudanças no uso de solo e florestas de 1950 a 2000.



Fonte: Baumert *et al*.(2005)

A alternativa é responsabilizar igualmente, tanto os descendentes dos que poluíram a atmosfera, quanto os daqueles que não o fizeram Trata-se de uma opção menos equânime à medida que, enquanto os primeiros colhem hoje, a maior parte dos resultados positivos daquela poluição; os últimos são triplamente prejudicados. Sem acesso à maior parte das riquezas geradas em decorrência dos processos produtivos que provocaram a emissão dos gases à atmosfera, os cidadãos dos países não emissores se vêem obrigados a encontrar uma nova maneira de gerar sua própria riqueza, pois já não poderão fazê-lo pelos mesmos métodos poluidores e habitam as regiões que serão mais afetadas pelas mudanças climáticas.

Deriva daí, o princípio das responsabilidades comuns, porém diferenciadas. Além da consideração explícita da responsabilidade histórica que – como mostram as figuras 2.3, 2.4 e 2.5 –, se restringe a uma dúzia de países, pode-se levar em conta uma série de outros critérios, entre os quais estão a capacidade de ação no presente e a contribuição de cada país para as metas comuns de redução das emissões no futuro.

2.2.3. DESAFIOS DAS POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO

A busca pela compreensão das mudanças climáticas é constante, sendo interessante se obter soluções que reduzam drasticamente a dependência atual do sistema econômico global com relação à emissão de GEEs (Holdren, 2003) e, ao mesmo tempo, permitam o acesso de bilhões de pessoas aos bens e serviços necessários ao processo de desenvolvimento (Pachauri, 2010) Uma busca que sintetiza o mais importante desafio coletivo já enfrentado pela espécie humana e que pode ser desdobrada em outras três, que representam as principais dimensões do esforço para mitigar os efeitos das mudanças climáticas.

O pano de fundo em torno das três questões que oferecem o quadro conceitual e metodológico para o estudo da mitigação é que, comparado a qualquer outro desafio já colocado ao longo da História, as mudanças climáticas são mais incertas, mais globais e se dão a prazo mais longo (Wagner e Zeckhauser, 2011). No mesmo sentido, Kevin *et al* (2009) mostraram que são temas complexos, pois envolvem a interação entre sistemas sociais e naturais. Suas políticas podem produzir consequências imprevisíveis e até, perversas e, seus resultados, cumulativos, têm ampliada a incerteza em sua abordagem.

A primeira questão – e é nela que se concentra este capítulo – consiste em avaliar a magnitude do desafio que as políticas de mitigação têm pela frente. Esta avaliação se apoia sobre duas noções

fundamentais e ausentes na elaboração do Protocolo de Quioto: espaço carbono[5] e orçamento carbono[6] (Pan e Chen 2010, Kanitkar *et al*, 2010 e *WBGU - German Advisory Council on Global Change*, 2009, Meinshausen *et al*, 2009). Como já afirmado pelo *IPCC*, é verdade que:
Definir o que é interferência antrópica perigosa ao sistema climático e, consequentemente, os limites a serem estabelecidos pelas propostas de políticas, é uma tarefa complexa que pode parcialmente se apoiar na ciência, uma vez que tais definições envolvem necessariamente julgamentos normativos[7] (*IPCC,* 2007a, p.97).

Mas, uma vez que a ciência mostra um aumento na probabilidade de eventos catastróficos capazes de comprometer o processo de desenvolvimento caso a temperatura vá além de certo patamar[8], é importante que se saiba qual é ele e quais são as chances de não ultrapassá-lo. O volume um do Primeiro Relatório de Avaliação Nacional discute a modelagem de algumas informações e cenários, sendo importante para a compreensão das possíveis alterações no parâmetro temperatura, por exemplo.

Subjacente à magnitude da mitigação está o duplo caráter das emissões de gases de efeito estufa, especialmente do dióxido de carbono. Por um lado, elas são a causa do aquecimento global e, portanto, é fundamental que sejam drasticamente reduzidas. Por outro, estas emissões estão relacionada ao aumento na oferta de bens e serviços necessários ao processo de desenvolvimento de muitos países (Kanitkar *et al,* 2010, *IPCC*, 2007b). A partilha da carga da mitigação entre diferentes países e setores sociais reflete esse aspecto duplo: o de como se reduzir as emissões de um sistema econômico ainda tão dependente dos combustíveis fósseis e, ao mesmo tempo, compreender quem tem o direito de ocupar o *espaço carbono* remanescente.

Assim, tal questão se torna ainda mais complexa diante do fato de que o crescimento econômico dos países em desenvolvimento responde, hoje, pela maior parte do aumento dos gases de efeito estufa lançados à atmosfera. Se no Brasil, o desmatamento é o principal emissor, tal não é o caso na China e na Índia, onde a oferta de energia está baseada, até aqui, em fontes fósseis.

É interessante pensar em outra forma de se reduzir emissões. Nessa direção, é importante analisar a possibilidade de substituição dos combustíveis fósseis – que respondem pela maior parte dos GEEs emitidos globalmente –, por fontes alternativas. Mas, esta segunda questão decisiva também se desdobra em outras duas.

Por um lado, se trata de identificar tecnicamente as possibilidades de substituição – e nesse sentido, os mais importantes estudos compilados pelo *IPCC* (2011) mostram um quadro promissor. Por outro, é necessário saber-se qual a probabilidade de esta substituição ser feita em um ritmo compatível com os limites que a manutenção dos serviços ecossistêmicos fundamentais impõe.

---

[5]Espaço carbono é a disponibilidade de absorção de gases de efeito estufa pela atmosfera, considerando-se a capacidade de captação por parte de florestas, oceanos e meios artificialmente elaborados com esta finalidade.
[6]Orçamento carbono é a quantidade de gases de efeito estufa que podem ser emitidos – dada a capacidade de absorção do espaço carbono – para que a temperatura global média da Terra não ultrapasse determinado patamar.
[7]Tradução livre de (…) *defining what is dangerous anthropogenic interference with the climate system and, consequently, the limits to be set for policy purposes are complex tasks that can only be partially based on science, as such definitions inherently involve normative judgements.*

[8]Dados recentes sobre a redução da espessura da camada de gelo no Oceano Ártico foram apresentados por Stroeve *et al* (2011). Já o estudo dos efeitos da elevação da temperatura em 26 diferentes regiões (May, 2011) mostrou que o Saara, o Norte e o Sul da Austrália e a Amazônia foram, potencialmente, as mais atingidas – ver May (2011) em Referências bibliográficas, ao final deste capítulo. Diffenbaugh e Scherer (2011) projetaram alterações nos regimes climáticos para o século XXI e concluíram que, não só nas áreas de alta latitude, mas nas regiões tropicais, sobretudo, é que estão as maiores chances de emergência de um regime climático quente no horizonte das duas próximas décadas.

Tais perspectivas, contudo, são bem menos animadoras do que quando se examina o tema a partir dos potenciais de cada fonte de energia alternativa aos combustíveis fósseis (Homer-Dixon, 2006; Martenson, 2011; Luderer *et al*, 2011).

A terceira pergunta traz à tona a questão da maneira como se usa a energia, independentemente de sua fonte ser ou não derivada de combustíveis fósseis. Aqui, o ponto de partida está no reconhecimento da necessária redução da intensidade material e energética das economias contemporâneas, naquilo que diversos autores chamam de *descasamento* – ou *decoupling*, no termo original inglês (*UNEP – United Nations Environment Programme*, 2011a; *UNEP* 2011b; Ayres e Ayres, 2011). Mas, mesmo se reduzindo, em termos relativos – por unidade de produto –, o consumo de materiais e energia, tal eficiência seria fortemente contrabalançada pelo aumento de população e de renda e, sobretudo, por um nível de desigualdade no uso dos recursos cuja manutenção é incompatível com a adequação entre o sistema econômico e os limites dos ecossistemas (Fischer-Kowalski, 2008, Herring e Sorrel, 2009).

Mitigação e adaptação são processos com objetivos diferentes, mas é importante se sublinhar (Moser, 2011) sua forte interdependência. Podem ser complementares. Por exemplo, a restauração de mangues em áreas costeiras amplia o armazenamento de carbono – mitigação – e, ao mesmo tempo, serve de proteção contra tempestades, funcionando como *habitat* e berçário de espécies marinhas – adaptação. Mas, pode também existir contradições entre as duas dimensões. O uso do ar condicionado – por exemplo – é uma forma de adaptação que prejudica o esforço de mitigação (Cox, 2010).

2.2.3.1. MAGNITUDE, ESPAÇO E ORÇAMENTO

Entre 2009 e 2010, apareceram três documentos importantes baseados na ideia de *orçamento carbono*.

No início de 2010, um grupo de pesquisadores da Academia Chinesa de Ciências Sociais, liderado pelo economista Jiahua Pan, publicou artigo em uma coletânea organizada pelo economista e engenheiro industrial R. K. Pachauri, desde 2002 dirigindo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (Pan e Chen, 2010).

Em julho de 2010, o primeiro ministro da Índia, Manmohan Singh, organizou um seminário sobre o tema em termos globais e acerca questão da equidade, intitulado *Global Carbon Budget and Equity in Climate Change*, cujos anais circularam durante a Conferência das Partes da *UNFCCC* (COP16), realizada em 2008, na mexicana Cancun, (Kanitkar *et al*., 2010).

Um ano antes, o conselho consultivo alemão sobre mudanças climáticas – o *WBGU* (2009) – já elaborara para a COP15, reunida em Copenhague, na Dinamarca, um relatório especial que recebeu apoio explícito não só da primeira-ministra da Alemanha, Angela Merkel, como também de Singh, seu colega indiano. Do ponto de vista conceitual e metodológico vale a pena ressaltar alguns pontos comuns a esses três documentos.

i) O *orçamento carbono* deve ser definido em função dos limites do *espaço carbono*, para o qual os autores do trabalho desenvolvido na Índia empregaram a expressão *global atmospheric commons* (Sanwal, 2010). Dado o caráter finito deste espaço atmosférico global comum, o preceito – ético e político – de se limitar emissões, exige a definição de um período a partir do qual elas passem a ser fortemente declinantes, para que se chegue em 2050 – o horizonte adotado pelos três trabalhos – a um patamar que não comprometa de forma irreversível o equilíbrio climático. Segundo o *WBGU* (2009), para que a elevação da temperatura tenha 67% de probabilidade de se manter abaixo de dois graus centígrados, seria necessário limitar as emissões até tal data a, no máximo, 750 bilhões de toneladas métricas anuais – 750 Gt CO_2. Caso se decida ampliar tal chance até 75%, as emissões lançadas na atmosfera deverão cair a 600 Gt CO_2.

Nos três documentos, advoga-se que este movimento declinante deveria ter início entre 2015 e 2020, sob o risco de que o objetivo mais geral não possa ser alcançado. O estudo de Luderer *et al* (2011, p.23) – baseado em diversos modelos dos efeitos de políticas climáticas de longo prazo – chegou a resultados semelhantes, como se lê a seguir:

> *Postergar a política climática tem forte efeito sobre a economia da mitigação. Todos os modelos apontam que a meta de 450 partes por milhão se tornará inatingível se o mundo seguir a trajetória de referência até 2030*[9].

O quarto relatório do IPCC já mostrava que o ritmo de crescimento das emissões se havia intensificado de 1,16 ao ano entre 1970 e 1984 para 1,9% ao ano entre 1990 e 2004. O exame feito pouco antes da COP15, realizada em Copenhague, por Rogelj *et al*. (2009), acerca dos impactos potenciais dos planos de redução de emissões de No capítulo 3 da contribuição do *WG*III ao *AR*-IV do *IPCC*, tal horizonte de redução é caracterizado como forte em contraposição aos intermediários e menos ambiciosos. Sua concretização exigiria uma redução de nada menos que 80% do volume de emissões globais previstas até 2050.

Quanto mais tardio este momento de reversão, maior será a dificuldade de se promover a descarbonização da economia mundial. Se o pico das emissões fosse atingido em 2011, o ritmo do declínio teria que ser de 3,7% ao ano para que se chegasse a uma situação sem ameaças em 2050. Se o início desse esforço se desse em 2015, este ritmo saltaria para 5,3% ao ano. Adiado para 2020, a velocidade do declínio teria que atingir 9% ao ano (*WBGU*, 2009).

O alarmante é que, a se manterem os níveis atuais de emissões, este patamar de 750 Gt CO^2 anuais seria atingido já em 2035, tornando muito mais difícil sua reversão. Este horizonte é fortemente corroborado por trabalhos recentes, como o de New (2011), que examinaram as consequências de um nível de elevação de temperatura quatro ou mais graus centígrados.

O *IPCC* (2007b) já mostrava que o ritmo de expansão das emissões havia se intensificado desde o período de 1970 a 1984, quando cresceu 1,16% ao cem países, ofereceu um resultado desolador, como se pode ler a seguir.

> *Integralmente, para o grupo de países do Anexo I, em 2020, os gases de efeito estufa provenientes de fontes industriais – ou seja, todas as fontes com exceção do uso de solo e de florestas – estarão em uma faixa entre 8 e14% abaixo dos níveis de 1990, se os compromissos assumidos atualmente continuarem sendo seguidos. Isto é muito menos do que os 25 a 40% de redução exigida para este grupo de países para o mesmo período, gases e fontes, caso o limite de aquecimento for definido em torno de 2 °C*[10] (Rogelj *et al*., 2009, p.82).

---

[9]Tradução livre de: A delay in climate policy has a strong effect on the economics of mitigation. All models find that the 450 ppm target becomes unattainable if the world follows the baseline trajectory until 2030.

[10] Tradução livre de: *Overall, for the Annex I countries as a group, greenhouse gas emissions from industrial sources — that is, all sources except land-use change and forestry — would be in the range of 8–14 per cent below 1990 levels by 2020 if current commitments were followed through. This is far less than the 25–40 per cent reductions required from this group of countries for the same period, gases and sources if warming is to be limited to around 2 °C*

Mas, mesmo entre as nações em desenvolvimento, o panorama não inspira mais otimismo, como informaram Rogelj e seus coautores em 2009:

> *Os compromissos coletivos para os países não Anexo I seriam reduzir as suas emissões em torno de 4% abaixo do cenário* **business as usual** *de emissões esperadas para 2020. Estas reduções também são substancialmente menores do que o necessário para atingir uma meta de emissão consistente com os limites de aquecimento de 2°C, o que requereria 15-30% menos do que o* **business as usual** *até 2020*[11]*(Rogelj et al., 2009, p.82).*

ii) É interessante se descobrir de quem é o direito de ocupar o *espaço carbono* remanescente. O princípio das responsabilidades comuns – mas diferenciadas – está na origem do Protocolo de Quioto. Os três trabalhos aqui em destaque (Pan e Chen, 2010; Kanitkar *et al*., 2010 e *WGBU*, 2010) reconhecem a necessidade de se considerar as emissões ocorridas no passado, mesmo que indiquem momentos iniciais para este cálculo bem diferentes uns dos outros.

É igualmente interessante se observar, em Kanitkar *et al*. (2010), a menção ao fato de que, no mínimo desde 1970, a comunidade científica já tinha conhecimento do processo de aquecimento global, tema já incluído na pauta da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente de 1972, em Estocolmo[12]. Mais que isso: segundo Sanwal (2010), dois terços das emissões cumulativas dos países desenvolvidos foram lançados na atmosfera após 1970. Ainda, Kanitkar *et al*. (2010) mostraram que as emissões de dióxido de carbono provenientes do uso de combustíveis fósseis foram de 332 gigatoneladas entre 1850 e 2009: desse total, 109 Gt CO_2 correspondiam ao período compreendido entre 1850 e 1970.

Pan e Chen (2010) propuseram que se tomasse por base o ano de 1900 e o *WGBU* (2010), mesmo admitindo que 1990 devesse ser a data de início do cálculo – em função do relatório do *IPCC* – propôs, por uma questão de realismo, que se partisse de 2010. A distância entre as emissões dos países é tão grande que os resultados das diferentes formas de se contabilizar o volume de GEEs lançado no passado são menos importantes do que a convergência decorrente do objetivo de se reduzir o fosso na ocupação do *espaço carbono*. O problema vai além: mesmo quando se parte da situação verificada em 2010 – e não em 1970 ou 1900 – o esforço de convergência para reduzir as desigualdades é gigantesco.

É também importante assinalar que, embora a proposta alemã tenha sido a de se transitar em direção à convergência a partir de 2010, ela envolveu, o pagamento da ocupação do *espaço carbono* pelos países que maior volume de GEEs emitiu no período entre 1990 e 2010 (*WGBU*, 2009 p.2).

Em suma, nos três documentos a ênfase está não apenas nas necessidades de se reduzir as emissões e de se *descarbonizar* a economia mundial, mas também na maneira como o *espaço carbono* remanescente será partilhado entre os diferentes países – ou *burden-sharing in mitigation*, conforme a expressão encontrada à página 7 da obra de Kanitkar *et al* (2010).

iii) O terceiro ponto de convergência entre os três documentos é que, tanto a responsabilidade histórica como o direito a ocupar o *espaço carbono* remanescente deve ser objeto de um cálculo *per capita*. Cada país dispõe de um *capital atmosférico* (*WBGU*, 2009), estimado em função de suas emissões e população, que pode ser negociado – inclusive por mecanismos de mercado – para

---

[11] Tradução livre: de: *The collective commitments of non-Annex I countries would reduce their emissions to about 4 per cent below anticipated BAU emissions for 2020. These reductions are also substantially less than those needed to get on a global emissions pathway consistent with limiting warming to about 2 °C, which would require 15–30 per cent below BAU by 2020.*

[12] Kanitkar *et al* (2010, p.42) mostraram que, em 1968, durante uma conferência organizada pela American Association for the Advancement of Science – preparatória à conferência de Estocolmo –, pesquisadores norte-americanos já mostravam evidências do aquecimento global.

favorecer o processo de transição. Mas aqui, há uma diferença crucial nas abordagens examinadas.

Pan e Chen (2010, p.15) preconizaram que a base deste cálculo fosse o consumo:

> *(...) a abordagem das necessidades básicas, tal como desenvolvida pelos pesquisadores chineses, volta sua atenção aos requerimentos de emissão derivados do lado do consumo, tendo em vista a preocupação com a equidade interpessoal.*

Já o trabalho alemão levou em conta não o consumo de seus habitantes, mas as emissões de seu sistema produtivo. A diferença é que, em *WGBU* (2010), países em desenvolvimento exportadores de petróleo tais como Venezuela, Arábia Saudita e Kuwait, estão entre os de maior emissão *per capita*, junto com os que integram o Anexo 1. Já no cálculo feito com base no consumo, a China seria nitidamente favorecida, uma vez que nada menos do que um terço de suas emissões corresponde a exportações, segundo informação do CICERO Senter for klimaforskning, instituição internacional de pesquisas sobre clima e meio ambiente sediada em Oslo, na Noruega (Clark, 2009)[13].

De qualquer maneira, o objetivo do cálculo *per capita* é duplo: em primeiro lugar, trata-se de reduzir as desigualdades implícitas no cenário das emissões de GEEs. A atual média mundial é de 2,7 toneladas de carbono *per capita* – considerando-se somente o que é lançado na atmosfera pelo uso de combustível fóssil. Mas os maiores emissores acusam patamar superior a 12 toneladas – nos EUA e na Austrália, esse nível chega quase a 20 –, enquanto que as nações mais pobres contabilizam volume em torno de uma tonelada. Em 1996, a China emitiu 2,5 toneladas *per capita* e, em 2006, havia dobrado suas emissões, chegando a cinco toneladas. Nesse período, mesmo tendo ampliado em 55% o volume de GEEs que lançou à atmosfera, a Índia alcançou em 2006, pouco mais de uma tonelada *per capita* e o Brasil, duas[14].

Em segundo lugar, tão importante quanto a redução da desigualdade, é o declínio geral nas emissões, que devem chegar, em 2050, a uma tonelada anual por habitante, considerando-se apenas o volume gerado por combustíveis fósseis. Trata-se de um ponto sobre o qual o documento alemão insiste com especial ênfase, mas que está também presente na posição indiana e, de forma bem menos nítida, no estudo chinês.

Os três trabalhos só levam em conta as emissões decorrentes da queima de combustíveis fósseis. O trinômio conhecido em inglês como *Land Use, Land Use Change and Forests* (*LULUCF*), ou seja, uso da terra, alteração do uso da terra e das florestas, não é considerado. Isso explica a posição relativamente confortável em que se encontra o Brasil na comparação internacional.

Há duas razões para isso: em primeiro lugar, trata-se de voltar ao âmago do funcionamento do sistema econômico mundial e da sua dependência em relação a combustíveis fósseis – aspecto em que será mais difícil o esforço para se diminuir as emissões de carbono. Isso quer dizer, em última análise, que é perfeitamente possível prover os bens e serviços necessários para se ampliar o acesso às necessidades humanas básicas, sem devastação florestal. Nesta decisão metodológica, entretanto, não estão incluídas agricultura e pecuária nem a emissão de gás metano decorrente de tais atividades Em segundo lugar, a exclusão do *LULUCF* reflete o temor de que o financiamento da

---

[13] Matéria do jornal britânico The Guardian mostra que o tema é extremamente polêmico: Dieter Helm, professor de Economia na Universidade de Oxford, declarou que "focar no consumo, em vez de na produção, é a única solução intelectual e eticamente sadia. Nós simplesmente terceirizamos nossa produção". Já Jonathon Porrit, na época diretor da Comissão de Desenvolvimento Sustentável da Grã-Bretanha rejeitou este método de cálculo, sob o argumento de que ele introduziria uma dupla contagem incompatível com qualquer acordo internacional.

[14]Estas informações estão abertas no site do The Guardian:
Disponível em http://www.guardian.co.uk/environment/datablog/2009/sep/02/carbon-emissions-per-person-capita Acessado em 30 de setembro de 2012

manutenção da integridade das florestas tropicais seja levado adiante por meio de compensações que atrasem o processo de transformação tecnológica necessário à descarbonização das economias altamente dependentes de energia de origem fóssil.

iv) Os três documentos estimam o montante de carbono que ainda pode ser emitido por cada país no período considerado, tendo por base o respeito à decisão de se reduzir a ameaça de catástrofe climática e um cálculo de emissões *per capita*. Segundo o trabalho alemão, se fosse levado em conta o período entre 1990 e 2050, este total seria de 1,1 Mt CO_2 anuais. A se considerar o período de 2010 a 2050, o volume máximo total emitido capaz de evitar uma situação catastrófica seria de 750 Gt CO_2 anuais, conforme já assinalado anteriormente.

Assim, os números variam em cada documento segundo a data considerada ponto de partida para os cálculos. Mas, nos três casos, o importante é a partilha das emissões remanescentes sobre uma base *per capita* – quer se leve ou não em conta as responsabilidades históricas.

A Tabela 2.1, mostra a diferença entre uma partilha equitativa e a situação atual – seja tendo por base o ano de 1850 ou o de 1970. Os Estados Unidos, por exemplo, com apenas 5% da população mundial, já teriam ocupado, até 2009, nada menos que 29% do *espaço carbono*, se o cálculo começar em 1850. Mas, mesmo que a contagem parta de 1970, é enorme o contraste entre a partilha equitativa e a atual – da ordem de 5% e 25%, respectivamente.

Tabela 2.1. *Partilhas equitativa e real do* espaço carbono

Países/regiões	Partilha equitativa	Partilha atual	Partilha atual
	% sobre a população em 2009	% sobre a população em 1850	% sobre a população em 1970
EUA	5	29	24
Outros países integrantes do Anexo I	14	45	41
China	20	10	13
Índia	17	3	3
Outros países emergentes	15	9	12
Restante do mundo	29	4	5

Fonte: Kanitkar *et al*, 2010

A tabela 2.2 mostra a diferença entre os direitos de emissão de GEEs no período entre 1970 e 2050 – *total entitlements*, na terminologia do documento em inglês –, com base na população atual e tendo em vista o objetivo de se evitar uma situação de catástrofe, e as reais emissões de cada país ou bloco de nações. O resultado é que, aqueles que integram o Anexo I, exibem um grande déficit – de 100,38 GtC – ou seja, ocupam muito mais do que aquilo a que teriam direito sobre uma base de cálculo *per capita*.

Tabela 2.2. *Direitos totais, emissões reais com base em 1970*

Ano-base: 1970	Direitos totais no período de 1970 a 2050 baseados na população de 2009 e orçamento estimado de 300 gigatoneladas de carbono (GtC) entre 2010 e 2050.	Participação real na formação do estoque histórico de carbono de 1970 a 2009.	Direitos totais – total entitlements – de 2009 em diante.
	Em GtC	Em GtC	Em GtC
Países integrantes do Anexo I	117,99	218,37	- 100,38
China	123,69	44,72	78,97
Índia	110,00	10,83	99,17
Resto do mundo	280,32	58,08	222,24

Fonte: Kanitkar *et al*, 2010

Um cálculo semelhante foi feito por Pan e Chen (2010), mostrando igualmente o déficit no *orçamento carbono* dos países integrantes do Anexo I. Os números são diferentes dos apresentados pelo estudo dos autores indianos, mas o raciocínio é basicamente o mesmo: as nações que fazem parte do Anexo I – sobretudo os Estados Unidos e a maior parte dos países europeus – já usaram seu *espaço carbono* por conta de suas emissões acumuladas, mesmo que sejam feitos ajustes de cálculo sobre suas necessidades básicas *per capita* considernado, por exemplo, o fato de que em um clima frio, há maior necessidade de aquecimento e, portanto, de emissões correspondentes.

O estudo do *WGBU* (2009) mostra o tempo remanescente para que o *espaço carbono* seja ocupado com base em dois cenários: um deles, nutrido por dados de 1990 a 2050, e o outro, do período iniciado em 2010. No primeiro, com as emissões de 2008 se mantendo constantes até 2050, isso significaria que, em 2007 e em 1999, respectivamente, a Alemanha e os Estados Unidos já teriam ultrapassado seus respectivos *orçamentos carbono*. Burkina Faso, em contrapartida, ainda teria 2.810 anos para alcançá-lo, mantido o mesmo nível de suas emissões em 2008; a Índia, 103; o Brasil, 55 – mas a China, apenas 23.

Se o cálculo se iniciar em 2010, como propôs o *WBGU*, a realidade será apenas um pouco menos drástica para os países mais ricos do mundo: os Estados Unidos teriam seis anos para dar início a uma rápida queda em suas emissões e, a Alemanha, uma década. O horizonte em que, mantidos os níveis atuais de emissões, a China rapidamente se transformaria de superavitária em deficitária, está também no cálculo feito por Pan e Chen (2010), com a diferença de que, para esses pesquisadores, tal reversão seria alcançada em apenas dez anos.

A Tabela 2.3. informa que a China, apesar de seu superávit histórico, já emitia, ao final da primeira década do milênio, muito mais do que seu *orçamento carbono* anual lhe permitiria e, portanto, deveria ingressar rapidamente em rota de declínio. Em contrapartida, por este critério de cálculo, Índia e Burkina Faso, por exemplo, ainda deteriam direitos de emitir gases por períodos bastante longos, respectivamente de 88 e mais de 2.000 anos. É uma situação bem diferente da brasileira, cujas emissões atuais – contando apenas as derivadas da queima de combustíveis fósseis – são menores do que aquelas a que o País teria direito em uma divisão equitativa com base no critério alemão (*WBGU*, 2009).

Tabela 2.3. *Orçamento carbono de países selecionados de 2010 a 2050.*

População e emissões relativas a 2008. Manutenção da elevação da temperatura em menos de 2° C até 2050.

	% da população mundial em 2010	*Orçamento carbono* equivalente em gigatoneladas de CO_2 de 2010 a 2050		Emissões equivalentes estimadas, em gigatoneladas de CO_2 e baseadas no volume de 2008	Anos até se esgotar o *orçamento carbono* com base nas emissões de 2008
		No período integral	Ao ano		
Alemanha	1,2	9	0,22	0,91	10
Estados Unidos	4,6	35	0,85	6,1	6
China	20	148	3,6	6,2	24
Brasil	2,8	21	0,52	0,46	46
Burkina Faso	0,24	1,8	0,043	0,00062	2892
Japão	1,8	14	0,34	1,3	11
Rússia	2,0	15	0,37	1,6	9
México	1,6	12	0,29	0,46	26
Indonésia	3,4	25	0,62	0,38	67
Índia	18	133	2,3	1,5	88
Maldivas	0,0058	0,043	0,0011	0,00071	61
União Europeia	7,2	54	1,3	4,5	12
Mundo	100	750	18	30	25

Fonte: *WBGU*, 2009

2.2.3.2. O LONGÍNQUO HORIZONTE DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS

É imprudente a maneira como a imprensa internacional veiculou os resultados do *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation* (*SRREN*) do *IPCC* (2011), lançado em Abu Dabi, nos Emirados Árabes. Na verdade, a notícia de que 80% da energia mundial poderiam advir de fontes alternativas em 2050 corresponde a uma possibilidade técnica – e também, claro, a uma exigência ética e política de se evitar os piores cenários –, mas não a uma estimativa sobre os meios econômicos de concretizá-la.

O *SRREN* do *IPCC* (2011) revisou mais de 70 cenários para fontes renováveis de energia, indicando diversas trajetórias possíveis para a descarbonização da economia mundial e antevendo a possibilidade de que 80% da matriz energética global, em 2050, fosse constituída por fontes renováveis. Mas existe uma distância grande entre tal possibilidade virtual e as reais tendências da relação entre essas duas procedências energéticas.

É verdade que não se pode subestimar as conquistas que foram obtidas nessa direção, expressas em números citados no documento do *IPCC* (2011), tais como o fato de que 47% do aumento na capacidade de geração de energia elétrica no mundo, em 2008 e em 2009, teve origem em fontes não fósseis e de que os países em desenvolvimento responderam por mais da metade desta elevação. Ou ainda, como a informação de que, em 2009, a energia eólica se expandiu em 32% e a originária de células fotovoltaicas, em 53%. No mesmo exercício, a participação de

biocombustíveis na matriz energética mundial dos transportes cresceu de 2%, em 2008, para 3%.Também, ampliou-se de maneira considerável, o uso de energias renováveis descentralizadas, sobretudo em regiões rurais.

A curva de aprendizagem das energias renováveis tem levado à redução de seus preços: o valor do silício – presente nas células fotovoltaicas – caiu de US$ 65, em 1976, para US$ 1,4 em 2010. O custo da produção elétrica eólica nos Estados Unidos diminuiu de US$ 4,3 por *watt*, em 1984, para US$ 1,9, em 2009.

Apesar desses inegáveis avanços, não se pode dizer que seja alta a probabilidade de que o sistema mundial se emancipe de sua dependência de energia fóssil nos próximos 40 anos. O ponto de partida das energias renováveis é muito baixo e isso mascara as altas taxas de crescimento.

A cifra de quase 13% da matriz mundial, na verdade, corresponde nos países pobres majoritariamente à biomassa para cocção e, em menor proporção, para aquecimento. As energias mais promissoras partem de um patamar quase irrisório: 0,1%, no caso da solar e da geotérmica; 0,2%, no da eólica e 2,3%, no da hidrelétrica, cujos limites de crescimento são conhecidos. Quanto à moderna bioenergia, até aqui, somente o etanol de cana-de-açúcar oferece eficiência energética e econômica, apesar do otimismo que cerca o celulósico.

Esta é a razão pela qual, longe da convergência em torno de uma suposta independência das energias fósseis em 2050, anunciada com certo alarde na imprensa mundial, os cenários estudados pelo *IPCC* são, na verdade, bem menos otimistas. Mais da metade deles consideram que em 2030, as energias renováveis comporão 17% da matriz total, chegando a 27% em 2050. Apenas poucos apontam para perspectivas de 43% em 2030 e 77% em 2050.

No eixo da transição para fontes energéticas alternativas encontra-se, também, a questão da desigualdade. Deve-se compreender sobre quais fontes de energia serão construídos os serviços e a infraestrutura necessária para que se alcance a satisfação de necessidades básicas das sociedades, cujos indicadores de desenvolvimento são atualmente precários. Assim, segundo Purkayastha e Mandal (2010, pp.20), participantes do seminário em torno da proposta indiana de *orçamento carbono*:

> (...) *a questão que a Índia enfrenta consiste em saber se é possível reduzir a intensidade energética da economia antes de atingir um nível mínimo de desenvolvimento.*

Esses autores verificaram que, é necessário um mínimo de consumo de energia *per capita* para se alcançar certo patamar de desenvolvimento. E que, para atingir, por exemplo, o consumo energético *per capita* de Portugal em 2005, a Índia teria que elevar sua oferta a uma velocidade de 9,1% ao ano até, pelo menos, 2038. A essa altura, eles questionaram quais seriam as chances de se chegar a tais metas a partir de um caminho produtivo com uso baixo de carbono. Encontraram a resposta na energia nuclear ou solar, já que o potencial eólico do País é relativamente acanhado e que as materias-primas necessárias à bioenergia possuem usos alternativos inibidores de seu emprego. A Índia prevê que, em 2020, produzirá 40 mil MW de energia nuclear, além de outros 20 mil, de solar.

O custo do MW nuclear varia de U$ 5 milhões – quando produzido por equipamentos importados da Finlândia – a U$ 7,5 milhões – se a importação for junto aos Estados Unidos. Já a energia solar custaria U$ 4,5 milhões por MW, cinco vezes mais do que a produzida por uma usina de carvão. E, como o fator de utilização – ou *plant load factor*, para o termo em inglês – da energia solar é de 25% contra 80% das usinas a carvão, a diferença de custo por *watt* gerado é ainda maior. É evidente que não é possível conceber a construção da infraestrutura e dos serviços básicos para o desenvolvimento sobre uma base energética tão dispendiosa.

Ao mesmo tempo, a descarbonização tardia das economias dos grandes países em desenvolvimento

– sobretudo, China e Índia – traz custos globais capazes de comprometer as metas de redução de emissões no longo prazo. Os resultados da síntese de Luderer *et al*. (2011) são transcritos a seguir.

> *(...)estudo do Stanford Energy Modelling Forum, baseado em um trabalho coordenado de dez modelos integrados de avaliação, mostrou que um atraso nas ações de mitigação das grandes economias emergentes até 2030 e de outros países não integrantes do Anexo I até 2050, faz com que a ambição de atingir o objetivo de 445 ppm de CO_2-eq seja virtualmente impossível de ser alcançado, e aumenta de forma significativa os custos para se atingir a meta intermediária de 550 ppm CO_2-eq.*[15]*(Luderer et al. 2011, p.16).*

O cenário de base do qual partem os modelos sintetizados no estudo de Luderer *et al* (2011) mostrou o claro predomínio de combustíveis fósseis até 2100, como se vê na Figura 2.6. Nela, as três projeções variam em função da oferta de energia alternativa aos fósseis – um modelo global multiregiões apresentado por Leimbach *et al*. (2009), o *ReMIND-R baseline,* – e em função da redução da intensidade energética das economias – o modelo regional *WITCH baseline*, desenvolvido pelo grupo de mudança climática da italiana *Fondazione Eni Enrico Mattei* (Bosetti *et al*., 2006; Bosetti *et al*., 2007), no qual a natureza não cooperativa das relações internacionais é explicitamente levada em conta.

Representadas nos gráficos, as projeções não são previsões, apenas objetivam evidenciar o impressionante abismo entre as necessidades de mudanças nas fontes e modos de uso da energia para que haja chances de se manter a temperatura no limite de aumento de dois graus centígrados.

Do ponto de vista conceitual e metodológico, duas questões são cruciais: a primeira consiste em se saber quais os investimentos necessários para que a aceleração do uso de fontes não fósseis na geração de energia – sobretudo, da elétrica – seja possível. Isso vai depender, em grande parte, do preço a ser cobrado pelas emissões de GEEs, ou seja, do mercado de carbono.

Além disso, é necessário levar em conta também, a velocidade das inovações capazes de acelerar a disponibilidade de energias renováveis. As perspectivas oferecidas pela utilização comercial do etanol celulósico são tão importantes quanto o é a curva de aprendizagem em energia solar e eólica, cuja geração é feita a preços cada vez menores.

Mas, nada indica que a economia mundial esteja na iminência de apoiar sua base energética em energias renováveis. Longe de conduzir a um puro e simples impasse, esta constatação é um convite para que se coloque a ênfase na maneira como se usa a energia atualmente – na qual o espaço de mudança é extraordinário – como será visto, de modo breve, no próximo item.

[15] Tradução livre de: "complementary to those of the Stanford Energy Modeling Forum study which found, based on a coordinated study of ten integrated assessment models, that a delay in mitigation action by the large emerging economies until 2030, and other non-Annex I countries until 2050 makes an ambitious 450 ppm CO_2-eq target virtually impossible to achieve, and raises costs significantly for the intermediate 550 ppm CO_2-eq target"

Figura 2.6. Oferta de energia primária em *IMACLLIM-R* e *WITCH* para o caso-base, nos painéis a, b e c, e o cenário de política padrão com estabilização de concentrações atmosféricas de CO_2 em 450 ppm, nos painéis d e f.

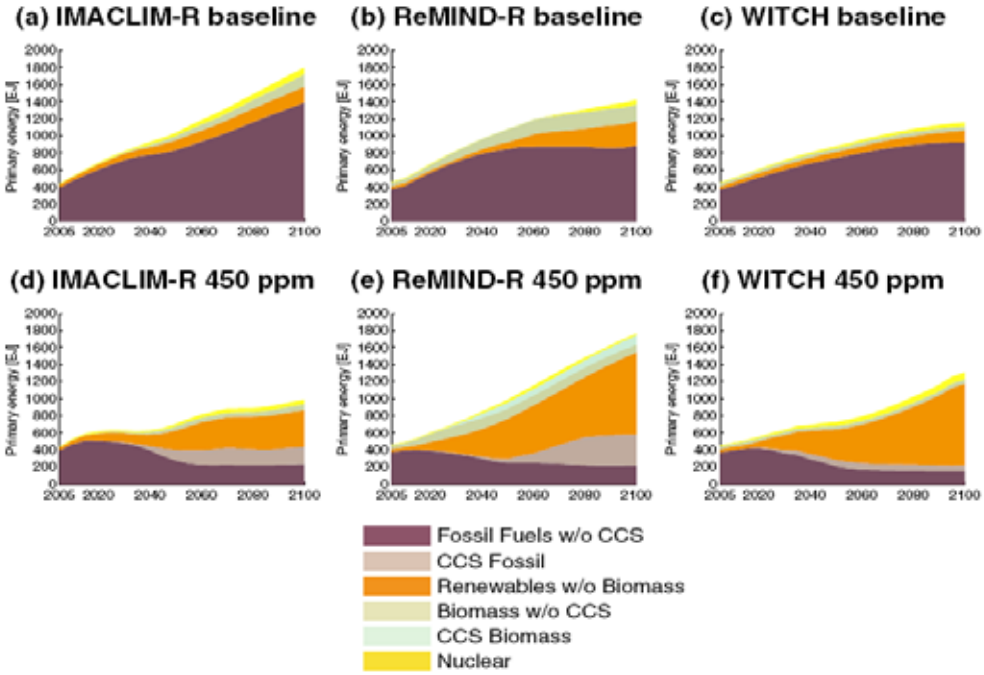


Fig. 5 Primary Energy Supply in IMACLIM-R, ReMIND-R and WITCH for the baseline case (a–c) and the default policy scenario with stabilization of atmospheric CO_2 concentrations at 450 ppm (d–f)

Fonte: Luderer *et al.*, 2011.

2.2.3.3. INTENSIDADE ENERGÉTICA E PADRÕES DE CONSUMO

Os Estados Unidos exprimem bem as dificuldades da transição para uma economia de baixo carbono. Mesmo que o esforço para tornar a economia norte-americana independente de combustíveis fósseis seja equivalente ao mobilizado durante a Segunda Guerra Mundial, levará ao menos três décadas para que fontes alternativas substituam o petróleo de forma significativa na matriz energética daquele país, segundo estimaram Ayres e Ayres (2011). Os custos adicionais da construção de novas usinas nucleares, após o acidente da usina de Fukushima, no Japão, só tendem a dilatar esse prazo.

Lester e Finan (2009), pesquisadores do Massachusetts Institute of Technology (MIT), estudaram a intensidade energética do País, suas fontes alternativas e o horizonte de crescimento econômico até 2050 e concluíram que:

> *Em síntese, o desempenho da economia norte-americana em termos de eficiência energética e* descarbonização *– minimizar ao máximo a emissão de carbono em qualquer atividade –, está muito aquém do necessário para atingir o objetivo. Uma indicação do tamanho da tarefa a ser enfrentada é que se o declínio da intensidade energética da economia mantivesse, nos próximos 25 anos, seu ritmo atual, o crescimento econômico* per capita não poderia ser superior a 1% ao ano até 2050, mesmo com aumento espetacular da instalação de equipamentos de energia solar e eólica e com o avanço *da captação de*

carbono para compensar a geração de energia carbonífera[16] (Lester e Finan, 2009, p. 14).

Lester e Finan mostraram que, mesmo um crescimento médio de 2% nos próximos 40 anos – relativamente modesto, exigiria um declínio inédito na intensidade energética norte-americana, conforme se lê a seguir.

> *Posto que a maior parte das tecnologias para energia de baixo carbono é mais cara que as dominantes, que se apoiam em fontes de altas emissões, esta análise também chama a atenção para a necessidade de um fluxo sustentado de inovações em vários campos (Lester e Finan, 2009 p.14)*[17]

É significativo – conforme demonstraram Robert Ayres e Edward Ayres (2011), o potencial de ampliação da eficiência energética das economias contemporâneas. Mas a repercussão destes ganhos de eficiência sobre as emissões de gases de efeito estufa tem que levar em conta o que Leonardo Maugeri, do Belfer Center for Science and International Affairs da Harvard Kennedy School do MIT, chama de *a próxima revolução do petróleo*[18] e que beneficia também, a exploração de gás. Seu trabalho (2012) apontou que, até 2020, os quatro principais fornecedores mundiais de petróleo serão Estados Unidos, Canadá, Brasil e Iraque.

Mais que isso: o *fraturamento hidráulico*[19] oferece um horizonte inédito de ampliação da produção de gás, parcialmente em substituição ao carvão. O principal resultado disso é a diminuição do uso de carvão na geração de energia elétrica nos Estados Unidos, sobretudo a partir de 2011. Apesar da redução nas emissões na produção de energia nos EUA, o relatório anual da consultoria PriceWaterhouse de 2011 não hesitou em chamar de *retomada suja* a recuperação do crescimento econômico nos Estados Unidos após a crise de 2008.

De fato, o volume de emissões de GEEs, segundo esse documento (PwC, 2011, p. 6, tabela 1), havia subido nada menos que 4,1% em um ano. Já em 2012, os gases de efeito estufa de procedência norte-americana, lançados à atmosfera, declinaram 1,9% – o que se explica fundamentalmente pela substituição do carvão pelo gás, decorrente das explorações por *fraturamento hidráulico*.

Esta substituição é uma das bases do otimismo de Maugeri (2012) com as perspectivas, que segundo ele, são promissoras, de utilização de combustíveis fósseis nos próximos anos nos Estados Unidos. Mas mesmo que o gás seja menos prejudicial do que o carvão, ele é também um combustível fóssil. Além disso, resta a questão sobre como se neutralizar os efeitos do uso do petróleo – sendo que este emprego de gás está associado à sua exploração. O citado autor evocou o potencial da geoengenharia. No entanto, até aqui, os projetos de captura e armazenagem de carbono não

[16]Tradução livre de: In essence, the recent energy efficiency and decarbonization performance of the U.S. economy falls far short of what would be required to achieve the goal. One indication of the size of the task ahead is that if the energy intensity of the economy were to continue to decline at the same rate as during the last 25 years, the economy could not grow faster than roughly 1% per year per capita between now and mid-century, even with extraordinarily high rates of installation of solar, wind, geothermal, nuclear and coal-fired generating capacity with carbon capture and storage.

[17]Tradução livre de: Since most of the low carbon energy supply technologies are more expensive than the incumbent high-carbon energy sources, this analysis also draws attention to the need for a sustained flow of innovations in many different fields of application in order to bring.

[18]Maugeri, 2012.

[19]Tradução livre: O fraturamento hidráulico é uma técnica de exploração de petróleo que consiste em introduzir líquido numa camada de pedra, daí resultando fraturas por onde vão escoar petróleo e gás.

mostraram capacidade de atenuar os efeitos das emissões decorrentes do uso de combustíveis fósseis.

2.3. FORÇAS MOTRIZES, TENDÊNCIAS E MITIGAÇÃO

2.3.1. INTRODUÇÃO

Conforme anteriormente discutido, um dos grandes desafios atuais para a humanidade é encontrar formas de expandir a qualidade e a quantidade energia, mantendo e ampliando sua sustentabilidade ambiental e econômica, com garantia do uso eficiente dos recursos energéticos. As evidências do impacto da atividade econômica sobre o meio ambiente se acumularam na última metade do século XX e no início do XXI. Os efeitos da acumulação de GEEs e suas consequências sobre o clima são uma delas.

Do ponto de vista econômico, pode-se considerar que o meio ambiente passou de um recurso de uso comum e disponibilidade ilimitada para a categoria de bem escasso (Siebert, 2008). Utilizado como bem público de consumo, recurso natural ou receptáculo de resíduos, ele se mostra crescentemente tensionado pelas atividades humanas. Como esta demanda para diferentes usos parece estar bastante acima da disponibilidade e da capacidade de recuperação dos meios físicos, alguns dos usos competitivos devem ser reduzidos ou eliminados – ou seja, geridos.

A mudança climática pode ser considerada como um complexo problema de *externalidade*[20] , termo utilizado por economistas para caracterizar fenômenos econômicos que repercutem para além dos preços de mercado. Assim, do ponto de vista da teoria econômica, a mudança climática pode ser considerada uma *externalidade* ampla e complexa, com grande incerteza sobre seus efeitos (Tol, 2009). Isto se deve ao fato de que as origens das emissões de GEEs são as mais difusas e variadas possíveis, tendo, portanto, forças motrizes associadas a praticamente qualquer atividade humana exercida no meio ambiente.

Existe uma antiga discussão sobre o efeito do crescimento econômico na degradação ambiental, na depleção de recursos naturais e nos determinantes das forças motrizes que aceleram o aquecimento global. A discussão das relações entre meio ambiente e economia remete à discussão de *limites* ao crescimento econômico.

Na década de 1970, um estudo intitulado *Os limites do crescimento* (Meadows *et al.*, 1972), foi preparado por uma equipe de pesquisadores do Massachusetts Institute of Technology e patrocinado pelo Clube de Roma – criado em 1968 por lideranças variadas de diversos países, inclusive prêmios Nobel, economistas, políticos, chefes de estado e, até mesmo, associações internacionais, com o fim de promover o crescimento econômico estável e sustentável da humanidade.Seu texto argumentava que o crescimento contínuo da economia teria chegado ao extremo e que o mundo estava entrando na *era dos limites*.

Entretanto, tais resultados foram contestados por diversos especialistas (*e.g.* Nordhaus, 1992). Por fim, no começo da década de 1990, esta hipótese da pressão do crescimento econômico sobre o meio ambiente foi retomada no âmbito das mudanças climáticas, especialmente a partir dos primeiros relatórios do *IPCC*.

Com o crescimento das evidências das mudanças climáticas como resultado da ação humana, passa a ser relevante buscar, para o caso brasileiro, as principais fontes históricas de emissões de GEEs e entender quais as forças motrizes abrigadas em suas raízes. Enquanto País de renda média,

[20]Na teoria econômica, externalidade se refere a um efeito externo da atividade econômica que afeta o bem-estar – ou custos – de outro agente e não é intermediada por preços ou compensada. Ou seja, seus custos não são observados pelos agentes (Pigou, 1920; Baumol e Oates, 1995).

com expectativa de se tornar a quinta economia do mundo, o Brasil enfrenta o enorme desafio de propor e cumprir seus compromissos voluntários internacionais quanto à mitigação dos efeitos desse processo emissor.

Para ilustrar, o cenário de referência utilizado no estudo do Banco Mundial sobre a produção de baixo carbono em território brasileiro prevê para 20 anos um crescimento de 32% nas emissões de gases de efeito estufa, o que significa um ritmo de expansão de pouco mais de 1% ao ano (Gouvello *et al.*, 2010).

A diferença entre estes números e a meta brasileira proposta em Copenhague (*UNFCCC*, 2009a), coloca o desafio de mitigação enfrentado pelo Brasil. Em que pesem todos os avanços, ainda não está claro como o País poderá conciliar desenvolvimento e sustentabilidade, mitigando o efeito dos gases emitidos, processo que influi não apenas sobre o meio ambiente, mas também sobre a economia, a sociedade, a política, a cultura e a segurança.

Apesar da importância das mudanças no uso de solo como fonte de emissões, as atividades produtivas também têm um papel relevante no Brasil, especialmente quanto ao uso de combustíveis fósseis para a produção, como está descrito em estudos que serão analisados neste documento.

Um tema a ser revisto é o de viabilidade e custo de políticas de redução de emissões de GEEs na economia brasileira, como são os casos da limitação e a comercialização de certificados de direitos emissores ou da cobrança de taxas sobre o carbono[21]. Existem poucas estimativas acerca de quais impactos estes mecanismos teriam sobre a economia e o comportamento emissor brasileiro. Por exemplo, uma política agressiva na direção de sua redução, poderia representar um entrave à expansão da fronteira agrícola ou ao crescimento mais acelerado do PIB.

Mitigação, definida como redução nas emissões de GEEs, envolve mudanças na utilização de recursos naturais, combustíveis fósseis, e energias alternativas, além de eficiência energética e modificações em direção a um padrão de consumo menos intensivo em carbono. Alguns destes movimentos podem ser induzidos pelas próprias forças da economia de mercado, uma vez que modificações tecnológicas e alterações nas preferências dos agentes econômicos passem a levar em consideração a necessidade de redução das emissões. Entretanto, diversas condicionantes implicam que o mercado pode falhar no encaminhamento de uma transformação como essa, dado as incertezas, as deficiências de informação e os custos envolvidos. Abre-se, assim, espaço para políticas públicas que induzam processos de mitigação de emissões de GEEs.

Os itens aqui apresentados buscam identificar estudos que analisem as complexas inter-relações das causas básicas e próximas das emissões de GEEs, com o objetivo de elaborar políticas capazes de mitigá-las ao menor custo econômico, social e cultural possível, na realidade deste século XXI. Em vez de se supor a simples continuidade de tendências verificadas em décadas passadas, o que se procura é entender a rede causal como base para a escolha de possíveis intervenções eficazes e viáveis, levando-se em conta a diversidade regional no Brasil.

Assim, serão examinadas as forças motrizes que podem ser associadas a emissões de GEEs, a tendência futura das mesmas e suas perspectivas de mitigação no Brasil. O foco é a produção acadêmica a respeito de tais temas, em especial o da associação entre fatores socioeconômicos e o

[21]Os mecanismos de cap and trade se referem a uma definição de teto – cap – e um mecanismo de comercialização – trade – em politicas de controle de poluição. Esse tipo de mecanismo foi adotado em diversos países para distintos problemas de política ambiental. Uma resenha destas experiências está em Stavins (2003). Políticas de taxação de carbono são propostas de criação de impostos que incidem sobre o conteúdo de carbono de bens e serviços. Não existem muitos exemplos de políticas deste tipo, mas pode ser citada a que foi implementada na Austrália, no inicio de 2011 – vide Guglyuvatyy, 2010. Alguns autores comparam políticas de cap and trade com taxação de carbono, na tentativa de avaliar a melhor resposta para o problema do aquecimento global (Avi-Yonah e Uhlmann, 2009).

processo emissor dos gases de efeito estufa.

2.3.2. FORÇAS MOTRIZES, TENDÊNCIAS E MITIGAÇÃO

2.3.2.1. MUDANÇAS NO USO DE SOLO E FLORESTAS

As emissões decorrentes da mudança do uso do solo e de florestas, conforme aponta o *Segundo Inventário Brasileiro de Emissões* (Brasil, 2010), referem-se às emissões e a remoções.

- *Remoção líquida de gases de efeto estufa por sumidouros na linha de base é a soma das mudanças nos estoques de carbono nos reservatórios dentro dos limites do projeto que teriam ocorrido na ausência das atividades de florestamento ou reflorestamento do projeto (§ 1-c).*

- *Remoção atual líquida de gases de efeito estufa por sumidouros é a soma das mudanças verificáveis nos estoques de carbono nos reservatórios dentro dos limites do projeto, menos os aumentos das emissões por fontes de gases de efeito estufa medidos em CO2 equivalente decorrentes da implementação das atividades de florestamento ou reflorestamento do projeto, evitando-se a dupla contagem, dentro dos limites do projeto".*

- *Remoção de gás de GEEs associadas ao aumento ou diminuição do carbono na biomassa – acima ou abaixo do solo – pela substituição de um determinado tipo de uso da terra por outro, como, por exemplo, a conversão de uma floresta para agricultura ou pecuária, ou a substituição de uma lavoura por reflorestamento*.

Também são consideradas as emissões e remoções pelo uso da terra não submetida a uma mudança, por crescimento ou perda de carbono sob um mesmo tipo de uso, como por exemplo, crescimento de uma vegetação secundária, ou mesmo da vegetação primária em áreas manejadas (Brasil, 2010).

Tendo em vista sua importância para as emissões no Brasil, seus determinantes devem ser estudados e, em princípio, alguns elementos podem ser citados, tais como a expansão da fronteira agrícola, a modificação de cultivos, a pavimentação de estradas, as obras de infraestrutura e a ocupação de solo urbano.

Os fatores determinantes da mudança no uso do solo se associam a diversas causas. Segundo Gouvello *et al*. (2010), nos biomas Amazônia e Cerrado, por exemplo, a expansão da fronteira agropecuária atrelada à construção de novas rodovias e migração humana determina o padrão de desmatamento local, que também é influenciado pelas forças de mercado, através do efeito nos preços dos produtos da agricultura, da pecuária e de recursos naturais.

Fronteira agrícola e desmatamento

As emissões de GEEs decorrentes de mudança no uso de solo eram a principal fonte desse fenômeno ambiental no Brasil, conforme as estimativas *do Segundo Inventário Nacional de Emissões* (Brasil, 2010): responderam por cerca de 60% do volume total emitido em 2005. Deve-se ressaltar que, outras estimativas recentes para o período entre 2006 e 2010 (MCTI, 2013) também indicaram queda nas taxas de desmatamento resultante em redução das emissões associadas a modificações na utilização da terra. Assim, o padrão emissor de gases de efeito estufa no País se aproxima daquele das economias desenvolvidas, enquanto relacionado ao emprego de combustíveis fósseis e geração de energia.

O desmatamento está, em geral, associado ao avanço da fronteira agrícola, embora muitas vezes também o esteja à abertura de estradas, obras de infraestrutura e expansão urbana. A região amazônica tem sido um dos principais focos na questão do desmatamento.

Diversos trabalhos consideraram que – nas duas últimas décadas do século XXI –, o processo de desmatamento tem sido resultado das decisões econômicas sobre usos alternativos da terra. Esta nova dinâmica está ligada, principalmente, ao mercado externo, impulsionada pela rentabilidade das principais atividades, como a extração madeireira, a pecuária e, nos últimos anos, a agroindústria (Fearnside, 2003; Margulis, 2003; Alencar *et al.*, 2004 e Diniz *et al.*, 2009).

A expansão da fronteira agropecuária foi apontada como o principal responsável pelas emissões oriundas de desmatamento e as mudanças de uso de solo no Brasil, com destaque para a pecuária (Chomitz e Thomas, 2001; Margulis, 2003; Fearnside, 2005, Rivero *et al*, 2009; Barona *et al*, 2010; Oliveira Junior *et al.*, 2010). As fazendas de médio e grande porte já responderam por cerca de 70% das atividades desmatadoras (Fearnside, 2005). Chomitz e Thomas (2001) constataram que, mais de 75% das terras desmatadas acabaram sendo utilizadas como pastagens no bioma Amazônia em território brasileiro. No entanto, evidências recentes indicaram que, em termos relativos, a agricultura está se expandindo a uma taxa maior do que a pecuária (Morton *et al.*, 2006, Mertens *et al.*, 2002; Kaimowitz *et al*, 2004).

Segundo esses autores, o desmatamento na fronteira agrícola foi, em média, o dobro do da área para as pastagens e tal conversão ocorreu muito rapidamente. Mais de 90% das clareiras para lavouras foram plantadas no primeiro ano posterior à derrubada da mata. A expansão do agronegócio ocorreu notadamente com a cultura de soja ocupando o que fora pasto (Alencar *et al.*, 2004, Laurance *et al.*, 2004).

Em tal contexto, as queimadas configuraram o primeiro passo para o desmatamento na região amazônica. Fazem parte do processo de produção e estão associadas à expansão agrícola na Região Norte e Centro-Oeste do País. Contudo, a utilização do fogo também gera custos econômicos, ambientais e sociais.

Mendonça *et al.* (2004) os estimaram quando relacionados a incêndios acidentais de pastagens, perdas florestais, emissões de carbono e impactos sobre a saúde humana. Seus cálculos sugeriram um custo anual variando de U$ 90 a U$ 5,055 milhões em 1998, equivalente a entre 0,2% e 9% do PIB da Amazônia Legal, região sócio-política oficial que cobre 59% do território brasileiro e é composta pelos sete estados do Norte do Brasil, o de Mato Grosso, no Centro Oeste e a maior parte do território do Maranhão. A grande variação nos resultados é fruto da influência da mensuração das emissões de CO_2, dado as incertezas relacionadas às estimativas de estoques de carbono.

O referido estudo calculou anda, a liberação de entre 36 a 476 megatoneladas de carbono na atmosfera ao ano em decorrência de queimadas.

Defries *et al.* (2008), por seu turno, avaliaram as emissões decorrentes das queimadas para as várias transições no uso da terra no Estado do Mato Grosso, entre 2001 e 2005. Incêndios associados a desmatamento contribuíram com emissões equivalentes à ordem de 67 Mt de carbono ao ano[22] – de cujo volume, 17 e 50 MtC anuais exaladas a partir da conversão de lavouras e pastagens, respectivamente –, ao passo que a conversão de savanas e pastagens existentes para lavouras liberaram 17 megatoneladas de carbono por ano.

Grandes clareiras contribuíram com 67% das emissões, embora representem apenas 10% dos eventos de desmatamento nesse Estado do Centro-Oeste. Segundo os autores, portanto, seria necessário intensificar-se a produção agrícola – entendida como o aumento de produtividade por hectare – em áreas já desmatadas, além da adoção de políticas públicas para se desestimular a abertura de grandes clareiras e reduzir as principais fontes emissoras de GEEs, decorrentes de incêndios.

[22] 1 Megatonelada de carbono (MtC) equivale a mil gigagramas (Gg) ou 10^3 Gg de carbono.

Números para as emissões históricas de gases de efeito estufa por desmatamento foram apresentados em Fearnside (2002). Indicaram a predominância da derrubada da vegetação como causa principal do volume líquido de CO_2 emitido na poção brasileira do bioma Amazônia. Comparados em termos de efeito no balanço emissor de GEEs anual por mudança no uso da terra, o processo desmatador respondeu por volume equivalente a 359 Mt de CO_2 – ou CO_2-eq –, enquanto que a exploração madeireira acrescentou à atmosfera 62 Mt CO_2-eq. O crescimento de floresta secundária em 1990, por sua vez, absorveu 29 Mt CO_2-eq, o que equivale a reduzir em apenas 2,4%, o total emitido desses gases excluindo-se da conta, hidrelétricas e pastagens.

Fearnside *et al*. (2009) apresentaram estimativas mais recentes de emissões derivadas de uso de solo no Brasil – especificamente nos estados de Mato Grosso e Rondônia, que são responsáveis por mais da metade do desmatamento na Amazônia Legal . Além disso, o trabalho estimou as taxas de derrubada de mata e lançamento de gases de efeito estufa no bioma Cerrado à atmosfera, que não têm sido incluídas no monitoramento do processo desmatador ocorrido no Brasil. Assim, a emissão conjunta aferida nesses dois estados brasileiros – o equivalente a 56,9 Mt CO_2 –, pode ser comparada à provocada anualmente pela combustão de combustíveis fósseis – aproximadamente 80 Mt de carbono.

O impacto da expansão da fronteira agrícola no Mato Grosso também foi estudado por Galford *et al*. (2010). Por meio de sensoriamento remoto, o trabalho concluiu que as áreas de cultivo mais do que dobraram entre 2001 e 2006, cobrindo cerca de 100.000 quilômetros quadrados. A conversão da vegetação natural e da pastagem em cultivos agrícolas resultou em uma média equivalente a 179 Mr CO_2 emitidas ao ano, o que corresponderia a mais da metade do volume gerado pelo uso de combustíveis fósseis no Brasil nesse mesmo período.

Dentro dessa mesma temática, projeções de Gouvello *et al*. (2010) apontaram que o desmatamento responderá pela maior parcela das emissões anuais de GEEs provocados pela mudança de uso de solo e florestas até 2030 – acima do equivalente a 533 megatoneladas de CO_2 anuais. Considerando-se a agricultura e a pecuária, esse tipo de processo emissor aumentou, ao longo do período, a uma taxa anual equivalente a 346 Mt CO_2 ao ano. Em contrapartida, o sequestro de carbono representaria apenas 1% do volume total de gases de efeito estufa emitido – o equivalente a 29 Mt CO_2 ao ano, caindo para 20 Mt CO_2 em 2030.

Tais projeções sugeriram que, até 2030, as emissões totais provocadas pela mudança de uso do solo e florestas crescerão 25%, alcançando volume equivalente a 916 mil toneladas de CO_2 ao ano. Outra estimativa pode ser encontrada em Soares Filho *et al*. (2006). Através de um modelo espacial de desmatamento, os autores concluíram que, até 2040, esse processo poderá ceder 40% em relação ao patamar atual de 5,4 milhões de quilômetros quadrados da floresta amazônica, liberando até 32 gigatoneladas de carbono para a atmosfera – o equivalente a volume igual a mais de quatro anos de emissões realizadas por todo o planeta no patamar atual[23].

No final de 2009, o governo brasileiro apresentou na COP15, realizada Copenhague, metas nacionais voluntárias de reduções de emissões de GEEs até 2020 – de 36,1% a 38,9% dos volumes de GEEs projetado para o período. Propôs-se a fazê-lo, sobretudo, por meio da diminuição no mesmo prazo de 80% na taxa de desmatamento do bioma amazônico, inserido nos 5 milhões de quilômetros quadrados da Amazônia Legal brasileira, o equivaleria a menos 564 Gg de CO_2-eq em 2020 (*UNFCCC*, 2009a).

De julho de 2005 a julho de 2009, o desmatamento declinou 36% em relação a seus níveis históricos (INPE, 2009). Nepstad *et al*. (2009) apontaram que, para alcançar essa redução, o Brasil expandiu as áreas protegidas na Amazônia Legal de 1,26 para 1,82 milhões de quilômetros quadrados e cancelou crédito para proprietários de terras ilegais, conjugado a uma certa retração na

[23] Projeções considerando um cenário business as usual.

expansão das atividades agropecuárias na região. Ainda de acordo com esse estudo, se observada a meta traçada em Copenhague, o resultado provocaria uma queda de 2 a 5% nas emissões globais de carbono.

No âmbito dessa mesma discussão, Caetano *et al*. (2011) estimaram o saldo líquido de CO_2 decorrente de reflorestamento na poção brasileira do bioma Amazônia. Seus resultados indicaram que uma meta de emissão de CO_2 para 2020 como a proposta pelo governo brasileiro em Copenhague, requer, para uma área de floresta estimada de 3,7 milhões quilômetros quadrados, o reflorestamento de 454,037 mil em tal extensão. Esses autores sugeriram que, embora o crescimento econômico regional possa estimular um ambiente político mais favorável, o corte de 38,9% das emissões de carbono até 2020 pode se configurar como objetivo muito ambicioso.

Carvalho *et al*. (2009) analisaram a conversão do bioma Cerrado em terras agrícolas na porção Sudoeste da Amazônia Legal Quantificaram aí, o sequestro de carbono do solo – tal como os fluxos de gases de efeito estufa – considerando os sistemas de plantio direto[24] – no-*tillage*, em inglês – e convencional para as culturas de soja e arroz. Dado os estoques de carbono, as medições indicaram que os solos sob plantio direto apresentaram maior fixação de carbono em comparação ao da vegetação de cerrado nativa e àqueles cultivados por plantio convencional.

No tocante à expansão da fronteira agrícola e ao deslocamento de cultivos no território brasileiro, é relevante considerar, ainda, as consequências da produção de biocombustíveis no País – sobretudo, a partir da cana-de-açúcar –, em função das alterações que ela pode causar quanto ao uso da terra e à realocação de culturas, o que poderia gerar impactos nefastos sobre o meio ambiente e as emissões de GEE.

Sparovek *et al*. (2008) analisaram a expansão da cana-de-açúcar no Brasil de 1996 a 2006 e seu efeito sobre o meio ambiente. Os resultados indicaram que esse cultivo não teria contribuído para o desmatamento direto nas regiões agrícolas tradicionais. A ampliação da produção de cana-de-açúcar no bioma amazônico no Nordeste brasileiros teria ocorrido a taxas muito menores, se comparada à produção agropecuária. Para ambas essas regiões, não é esperado aumento significativo da área plantada por tal cultura agrícola que tem se expandido por terras do Sudeste e do Centro-Oeste do País.

Pacca e Moreira (2009) analisaram o potencial de mitigação dos efeitos de emissão de gases de efeito estufa derivados do programa de etanol no Brasil desde 1975, incluindo o acarretado pela mudança de uso da terra. Seus resultados mostraram que a neutralização do carbono liberado por este último processo foi atingida apenas em 1992. O patamar máximo mitigador da indústria de cana-de-açúcar foi alcançado em 2006: 128 toneladas de CO_2 por hectare. As projeções para esse setor indicariam que, em 2039, ele corresponderia a 836 toneladas de dióxido de carbono por hectare, o que equivale a 5,51 quilos desse gás por litro de etanol produzido.

Em um segundo estudo, os mesmos autores (2011) argumentaram que, apenas 4% da área mundial de terras cultiváveis disponíveis seriam suficientes para produzir biocombustíveis em quantidade capaz de alimentar a frota mundial de automóveis.

Figueiredo *et al*. (2010), por outro lado, analisaram a contribuição do sistema de produção e

[24] O plantio direto é uma técnica de cultivo na qual se procura manter o solo sempre coberto por plantas em desenvolvimento e por resíduos vegetais. Essa cobertura tem por finalidade protegê-lo do impacto das gotas de chuva, do escorrimento superficial e das erosões hídrica e eólica. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), plantio *direto é a semeadura de culturas sem preparo do solo e com a presença de cobertura morta ou palha, constituída dos restos vegetais originados de cultura anterior conduzida especificamente para produzir palha e às vezes também para grãos. Geralmente o plantio direto é aplicado no cultivo de sucessões simples, tais como: soja/milheto, soja/milho-safrinha (milho semeado de dezembro até o final de fevereiro), soja/trigo, soja/aveia-preta etc., por vários anos seguidos, não se utilizando, portanto, um sistema organizado de rotação de culturas*. (Embrapa, 2012).

colheita de cana-de-açúcar para as emissões de GEEs no País, quantificando as emissões de CO_2 decorrentes das atividades de duas usinas durante a safra de 2006 e 2007. O estudo demonstrou que 241 quilos de dióxido de carbono são liberados para a atmosfera para cada tonelada de açúcar produzido. E apontou que a maior parte das emissões totais – 44% – resultou da prática de queima de resíduos, associada a cerca de 20% resultantes do uso de fertilizantes sintéticos e de 18% derivados da queima de combustíveis fósseis. Esses autores sugeriram que a redução nas emissões de gases do efeito estufa pelo referido plantio pode ser alcançada com a troca por um sistema de colheita verde – em inglês, *green harvest* –, isto é, sem queima.

Estimativas dessas mudanças na forma do plantio e/ou colheita da cana-de-açúcar podem ser encontrados em Figueiredo e La Scala (2011) e Bayer e Mielniczuk (2000). Esses especialistas elaboraram suas projeções em relação a emissões de GEEs a partir da conversão de áreas de plantio de cana-de-açúcar para queimadas em zonas de colheita verde. Os resultados obtidos apontaram que o uso de fertilizantes sintéticos e a queima de resíduos são responsáveis por grande parcela das emissões no setor agrícola brasileiro. Tais estimativas indicaram, entretanto, que essa conversão seria capaz de evitar um lançamento equivalente a entre de 310,7 quilos a 1,484 toneladas de CO_2 na atmosfera – sendo que este último valor já considera o sequestro de carbono do solo.

Dessa forma, segundo tais autores, o desenvolvimento da produção de etanol e açúcar no Brasil pode avançar para reduzir a prática de queimadas e do uso de diesel, adotando, além disso, práticas de adubação mais eficientes, como a do plantio direto. Deve-se ressaltar, entretanto que estes estudos não consideraram o balanço de emissões da cana-de-açúcar.

Bayer e Mielniczuk (2000), por sua vez, analisaram os efeitos que os sistemas de preparo e cultura têm sobre a mitigação dos efeitos de emissões de CO_2. A partir de simulações dos estoques de carbono orgânico e nitrogênio no solo em culturas no Sul do Brasil, observou-se que a utilização do plantio direto associado a sistemas de manejo sem revolvimento do terreno ou alto aporte de resíduos, apresentou efeito mitigador positivo.

Valorização de florestas

Como resposta ao desmatamento, é comum a argumentação de que a solução estaria na valorização e na proteção das florestas (Costanza *et al.*, 1997; Fearnside, 1999; Groot *et al.*, 2002; Wunder *et al*, 2008). Existem algumas possibilidades neste sentido, tanto por meio de manejo florestal para a produção de madeira, quanto por emprego de produtos florestais não madeireiros.

A criação de unidades de conservação ambiental (UCs) no Brasil durante a década de 1990 – regulamentada pela Lei 9.985 em 2000 – faz parte de políticas adotadas como resposta à alta taxa de desmatamento observada na Amazônia Legal nesse período. Ainda existem controvérsias se, de fato, por si só, tal iniciativa seria suficiente para mitigar o efeito das emissões de gases no Brasil, pois a existência de poucas áreas protegidas não resolveria problema tão extenso, ao passo que, se forem muitas, poderão estimular o corte de vegetação natural nas áreas não o são.

Conforme apontou Fearnside (2003), interesses díspares de diferentes grupos ajudam a explicar a grande quantidade de programas e tipos de unidades de conservação na Amazônia Legal.

Alguns trabalhos estudaram a possibilidade da prestação de serviços ambientais nessa área do País. Borner *et al*. (2007) desenvolveram um modelo bioeconômico – que trata a interdependência e coevolução da economia e dos ecossistemas naturais no espaço e no tempo – para avaliar os efeitos de vários tipos de políticas sobre serviços ambientais prestados na microrregião de Bragantina, município do Estado do Pará inserido na Amazônia Legal. O programa piloto de particular

interesse no estudo foi o Proambiente[25], que usa esquemas de pagamento a pequenos produtores para incentivá-los a gerir os recursos da terra e da floresta de forma sustentável.

Os resultados sugeriram que a agricultura leva a uma redução de serviços ambientais prestados pelos agricultores, principalmente se considerando a manutenção de florestas secundárias, uma vez que a primeira ainda garante maior rentabilidade. Ainda assim, verificou-se um aumento de áreas de conservação em decorrência do mecanismo de pagamentos por esse tipo de serviço – conhecido como pagamento por serviços ambientais (PSA). A partir da mesma metodologia, Vosti *et al*. (2003), mostraram que a retirada sustentável de produtos madeireiros por pequenos proprietários rurais também poderia reduzir a derrubada de vegetação de mata, embora as áreas de clareira não se modifiquem significativamente.

Na região amazônica, os esforços para se colocar em prática o manejo florestal comunitário obtiveram resultados apenas modestos, segundo alguns estudos. Pokorny e Johnson (2008) e Medina *et al.*, (2008) analisaram diferentes comunidades no bioma Amazônia[26]. Algumas delas negociavam seus direitos de extração de madeira com madeireiras e outras, recebiam apoio de agências de desenvolvimento para manejo florestal comunitário.

De 2005 a 2008, quase todas teriam adotado a primeira prática, em razão da maior renda assim auferida se comparada à resultante do manejo florestal comunitário que atraiu a participação de menos de 2% delas. Custos elevados – de US$ 25.000 a US$ 377.000 por comunidade – e falta de conhecimento técnico e retorno financeiro relativamente baixo, mesmo com agências de desenvolvimento subsidiando o sistema, foram algumas das razões apontadas pelo estudo para o relativo fracasso do projeto (Medina *et al.*, 2008).

A superação desses obstáculos, segundo Pokorny e Johnson (2008), deve começar a partir do incentivo de práticas desenvolvidas localmente, com ênfase em educação e extensão. O acesso das comunidades a áreas de florestas públicas também deveria ser ampliado, conjugado a investimentos adequados em infraestrutura, formação e equipamento.

Análise semelhante foi feita para comunidades no Estado do Acre (Drigo *et al.*, 2009). A percepção negativa em termos dos direitos de propriedade econômica e legais sobre terras florestais desempenharia um papel crucial na recusa à adesão a projetos de manejo florestal comunitário. As diferentes avaliações do valor da floresta por agricultores tradicionais, seringueiros e uma nova geração destes últimos, habitante de reservas extrativistas, teriam criado dificuldades a tais projetos. Sua dependência em relação a organizações não governamentais (ONGs) e a financiamentos, aliada à própria falta de organização interna e de requisitos de qualidade e produtividade foram apontadas como dificuldades encontradas pelas comunidades locais para participarem dessas iniciativas.

Redução das emissões por desmatamento e degradação florestal (REDD)

Os mecanismos de redução das emissões por desmatamento e degradação Florestal (REDD) surgiram nas discussões do *SBSTA* da *UNFCCC*, em 2006. Possíveis políticas e incentivos para reduzi-las em países em desenvolvimento foram, então, analisadas, assim como questões científicas, socioeconômicas e metodológicas no que concerne às florestas tropicais e ao ciclo do carbono, visando alcançar o objetivo da *Convenção do Clima* (Holloway e Giandomenico, 2009).

---

[25] Segundo o Ministério do Meio Ambiente, o *Programa de Desenvolvimento Socioambiental da Produção Familiar Rural (Proambiente) tem como objetivo promover o equilíbrio entre a conservação dos recursos naturais e produção familiar rural, por meio da gestão ambiental territorial rural, do planejamento integrado das unidades produtivas e da prestação de serviços ambientais*
Fonte: Disponível em http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=33 Acesso em 14 de fevereiro de 2012.
[26] As áreas de estudo compreenderam quatro comunidades no Brasil, duas no Peru e duas na Bolívia.

Através do REDD, um país em desenvolvimento cujo solo abrigue florestas tropicais que esteja disposto a implantar e comprovar a execução de programas de redução de emissões de GEEs resultantes de desmatamento e degradação florestal pode obter incentivo ou compensação financeira. Em sua essência, o mecanismo objetiva mudar as estruturas tributárias em favor da proteção das florestas.

Mais tarde, em 2008, pressões exercidas por países como a Índia levaram à concepção do REDD *plus* (REDD+) garantindo para a conservação, a gestão sustentável de florestas e o incremento dos estoques de carbono, importância igual àquela conferida à redução de desmatamento e degradação de florestas, nas negociações relacionadas a projetos envolvendo esse tipo de mecanismo (Holloway e Giandomenico, 2009).

As propostas do REDD podem ser entendidas a partir de seus quatro referenciais básicos: escopo, nível de referência, distribuição e financiamento. O primeiro se refere às atividades que são elegíveis para se alcançar redução de emissões. O segundo define o cenário referencial, que atua como parâmetro – ou *benchmark*, no termo em inglês – histórico ou projetado, em relação ao qual as reduções de emissões futuras podem ser mensuradas e potencialmente recompensadas. É utilizado também para se determinar a *adicionalidade*[27] de uma determinada atividade.

Já a distribuição, diz respeito à forma pela qual os benefícios das reduções de emissões serão distribuídos ou alocados entre países com florestas tropicais que não são diretamente beneficiados pelo mecanismo do REDD. Por fim, as fontes de financiamento levam em conta os recursos que seriam usados para incentivar a referida empreitada dentro do escopo estabelecido pelo mecanismo (Parker *et al*., 2008).

Segundo May e Millikan (2010), apesar das previsões e iniciativas para a redução das emissões brasileiras, os projetos embasados pelo mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), bem como os programas e a legislação brasileira, deram passos tímidos em direção à redução do desmatamento no Brasil. O Protocolo de Quioto não incluiu a conservação de florestas ou medidas que evitem sua degradação como atividades geradoras de crédito de carbono.

Ao contrário do MDL, o REDD permitiria a remuneração pela manutenção da *floresta em pé* – ou seja, seus proprietários ou ocupantes poderiam, sob certas condições, ser remunerados por não utilizá-la economicamente. Por essa razão, tem sido bastante discutida uma contrapartida financeira pelo carbono fixado em florestas nativas como novo instrumento de mitigação dos danos por emissão de GEEs (Schmid e Acevedo, 2009).

Dado a crescente discussão em torno da diminuição do desmatamento e das emissões de carbono que poderiam ser evitadas com a manutenção das *florestas em pé*, adotou-se, em 2007, durante a 13ª. Conferência das Partes (COP13)[28], os objetivos de se estancar a perda de cobertura de florestas nos países em desenvolvimento até 2030 e se reduzir o desmatamento bruto desses países em 50% até 2020, a partir dos níveis registrados no ano da celebração do acordo (Holloway e Giandomenico,2009).

Também o acordo alcançado dois anos mais tarde, em Copenhague, na COP15, reconheceu a importância deste mecanismo e a necessidade de se promover incentivos para financiar tais ações nos países em desenvolvimento (*UNFCCC*, 2009b). Foi acordado então, que o compromisso coletivo dos países desenvolvidos seria o de fornecer recursos novos e adicionais para o financiamento de

[27] Segundo o princípio da adicionalidade, no âmbito da UNFCCC, (...) as reduções devem ser adicionais àquelas que ocorreriam mesmo na ausência da atividade certificada do projeto (Pereira & May, 2003), ou seja, reduções obtidas adicionalmente ao que se observaria sem a atuação do projeto.

[28]Realizada em 2007, em Bali, Indonésia.

ações redutoras de emissões oriundas de desmatamento e degradação ambiental (REDD+), e de adaptação, desenvolvimento e transferência de tecnologia. Uma das recomendações sobre como esse mecanismo deveria funcionar foi a de propiciar o engajamento pleno e efetivo dos povos indígenas e das comunidades locais nesses processos, além do reconhecimento da importância de suas atividades sobre o manejo sustentável de florestas e a preservação da biodiversidade (*UNFCCC*, 2009b).

A primeira iniciativa no estilo dos projetos REDD, estabelecida no Parque Nacional Noel Kempff Mercado, localizado no Norte da Bolívia, é uma parceria entre o governo boliviano, organizações filantrópicas conservacionistas daquele país e norte-americanas e três empresas internacionais. Entre 1997 e 2005, com a redução das queimadas agrícolas e o desenvolvimento de programas de renda alternativos, o projeto teria evitado emissão de gases equivalente a uma gigatonelada de CO_2 em 634.000 hectares[29]. Suas ações incluíram reflorestamento e adoção de formas de evitar o desmatamento, além de terem contado com um financiamento de longo prazo e a elaboração de um plano de manejo para a unidade de conservação.

Alguns trabalhos analisaram o impacto da adoção de REDD no Brasil. É o caso do elaborado por Borner *et al*. (2010), que mostrou as possibilidades da aplicação de pagamentos de serviços ambientais como os REDD na porção brasileira do bioma Amazônia. Os autores sugeriram que, sob as condições econômicas em vigor, é possível se pagar para evitar desmatamento em mais da metade das florestas consideradas ameaçadas nas próximas décadas. Entretanto, o mesmo otimismo não se aplicaria quando se considerasse os aspectos institucionais. A grilagem de terra, a insegurança da posse, a sobreposição de pedidos de regularização fundiária e falta de informações precisas sobre ocupação e posse de propriedades privadas, constituem alguns dos impedimentos da efetivação de projetos de REDD a prazo médio, conforme os autores.

Outra conclusão do mesmo trabalho é a de que, regimes que se alinham com os preceitos de custo de oportunidade, são preferíveis em termos da relação entre custo e eficácia que apresentam e não necessariamente comprometem a questão da equidade. Porém, conforme apontaram seus autores, os sistemas de PSA não podem substituir os de comando e controle, uma vez que o primeiro depende do segundo para garantir governança em nível básico.

Nessa mesma linha, Ezzine-de-Blas *et al*. (2011) ponderaram a respeito das possibilidades da implementação de REDD no bioma amazônico brasileiro. Com base em resultados de um estudo de caso sobre assentamentos por reforma agrária e na análise regional de custos de oportunidade na região estudada, seu trabalho discutiu implicações potenciais sobre bem-estar e equidade.

Embora os resultados tenham apontado para uma considerável escala econômica dos projetos baseados no mecanismo de mitigação citado, a existência de limitações ao uso de direitos legais, juntamente com a distribuição geográfica desigual de reservas florestais entre os assentamentos, mostrou que menos da metade deles – os mais pobres – serão capazes de obter lucro através da iniciativa.

O estudo *Economia do Clima no Brasil: custos e oportunidades*, conhecido pela sigla EMCB e discutido em Margulis *et al*. (2010), avaliou os custos de oportunidade do desmatamento, propondo a forma como um instrumento do tipo REDD poderia ser implementado no Brasil enquanto incentivo econômico. Suas estimativas se basearam em dois outros estudos (Strassburg, 2009; Nepstad *et al*., 2007) e apontaram para um custo de oportunidade médio de US$ 1.000 por hectare favorável à agricultura em detrimento da floresta amazônica.

[29]Não foi encontrado trabalho em publicação acadêmica sobre esse projeto. Estes resultados se baseiam em estudo de Marshall *et al*. (2009), publicado pela *The Nature Conservancy,* disponível em www.cbd.int/forest/doc/noel-kempff.pdf Acesso em 19 de novembro de 2012.

Por outro lado, esse estudo também apontou que um preço médio de REDD para a região amazônica superior a US$ 3 por tonelada de carbono – aproximadamente o equivalente a US$ 450 por hectare – desestimularia efetivamente grande parte das criações de gado, exceto as mais lucrativas – ou seja, entre 15 e 30% do total.

Boyd *et al*. (2007) também avaliaram os impactos socioeconômicos de um conjunto de quatro projetos de mitigação de carbono com base florestal propostos no âmbito do MDL para Brasil e Bolívia. Três deles estão localizados em áreas de fronteira, onde existem pressões sociais e econômicas consideráveis para a conversão da floresta em pé em agricultura. Nesse sentido, projetos de mitigação têm um papel importante a desempenhar na região. Os resultados sugeriram, no entanto, que todos eles têm experimentado processos complicados de implementação e execução devido, por exemplo, a falta de comunicação, objetivos sociais indefinidos e aceitação local limitada durante sua implantação.

Uma alternativa estudada para a redução das emissões de desmatamento são os fundos específicos criados para esse fim. Gerenciado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o Fundo Amazônia[30] recebe apoio de países como a Noruega e pode vir a se constituir em uma das principais iniciativas de financiamento para mitigação dos danos de GEEs no Brasil. Ainda inexiste, na literatura científica brasileira, estudo ou avaliação sobre a efetividade e a aplicação de seus recursos. Há apenas, um relatório de discussões entre especialistas, publicado pelo gestor, a esse respeito.[31]

2.3.2.2. ATIVIDADES PRODUTIVAS

Uma importante força motriz de emissões de GEEs são as atividades produtivas que utilizam insumos energéticos – os combustíveis fósseis. Elas lançam gases à atmosfera seja a partir desse uso, seja indiretamente, a partir de sua própria especificidade produtiva. Estes últimos podem ser definidos como resultantes de processo produtivo ou industrial. Tendem a ocorrer em volumes mais expressivos do que os derivados da energia necessária para o desenvolvimento da pecuária, por exemplo. Sua capacidade de mitigação está relacionada às características setoriais especificas e ás tecnologias de produção que empregam.

Além dos aspectos setoriais, fatores condicionantes macroeconômicos e estruturais determinam o ritmo de expansão das emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Por exemplo, uma trajetória futura de crescimento econômico mais acelerado, com maior investimento e nitidamente intensivo em energia além de insumos para o setor da construção civil, afetará o ritmo do aumento do volume lançado à atmosfera.

A observação dos dados de emissões desses gases permite traçar um quadro resumido de suas associações a atividades produtivas no Brasil – excluindo do cálculo, aquelas provocadas por desmatamento ou modificação de uso do solo. Os dados apresentados se baseiam nas informações do *Balanço Energético Nacional (BEN)* e do *Inventário Brasileiro de Emissões*. Já os relativos ao uso

[30]Disponível em http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/fam/site_pt. Segundo esse site, mantido pelo governo brasileiro, *(...) como forma de obter recursos para incentivar a preservação da floresta, o Fundo Amazônia teve sua criação autorizada, em 1 de agosto de 2008, com o objetivo central de promover projetos para a prevenção e o combate ao desmatamento e também para a conservação e o uso sustentável das florestas no bioma amazônico.*

[31]Disponível em: http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/export/sites/default/site_pt/Galerias/Arquivos/Publicacoes/Amazoiaemdebate.pdf Acessado em 11 de novembro de 2012.

de combustíveis foram extraídos exclusivamente do primeiro documento em sua edição de 2005[32] e estão associados a onze deles: petróleo e gás, carvão metalúrgico, lenha e carvão vegetal, carvão mineral, bagaço de cana, gás liquefeito de petróleo (GLP), gasolina, álcool, óleos combustível e diesel e outros produtos do refino. A Tabela 2.4 os resume, conforme se pode verificar neste subcapítulo[33].

Outra forma importante de emissões está associada ao processo produtivo dos setores. Caracteriza-se por não estar relacionada ao uso de combustíveis fósseis, mas sim, diretamente à atividade produtiva. Por exemplo, o gás metano oriundo dos rebanhos é classificado como emitido pelo processo produtivo do setor pecuário. O *Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa* (Brasil, 2010) serviu como base de dados oficial do País para estas informações descritas aqui setorialmente na Tabela 2.5. Pecuária. pesca, agricultura entre outros são os maiores emissores em tal categoria. Por si só, o primeiro responde por mais da metade do volume de gases de efeito estufa lançado à atmosfera pela produção econômica no Brasil.

Tabela 2.4. *Emissões de GEEs associadas ao uso de combustíveis para atividades econômicas no Brasil – 2005.*

Fonte de emissão	Emissão de GEEs equivalentes em Mt CO_2	Participação em %
Petróleo e gás	29,830	6
Carvão metalúrgico	12,382	3
Lenha e carvão vegetal	95,625	20
Carvão mineral	32,389	7
Bagaço de cana	71,231	15
GLP	18,628	4
Gasolina	41,469	9
Óleo combustível	21,141	4
Óleo diesel	100,219	21
Álcool	20,624	4
Outros produtos do refino de petróleo	39,794	8
Uso de combustíveis	**483.332**	**100**

Fonte: Elaboração a partir dos dados do *Balanço Energético 2005*

[32]A conversão do uso de energia do BEN de 2005 em emissões foi realizada através de metodologia amplamente utilizada e consagrada na literatura internacional. A escolha do ano de 2005 se justifica pela possibilidade de comparação entre outras fontes de emissões, cujo dado mais recente é 2005 – emissões derivadas da atividade produtiva contidas no inventário nacional. O BEN para o ano de 2011 não apresenta resultados finais das emissões relacionadas ao uso de combustíveis, ou as conversões para as emissões.

[33] O setor energético voltará a ser discutido na subseção Energia.

Tabela 2.5 *Emissõesde GEEs associadas ao processo produtivo no Brasil – 2005*

Atividade	Emissão de GEEs equivalentes em Mt CO_2	Participação em %
Pecuária e pesca	332,515	53
Agricultura e outros	222,697	36
Produtos químicos	22,369	4
Petróleo e gás	14,375	2
Cimento	14,349	2
Transmissão e distribuição de eletricidade e outros urbanização	9,825	2
Outros produtos minerais não metálicos	8,449	1
Transportes	7,638	1
Emissões por atividade produtiva	**624,580**	**100**

Fonte: Elaboração a partir dos dados do *Inventário Brasileiro e Balanço Energético*.

2.3.2.3. ENERGIA

A expansão de oferta de energia na economia brasileira – mais especificamente a composição de sua matriz energética – tende a ser elemento preponderante para emissões de GEEs. O Brasil é reconhecido por ter uma matriz energética *limpa*, ou seja, de baixo conteúdo emissor de gases de efeito estufa (Brasil, 2010). Entretanto, a expansão da oferta energética – conforme planejamento de longo prazo – pode alterar estas características. Adicione-se ainda a isso, as perspectivas de exploração de petróleo da camada de pré-sal na plataforma marítima brasileira, que pode ter impactos significativos sobre a mesma. Assim, os estudos que abordam as questões relativas a tendências tecnológicas no uso de fontes, eficiência e planejamento energéticos no Brasil devem ser revistos.

O País exibe uma das mais baixas taxas de emissões de GEEs do mundo em relação ao PIB derivadas do uso de energia. Contudo, conforme aponta La Rovere *et al*. (2006) houve, durante os anos 1990, forte penetração de combustíveis fósseis em sua matriz energética. Isto teria decorrido da reestruturação do setor elétrico, especialmente após a crise de fornecimento de energia ocorrida de 2000 para 2001, direcionado para construir novas plantas termoelétricas de modo a garantir segurança ao fornecimento do insumo.

Além disso, tem havido obstáculos à construção de usinas hidroelétricas, principalmente associadas a dificuldades em se obter licenças ambientais. Isso acabou por reduzir a participação relativa desta fonte na matriz energética – de 81% em 1990, ela chegou a 70% em 2000, aumentando para 76% em 2010 – (La Rovere *et al*., 2006, Empresa Brasileira de Pesquisa Energética -EPE, 2011a).

Conforme apontou o planejamento energético contido no Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2020 (EPE, 2011b) –, é projetada para 2020 uma queda de participação das hidroelétricas para 67% do total de capacidade instalada na matriz energética, embora existam perspectivas de avanço na presença de outras fontes renováveis de energia – como a das pequenas centrais hidroelétricas e da biomassa –, particularmente da eólica que, de 0,8% em 2010 evoluiria para 6,7% em 2020. Contudo, a concretização de tal situação estaria condicionada à obtenção de licenças ambientais que, se não forem conquistadas, a alternativa de atendimento à demanda só poderia ser alcançada através de projetos termoelétricos – a partir de gás natural e óleo combustível.

Embora o PDE 2020 assuma uso maior de fontes renováveis de energia com a utilização de termoelétricas, a matriz energética brasileira deve resultar em maiores emissões de GEEs ao longo do período. Um estudo do Banco Mundial (Gouvello *et al*, 2010), por exemplo, estimou que, para 2030, a projeção dos gases de efeito estufa lançados à atmosfera pelos setor energético, excluindo-se dele os combustíveis para transporte – aumentará 97%, correspondendo assim a mais do que 25% das emissões nacionais.

Viola (2009) também apontou que as emissões derivadas de produção e consumo de energia têm mostrado um relativo aumento nos últimos anos do século XXI, especialmente em razão do incremento na demanda por óleo diesel, da maior participação de combustíveis fósseis na matriz energética e da expansão da atividade do setor de refino de petróleo.

Uma questão a ser destacada é a exploração da camada pré-sal da costa brasileira e seus impactos potenciais sobre as emissões de GEEs pelas indústrias, petrolífera e de gás natural. Sobre o assunto, tratou o estudo de Mendes e Rodrigues Filho (2012), cuja análise de lançamentos de gases de efeito estufa *fugitivos*[34] à atmosfera por esses setores apontou para uma dinâmica de crescimento dos mesmos.

Goldemberg e Lucon (2007) também fizeram proposições acerca dos rumos do setor elétrico nacional, com base em análise apenas descritiva e qualitativa da matriz energética brasileira. Segundo os autores, o estimulo ao uso mais eficiente de energia se configurou como uma das maneiras mais efetivas para redução de custos e impactos ambientais locais e globais, sendo que uma transição para fontes mais renováveis também deve ser considerada. A utilização de biomassa, por exemplo, além de ser comercialmente competitiva com a de combustíveis fósseis, é ambientalmente mais

limpa e renovável, além de apresentar potencial maior de geração de empregos.

Alguns autores analisaram as oportunidades no âmbito das energias renováveis. McNish *et al*. (2009), por exemplo, avaliaram as oportunidades de projetos de geração de eletricidade a partir do bagaço de cana-de-açúcar tratado em projetos de MDL. O resultado indicou que os projetos proporcionam aos investidores dos países integrantes do Anexo 1, meios economicamente viáveis para atingirem reduções nos níveis de emissões de GEEs e, também, confirmou que este mercado de compensações é robusto e competitivo além de vir se fortalecendo no âmbito do referido mecanismo.

Tolmasquim e Machado (2003), por sua vez, analisaram até que ponto o uso de energia e as emissões de CO_2 na década de 1990 foram influenciados pelas mudanças na especialização produtiva da economia brasileira, no sentido de uma combinação de alta intensidade energética. O estudo mostrou que o Brasil exportou, em termos líquidos, quantidades significativas do insumo e de carbono, incorporadas a produtos comercializados no exterior nesse período. De acordo com os autores, 6,6% da energia utilizada pelo setor industrial e cerca de 7% do carbono por este emitido decorreram, direta ou indiretamente, do comércio internacional.

2.3.2.4. TRANSPORTES

Não se pode deixar de levar em conta o fato estrutural de que o Brasil se estende por 8,5 milhões de quilômetros quadrados, em dimensão comparável a dos Estados Unidos deduzido do Estado do Alasca, e menor apenas do que as de Rússia, China e Canadá. Tal extensão, com densidade demográfica relativamente baixa, implica grande necessidade de transporte interestadual e

[34]*Emissões fugitivas* estão ligadas as liberações, intencionais ou não, de gases oriundos de atividades antrópicas, a partir de processos de produção, processamento, transmissão, estocagem e uso de combustíveis. Incluem as emissões de combustão apenas onde estas não apoiam uma atividade produtiva – exemplo, combustão de gás natural em instalações de produção de petróleo (Mendes e Rodrigues Filho, 2012).

interurbano *per capita*. Predominantemente rodoviário e aéreo, ele exige mais energia do que as

modalidades fluvial, marítima ou ferroviária. Ainda que o padrão de assentamento populacional esteja historicamente concentrado perto do litoral, a significativa e crescente dispersão atual rumo ao interior do País significa distâncias médias longas para o transporte de bens e pessoas, com papel relevante nas emissões de GEEs.

Além disso, o relativo isolamento do Brasil no hemisfério Sul requer o transporte intercontinental e inter-hemisférico de suas importações ou de suas exportações destinadas a compradores importantes ao redor do mundo, especialmente da América do Norte, Europa, Ásia e América do Sul.

O crescimento urbano também impacta as emissões decorrentes do transporte nas cidades. Congestionamentos de trânsito nas metrópoles brasileiras resultam em maiores emissões. Ao mesmo tempo, o padrão de assentamento populacional urbano e periurbano – áreas na vizinhança imediata de uma cidade – em domicílios individuais ou prédios de poucos andares pode significar dispersão e maior necessidade de transporte individual por grandes distâncias, inclusive para o acesso aos centros das urbes.

Existem poucos estudos específicos sobre a relação entre urbanização, transportes e emissões de GEEs no Brasil. Ferreira (2011) analisou o setor transportador *vis-à-vis* às mudanças climáticas, com foco no transporte urbano e de longa distância, de cargas e passageiros. Embora sem ter utilizado bases de dados específicas ou um modelo formal, seu estudo apontou para o controle de emissões de gases de efeito estufa e as conseqüências benéficas do mesmo sobre a saúde humana. Em sua conclusão, sugeriu "a implantação de políticas de mitigação inter-setoriais, integradas e de longo prazo, que considerem as avaliações de benefícios que atuam em conjunto sobre a saúde e ao desenvolvimento sustentável, durante os processos de tomada de decisão".

Ribeiro (2007) mostroua alguns dados que evidenciam a preponderância dos transportes para geração de GEE e emissões locais. Para o autor, 95% do total da energia utilizada pelo transporte no mundo dependiam preponderantemente do petróleo. Em 2004, por exemplo, o setor de transportes foi responsável por 23% das emissões mundiais de GEEs, com cerca de três quartos provenientes de veículos para transporte rodoviário, crescentes a um ritmo mais rápido do que qualquer outro segmento de energia (*International Energy Agency - IEA*, 2006). Ainda segundo o trabalho desse especialista, a análise recente da Agência Internacional de Energia (AIE) estimou que a quota de biocombustíveis para transporte pode crescer até cerca de 10% em 2030.

São previstas, assim, reduções nas emissões de GEEs do etanol provenientes da cana-de-açúcar no Brasil em comparação com a gasolina. Estas reduções resultam da natureza relativamente eficiente de utilização do bagaço – talos de celulose e folhas da planta – assim como do processo de energia e de processamento.

Tais conclusões são ainda reforçadas por outras pesquisas. Estudo da *United States Environmental Protection Agency* (*EPA*), por exemplo, indicou que o etanol brasileiro proveniente da cana-de-açúcar reduziria as emissões de GEEs em 61% se comparado à gasolina, podendo ser classificado como *advanced ethanol* – ou etanol superior (*EPA*, 2010).

Macedo *et al*. (2008), por sua vez, apresentaram um balanço energético e de emissões de GEEs na produção e uso de etanol derivado de cana-de-açúcar ao longo de 2005 e 2006, além de um cenário para 2020. O resultado que obtiveram acusou um volume de gases de efeito estufa emitidos decorrentes da produção de etanol anidro equivalentes a 436 quilos de CO_2 por metro cúbico em 2005 e 2006, decrescendo a uma equivalência de 345 quilos de dióxido de carbono por metro cúbico no cenário para 2020.

As emissões evitadas de 2005 a 2006 graças à utilização de etanol anidro e seus coprodutos foram

equivalentes à ordem de 2,323 toneladas de CO_2 por metro cúbico. Em 2020, o cenário de uso do etanol hidratado em veículos com motores a combustível flexível – conhecidos como *flex-fluel* – poderia representar uma economia de emissões correspondente a 2,589 toneladas de dióxido de carbono por metro cúbico. Para o etanol anidro, usado nas misturas com gasolina – na proporção de 25% –, o total de emissões evitadas equivaleria a 2,93 toneladas de CO_2 metro cúbico.

Martinelli *et al*. (2010) comparam as emissões evitadas pelo uso de etanol no Brasil em relação às decorrentes do uso de combustíveis fósseis: as primeiras variaram entre o equivalente a 9.a 12 megatoneladas de CO_2, em 2008. Em relação ao uso de combustíveis fósseis, equivaliam a 20 e 30% do volume das emissões de carbono associadas ao uso de gasolina e diesel no setor de transporte, e aproximadamente 10% da utilização total de combustíveis fósseis no País.

Esses valores correspondem a duas vezes as emissões de carbono em solos cultivados de cana-de-açúcar e que sofreram queima para a colheita. Essa análise sugere que as emissões evitadas de etanol são relativamente importantes no setor de transportes, ainda que incipientes se comparadas ao total das de combustíveis fósseis no Brasil.

Estimativas de La Rovere *et al*. (2006)concluíram que, para o setor de transporte, em um cenário normal – *BAU* –, as emissões de GEEs poderiam crescer cerca de 130% até 2020, se comparadas ao cenário de base em 2000. Já no panorama em que são implementadas políticas previstas para o setor de transportes – tecnologia *flexfuel*, programa CONPET, por exemplo –, as emissões estimadas em 2020 seriam 18% menores, em relação ao ano de 2000.

Assim, parece haver um consenso sobre o elevado potencial de mitigação de GEEs nos transportes, em decorrência do uso de biocombustíveis. Conforme Hohne *et al*. (2008) as emissões totais no Brasil poderiam ser reduzidas em até 14%, em 2020, sob o cenário *BAU* – que corresponde a um aumento de 6% em relação aos níveis de 2005 –, decorrente da substituição de combustíveis fósseis. Essa redução seria liderada pelo setor de transportes – o equivalente a menos 164 Gg CO –, seguido pelo setor energético – corte comparável a 120 Gg CO_2 – e, por último, pelo setor industrial – um recuo correspondente a 59 Gg CO_2.

No Brasil o uso de biocombustíveis tem passado por uma série de problemas. As oscilações de preço e de fornecimento do etanol, em especial, têm levado consumidores a utilizar gasolina como combustível nos carros dotados de motores a combustão flexível. Alguns estudos apontam a falta de investimentos na expansão da produção do etanol – plantio, colheita e processamento – como causa desse processo.

Vale lembrar que as perspectivas de produção de petróleo e derivados a partir da exploração da plataforma marítima pré-sal no litoral brasileiro poderiam diminuir o preço relativo dos combustíveis fósseis e reduzir a utilização do etanol no País. Este efeito tende a ser evitado se a demanda mundial pelo insumo e seus derivados permanecer crescente, forçando tendência de alta no mercado internacional. Esses aspectos merecem ser mais bem estudados.

Um setor pouco citado em relação à contribuição de transportes para emissões de GEEs é o aéreo. Neste contexto, Simões e Schaeffer (2005) apresentaram um inventário de emissões de CO_2 causadas por atividades aéreas no Brasil e estimaram uma projeção de tendência até 2023, indicando progresso para as mesmas, principalmente devido à expansão do setor no País. Ademais, seu artigo propôs oito possíveis estratégias de mitigação. Estima-se que a implementação conjunta de todas essas estratégias, dentro da projeção de um cenário de base sustentável – uso de fontes de energia renováveis, desenvolvimento social, econômico e tecnológico – poderia resultar em uma redução anual das emissões equivalentes em CO_2 de até 28,5% – em comparação com a projeção de tendência para 2023. Também se estima que as emissões evitadas pela execução conjunta das alternativas de mitigação analisadas podem chegar a 82 megatoneladas de CO_2 de 2003 a 2023.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbagnano, N., 1960: *Dicionário de filosofia*. São Paulo, SP: Editora Mestre Jou.

Alencar, A., *et al*., 2004: Desmatamento na Amazônia: indo além da emergência crônica. Manaus, AM: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (Ipam), 89 pp.

Andrade E.S.M. e G.B.M. Lacerda, 2009: Mudanças climáticas e análise de risco da indústria de petróleo no litoral brasileiro. Madrid: Fundación Mapfre, Instituto de Ciencias del Seguro, Colección Cuadernos de la Fundación, nº 143.

Avi-Yonah, R.S. e D.M. Uhlmann, 2009: Combating global climate change: why a carbon tax is a better response to global warming than Cap-and-Trade, v. 28 *Stan. Envtl. L.J.*, **3**(21), 54 pp.

Ayres R. e E. Ayres, 2011: *Crossing the Energy Divide. Moving from Fossil Fuel Dependence to a Clean-Energy Future*. Philadelphia, PA: Wharton School Publishing.

Barata, M.M.L. e E. Ligeti, 2011: Climate change and human health in cities. pp. 179-213. In: *Climate Change and Cities - First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. [Rosenzweig,C. *et al*. (Orgs.)]. New York, NY: Cambridge University Press, vol. 1.

Barona, E. *et al*., 2010: The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, **5**(2).

Baumert, K.A. *et al*., 2005: Navigating the numbers: greenhouses gas data and international climate policy. Washington DC: World Resource Institute (WRI).

Baumol, W.J. e W.E. Oates, 1995: The theory of environmental policy. Cambridge, UK, e New York, NY, USA: Cambrige University Press, 1988, 300 pp.

Bayer, C. e J. Mielniczuk, 2000: Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO_2. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **24**, 599-607.

BNDES, 2012: O BNDES e a Rio+20. Banco Nacional do Desenvolvimento, Rio de Janeiro, RJ. Disponível em http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Areas_de_Atuacao/Meio_Ambiente/Rio20/. Acessado em 27/09/2012.

Borner, J. *et al*., 2007: Ecosystem services, agriculture, and rural poverty in the Eastern Brazilian Amazon: interrelationships and policy prescriptions. *Ecological Economics* **64**(2), 15, 356-373.

Borner, S.W. *et al*., 2010: Direct conservation payments in the Brazilian Amazon: Scope and equity implications, *Ecological Economics*, Special Section, Payments for Environmental Services: Reconciling Theory and Practice **69**(6), 1272-1282.

Boyd, E. *et al*., 2007: Exploring socioeconomic impacts of forest based mitigation projects: Lessons from Brazil and Bolivia. *Environmental Science & Policy*, **10**(5), 419-433.

Brasil, 2010: Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa. Elaborado por: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo(Cetesb). Ministério da Ciência e Tecnologia, Secretaria do Meio Ambiente. Brasília, DF: MCT.

Brekke. K.A. e O. Johansson-Stenman, 2008: The behavioural economics of climate change. Oxford

Review of Economic Policy, 24(2), 280-297.

Budescu, D.V. *et al.*, 2009: Improving communication of uncertainty in the reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Psychological Science*, **20**(3), 299-308.

Budescu, D.V, *et al.*, 2012: Effective communication of uncertainty in the IPCC reports. *Climatic Change,* **113**, 181–200.

Caetano, M.A.L. *et al.*, 2011: An optimized policy for the reduction of CO_2 emission in the Brazilian Legal Amazon. *Ecological Modelling*, **222**(15), 2835-2840.

Carvalho, J.L.N. *et al.*, 2009: Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. *Soil and Tillage Research*, **103**(2), 342-349.

Castro, C. J., 2004: Sustainable development: mainstream and critical perspectives. *Organization Environment*, **17**(2), 195-225. Disponível em http://oae.sagepub.com/content/17/2/195 Acessado em 24/05/2013.

CDES, 2011: Acordo para o Desenvolvimento Sustentável: Contribuições para a Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável Rio +20. Brasília. Brasília, DF: Conselho para o Desenvolvimento Econômico e Social (CDES) e Instituições Signatárias. Dezembro 2011.

Chomitz, K.M. e T.S. Thomas, 2001: Geographic patterns of land use and land intensity in the Brazilian Amazon. Development Research Group. Washington, DC: The World Bank. Disponível em: http://econ.worldbank.org/ Acessado em 20/11/2011.

Clark, D., 2009: China's increasing carbon emissions blamed on manufacturing for West. *The Guardian*. Disponível em: http://www.guardian.co.uk/environment/2009/feb/23/china-carbonemissions Acessado em 24/03/2012.

COEP, 2011: Mudanças climáticas, pobreza e desigualdades. Rio de Janeiro, RJ: COEP Rede Nacional de Mobilização Social, Coleção COEP Cidadania em Rede, nº 4.

Cooke, R.M., 2008: Obtaining distributions from groups for decisions under uncertainty. In: *Making decisions with scant information. Front-end decision-making in major projects*, [Williams, T. K. *et al.* (Orgs.)]. Basingstoke, UK: Palgrave Macmillan.

Costanza, R. et. al., 1997: The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, **387**, 253-260.

Cox, S., 2012: Cooling a warming planet: a global air conditioning surge. Yale Environment 360, 10 July 2012. Disponível em http://e360.yale.edu/feature/cooliltang_a_warming_planet_a_global_air_conditioning_surge/2550/ Acessado em 17/09/2012.

Daly, H., 1995: On Wilfred Beckerman's Critique of Sustainable Development. *Environmental Values*, **4**(1), 49-55.

Defries, R.S. *et al.*, 2008: Fire-related carbon emissions from land use transitions in Southern Amazonia, *Geophys. Res. Letters*, **35**(22), L22705, 25.

Diffenbaugh N.S. e M. Scherer, 2011: Observational and model evidence of global emergence of permanent, unprecedented heat in the 20th and 21st centuries. *Climatic Change*, **107** (3-4), 615-624, doi:10.1007/s10584-011-0112-y.

Diniz, M.B. *et al.*, 2009: Causas do desmatamento da Amazônia: uma aplicação do teste de causalidade de Granger acerca das principais fontes de desmatamento nos municípios da Amazônia Legal brasileira. *Nova Economia*, **19**(1). Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-63512009000100006&lng=pt&nrm=iso . Acessado em 4/12/2011

Drigo, G.I. *et al.*, 2009: Certification of community-based forest enterprises (CFEs): limits of the Brazilian experience. *Ethics and Economics*, **6**(2).

Embrapa, 2012: *Sistema plantio direto*. Coleção 500 Perguntas – 500 Respostas. O produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária,. Disponível em http://www.cpao.embrapa.br/publicacoes/500p500r/resposta.php?ID=4. Acessado em 8/03/2012.

Engel, J.R., 1990: The ethics of sustainable development. In: *Ethics of Environment and Development*. [Engel, J.R. e J.G. Engel (Eds.)]. Tucson, AZ: The University of Arizona Press.

EPA, 2010: Renewable Fuel Standard Program (RFS2) regulatory impact analysis. Assessment and standards. United States Environmental Protection Agency, Office of Transportation and Air Quality. Disponível em http://www.epa.gov/otaq/renewablefuels/420r10006.pdf. Acessado em 10/11/2012.

EPE, 2011a: Balanço EnergéticoNacional 2010 – Ano Base: 2011. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética, MME/EPE, Rio de Janeiro, RJ, 53 pp

EPE, 2011b: Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 (PDE 2020): Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética, MME/EPE Brasília, DF, 310 pp. Disponível em http://www.epe.gov.br/PDEE/Forms/EPEEstudo.aspx. Acessado em fevereiro de 2012.

Estrada-Oyuela, R.A., 2000: Climate Change Mitigation and Equity. IPCC 2nd Regional Experts'Meeting on Development, Equity and Sustainability, Havana, Cuba, 23-25 Fevereiro de 2000. Disponível em http://www.ipcc.ch/pdf/supporting-material/des-2nd-ipcc-expert-meeting.pdf Acessado em 20/11/2012.

Ezzine-de-Blas, D. *et al.*, 2011: Forest loss and management in land reform settlements: Implications for REDD governance in the Brazilian Amazon. *Environmental Science and Policy*, Governing and Implementing REDD+, **14**(2), 188-200, March.

Fearnside, P.M., 1999: Serviços ambientais como estratégia para o desenvolvimento sustentável na Amazônia rural. In: *Meio ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas.*[Cavalcanti, C. (Org.)]. 2ed. São Paulo, SP / Recife, PE: Cortez Editora / Fundação Joaquim Nabuco. pp. 314-344.

Fearnside, P.M., 2002: Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. *Estudos Avançados*, **16**(44), 99-123.

Fearnside, P.M., 2003: Conservation policy in Brazilian Amazonia: understanding the dilemmas. *World Development* **31**(5), 757-779.

Fearnside, P.M., 2005: Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates and consequences. *Conservation Biology*, **19**(3), 680-688. June.
Fearnside, P.M. *et al.*, 2009: Biomass and greenhouse-gas emissions from land-use change in Brazil's Amazonian 'arc of deforestation': The states of Mato Grosso and Rondonia. *Forest Ecology and Management*, **258**(9), 1968-1978. October.

Ferreira, L.A.C., 2011: Transporte, mudanças climáticas e a importância dos cobenefícios na definição de medidas de mitigação para o setor. *Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade*, **6**(2),

194-198. Disponível em http://www.interfacehs.sp.senac.br/index.php/ITF/article/viewFile/194/198. Acessado em 15/02/2012.

Figueiredo, E.B.D. e N. La Scala Jr., 2011: Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest in Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **141**(1-2), 77-85.

Figueiredo, E.B.D. *et al.*, 2010: Greenhouse gas emission associated with sugar production in Southern Brazil. *Carbon Balance and Management*, **5**(3).

Fischer-Kowalski, M.., 2010: Climate Change, Social Metabolism, and Human Well-being. In: *Workshop on Sociological Perspectives on Global Climate Change* [Nagel, J. *et al.* (Orgs.).]. pp 79-82. May 30-31, 2008. Washington, DC: National Academies of Science (NFA), American Sociological Association. Disponível em http://www.asanet.org/research/NSFClimateChangeWorkshop_120109.pdf

Fonseca, I.F. e M. Bursztyn, 2007: Mercadores de moralidade: a retórica ambientalista e a prática do desenvolvimento sustentável. *Ambiente & Sociedade*. **10**(2), 171-188.

Galford, G.L., et. al, 2010: Greenhouse gas emissions from alternative futures of deforestation and agricultural management in the Southern Amazon. *Proc Natl Acad Sci USA*, **107**(46), 19649-19654.

Goldemberg, J. *et al.*, 2004: Expanding access to electricity in Brazil. *Energy For Sustainable Development*, **8**(4), 86-94. Disponível em http://www.afrepren.org/project/gnesd/esdsi/brazil.pdf. Acessado em 20/11/2012.

Goldemberg, L. e O. Lucon, 2007: Energia e meio ambiente no Brasil. *Estudos Avançados*, **21**(59), 21-38.

Gong, M. *et al.*, 2009: Group cooperation under uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, **39**(3), 251-270.

Gouvello, C. *et al.*, 2010: Brazil low-carbon: country case study. Brasília: World Bank Institute (WBI). Disponível em http://siteresources.worldbank.org/BRAZILEXTN/Resources/Brazil_LowcarbonStudy.pdf. Acessado em julho de 2011.

de Groot, R.S. *et al.*, 2002: A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, Special issue: The Dynamics and Value of Ecosystem Services: Integrating Economic and Ecological Perspectives, **41**(3), 393-408.

Guglyuvatyy, E., 2010: Identifying criteria for climate change policy evaluation in Australia. *Macquarie Journal of Business Law*, **7**, 98-130.

Gutierrez, M.B.S., 1998. A equidade nas negociações internacionais entre países desenvolvidos e em desenvolvimento para a redução dos gases de efeito estufa: principais critérios e implicações. Texto para discussão nº. 550, Rio de Janeiro, RJ, Ipea. Disponível em http://www.ipea.gov.br/pub/td/td0550.pdf. Acessado em 20/11/2012.

Haines A. *et al.*, 2006: Climate change and human health: impacts,vulnerability and public health. *Public Health*,**120**(7), 585-596.

Halsnaes, K. *et al.*, 2007: Graming issues. In: *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernamental Panel on Climate Change* [Metz, B. *et al.* (Eds.).], Intergovernmental Panel on Climate Change,

Haurie, A. *et al*., 2011: Modeling uncertainty and the economics of climate change: recommendations for robust energy policy. *Environment Modeling & Assessment*, **17**(1-2), 1-5.

Helm, D., 2008: Climate-change policy: why has so little been achieved? *Oxford Review of Economic Policy*, **24**(2), 211-238.

Herring, H. e S. Sorrel, 2009: *Energy efficiency and Sustainable Consumption: The Rebound Effect*. Basingstoke, UK: Palgrave Macmillan.

Hohne, N. *et al*., 2008: *Proposals for contributions of emerging economies to the climate regime under UNFCCC post 2012*. Final report for the Federal Environment Agency, Germany. Climate Change 15/2008, Dessau-Roßlau, Germany: Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt). 170 pp. Disponível em: http://www.ecofys.com/files/files/report_climate_change_proposals_for_contributions_of_emerging_economies_to_the_climate_regim.pdf

Holdren, J., 2003: Environmental Change and the Human Condition. American Academy of Arts and *Sciences, Bulletin*, Fall 2003, 57(1), 24-31. Disponível em http://www.amacad.org/publications/bulletin/fall2003/holdren.pdf. Acessado em 8/07/2011.

Holloway, V. e E. Giandomenico, 2009: The history of REDD policy. Carbon Planet White Paper. Adelaide, Australia: Carbon Planet. 20 pp.

Homer-Dixon, T., 2006: *The Upside of Down*. Catastrophe, Creativity, and the Renewal of Civilization. Washington, DC: Island Press.

IBGE, 2004: Indicadores de Desenvolvimento Sustentável (IDS). Rio de Janeiro, RJ: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística(IBGE).
IEA, 2006: World Energy Outlook. International Energy Agency (IEA) / Organisation for Economic Co-Operation and Development. Paris, France: IEA Head of Publications Service, 600 pp.

Inpe, 2009: Projeto Prodes Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. Coordenação de Observação da Terra. Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP. Disponível em http://www.obt.inpe.br/ prodes/index.html. Acessado em 23/09/2012.

Inpe, 2012: Estimativa de emissões dos gases de efeito estufa (GEE) por mudanças de cobertura da terra nos Estados de 1960 a 2011. Portal Brasileiro de Dados Abertos, Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Disponível em http://dados.gov.br/dataset/inpe-em/resource/1cb2e429-2cd0-4a89-8f98-2bb3e2d83687. Acessado em 14/05/2013.

IPCC, 2000: Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Emission Scenarios. Viena: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

IPCC, 2007a: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team [Pachauri, R.K e A. Reisinger (Eds)]. Genebra: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

IPCC, 2007b: IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Climate Change 2007: Working Group III: Mitigation of Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change, Executive Summary. Disponível em http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch1s1-es.html. Acessado em 4/07/2011.

IPCC, 2010: Understanding Climate Change – 22 Years of IPCC Assessment. Genebra:

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Disponível em: http://www.ipcc.ch/pdf/press/ipcc_leaflets_2010/ipcc-brochure_understanding.pdf. Acessado em 7/11/2012.

IPCC, 2011: Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Special Report.Disponível em http://srren.ipcc-wg3.de/report. Acessado em 20/11/2012.

IPCC, 2012: Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. *A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B. *et al*. (Eds.)]. Cambridge, UK, New York, NY: Cambridge University Press, 582 pp.

IPCC, 2012: Sustainable Development and Equity, Chapter 4, Draft Zero. Working Group III (WG3) Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: Mitigation of the Climate Change.

ISO, 2002: ISO/IEC Guide 73. Risk management vocabulary guidelines for use in standards. International Genebra: Organization for Standardization (ISO). Disponível em http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=34998. Acessado em 12/02/2011.

Jamieson, D. e, H.R. Luce, 1998: Sustainability and Beyond. Environmental and Societal Impacts Group. National Center for Atmospheric Research. *Ecological Economics*, **24**, 183-192. Disponível em http://www.geo.mtu.edu/~asmayer/rural_sustain/intro_2010/further_readings/jamieson_1998.pdf

Kaimowitz, D. *et al*., 2004: Hamburger connection fuels Amazon destruction: cattle ranching and deforestation in Brazil's Amazon. Bogor, Indonesia: Center for International Forest Research (Cifor). 9 pp. Disponível em http://www.cifor.cgiar.org/publications/pdf_files/media/Amazon.pdf.

Kanitkar T. *et al*., 2010: Global carbon budgets and burden sharing in mitigation actions, complete report In: Conference on Global Carbon Budgets and Equity in Climate. Discussion Paper, Supplementary Notes and Summary Report. [Tata Institute of Social Sciences (Org.)]. Disponível em: http://moef.nic.in/downloads/public-information/tiss-conference-cc-2010.pdf. Acessado em 30/09/2012

Kant, I., 1984: *Fundamentação da metafísica dos valores*. São Paulo, SP: Abril Cultural, Col. Os Pensadores.

Kevin, L. *et al*., 2009: Playing it forward: path dependency, progressive incrementalism, and the "super wicked" problem of global climate change. Climate Change: Global Risks. Challenges and Decisions Congress, 10-12 de março, 2009, Copenhagen, Denmark. Disponível em http://environment.research.yale.edu/documents/downloads/0-9/2010_super_wicked_levin_cashore_bernstein_auld.pdf. Acessado em 20/09/2012.

Knight, F.H., 1921: *Risk, uncertainty and profit*. Boston, MA: Houghton Mifflin. Nova edição, 2002, Washington, DC: Beard Books.

Kronenberg, D.M.P. e J.C. Junior, 2010: Análise dos impactos na saúde e no Sistema Único de Saúde decorrentes de agravos relacionados ao esgotamento sanitário inadequado nos municípios brasileiros com mais de 300.000 habitantes. São Paulo, SP: InstitutoTrataBrasil.

Krupnick. A. *et al*., 2000: Are decisionmakers at home on the range? Communicating uncertainties in cost-benefit analyses. Disponível em http://www.rff.org/Events/Documents/Krupnick_CommunicatingUncertainties.pdf.

La Rovere E. L., 2009: Perspectivas para a mitigação das mudanças climáticas: ações do Brasil e no mundo, pp. 145-153. In: IV Conferência Nacionalde Política Externa e Política Internacional (CNPEPI) "O Brasil no Mundo que Vem Aí", Rio de Janeiro, 3-4 dezembro 2009. Ministério das Relações Exteriores. Brasília, DF: Fundação Alexandre de Gusmão, 2010.

La Rovere, E.L. (Coord.), 2006: Brazil. In: *Greenhouse Gas Mitigation in Brazil, China anda India: Scenarios and Opportunities through 2025*. [Ogonowski, M. *et al*.]. Center for Clean Air Policy, Washington, DC. 180 pp.

Laurance, W.L. *et al*., 2004: Deforestation in Amazonia. *Science*, **304**, 1109-1111.
Lélé, S. M., 1991: Sustainable development: a critical review. *World Development*, **19**(6), 607-621.

Lester R. e A. Finan, 2009: Quantifying the impact of proposed carbon emission reductions on the US energy infrastructure. In: *Energy Innovation*. [Industrial Performance Center, Massachusetts Institute of Technology (Org.)], MIT-IPC-Energy Innovation Working Paper 09-004. Disponível em: http://web.mit.edu/ipc/publications/pdf/09-004.pdf. Acessado em 1/10/2012.

Luderer, G. *et al*., 2011: The economics of decarbonizing the energy system - results and insights from the RECIPE model intercomparison. *Climatic Change*, **114**(1), 9-37, doi 10.1007/s10584-011-0105-x. Disponível em http://www.springerlink.com/content/g04377m307g03725/. Acessado em 30/11/2012.

Macedo, I.C. *et al*., 2008: Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. *Biomass and Bioenergy*, **32** (7), 582-595.

Marcondes, A.W. e C.D. Bacarji, 2010: ISE: sustentabilidade no mercado de capitais. São Paulo,SP: Report Editora / BM&F Bovespa.

Margulis, S., 2003: Causas do desmatamento da Amazônia brasileira. Brasília, DF: Banco Mundial.

Margulis, S. *et al*., 2010: *Economia da mudança do clima no Brasil: custos e oportunidades*. São Paulo, SP: IBEP Gráfica, 82 pp.

Margulis. S. *et al*., 2011: *Economia da mudança do clima no Brasil*. Rio de Janeiro, RJ: Synergia Editora.

Marshall, S. et. al., 2009: Noel Kempff Mercado Climate Action Project: A Case Study in Reducing Emissions from Deforestation and Degradation. The Nature Conservancy. Disponível para *download* em http://www.conservationgateway.org/Files/Pages/noel-kempff-mercado-clima.aspx

Martenson, C., 2011: *The Crash Course.tThe Unsustainable Future of Our Economy, Energy and Environment*. New Jersey, HJ: John Wiley and Sons.

Martinelli, L. *et al*., 2010:Contextualizing ethanol avoided carbon emissions in Brazil. *GCB Bioenergy*, **2**(3), 152-156.

Maugeri, L., 2012: Oil: the next revolution. The unprecedented upsurge of oil production capacity and what it means for the world. Policy Brief, Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School. The Geopolitics of Energy Project, Discussion Paper #2012-10. Disponível em http://belfercenter.ksg.harvard.edu/files/Oil-%20The%20Next%20Revolution.pdf. Acessado em 17/09/2012.

May, G., 2011: Assessing the strength of regional changes in near-surface climate associated with a

global warming of 2 C. *Climatic Change*, **110**(3-4), 619-644, doi:10.1007/s10584-011-0076-y

May, P.H. e B. Millikan. 2010: The context of REDD+ in Brazil: drivers, agents, and institutions. Center for International Forestry Research (Cifor), Series: Cifor Occasional Paper 55, Bogor, Indonesia, 69 pp.

McNish, T., *et al*., 2009: Sweet carbon: an analysis of sugar industry carbon market opportunities under the clean development mechanism. *Energy Policy*, **37**(12), 5459-5468.

MCT, 2010: Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima. Brasília, DF, 280 pp. Disponível em: www.mct.gov.br/clima.

MCTI, 2013: Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Brasília, DF. 81 pp.

Meadows, D.L. *et al*. 1972: *Limites do crescimento: um relatório para o Projeto do Clube de Roma sobre o dilema da humanidade*. São Paulo, SP: Perspectiva.

Medina, G. *et al*., 2008: Favouring local development in the Amazon: lessons from community forest management initiatives. Center for International Forestry Research (Cifor). *Policy Brief* n°. 8, Bogor, Indonesia.

Meinshausen, M.N. *et al*., 2009: Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2°C. *Nature*, **458**, 1158-1162.Disponível em http://www.nature.com/nature/journal/v458/n7242/full/nature08017.html. Acessado em 8/07/2011.

Mendes, T. A. e S. Rodrigues Filho. 2012: Antes do pré-sal: emissões de gases de efeito estufa do setor de petróleo e gás no Brasil. *Estudos Avançados*, **26**(74), Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142012000100014&lng=en&nrm=iso. Acessado em 19/11/2012.

Mendonça, M.J.C. *et al*., 2004: The economic cost of the use of fire in the Amazon. *Ecological Economics*, **49**(1), 89-105.

Mertens, B.R. *et al*., 2002: Crossing spatial analyses and livestock economics to understand deforestation processes in the Brazilian Amazon: The case of São Félix do Xingu in South Pará. *Agricultural Economics*, **27**(3), 269-294.

Metrô SP, 2010: Inventários de emissão de gases de efeito estufa do Metrô de São Paulo. Disponível em http://www.metro.sp.gov.br/metro/sustentabilidade/inventario-emissoes-gases.aspx.

Miguez, J. *et al*., 2009: Questões éticas decorrentes do processo de revisão no âmbito da avaliação científica e socioeconômica do IPCC. In: *Mudanças climáticas, sequestro e mercado de carbono no Brasil*. [Zilliotto, M.A.B. (Ed.)]. Curitiba, PR: AM Impressos.

Milanez, B. e I.F. Fonseca, 2011: O discurso da justiça climática no contexto brasileiro: possibilidades e perspectivas. In: *Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios*.[Seroa da Mota, R. *et al*. (Eds.)]. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea).

Morello, T.F. *et al*., 2011: Rompendo com o trade-off entre combate à pobreza e mitigação do efeito estufa: o caso do consumo domiciliar de energéticos no Brasil. In: *Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios*.[Seroa da Mota, R. *et al*. (Eds.)]. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea).

Morton, D.C. *et al.*, 2006: Cropland expansion changes deforestation dynamics in the Southern Brazilian Amazon. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **103**(39), 14637–14641.

Moser, S.C., 2011: Adaptation, mitigation, and their disharmonious discontents. *Climatic Change*, **111**(2), 165-175. doi:10.1007/s10584-011-0106-9

Moss, R.H. e S.H.Schneider, 2000: Uncertainties in the IPCC TAR: Recommendations to lead authors for more consistent assessment and reporting, pp. 33-51. In: *Guidance Papers on the Cross Cutting Issues of the Third Assessment Report of the IPCC* [Pachauri, R. *et al.* (Eds.).]. Genebra: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Munasinghe, M. e R. Swart, 1999: *Climate Change and Its Linkages with Development, Equity, and Sustainability*. Proceedings of the IPCC Expert Meeting held in Colombo, Sri Lanka, 27-29 Abril, 1999. Publicado para o IPCC por Life, National Institute for Public Health and the Environment da Holanda (RIVM) e World Bank. Disponível em http://www.ipcc.ch/pdf/supporting-material/climate-change-and-des1999.pdf.

Nepstad, D. *et al.*, 2007: The costs and benefits of reducing carbon emissions from deforestation and forest degradation in the Brazilian Amazon. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) Conference of the Parties (COP), Thirteenth session, 3-14 December 2007, Bali, Indonesia. The Woods Hole Research Center / Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) / Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Falmouth, MA: The Woods Hole Research Center, 26 pp.

Nepstad, D. *et al.*, 2009. The end of deforestation in the Brazilian Amazon. *Science*, **326**, 1350-1351.

New, M., 2011: Four degrees and beyond: the potential for a global temperature increase of four degrees and its implications. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, **369**(1934), 4-5. Disponível em: http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/369/1934/4.full. Acessado em 1/10/2012.

Nordhaus, W.D., 1992: Lethal Model 2: The limits to growth revisited. *Brookings Papers on Economic Activity*, **2**, 1-59.

Nordhaus, W.D., 2007: A review of the Stern Review on the economics of climate change. *J Econ Lit*, **45**(3), 686-702.

NRC, 2010: Describing Socioeconomic Futures for Climate Change Research and Assessment: Report of a Workshop. Panel on Socioeconomic Scenarios for Climate Change Research and Assessment. National Research Council, Committee on Human Dimension of Global Change, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The Nationals Academy Press.

Oliveira Junior, J .N. *et al.*, 2010: Análise da área desmatada municipal na Amazônia Brasileira no período 2000-2004: uma abordagem com modelos não lineares. *Economia Aplicada*, **14**(3), 395-411.

Oppenheimer, M. *et al.*, 2007: Climate change: The limits of consensus. *Policy Forum / Science*, **317**(5844), 1505-1506. Disponível em http://www.sciencemag.org/content/317/5844/1505.full. Acessado em 21/12/2009.

Pacca, S. e J.R. Moreira, 2009: Historical carbon budget of the Brazilian ethanol program. *Energy Policy*, **37**(11), 4863-4873.

Pacca, S. e J.R. Moreira, 2011: A biorefinery for mobility?. Environmental Science & Technology, **45**(22), 9498-9505. Disponível em: http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es2004667.

Pachauri, R.K., 2010: The scientific assessment of climate change: new findings. *Dealing with Climate Change. Setting a global agenda for mitigation and adaptation*, [Pachauri, R.K. (Ed.).]. Delhi, India: The Energy and Resources Institute / Teri Press.

Palludeto, A.W.A. e R.S.M. Ribeiro, 2011: Humpty Dumpty e os conceitos de incerteza: uma tipologia. IV Encontro Internacional da Associação Keynesiana Brasileira (AKB), 3-5 agosto 2011, Rio de Janeiro,RJ. Disponível em www.ppge.ufrgs.br/akb/encontros/2011/26.pdf. Acessado em 12/07/2012.

Pan, J. e Y. Chen, 2010: Carbon budget proposal. In: *Dealing with Climate Change. Sitting a global agenda for mitigation and adaptation*, pp. 13-48, [Pachauri, R.K. (Ed.).]. Delhi, India: The Energy and Resources Institute / Teri Press.

Parker, C. *et al*., 2008: *The Little REDD Book*: an updated guide to governmental and nongovernmental proposals for reducing emissions from deforestation and degradation. Oxford, UK: Global Canopy Programme, 60 pp.

Pereira, A.S. e P.H., May, 2003: Economia do aquecimento global. In: *Economia do meio ambiente: Teoria e prática*.[May, P.H. *et al*. (Orgs.)]. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, pp. 219-244.
Perelman, C., 1999: Ética e direito. São Paulo, SP: Editora Martins Fontes.

Pidgeon, N. e B. Fischhoff, 2011: The role of social and decision sciences in communicating uncertain climate risks. *Nature climate change*, **1**, 35-41. Disponível: www.nature.com/natureclimatechange. Acessado em 26/12/2011.

Pigou, A.C., 1920: *The Economics of Welfare*. London: Macmillan, 876 pp.

Pokorny B. e J. Johnson, 2008: Community forestry in the Amazon: the unsolved challenge of forests and the poor. *ODI Natural Resource Perspectives*, **112**(4), 152-156.

Pope, D. e Schweitzer 2011: Is Tiger Woods loss averse? Persistent bias in the face of experience, competition and high stakes. *American Economic Review*, **101**, 129-157.

Prather, M., 2011. Near-term climate change: projections and predictability, Chapter 11, Draft Zero. Working Group I (WG1) Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change: The Physical Science Basis.

Purkayastha P. e T. Mandal, 2010: A note on carbon space as development space. In: Conference on Global Carbon Budgets and Equity in Climate Change, Discussion Paper, Supplementary Notes and Summary Report [Tata Institute of Social Sciences (Org.)]. Disponível em http://moef.nic.in/downloads/others/Development%20Space-PPurkayastha-28June2010.pdf. Acessado em 1/10/2012.

PwC, 2011: Counting the cost of carbon. PricewaterhouseCoopers Low Carbon Economy Index 2011. Disponível em http://www.pwc.com/en_GX/gx/low-carbon-economy-index/assets/Low-Carbon-Economy-Index-2011.pdf. Acessado em 30/09/2012.

PwC, 2012: Too late for two degrees? PricewaterhouseCoopers Low Carbon Economy Index 2012. Disponível em http://www.pwc.com/en_GX/gx/low-carbon-economy-index/assets/pwc-low-carbon-economy-index-2012.pdf. Acessado em 30/09/2012

Redclift, M. R., 2006: Sustainable development (1987-2005): an oxymoron comes of age. *Horizontes Antropológicos*, Porto Alegre, ano 12, **25**, 65-84, jan./jun.

Redclift, M., 1987: *Sustainable Development: Exploring the Contradictions*. London, UK: Methuen.

Rede C40, 2011: Carta de Recomendações em Saúde, criada no Workshop Clima e Saúde nas Megacidades, promoção Faculdade de Medicina da USP, Comitê Gestor Local do C40, Coordenadoria do Quadrilátero Saúde/Direito da USP e Instituto Saúde e Sustentabilidade, para o São Paulo C40 Large Cities Climate Summit, São Paulo, SP, 31 maio-1 junho 2011. Disponível em http://www.saudeesustentabilidade.org.br/downloads/carta_de_recomendacao_em_saude_SPC40.pdf.

Ribeiro, S.K., 2007: Transportation and its infrastructure. In: *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Metz, B. *et al*. (Eds.).]. Cambridge, UK, e New York, NY, USA: Cambridge University Press, Cambridge.

Rivero, S. *et al*., 2009: Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. *Nova economia* **19**(1) [*cited 2011-12-04*], pp. 41-66. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-63512009000100003&lng=en&nrm=iso.

Rogelj, J. *et al*., 2009: Halfway to Copenhagen, no way to 2°C. Nature Reports Climate Change, Publicado online em 11/06/2009, doi:10.1038/climate.2009.57. Disponível em http://www.nature.com/climate/2009/0907/full/climate.2009.57.html. Acessado em 1/10/2012.

Rose, A., 1992: Equity considerations of tradeable carbon entitlements. In: *Tradeable carbon entitlements*. [Barrett, S. *et al*. (Org.)]. Genebra: Unctad.

Saldiva, P. *et al*., 2010: O etanol e a saúde. In: *Etanol e bioeletricidade. A cana-de-açúcar no futuro da matriz energética* [Sousa, E.L. de e I. de C. Macedo (Coords.)]. São Paulo, SP: União da Indústria de Cana-de-Açúcar (Unica) / Luc Projetos de Comunicação.

Sanwal, M., 2010: Leadership in Climate Negotiations – Shared Vision and National Carbon Budgets. In: Conference on Global Carbon Budgets and Equity in Climate Change, Discussion Paper, Supplementary Notes and Summary Report [Tata Institute of Social Sciences (Org.)]. Disponível em http://moef.nic.in/downloads/public-information/tiss-conference-cc-2010.pdf. Acessado em 1/10/2012

Sartori, M.G.B., 2007: Society perception and global climate change, pp 377-391. In: *A contribution to understanding the regional impacts of global change in South America*. [Dias, P.L.S. *et al*. (Eds.)]. II Regional Conference on Global Change, São Paulo, 6-10 novembro 2005. São Paulo, SP: Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo.

Schmid, M. L. e L. Acevedo. 2009: Políticas públicas para o pagamento de serviços ambientais relacionado à manutenção do estoque de carbono em florestas nativas como ferramenta de combate ao aquecimento global. In: VII Congresso LatinoAmericano de Direito Florestal Ambiental, Curitiba, PR.

Sen, A.K., 1999a: Desenvolvimento como liberdade. São Paulo, SP: Companhia das Letras.

Sen, A.K., 1999b: Sobre ética e economia. São Paulo, Companhia das Letras. 2ª ed.

Seroa da Motta, R. *et al*. (Eds.), 2011: *Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e*

regulatórios. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Disponível em http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/livro_mudancadoclima_port.pdf.

Siebert, H., 2008: *Economics of the Environment: Theory and Policy*. Berlin, Germany, e New York, NY: Springer. 334 pp.

Silva, M.A.R. da., 2003: Economia dos recursos naturais. pp.33-60. In: *Economia do meio ambiente – teoria e prática*. [May, P.H. *et al*. (Orgs.)]. Rio de Janeiro, RJ: Editora Campus Elsevier.

Simões, A. F. e R. Schaeffer, 2005: The Brazilian air transportation sector in the context of global climate change: CO_2 emissions and mitigation alternatives. *Energy Conversion and Management*, **46**(4), 501-513.

Soares Filho, B.S. *et al*., 2006: Modelling conservation in the Amazon Basin. *Nature*, 440, 520-523.
Sparovek, G., 2008: Environmental, land-use and economic implications of Brazilian sugarcane expansion 1996-2006. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, **14**(3), pp.285-298.

Stavins, R., 2003: Experience with market-based environmental policy instruments. pp. 355-435. In: *Handbook of Environmental Economic*. [Mäler, K.G. e J.R. Vincent (Eds.)]. Amsterdam: Elsevier Science, Handbooks on Economics Series, 572 pp.

Stern, N., 2007: *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge, UK: Cambrige University Press.

Strassburg, B.B.N., 2009: Os determinantes agrícolas e o retorno econômico do desmatamento na Amazônia brasileira entre 1997-2006 e 2010-2050. Relatório do autor.

Stroeve, J.C. *et al*., 2011: The Arctic's rapidly shrinking sea ice cover: a research synthesis. *Climatic Change*, **110**(3-4), 1005-1027.

Tol, R.S.J., 2009: Climate feedbacks on the terrestrial biosphere and the economics of climate policy: an application of fund. Economic and Social Research Institute (ESRI), Working Paper 288. Disponível em http://www.esri.ie/UserFiles/publications/20090414145858/WP288.pdf. Acessado em julho de 2011

Tolmasquim, M.T.,e G. Machado, 2003: Energy and carbon embodied in the international trade of Brazil. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, **8**(2), 139-155,

Trenberth, K., 2011: More knowledge, less certainty. Nature Reports Climate Change, publicado online: 21/01/2010, doi:10.1038/climate.2010.06.

UN, 2000: *We the peoples. The role of the United Nations in the 21st Century*. New York, NY: UN. Disponível em http://www.unmillenniumproject.org/documents/wethepeople.pdf. Acessado em 20/11/2012.

UNEP, 2011a: Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth. A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel. United Nations Environment Programme. [Fischer-Kowalski, M. *et al*. (Orgs.).] Disponível em http://www.unep.org/resourcepanel/decoupling/files/pdf/Decoupling_Report_English.pdf. Acessado em 7/07/2011.

UNEP, 2011b: Green economy pathways to sustainable development and poverty eradication. United Nations Environment Programme. Disponível em http://www.unep.org/GreenEconomy/Portals/93/documents/Full_GER_screen.pdf. Acessado em 8/07/2011.
UNFCCC, 1992: Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, artigo 3,

Princípios. Disponível em http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/3996.html.

UNFCCC, 1997: Implementation of the Berlin Mandate: additional proposals from parties, Addendum, Note by the Secretariat, 30 may 1997. FCCC/AGBM/1997/MIS.1/Add.3. Disponível em http://unfccc.int/cop4/resource/docs/1997/agbm/misc01a3.htm. Acessado em 20/11/2012.

UNFCCC, 2009a: Communication from the Government of Brazil. United Nations Framework Convention on Climate Change, Copenhagen Accord (COP-15), Denmark.

UNFCCC, 2009b: Copenhagen Accord. United Nations Framework Convention on Climate Change. Conference of the Parties (COP), Fifteenth session, 7-18 December 2009. Disponível em : http://unfccc.int/documentation/documents/advanced_search/items/6911.php?priref=600005666. Acessado em janeiro de 2011.

Veiga, J.E e P.M. Valle, 2009: Ética e emissões históricas de gases de efeito estufa.Version presented at the "Climate Change - Global Risks, Challenges and Decisions" Congress, Copenhagen, March 2009. New version: COP-15 and the Ethics of Climate Change. VIII Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica,5-7 de agosto de 2009, Cuiabá,MT.

Viola, E., 2009: Brazil in the global and regional politics climate. In: Global Summit on Sustainable Development and Climate Change. New Delhi, India: Observer Research Foundation Press, 2009. 17-18 pp

Vosti, S. *et al*., 2003: Rights to forest products, deforestation and smallholder income: evidence from the Western Brazilian Amazon. *World Development*, **31**(11), 1889-1901, November.

Wagner, G. e R.J. Zeckhauser, 2011: Climate policy: hard problem, soft thinking. *Climatic Change*, **110**:507-521, doi:10.1007/s10584-011-0067-z. Disponível em http://www.edf.org/sites/default/files/11678_climate-policy-hard-problem-soft-thinking.pdf. Acessado em 20/09/2012.

WBGU, 2009: Change Solving the climate dilemma: The budget approach. Special Report. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveranderungen (German Advisory Council on Global Change). Berlin: WBGU, 54 pp. Disponível em http://www.wbgu.de/fileadmin/templates/dateien/veroeffentlichungen/sondergutachten/sn2009/wbgu_sn2009_en.pdf . Acessado em 8/07/2011.

Weitzman, M.L., 2007: The role of uncertainty in the economics of catastrophic climate change. AEI-Brookings Joint Center Working Paper n°. 07-11. Disponível em SSRN: http://ssrn.com/abstract=992873.

Weitzman, M.L., 2009: On modeling and interpreting the economics of catastrophic climate change. *Review of Economics and Statistics*, **91**(1), 11-9.

WHO, 2011: Health in the Green Economy: Health Co-benefits of Climate Change Mitigation-Housing Sector. World Health Organization, Genebra.

Wunder, S., *et al*., 2008: *Pagamentos por serviços ambientais: perspectivas para a Amazônia Legal*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente (MMA), Projeto de Apoio ao Monitoramento e Análise (AMA), Série Estudos n°. 10, 144 pp.

Young, C.F.F., 2003: Contabilidade ambiental nacional: fundamentos teóricos e aplicação empírica no Brasil. pp.101-132. In: *Economia do meio ambiente – teoria e prática*. [May, P.H. *et al*. (Orgs.).]. Rio de Janeiro, RJ: Editora Campus Elsevier.

CAPÍTULO 3

CAMINHOS PARA A MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICA

Autores Coordenadores: Amaro Olímpio Pereira Júnior (UFRJ), Carolina Burle Schmidt Dubeux (UFRJ), Osvaldo Soliano (CBEM), Márcio de Almeida D´Agosto (UFRJ), Ilton Curty Leal Jr (UFF), Eleonora Sadde Assis (UFMG), Iraci Miranda Pereira (UFMG), Jeferson Borguetti Soares (EPE), Bruno Alves (Embrapa), Mercedes Bustamante (UnB), Liana Oighenstein Anderson (Universidade de Oxford / INPE), Manuel Eduardo Ferreira (UFG),

Autores Principais: Amaro Olímpio Pereira Júnior (UFRJ), Carolina Burle Schmidt Dubeux (UFRJ), Osvaldo Soliano (UFRB),Gilberto de Martino Jannuzzi (UNICAMP), Lineu Belico dos Reis (USP), Suani Teixeira Coelho (USP), Tereza Mousinho (CBEM), Márcio de Almeida D´Agosto (UFRJ), Ilton Curty Leal Jr (UFF), Marcia Valle Real (UFF), Sílvio Carlos Aníbal de Almeida (UFRJ), Vanderlei Borsari (CETESB), Eleonora Sadde Assis (UFMG), Iraci Miranda Pereira (UFMG), Jeferson Borguetti Soares (EPE), Maurício Henriques Junior (INT), Bruno Alves (Embrapa), Mercedes Bustamante (UnB), Angelo Costa Gurgel (USP), José Feres (IPEA), Liana Oighenstein Anderson (Universidade de Oxford / INPE), Manuel Eduardo Ferreira (UFG), Jean Pierre Henry Balbaud Ometto (INPE), Milton Ribeiro (UNESP),

Autores colaboradores: (UFPA) Maria das Graças Figueiredo (CBEM), Maria Olivia de Souza Ramos (UFBA), Patrícia Alexandre Salem Szklo (UFRJ) Geraldo Lúcio Tiago Filho (UNIFEI), Luiz Augusto Horta (UNIFEI), Manoel Nogueira Guardabassi (USP), Ricardo Dutra (CEPEL), Roberto Zilles (USP), Cristiane Duarte Ribeiro de Souza (UFRJ), Gian Gomes Marques (SAE Brasil), João Alencar Oliveira Júnior (MPO), Luiz Lincon Massena Costa (UFRJ), Eduardo Cabaleiro Cortizo (UFMG), Elizabeth Marques Duarte Pereira (Centro Universitário UNA), Joyce Correna Carlo (UFV), Rejane Magiag Loura (UFMG), Vanderley Moacyr John (USP), Alexandre Berndt (Embrapa), Celso Aita (UFSM), Érika Flávia Machado Pinheiro (UFRRJ), Gustavo Barbosa Mozzer (Embrapa), Magda Aparecida Lima (Embrapa), Sandro José Giacomini (UFSM), Segundo Sacramento Urquiaga Caballero (Embrapa), Alcione Gonçalves Borges Borja (UFG), Bernardo Strassburg (Universidade de East Anglia), Carlos Padovani (CPAP), Eliana Fonseca (UFRGS), Fábio Venturoli (UFG), Francine Neves Calil (UFGO), Gustavo Manzon Nunes (UFMT), Humberto Alves Barbosa (UFAL), João Vila (Embrapa), Luciana Sanches (Embrapa), Marcelo de Carvalho Alves (UFMT), Pierre Girard (UFMT), Sérgio Mattos-Fonseca (APREC), Warwick Manfrinato (Plant Environmental Intelligence),

Autores revisores: José Joaquim Guilhoto (USP), Adilson de Oliveira (UFRJ), Luiz Augusto Horta (UNIFEI), Manoel Nogueira (UFPA), Eduardo Alcântara de Vasconcellos (USP), Aldomar Pedrini (UFRN), Maria Akutsu (IPT), Roberto Schaeffer (UFRJ), Carlos Eduardo Cerri (USP), Marcelo Theoto Rocha (USP), Arnaldo Carneiro Filho (SAE), Ricardo Bomfim Machado (UnB), Plínio Barbosa de Camargo (USP) e Andrea Souza Santos (UFRJ).

ÍNDICE

3.1. AVALIAÇÃO DOS CAMINHOS DE TRANSFORMAÇÃO 93
INTRODUÇÃO 93
3.1.1. FERRAMENTAS DE ANÁLISE 93
3.1.2. ESTUDOS EXISTENTES 95
3.1.2.1. ESTUDO 1. ASSISTING DEVELOPING COUNTRY NEGOTIATIORS THROUGH ANALYSIS AND DIALOGUE – CCAP (LA ROVERE *ET AL.*, 2006) 99
3.1.2.2. ESTUDO 2 – ESTUDO DE BAIXO CARBONO PARA O BRASIL - BANCO MUNDIAL (GOUVELLO *ET AL.*, 2010) 103
3.1.2.3. ESTUDO 3: CAMINHOS PARA UMA ECONOMIA DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO NO BRASIL – (MCKINSEY, 2009A) 109
3.1.2.4. ESTUDO 4 – ECONOMIA DA MUDANÇA DO CLIMA NO BRASIL (MARGULIS *ET AL.*., 2011) 110
3.1.2.5. ESTUDO 5 – ESTUDO COMPARATIVO ENTRE TRÊS CENÁRIOS DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO BRASIL E UMA ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO – MMA/PNUD (LA ROVERE *ET AL.*, 2011) 113
CONSIDERAÇÕES FINAIS 114

3.2. SISTEMAS ENERGÉTICOS: GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA 115
INTRODUÇÃO 115
3.2.1. SITUAÇÃO DO SETOR 117
3.2.1.1. TENDÊNCIAS DE DESENVOLVIMENTO DO SETOR ELÉTRICO – PRODUÇÃO E CONSUMO 117
3.2.2. POTENCIAL DE RECURSOS ENERGÉTICOS PRIMÁRIOS E A INDÚSTRIA DE ENERGIA ELÉTRICA: GERAÇÃO, TRANSMISSÃO & DISTRIBUIÇÃO – G, T & D 120
3.2.2.1. FONTES PRIMÁRIAS 120
3.2.2.2. INDÚSTRIA DE ENERGIA ELÉTRICA – G,T&D 133
3.2.3.3. ANÁLISE ECONÔMICA E DE CUSTOS 144
3.2.3.4. CONCLUSÃO 146
3.2.4. POLÍTICAS E INSTRUMENTOS 146
3.2.4.1. POLÍTICAS PARA REDUÇÃO DE EMISSÃO 146
3.2.4.2. POLÍTICAS PÚBLICAS PARA FOMENTO E DISSEMINAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS 151
3.2.4.3. POLÍTICAS PÚBLICAS PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – E.E. 152
3.2.4.4. PESQUISA TECNOLÓGICA, DESENVOLVIMENTO, DEMONSTRAÇÃO E APLICAÇÃO 154
3.2.4.5. FINANCIAMENTO E OUTROS INCENTIVOS 155
3.2.5. POLÍTICAS ENERGÉTICAS NO CONTEXTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 157
3.2.5.1. AUMENTO DO ACESSO 158

3.3. TRANSPORTES 159
3.3.1. VISÃO GERAL SOBRE O TRANSPORTE NO BRASIL 159
3.3.1.1. TRANSPORTE DE PASSAGEIROS 161
3.3.1.2. TRANSPORTE E MOVIMENTAÇÃO DE CARGA 163
3.3.2. OPÇÕES PARA MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE CO_2 164
3.3.2.1. REDUÇÃO E/OU RACIONALIZAÇÃO DO USO DE TRANSPORTES MOTORIZADOS 164
3.3.2.2. TRANSFERÊNCIA DAS VIAGENS PARA EQUIPAMENTOS OU MODOS DE MAIOR EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 166
3.3.2.3. UTILIZAÇÃO DE FONTES DE ENERGIA COM MENORES TAXAS DE EMISSÃO DE CO_2 174
3.3.3. CONTEXTO GEOPOLÍTICO, ECONÔMICO E SOCIAL ASSOCIADO A MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO_2 177
3.3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES 179

3.4. AS EDIFICAÇÕES E SEU ENTORNO CONSTRUÍDO 180
INTRODUÇÃO 180

3.4.1 CONSUMO ENERGÉTICO DAS EDIFICAÇÕES BRASILEIRAS 182
3.4.2. EMISSÕES DE GEES NAS EDIFICAÇÕES BRASILEIRAS 185
3.4.2.1 EMISSÕES NO USO DAS EDIFICAÇÕES 186
3.4.3. CENÁRIOS FUTUROS DE USO DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES 187
3.4.3.1 CRESCIMENTO ECONÔMICO, REDUÇÃO DA POBREZA E EMISSÕES DE GEE 189
3.4.4. OPÇÕES DE MITIGAÇÃO DE EMISSÕES EM EDIFÍCIOS E EQUIPAMENTOS 191
3.4.4.1 PRINCÍPIOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 191
3.4.4.2 SISTEMAS NATURAIS E ARTIFICIAIS DE ILUMINAÇÃO 192
3.4.4.3 DESEMPENHO ENERGÉTICO DE ENVOLTÓRIAS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS 192
3.4.4.4 SISTEMAS DE VENTILAÇÃO E AR CONDICIONADO 193
3.4.4.5 ECONOMIA DE ENERGIA POR *RETROFIT* DE EDIFICAÇÕES 193
3.4.4.6 CAPTAÇÃO ATIVA E TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA SOLAR EM ELETRICIDADE 194
3.4.4.7 AQUECIMENTO DE ÁGUA DOMÉSTICO 195
3.4.4.8 USO DE MATERIAIS E RECICLAGEM DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL 197
3.4.5 POLÍTICAS PÚBLICAS PARA PROMOVER A MITIGAÇÃO DE GEE EM EDIFICAÇÕES 199
3.4.6 LIMITAÇÕES E LACUNAS DO CONHECIMENTO 201

3.5. INDÚSTRIA 202
3.5.1. A INDÚSTRIA BRASILEIRA E SUAS EMISSÕES DE GEES 202
3.5.2.TENDÊNCIAS DE EMISSÕES DE GEES NA INDÚSTRIA BRASILEIRA 204
3.5.3. OPÇÕES PARA MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE GEES PELA INDÚSTRIA 205
3.5.3.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 206
3.5.3.2. SUBSTITUIÇÃO DE COMBUSTÍVEIS 209
3.5.3.3. COGERAÇÃO DE ENERGIA 210
3.5.3.4. USO DE ENERGIA RENOVÁVEL 211
3.5.3.5. RECICLAGEM E USO EFICIENTE DE MATERIAIS 212
3.5.3.6. TECNOLOGIAS DE PROCESSOS ESPECÍFICOS 214
3.5.4. POTENCIAL PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO 216
3.5.4.1. OPORTUNIDADES 216
3.5.5. POLÍTICAS SETORIAIS E SOBRE O CLIMA RELACIONADAS A MUDANÇAS CLIMÁTICAS E INDÚSTRIA 219
3.5.5.1. POLÍTICAS PÚBLICAS VIGENTES RELACIONADAS A MUDANÇAS CLIMÁTICAS E INDÚSTRIA 219

3.6. AGROPECUÁRIA E SILVICULTURA 224
3.6.1 INTRODUÇÃO 224
3.6.2. AGRICULTURA BRASILEIRA 225
3.6.2.1 PRINCIPAIS LAVOURAS 226
3.6.2.2 PECUÁRIA 227
3.6.2.3 FLORESTAS PLANTADAS 228
3.6.2.4 TENDÊNCIAS FUTURAS 228
3.6.3. EMISSÕES NO SETOR 230
3.6.3.1 EMISSÕES GERAIS 230
3.6.3.2 EMISSÕES DE CH_4 230
3.6.3.3 EMISSÕES DE N_2O 231
3.6.3.4. EMISSÕES EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO 232
3.6.4. PRÁTICAS DE MITIGAÇÃO 237
3.6.4.1 PLANTIO DIRETO NA PALHA 237
3.6.4.2 COLHEITA DE CANA-DE-AÇÚCAR SEM QUEIMA 240
3.6.4.3 RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS 241
3.6.4.4 REDUÇÃO DAS EMISSÕES ENTÉRICAS PELO BALANCEAMENTO DA DIETA, SUPLEMENTAÇÃO E ADITIVOS, E AÇÃO DIRETA NO RÚMEN 242
3.6.4.5 INTEGRAÇÃO ENTRE LAVOURA E PECUÁRIA 243
3.6.4.6 BIODIGESTORES PARA O MANEJO DE DEJETOS NA SUINOCULTURA 244
3.6.4.7 USO DE ADITIVOS E FORMAS DE APLICAÇÃO DE DEJETOS COMO ADUBO 244

3.6.4.8 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO NITROGÊNIO - FBN E PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO PARA REDUZIR AS DOSES DE FERTILIZANTES NITROGENADOS COM USO DE INOCULANTES MICROBIANOS 245
3.6.4.9 AUMENTOS DOS PLANTIOS COMERCIAIS E INTRODUÇÃO DE ÁRVORES EM OUTROS SISTEMAS DE PRODUÇÃO 246
3.6.5. EFETIVIDADE DA MITIGAÇÃO 247
3.6.5.1 POTENCIAIS TÉCNICOS DE MITIGAÇÃO 247
3.6.5.2 EMISSÕES CONSOLIDADAS 251
3.6.5.3 EXTERNALIDADES 252
3.6.5.4 BARREIRAS E CUSTOS 254
3.6.6 LACUNAS DE CONHECIMENTO 256

3.7 MUDANÇA NA COBERTURA E NO USO DA TERRA 257
INTRODUÇÃO 227
3.7.1. BIOMAS BRASILEIROS 259
3.7.1.1. AMAZÔNIA 259
3.7.1.2. CERRADO 262
3.7.1.3. PANTANAL 265
3.7.1.4. CAATINGA 269
3.7.1.5. MATA ATLÂNTICA 274
3.7.1.6. PAMPA 278
3.7.1.7. MANGUEZAIS 280
3.7.2. IMPACTO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE OS BIOMAS BRASILEIROS 284
3.7.3. ESTOQUES DE CARBONO E FLUXOS DE CO_2 E OUTROS GASES DE EFEITO ESTUFA 290
3.7.4. MEDIDAS E POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO 293
3.7.4.1. MONITORAMENTO E PREVENÇÃO DO DESMATAMENTO 293
3.7.4.2. MONITORAMENTO E REDUÇÃO DE QUEIMADAS 299
3.7.4.3. MONITORAMENTO E COMBATE À DESERTIFICAÇÃO 302
3.7.4.4. ORDENAMENTO TERRITORIAL E CENÁRIOS FUTUROS 304
3.7.4.5. INSTRUMENTOS ECONÔMICOS 308
3.7.5. LACUNAS NO CONHECIMENTO 310

LEITURA COMPLEMENTAR 312
1. TECNOLOGIAS E PRÁTICAS DE MITIGAÇÃO EM FLORESTAS 312
2. EFETIVIDADE DE MITIGAÇÃO 320
3. IMPLICAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 322

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 323

3.1. AVALIAÇÃO DOS CAMINHOS DE TRANSFORMAÇÃO

INTRODUÇÃO

Este subcapítulo analisa os cenários de transformação da economia tradicional para a de baixo carbono, construídos para o Brasil. São descritos aqui, as ferramentas e o instrumental de análise dos quais se dispõe na literatura especializada, além de levantados os estudos existentes para o País, bem como apresentados seus resultados.

O instrumental disponível para esta análise consiste nos modelos *top-down*, *bottom-up* e híbridos, utilizados em diferentes estudos, cuja finalidade é a de descrever distintas trajetórias– ou cenários – e seus respectivos custos, de modo que se possa estimar o *potencial de mitigação* das emissões de gases do efeito estufa na economia brasileira em curto e médio prazos, dependendo do horizonte temporal de cada estudo.

O conceito de potencial de mitigação foi desenvolvido para se avaliar as escalas de redução de gases de efeito estufa que poderiam ser adotadas. É expresso em custo por unidade de emissões de dióxido de carbono equivalente (CO_2eq) evitado ou reduzido. O potencial de mitigação se diferencia em *técnico*[1], *econômico* e *de mercado*. Neste capítulo, serão analisados os dois últimos, abaixo explicitados.

Potencial econômico: potencial de mitigação que leva em conta custos e benefícios sociais, a taxas de desconto sociais – que refletem, portanto, a perspectiva da sociedade, sendo menores do que as utilizadas por investidores privados –, em que se assume que a eficiência do mercado, na ocorrência de externalidades ambientais, é passível de aprimoramento por meio de medidas e políticas públicas.

Potencial de mercado: potencial de mitigação com base em custos e taxas de desconto privados – que, portanto, refletem a perspectiva dos consumidores e empresas–, em que se assume o que é esperado ocorrer, em condições de mercado, incluindo as políticas e medidas atualmente em vigor e observando-se as barreiras que limitam a realização do potencial econômico.

Alguns dos principais estudos desenvolvidos que tratam dos custos para a economia brasileira de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) são citados a seguir:

1. *Assisting Developing Country Negotiators through Analysis and Dialogue– CCAP* (LaRovere *et al.*, 2006)
2. Estudo de Baixo Carbono para o Brasil –Banco Mundial (Gouvello *et al.*, 2010)
3. Caminhos para uma Economia de Baixa Emissão de Carbono no Brasil (McKinsey, 2009a)
4. Economia da Mudança do Clima no Brasil – EMCB (Margulis *et al.*, 2010)
5. Estudo Comparativo entre Três Cenários de Emissão de Gases de Efeito Estufa no Brasil e uma Análise de Custo-Benefício – MMA/PNUD (La Rovere *et al.*, 2011)

3.1.1. FERRAMENTAS DE ANÁLISE

O potencial de mitigação, seja econômico ou de mercado, é estimado a partir da descrição matemática das relações econômicas de todas as atividades produtivas do País que emitem gases de efeito etufa. Os estudos, dessa maneira, podem se basear na avaliação das opções de mitigação, ressaltando tecnologias e regulamentações específicas. São comumente denominados modelos técnico-econômicos ou *bottom-up*.

Alternativamente, pode-se utilizar informações agregadas da economia, com estruturas consistentes,

[1] O potencial máximo alcançável a partir das melhores práticas de produção disponíveis.

sobre as opções de mitigação, capturando os impactos macroeconômicos e de mercado. Tal abordagem é feita com modelos *top-down* e avalia o potencial de mitigação da economia ou de um setor como um todo.

Várias vantagens e desvantagens podem ser apontadas para uma ou outra abordagem. No entanto, diversos trabalhos mostram que a integração entre essas duas vertentes – modelos híbridos – traz resultados mais consistentes.

Os modelos técnico-econômicos são tipicamente estudos setoriais que consideram os dados macroeconômicos como exógenos. A partir deles, é possível identificar tecnologias e limitações de mercado, que permitem avaliar o potencial de mitigação de uma economia. Tais modelos podem ainda, ser classificados como modelos de otimização, modelos de simulação dos agentes econômicos e modelos contábeis.

Os modelos de otimização identificam soluções de mínimo custo para um conjunto potencial de medidas de mitigação sujeito a várias restrições, tais como de disponibilidade tecnológica, de igualdade entre oferta e demanda, restrições ambientais, de investimento, entre outras. Normalmente, usam técnicas de programação matemática para as tais soluções. A solução de mínimo custo também contempla, o custo marginal de abatimento[2] (solução dual).

Esta abordagem é a mais conveniente para análises do tipo *backcasting*[3], por definir adequadamente trajetórias de crescimento. Porém, é limitada para analisar escolhas políticas, pois assume dados econômicos e sociais exógenos.

Entretanto, as soluções de modelos de otimização podem levar a soluções de canto. Isto significa que uma pequena mudança nas restrições ou nos custos pode provocar drástica alteração nos resultados. A desvantagem da utilização de tal abordagem está no fato de que, normalmente, é necessário se adotar hipóteses que podem produzir resultados indesejáveis.

Os modelos de simulação dos agentes econômicos, por sua vez, determinam o comportamento dos consumidores e produtores em relação a um conjunto de bens econômicos, a partir da variação de preço, renda e progresso tecnológico. Normalmente, determinam o equilíbrio do mercado a partir de uma abordagem iterativa e, por isso, não são limitados por comportamento considerado ótimo dos agentes econômicos. Entretanto, as relações entre estes podem ser controversas e difíceis de parametrizar. As projeções também são bastante sensíveis às condições e aos parâmetros iniciais.

Por fim, os modelos contábeis, também conhecidos como paramétricos, são os mais simples de serem modelados. Isto porque utilizam somente as quantidades de fluxos de bens e serviços especificados na descrição da economia em análise. As projeções são, normalmente, baseadas em especificações determinadas pelo usuário. A principal função desses modelos é a de gerenciar dados e resultados e, por isso, são bastante úteis para as soluções hipotéticas do tipo *what if* (expressão em inglês que se refere à indagação sobre o que aconteceria a partir da ocorrência de uma determinada hipótese). Apesar de serem mais simples e flexíveis, podem gerar soluções inconsistentes.

Os modelos *top-down*, conforme mencionados anteriormente, utilizam dados mais agregados da economia como um todo, ou de um setor, ou ainda de determinadas relações econômicas. Tais modelos podem ser classificados como modelos de equilíbrio parcial e modelos de equilíbrio geral. Os primeiros se baseiam em funções de demanda e de oferta, que normalmente são construídas a partir de regressões econométricas, e permitem obter uma solução de equilíbrio de mercado em um determinado setor. Tais modelos são de fácil construção, mas costumam ser fortemente baseados em informações do passado, que podem não representar bem o futuro. Por isso, sua aplicação é bastante limitada.

[2] Custo da redução das emissões a partir da implementação de tecnologias menos poluentes.
[3] Análises que consistem em determinar a melhor trajetória para metas definidas para o futuro.

Os modelos de equilíbrio geral, por outro lado, são usados para estudar uma classe completa e homogênea de consumidores e não levam em conta, necessariamente, a sua estrutura tecnológica. Tais modelos geram um conjunto consistente de valores para níveis de atividade econômica e preços do capital, do trabalho e de materiais primários. Estas características permitem que sejam feitas análises custo-benefício de um conjunto de medidas de mitigação através de dados agregados da economia, o que possibilita também a avaliação da implementação de políticas macroeconômicas. Além disso, permitem verificar os efeitos inter setoriais de determinadas medidas pontuais. Os modelos *top-down*, entretanto, mostram-se limitados quando há necessidade de se avaliar tecnologias detalhadamente.

Como foi visto, é possível destacar várias vantagens e desvantagens dos dois tipos de abordagens - *top-down* e *bottom-up*. Por isso, é possível conciliar a consideração de detalhes importantes dos modelos *top-down*, como a determinação de forma endógena das variáveis macroeconômicas, e incorporar as interações econômicas de modelos técnico-econômicos (tais como, modelos energéticos, de uso do solo, climáticos etc.) em uma estrutura econômica mais consistente. Tais modelos, incluídos na categoria de híbridos, fazem projeções simultâneas da matriz insumo-produto (principal dado de entrada dos modelos de equilíbrio geral) e dos modelos técnico-econômicos.

Normalmente, a comunicação entre a parte *top-down* e a *bottom-up* do modelo é feita de forma iterativa em termos de variações de preços e de quantidades. Dessa forma, obtém-se o equilíbrio entre produção e consumo de bens e serviços de toda a economia, diferentemente de modelos *bottom-up* que tratam parcialmente a economia.

3.1.2. ESTUDOS EXISTENTES

Os valores encontrados pelos estudos aqui descritos se referem a medidas de mitigação que se contrapõem a cenários de referência específicos e não coincidentes. Da mesma forma, os horizontes temporais variam conforme pressupostos, hipóteses e taxas de desconto, entre outros fatores – o que resulta em resultados econômicos igualmente distintos. A tabela 3.1 deste subcapítulo resume, abaixo, as principais características dos estudos identificados para o Brasil, conforme a instituição signatária da autoria dos mesmos – respectivamente, a organização não governamental norte-americana *Center for Clean Air Policy* (*CCAP*), o Banco Mundial, o rol de especialistas de instituições de pesquisa brasileiros que elaboraram o texto Economia da Mudança do Clima no Brasil (EMCB), a consultoria empresarial norte-americana McKinsey e o Ministério do Meio Ambiente do Brasil (MMA) em cooperação com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD).

Tabela 3.1 *Síntese dos principais estudos sobre custos de mitigação de emissões de GEE no Brasil.*

	CCAP	Banco Mundial	EMGB	McKinsey	MMA/PNUD
1) NATUREZA DOS MODELOS UTILIZADOS	bottom-up	bottom-up	híbrido para taxa de carbono; e bottom-up para florestal	bottom-up	bottom-up
2) ESTIMATIVAS REALIZADAS					
2.1 Custos de mitigação (custo de ações de redução de emissões), nos seguintes setores:	Energia (refino e geração), indústria (cimento, ferro e aço e papel e celulose), transporte, comércio, serviços, agropecuária e florestal	Energia (produção de petróleo e gás, refino e geração de eletricidade), indústria, transporte, comércio e serviços, residencial, resíduos sólidos e efluentes, agropecuária e florestal		Geração de eletricidade, transporte rodoviário, indústria (siderurgia, química e cimento) resíduos sólidos e efluentes, edificações, agropecuária e florestal	Geração de eletricidade, transporte rodoviário, indústria, resíduos sólidos e efluentes, agropecuária e florestal
2.2 Custos de mitigação (custo de oportunidade do desmatamento)			Dois estudos sobre custo de oportunidade da floresta (valor do PIB agropecuário a ser perdido com a manutenção da floresta) – Estudo 1 e Estudo 2		
2.3 Análise macroeconômica	Impactos sobre necessidade de investimentos e nível de emprego (análise apenas indicativa e de tendências)	Impactos sobre PIB e emprego (modelo de insumos e produtos)	Efeitos de uma taxa de carbono na economia (US$ 10, 20 ou 90/t de CO_2eq) – Estudo 3		

3) CENÁRIO ECONÔMICO	Trajetórias dos cenários A2 e B2 do IPCC			Trajetória única: B1 do PNE, 2030		Trajetória única – sem descrição.		Trajetória do cenário B2 do IPCC	
3.1 Períodos	De 2005 a 2010; de 2010 a 2015; de 2015 a 2020 e de 2020 a 2025.			De 2010 a 2030.	Estudo 1: de 2010 a 2090 Estudo 2: 2010 a 2020 Estudo 3: no ano analisado	Até 2015	De 2015 a 2030	Até 2020	De 2020 a 2030
3.2 Evolução do PIB – % ao ano	4,26%; 4,11%; 4,05%; 4,05% **			4,1%		3,5%	2,8%	5%	4%
3.3 População (taxa de crescimento anual ou valor no último ano do cenário)		2000-2015	2015-2025	0,94% a.a.		0,9% a.a.		207,7 milhões	216,8 milhões
	Rural	0,75% a.a.	0,66% a.a						
	Urbano	1,52% a.a.	1,00% a.a.						
3.4 Preço da economia	US$ de 2004 (= R$ 2,70)			US$ 1 = R$ 2,2	US$ de 2008	euros de 2005 (US$ 1,5/€)		US$ de 2009	
3.5 Preço do petróleo	US$ 30,31/barril, em 2025 (crescente ao longo do tempo)			US$45/barril		US$ 60/barril			
3.6 Taxa de desconto – Ótica social				8% a.a. para análise macroeconômica e 4%; 8% e 12% a.a. para microeconômica.	5% nos Estudos 1 e 2. No Estudo 3 não se aplica	4% a.a		8% a.a.	
3.7 Taxa interna de retorno – Ótica privada				Uma taxa para cada setor.					

4) CENÁRIOS DE EMISSÃO/ MITIGAÇÃO	Para cada cenário econômico, um cenário de emissões com políticas e projetos anunciados até 2000 – referência – e dois cenários de mitigação: um com políticas e ações até 2005 e outro, a partir de 2006***.		Um cenário de referência e um cenário de baixo carbono	Um cenário de referência e um cenário de baixo carbono	Um cenário de referência e um cenário de baixo carbono	emissões – B – e contrastados – A e C. Até 2020, o cenário B inclui os objetivos da mitigação da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). O cenário A é tendencial e o C implica maior esforço de mitigação.
4.1 Unidade de mensuração	Emissões no último ano de cenário em Mt CO_2		Mitigação no período 2010-2030 em Mt CO_2		Emissões no último ano de cenário em Mt CO_2 e	Emissões a cada 5 anos em Mt CO_2 e
4.2 Cenário de referência - emissões	1.224	1.265	26.000		2.880	4.434
4.3 Cenário de mitigação - emissões	Cenário 1 = 1.104 Cenário 2 = 936,6	Cenário 1 = 952,2 Cenário 2 = 810,5	11.294	Estudo 1: redução de 70% das emissões por desmatamento. Estudo 2: emissões por desmatamento próximas de zero. Estudo 3: Taxa (US$/tCO2e) a) 50 30 PIB (var. %) - 0.130 - 0.084 Emissões (var. %) - 1.874 - 1.161	1.530	Cenário B = 2530 Mt CO2eq Cenário C= 1731 Mt CO2eq
* a análise não inclui estimativas monetárias						
** a evolução do PIB setorial em A2 é diferente do considerado em B2 – mais detalhes no item 1.1. deste subcapítulo						
*** a análise não inclui estimativas econômicas para os setores de agropecuária e florestal						
Células sem valores = valores não identificados ou que não se aplicam						

Fontes: *CCAP* (La Rovere, 2006); Banco Mundial (Gouvello *et al.*,2010); EMCB (Margulis *et al.*, 2011); e McKinsey (2009a).

Obs.: qualquer imprecisão ou erro nas informações da tabela são de responsabilidade dos autores do presente estudo.

Quadro 3.1 *A importância da taxa de desconto*

Uma dos aspectos mais relevantes na questão da análise econômica diz respeito à alocação intertemporal de recursos. Esta questão decorre do fato de que os indivíduos preferem o consumo presente ao consumo futuro atribuindo, portanto, mais valor a um bem no presente do que ao mesmo bem no futuro. Um grande instrumento de política econômica para a alocação intertemporal eficiente de recursos é o uso da taxa de desconto (d) que reflete a razão entre a preferência dos indivíduos pelo consumo presente em relação ao consumo futuro.

Países com economia desenvolvida apresentam taxas de desconto menores em comparação às dos países em desenvolvimentos pois (1) o nível de desenvolvimento alcançado reduz a demanda por investimentos e (2) a oferta de fundos é grande, dado o nível de poupança alcançado. Nas economias em desenvolvimento ocorre o oposto: a demanda por investimentos é relativamente superior, enquanto os recursos para investimento são escassos. Neste caso, a preferência social é pela utilização dos poucos recursos disponíveis no presente, observando-se assim uma alta taxa de desconto. Em economias ricas a literatura sugere taxas que variam entre 2 e 5% ao ano, enquanto que em economias em desenvolvimento se situam entre 8 e 17% ao ano.

Portanto, o desempenho econômico de um projeto é influenciado pela taxa de desconto em função da distribuição dos seus custos e dos seus benefícios ao longo do tempo. Quanto mais distante o retorno do investimento (benefício) no tempo, tanto menos viável será o projeto quanto mais alta for a taxa de desconto. No caso de projetos de mesmo benefício (por exemplo, o benefício corresponde à receita com a geração elétrica) com tecnologias diferentes (eólica ou termelétrica), aqueles que têm custos totais (investimento e operação) distribuídos em mais longo prazo em vez de realizados em curto prazo, tornam-se de mais baixo custo quanto maior for a taxa de desconto (geralmente porque o custo operacional alto no futuro será baixo em valor presente).

O estudo do Banco Mundial (De Gouvello *et al.*, 2010) compara os custos das tecnologias de mitigação que compõem o cenário de baixo carbono com os custos das tecnologias previstas no cenário de referência. Observa-se que em sua grande maioria, as tecnologias de mitigação apresentam menores custos de abatimento quanto menor a taxa de desconto. Por exemplo, o custo de geração de eletricidade de fonte eólica, comparativamente ao custo da geração do cenário de referência que contém fontes convencionais (um mix de fontes de geração), apresenta um custo negativo de US$ 162/tCO_2 eq a uma taxa de desconto de 4% a.a. e um custo positivo de US$ 64/tCO_2eq a uma taxa de desconto de 12% a.a.. Isto significa que a 4% a.a., a cada tonelada abatida, o empreendimento tem um retorno de US$ 162 e que a 12% tem um custo de US$ 64 necessitando, neste caso, um subsídio para tornar-se viável. Portanto, uma alta taxa de desconto penaliza grande parte dos investimentos em energias alternativas.

A seguir, uma síntese das metodologias e dos principais resultados de todos os estudos aqui apresentados.

3.1.2.1. ESTUDO 1. ASSISTING DEVELOPING COUNTRY NEGOTIATIORS THROUGH ANALYSIS AND DIALOGUE – CCAP (LA ROVERE *ET AL.*, 2006)

A Tinker Foundation, a Fundação Hewlett, o Center for Clean Air Policy (CCAP) e organizações líderes em quatro países-chave em desenvolvimento (Brasil, China, Índia e México) realizaram um estudo denominado Assistência a Negociadores de Países em Desenvolvimento Através de Análise e Diálogo. O objetivo foi desenvolver uma análise abrangente das fontes de emissão de GEE, realizar projeções e identificar o potencial de opções de mitigação, respectivos custos, co-benefícios e políticas de implementação.

No Brasil, o Centro Clima, integrante da Cordenação de Projetos e Pesquisas em Engenharia

da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e o Instituto Interamericano para Pesquisa em Mudança Global, criado por 19 países latino-americanos, se ocuparam de estudar os setores energético, o agropecuário e de uso de solo, respectivamente.

O projeto representou um passo importante nas discussões sobre o pós-2012 à ocasião de sua realização por fornecer análises e resultados concretos para ajudar as deliberações internas destes quatro países e da comunidade internacional.

Foram realizadas análises individuais de redução de emissões para os principais setores da economia. Os setores analisados foram eletricidade, cimento, ferro e aço, celulose e papel, transporte, comercial, agricultura, habitação e silvicultura. Especificamente, cada análise por país incluíu os seguintes elementos:

i) Conhecimento da perspectiva atual de cada setor econômico, incluindo o número de unidades/ano e capacidade de produção, produção, consumo de combustível, emissões de GEE, intensidade energética e intensidade de emissões de GEE.

ii) Prospecção das emissões de gases de efeito estufa a longo prazo (até o ano 2025 ou 2030) para cada setor econômico sob distintos cenários de referência. Incluiu cenários de produção anual, consumo de combustível, emissões de GEE, intensidade energética e intensidade das emissões de GEE.

iii) Construção de curvas de custo marginal de redução de emissões de GEE para tecnologias-chave e outras opções para mitigação em cada setor. Incluiu a estimativa do potencial de redução das emissões totais de GEE e respectivos custos (por tonelada de GEE reduzida) para 2010, 2015 e 2020.

iv) Avaliação do impacto da implementação dos pacotes selecionados de opções de mitigação de GEE. Os resultados incluíram a variação anual (até 2030) do consumo e da intensidade de energia, das emissões e da intensidade de GEE, custos totais e custos de produção bem como co-benefícios.

v) Avaliação dos custos para toda a economia e os impactos econômicos dos pacotes de mitigação para parâmetros, tais como, PIB, emprego, preços ao consumidor, estrutura da economia e distribuição, utilizando modelos macroeconômicos e estruturas de otimização que incorporam dados de custo potencial de execução e de redução das emissões de GEE para as tecnologias-chave.

vi) Análise preliminar do potencial de políticas nacionais para a implementação de cada opção de mitigação, incluindo o quadro jurídico e regulatório nacional, barreiras políticas, econômicas, técnicas e legais para sua implementação, potenciais atores-chave e instituições, bem como possibilidades de financiamento.

i) Avaliação das opções de política internacional e respectivas implicações para cada setor econômico.

A análise do potencial de mitigação de GEE foi realizada com base em cenários específicos de evolução da população e do PIB do País. Foram desenvolvidos dois cenários de referência para cada setor, baseados nos cenários A2 e B2 do *Special Report on Emissions Scenarios* do *IPCC* (*IPCC*, 2000). O cenário A2 é caracterizado por fluxos comerciais relativamente mais baixos, renovação lenta de estoque de capital e taxas mais lentas de mudança tecnológica. O cenário B2 é caracterizado pela preocupação relativamente maior com o meio ambiente e a sustentabilidade social.

No que se refere ao crescimento do PIB, a Tabela 3.2 apresenta, a seguir, os valores estimados.

Tabela 3.2 *Hipóteses de crescimento real do PIB e de valores adicionados setoriais para a economia brasileira – em % ao ano*

Cenário base *B2*	**De 2005 a 2010**	**De 2010 a 2015**	**De 2015 a 2020**	**De 2020 a 2015**
PIB em % ao ano	4,26	4,11	4,05	4,05
Agricultura	4,00	3,00	1,86	1,80
Indústria	4,45	4,42	3,45	3,27
Extração mineral – exceto combustível	3,50	1,50	1,20	1,00
Extração de petróleo e gás	4,00	3,00	1,20	1,00
Indústria de transformação	3,96	4,05	3,86	3,71
Serviço público	5,00	5,00	4,00	3,00
Construção	6,00	6,00	3,00	3,00
Serviços	4,19	4,13	4,88	4,93
Cenário-base *A2*	**De 2005 a 2010**	**De 2010 a 2015**	**De 2015 a 2020**	**De 2020 a 2015**
PIB em % ao ano	4,26	4,11	4,05	4,05
Agricultura	3,58	3,55	3,38	3,26
Indústria	5,42	5,16	5,03	4,98
Extração mineral – exceto combustível	6,70	6,18	6,03	5,91
Extração de petróleo e gás	5,15	5,19	5,07	4,95
Indústria da transformação	5,34	5,01	4,87	4,81
Serviço público	3,60	2,80	2,49	2.38
Construção	6,46	6,43	6,21	6,09
Serviços	3,60	3,45	3,42	3,46

Fonte: La Rovere *et al.*(2006).

Tendo em vista a relevância do setor de indústrias de transformação, foram estimados os percentuais de crescimento do PIB para os principais subsetores – minerais não metálicos, siderurgia, metalurgia, papel e celulose, alimentos e bebidas, química e refino, têxtil e outros –, cujos valores estão disponíveis para consulta no estudo publicado.

As projeções de crescimento populacional para ambos os cenários foram obtidas junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), este último subsidiando a discriminação entre urbano e rural, a partir de Bonelli e Gonçalves (1999). A população total foi estimada em 230 milhões de habitantes em 2030 e detalhes sobre urbana e rural, número de domicílios e habitantes por domicílio, por exemplo, também estão disponíveis no estudo publicado.

Cada um dos dois cenários de base foi dividido em um cenário admitindo a execução apenas das políticas e projetos anunciados até 2000 (Cenário de Políticas Pré-2000) e outro cenário com aplicação de todas as políticas anunciadas até 2005 (Cenário de Políticas Recentes). Ambos começam em 2000. Um terceiro cenário foi então desenvolvido e assumiu a execução de opções de mitigação após 2005 (Cenário de Opções Avançadas).

Tomando como exemplo o setor elétrico, nos cenários de linha de base de 2005, a política de mitigação simulada foi a introdução do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA). Este programa foi criado pelo governo em abril de 2002, teve como objetivo diversificar a matriz energética e aumentar a participação da energia elétrica gerada a partir de fontes renováveis. A ideia era promover a implantação de 3.300 MW de capacidade do Sistema Interligado Nacional (SIN), produzidos por energia eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas.

As diferenças entre os cenários de referência A2 e B2 são consequências de hipóteses assumidas pelo lado da demanda e de pequenas alterações na participação do gás, petróleo e energias renováveis para geração de energia.

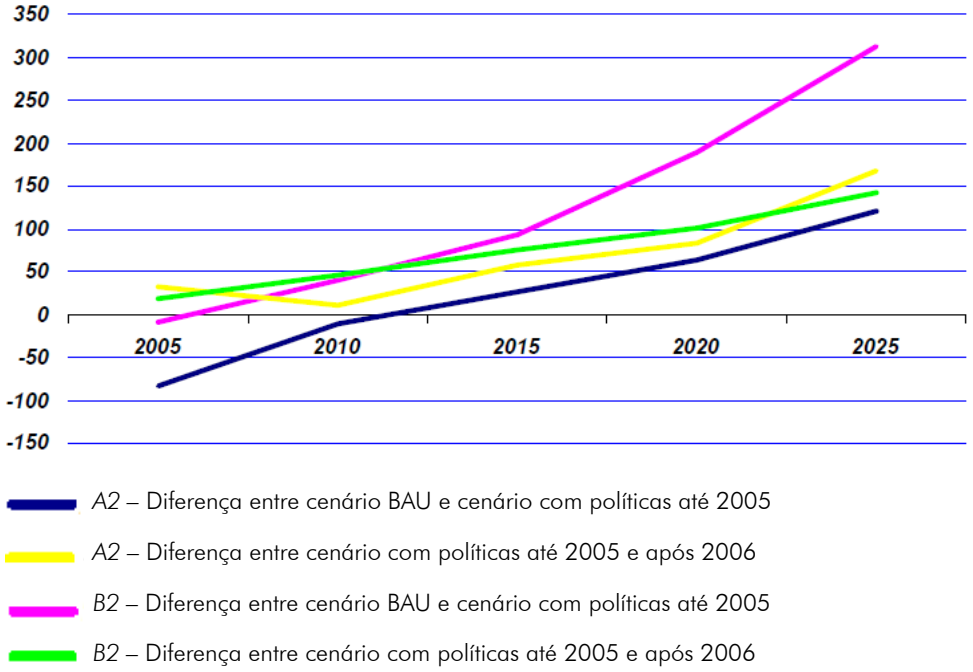
Os custos obtidos estão na Tabela 3.3 deste subcapítulo e os resultados das reduções de emissão podem ser lidos na Figura 3.1, ambas apresentadas a seguir.

Tabela 3.3 *Custos do abatimento de emissões de GEE no setor de energia – cenário B2 de opções avançadas com políticas a partir de 2006.*

	2010		2015		2020	
MEDIDAS DE MITIGAÇÃO	US$ / t CO_2	POTENCIAL DE MITIGAÇÃO NO ANO ($MtCO_2$)*	US$ / t CO_2	POTENCIAL DE MITIGAÇÃO NO ANO ($MtCO_2$)	US$ / t CO_2	POTENCIAL DE MITIGAÇÃO NO ANO ($MtCO_2$)
PCH**	190,4	2,35	(49,6)	12,43	(115,0)	15,23
Eólica	283,9	2,31	81,88	14,53	30,9	19,57
Bagaço de Cana	361,6	2,48	101,3	14,74	51,1	19,84
Biodiesel	114,5	8,83	113,7	9,64	107,6	9,99

* Milhão de toneladas de dióxido de carbono
** Pequenas centrais hidrelétricas
Fonte: elaborado pelos autores a partir de La Rovere *et al*. (2006)

Figura 3.1 Redução de emissões a ser obtida com os cenários no setor de energia – em Mt CO_2



Fonte: La Rovere *et al.*(2006)

3.1.2.2. ESTUDO 2 – ESTUDO DE BAIXO CARBONO PARA O BRASIL - BANCO MUNDIAL (GOUVELLO *et al.*, 2010)

O Banco Mundial estimou os custos de redução de emissões de GEE no Brasil de 2010 a 2030 (Gouvello *et al.*, 2010). Os setores analisados foram: uso de solo, energia, transportes e resíduos.

Para o estudo, o Banco Mundial utilizou a seguinte abordagem: (i) inferiu uma evolução futura das emissões de GEE do Brasil para estabelecer um cenário de referência, (ii) identificou e quantificou as opções de menor intensidade de carbono para reduzir as emissões, bem como opções potenciais de sequestro de carbono, (iii) avaliou os custos das opções de baixo carbono, e (iv) construiu um cenário de baixa emissão de carbono que atendesse às expectativas de desenvolvimento.

A avaliação econômica foi realizada em dois níveis:
Microeconômico (*bottom-up*): uma análise custo-benefício permitiu comparações entre as opções individuais no cenário de Baixo Carbono e entre o conjunto global de opções dos cenários de Baixa Emissão e de Referência. Esta análise usou duas abordagens complementares:

a) Abordagem social: forneceu uma base para uma comparação transversal da relação custo-efetividade de 40 opções de mitigação e sequestro de carbono consideradas no estudo. Foi utilizada uma taxa de desconto social para calcular os custos marginais de abatimento[4] (MACs, sigla em inglês)[5].

a) Abordagem privada: avaliou as condições em que as medidas propostas poderiam se tornar atraentes para que os agentes econômicos decidissem investir em alternativas de baixo carbono no lugar das opções mais intensivas em carbono encontradas no cenário de Referência. Estimou, portanto, o incentivo econômico que os agentes precisariam receber para tornar atraente a medida de mitigação proposta. Este incentivo poderia ser um valor a ser recebido pelo carbono não emitido, um subsídio a tecnologias limpas ou outra forma qualquer de subsídio creditício, entre outras opções financeiras.

Em primeiro lugar, estimou-se a taxa interna de retorno mínima (TIR) que os agentes econômicos poderiam esperar em determinado subsetor para que a medida de mitigação proposta fosse implementada. Depois, estimou-se o incentivo mínimo necessário como uma receita a ser recebida por t CO_2eq evitada que elevaria a TIR ao patamar mínimo necessário anteriormente estimado[6]. Esta abordagem denomina-se preço de equilíbrio do carbono (*break-even carbon price*, em inglês).

Os resultados da análise microeconômica encontram-se nas tabelas 3.4 e 3.5, a seguir, para três taxas de desconto social e para a taxa de retorno privada. O preço do petróleo é o mesmo utilizado pelo PNE 2030 (US$45 por barril), sendo considerado baixo em comparação ao preço atual. Uma análise de sensibilidade foi realizada para as opções de mitigação afetadas pelo consumo de petróleo e gás (ex., substituição de gasolina por etanol)

---

[4] Custos referentes à mitigação de mais uma tCO_2 em relação a uma linha de base.

[5] Os custos e benefícios da opção implementada no cenário de Referência durante o período foram subtraídos ano a ano a partir dos custos e benefícios das propostas da opção de baixo carbono implementadas durante o mesmo período. Então em 2009 o valor presente líquido (VPL) dos custos e benefícios anuais incrementais foram calculados para determinar a média ponderada por tCO_2eq evitada ou CMA durante o período. O VPL foi calculado usando a taxa de desconto social de 8% utilizada no PNE 2030 e pelo BNDES em suas análises para financiamento de projetos.

[6] US$/t$CO_2$eq para tornar o VPL dos custos e benefícios incrementais iguais a zero, usando a TIR como uma taxa de desconto privada.

Tabela 3.4 *Potencial de mitigação e custo marginal de abatimento das várias alternativas, com base em três taxas de desconto.*

Opções de mitigação	% de redução de emissões (2010-30)	redução de emissões (Mt-CO_2eq) (2010-30)	Custo de abatimento US$/t$CO_2$eq		
			8%	4%	12%
CMA inferior a US$50/t$CO_2$eq					
Iluminação residencial	0	3	(120)	(164)	(92)
Cogeração de cana de açúcar	1	158	(105)	(219)	(43)
Sistemas de recuperação de vapor	0	37	(97)	(157)	(62)
Sistema de recuperação de calor	0	19	(92)	(147)	(60)
Iluminação industrial	0	1	(65)	(122)	(36)
Energia térmica solar	0	26	(55)	(89)	(35)
Iluminação comercial	0	1	(52)	(104)	(27)
Motores elétricos	0	2	(50)	(154)	(6)
Otimização da combustão	1	105	(44)	(71)	(28)
Refrigeradores (MEPs)	0	10	(41)	(151)	5
Reciclagem	1	75	(35)	(53)	(24)
Linha de transmissão Brasil-Venezuela	0	28	(31)	(32)	(29)
Sistema de recuperação de calor de fornalha	3	283	(26)	(49)	(13)
Gás natural substituindo outros combustíveis	0	44	(20)	(53)	(4)
Outras medidas de eficiência energética	0	18	(14)	(24)	(8)
Etanol substituindo gasolina no mercado energético	2	176	(8)	(15)	(2)
Energia eólica	0	19	(8)	(162)	64
Otimização do trânsito	0	45	(2)	(4)	0
Gás para Liquido (GTL)	1	128	(2)	(7)	1
Redução do desmatamento + pecuária	53	6041	(0)	(4)	1
Plantio direto aumentado	3	355	(0)	(1)	(0)
Investimento em ciclovias	0	17	1	(2)	3
Exportação de etanol substitui a gasolina no exterior	6	667	2	(15)	9
Novos processos industriais	1	135	2	(53)	26
Destruição de metano em aterro	9	963	3	4	2
Aquecimento solar (residencial)	0	3	4	(186)	84
Refinarias existentes (integração energética)	0	52	7	(5)	11
Tratamento com águas servidas + destruição de metano (res. e com.)	1	116	10	14	8
Novas refinarias	0	52	19	21	16
Carvão renovável substituindo carvão não renovável	5	567	21	14	32
Investimento em ferrovias e hidrovias	1	63	29	21	15
Reflorestamento	10	1085	39	39	39

Total (CMA<US$50)	100	11.294			
CMA superior a US$50/$tCO_2eq$					
Refinarias existentes (controles de incrustação)		7	73	121	46
Refinarias existentes (controles avançados)		7	95	112	79
Tratamento de águas servidas		238	103	140	80
Investimento em metrô		174	106	100	83
Trem-bala (São Paulo e Rio de Janeiro)		12	400	358	331
Total (CMA>US$50)		438			

Fonte: Gouvello *et al.*.(2010)

Tabela 3.5 *Comparação entre os custos marginais de abatimento (calculados com taxa de desconto social de 8%) e os preços de equilíbrio de carbono para diversas opções de mitigação e remoção (calculados com as taxas de retorno privadas de referência nos setores).*

Opção de mitigação	Custo de abatimento (US$/$tCO_2eq$) (taxa de desconto social de 8%)	Incentivo de Carbono – Abordagem incremental (US$/$tCO_2eq$)	Benchmark TIR (%)
Iluminação residencial	(120)	(243)	15
Sistemas de recuperação de vapor	(97)	(228)	15
Sistemas de recuperação de calor	(92)	(220)	15
Iluminação industrial	(65)	(173)	15
Energia térmica solar	(55)	(123)	15
Otimização de combustão	(44)	(104)	15
Reciclagem	(35)	(91)	15
Sistema de recuperação de calor da fornalha	(26)	(41)	15
Outras medidas de eficiência energética	(14)	(22)	15
Plantio direto aumentado	(0)	0	8
Otimização do trânsito	(2)	4	15
Desmatamento evitado + pecuária	(0)	6	10
Destruição de metano em aterro	3	7	12
Cogeração de cana de açúcar	(105)	8	18
Gás natural substituindo outros combustíveis	(20)	10	15
Reflorestamento	39	12	10
Etanol substituindo gasolina no mercado doméstico	(8)	24	15
Investimento em ciclovias	1	25	15
Tratamento de águas servidas + destruição de metano (res. e com.)	10	33	12
Gás para líquido (GTL)	(2)	34	25
Exportação de etanol substitui a gasolina no exterior	2	48	15
Motores elétricos	(50)	72	15

Refinarias existentes (integração energética)	7	75	15
Energia eólica	(8)	93	10
Carvão renovável substituindo carvão não renovável	21	95	15
Investimento em ferrovias e hidrovias versus rodovias	29	97	17
Novas refinarias	19	106	15
Iluminação comercial	(52)	122	15
Novos processos industriais	2	174	15
Refinarias existentes (controle de incrustação)	73	209	15
Linha de trasmissão Brasil-Venezuela	(31)	216	15
Refrigeradores (MEPS)	(41)	223	15
Tratamento de águas servidas + destruição de metano (ind.)	103	251	12
Investimento em metro	106	371	17
Refinarias existentes (controles avançados)	95	431	15
Aquecimento solar (residencial)	4	698	15
Trem bala (São Paulo e Rio de Janeiro)	400	7.787	19

Fonte: *Gouvello et al.(2010)*

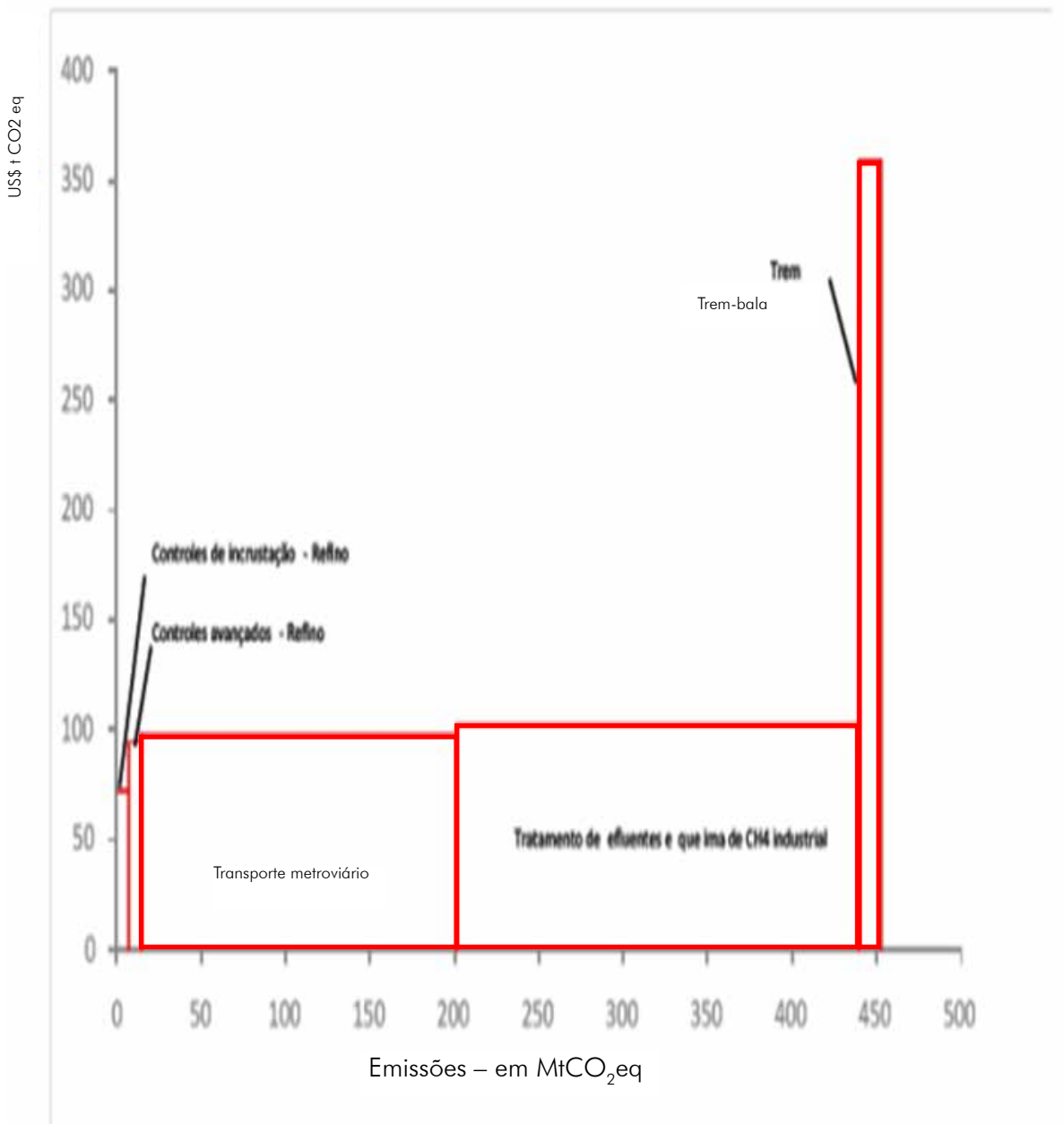
O potencial de mitigação do cenário de Baixo Carbono em relação ao Cenário de Referência encontra-se na tabela a seguir.

Tabela 3.6 *Comparação da distribuição das emissões entre os setores nos cenários de referência e de baixo carbono, de 2008 a 2030.*

Setor	Referência 2008		Referência 2030		Baixo Carbono 2030	
	Mt CO_2e	*%*	*Mt CO_2e*	*%*	Mt CO_{2eq}	*%*
Energia	232	18	458	26	297	35
Transporte	149	12	245	14	174	17
Resíduos	62	5	99	6	18	2
Florestal	536	42	533	31	196	19
Pecuária	237	18	272	16	249	24
Agricultura	72	5	111	6	89	11
Total bruto das emissões	**1.288**	**100**	**1.718**	**100**	**1.023**	**100**
Remoção de carbono	295	2	-21	-1	-213	21
Total líquido das emissões	1.259	98	1.697	99	810	79

Fonte: Gouvello *et al*. (2010).

Figura 3.2 Curvas de custo marginal de abatimento para medidas de mitigação acima de US$ 50 por tonelada CO_2eq com taxa de desconto social de 8%.



Fonte: Gouvello *et al*.(2010)

Macroeconômico (*top-down*): um modelo baseado na matriz insumo-produto, foi utilizado para comparar o conjunto de opções de sequestro e mitigação de carbono – ou seja, baixa emissão de carbono – em relação ao Cenário de Referência para explorar a sustentabilidade macroeconômica da mudança de um cenário a outro. Conforme Gouvello *et al*. (2010, p.182):

"No arcabouço utilizado (...) para avaliar os impactos macroeconômicos, a análise de custos feita para calcular os custos de abatimento providencia a informação sobre a mudança nos investimentos e no consumo de combustíveis (e mudança nos produtos de qualquer outro setor) induzida pela escolha do Cenário de Baixo Carbono ao invés do Cenário de Referência. Dependendo do mapeamento das opções de abatimento nos setores econômicos disponíveis na tabela de insumos e produtos, as mudanças nos investimentos e produtos são alocadas para diversos setores. Por exemplo, o investimento incremental para medidas de eficiência energética que substituem aparelhos elétricos ineficientes por suas contrapartidas eficientes é tratado como aumento de produto do setor eletromecânico da tabela de insumos e produtos. Da mesma forma, uma redução no consumo energético, resultante dos programas de eficiência energética, é tratada como redução do produto do setor elétrico. Como bens importados não produzem efeitos econômicos fora dos países onde são produzidos, a equipe do estudo considerou apenas a fração doméstica da mudança de demanda total devido às opções de mitigação de GEE. Essas mudanças na demanda doméstica por bens e serviços foram então multiplicadas por coeficientes de insumos e produtos para determinar os impactos de produto bruto das opções de mitigação. Finalmente, duas razões – (i) PIB sobre produto bruto e (ii) emprego sobre produto bruto – foram utilizadas para calcular os respectivos efeitos das opções de mitigação sobre o PIB e o emprego" E à página 184:

(...) para os setores de uso da terra no Brasil relacionados com a agricultura e a silvicultura, estima-se que as atividades de mitigação de GEE gerariam US$ 305 bilhões em PIB e 44 milhões de pessoas-ano de emprego, durante o período 2010-30. Os efeitos das atividades relativas ao uso da terra sobre o nível de emprego são particularmente notáveis, pois estas atividades tendem a ser trabalho-intensivas.

Assim, pode-se concluir que o aumento da eficiência das atividades econômicas que reduziriam a demanda por terras florestadas e, consequentemente, a redução de emissões de GEE do desmatamento, são medidas que do ponto de vista do equilíbrio macroeconômico são altamente benéficas.

O impacto econômico global de medidas de mitigação de GEE no setor de energia do Brasil pode aumentar em US$ 25,9 bilhões o PIB no período 2010-30, ou cerca de US$ 1,23 bilhão de dólares por ano e, além disso, gerar 4,4 milhões de empregos no período, o equivalente a 203 mil empregos por ano. Enquanto as opções de eficiência energética para reduzir as emissões de GEE têm impactos econômicos negativos, pelo fato de reduzirem a demanda por combustíveis e outros vetores energéticos, outras opções têm efeitos econômicos positivos por aumentarem os investimentos no País e gerarem mais empregos.

O setor dos transportes exige um investimento de cerca de US$ 150 bilhões no período 2010-30. Curiosamente, as opções de mitigação de GEE em setores como a indústria parecem atraentes no nível de projeto ou atividade, uma vez que há muitos custos de abatimento negativos. Mas a partir de uma perspectiva de economia de escala, podem não ser as melhores opções. Inversamente, o setor dos transportes tem opções que aparecem menos atraentes no projeto ou nível de atividade, mas são mais atraentes do ponto de vista macroeconômico pois têm impactos positivos mais significativos em termos de crescimento do PIB e da taxa de emprego.

O estudo do Banco Mundial chama a atenção para o fato de que a maioria dos estudos existentes analisa apenas o custo de abatimento no nível de projeto e não captura os impactos em toda a economia. Dessa maneira, as políticas e estratégias de execução com base em tais análises limitadas poderiam ser enganosas. Ainda assim, deve-se ressaltar as limitações da análise insumo-produto para estimar impactos econômicos pelo fato de se tratar de uma abordagem estática.

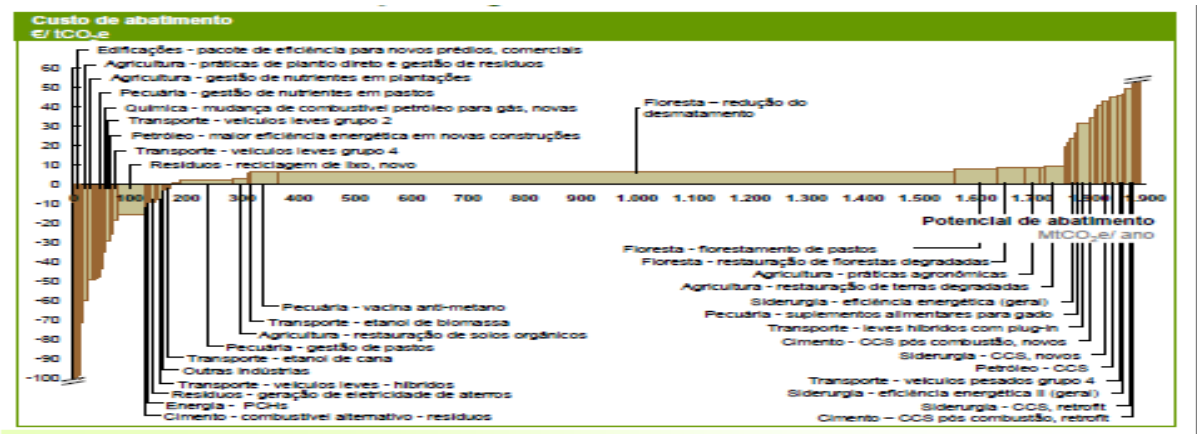
3.1.2.3. ESTUDO 3: CAMINHOS PARA UMA ECONOMIA DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO NO BRASIL – (MCKINSEY, 2009a)

Outro estudo que estima os custos de abatimento das emissões de GEE no Brasil, se intitula *Caminhos para uma economia de baixa emissão de carbono no Brasil*. Foi realizado pela McKinsey & Company, em 2009. Avaliou as emissões atuais e a evolução das projeções futuras a partir do caso base, nomeado BAU – *business as usual*, na expressão em inglês, significando situação em que os fatores que compõe o presente permaneceriam inalterados –, em relação aos seguintes setores: agrícola, florestal, matriz energética (energia e transportes terrestres) e industrial (siderurgia, química, cimento, petróleo e gás, e outros), bem como o de consumo (resíduos e edificações).

O estudo avaliou mais de 120 oportunidades de redução de GEE em todos os principais setores da economia brasileira. Os resultados apontam para um potencial de redução das emissões estimado para 2030 de 1,9 $GtCO_2eq$, passando de 2,8 $GtCO_2eq$ no Cenário BAU para 0,9 $GtCO_2eq$. Ou seja, uma redução de 70% das emissões (McKinsey, 2009a).

A Figura 3.3 deste subcapítulo, ilustra, abaixo, as principais iniciativas que compõem esse volume de redução de GEE e o custo associado a cada uma delas.

Figura 3.3 Curva de custo marginal de abatimento (CMA)



Fonte: McKinsey (2009a)

A racionalidade do estudo obedeceu ao seguinte:

> *Em primeiro lugar, foi determinado um caso-base mantendo as tendências atuais para emissões atuais e futuras. Em seguida, foram identificadas as oportunidades para a redução de emissões e, com base em fatos, feitas estimativas dos custos e do volume potencial de redução apresentado por cada oportunidade. Em terceiro lugar, os custos e volumes foram agregados formando a curva de custos de redução de emissão de gases de efeito estufa para o Brasil. A quarta e última etapa consistiu em analisar o impacto dos possíveis cenários em termos de regulamentação e tecnologia sobre os custos e potencial de redução e quantificar as prováveis conseqüências econômicas para o Brasil* (McKinsey, 2009a, p.34).

O cenário de referência, ao qual se contrapõe o custo de mitigação neste estudo, considera segundo seus autores:

Por exemplo, cita o estudo,

> *(...)o custo de redução da energia eólica é calculado pelo custo adicional de geração acima do custo médio de geração de ativos energéticos, mantida a situação atual (caso base), e pela quantidade de emissões que pode ser evitada com cada unidade de produção de energia eólica. O modelo de custo é elaborado com base no custo total durante a vida útil da oportunidade ou do ativo*. (McKinsey, 2009a, p.35).

O potencial de cada oportunidade pressupôs a tomada de ações globais agressivas de 2010 até 2030, para capturar oportunidade específica e, portanto, não representa uma previsão da evolução das outras. Todos os custos estão expressos em euros reais de 2005.

Segue o relatório da consultoria:

> *...O custo de redução das curvas McKinsey é calculado a partir de uma perspectiva social (excluindo impostos e subsídios, com custo de capital similar às taxas de títulos do governo). Significa que os custos calculados são diferentes dos custos que seriam observados por uma empresa ou consumidor, uma vez que tais tomadores de decisão incluiriam impostos, subsídios e diferentes taxas de juros em seus cálculos. Dessa forma, a curva não pode ser utilizada para determinar mudanças em dados econômicos para fazer investimentos ou para prever preços de* CO_2. *O custo de cada oportunidade também exclui custos transacionais e de programas de implementação em grande escala, pois estes dependem significativamente das decisões dos criadores de políticas*. (McKinsey, 2009a, p.37).

Note-se que, para cada setor, há uma curva por intervalo de valores. Entretanto, os valores específicos, em forma de tabela, foram identificados apenas no que toca a redução de emissões por desmatamento e são utilizados apenas na análise de mudanças de uso de solo.

3.1.2.4. ESTUDO 4 – ECONOMIA DA MUDANÇA DO CLIMA NO BRASIL (MARGULIS *et al.*, 2011)

Intitulado *Economia da mudança do clima no Brasil*[7], esse estudo tem seu foco nos custos dos im pactos desse fenômeno para o País até 2050. Divide-se em cinco capítulos, dos quais somente o quinto apresenta custos de mitigação das emissões de GEE.

São eles:
Cap.1 –Cenários climáticos para o Brasil–downscaling dos cenários *A2* e *B2* do *IPCC*
Cap.2 – Impactos ambientais, econômicos e sociais da mudança do clima–recursos hídricos, oferta e demanda de energia, produção agrícola, padrão de uso da terra, biodiversidade e zona costeira.
Cap.3 – Custos de adaptação à mudança do clima– setores agrícola e energético e zona costeira.
Cap.4 – Análise macroeconômica–impactos da mudança do clima na economia: PIB nacional, regional, estadual e setorial; renda familiar e outros, com simulação realizada por meio de um modelo de equilíbrio geral.
Cap.5 – Oportunidades de redução de emissões–redução do desmatamento, biocombustíveis e taxação de emissões de carbono na economia.

No que se refere ao capítulo 5, objeto de interesse desta seção, os itens referentes a biocombustíveis tratam de cenários de oferta e demanda e de impactos da expansão da

[7] Este estudo foi primeiramente publicado sob o título de *Economia da Mudança do Clima no Brasil: custos e oportunidades (*Margulis *et al., 2010)* em versão sintética e, posteriormente, em versão extensa, intitulando-se *Economia da Mudança do Clima no Brasil* (Margulis *et al.*, 2011).

cana-de-açúcar sem, entretanto, apresentarem resultados econômicos[8].
No caso da taxação de carbono, foi estimado o impacto nas emissões e no PIB da adoção de uma taxa de carbono transformada em imposto ad-valoren (AV), assumindo-se que todos os usuários de um combustível emissor sofrem a mesma tributação. As emissões decorrentes do nível de atividade dos setores – não decorrentes do uso de combustíveis – também foram tributadas. Entretanto, as emissões do desmatamento não são consideradas. Os impostos afetam preços relativos, que alteram uso de insumos, nível de atividade e emissões endogenamente. Adota-se um mecanismo de tributação neutro, de forma que a receita com impostos retorna às famílias por meio de subsídio ao preço dos produtos. As simulações adotam as hipóteses de que o consumo do governo, o investimento e consumo das famílias são exógenos (fixos). A maior taxa testada nas simulações foi de US$ 50 por t CO2eq resultando em uma queda de emissões de 1,82%, e redução de PIB de 0,13%[9].

Para estimar os custos associados ao abatimento das emissões por desflorestamento na Amazônia Legal foram realizadas duas análises sobre os custos de oportunidade do desmatamento evitado[10]:

Para estimar os custos associados ao abatimento das emissões por desflorestamento na Amazônia Legal foram realizadas duas análises sobre os custos de oportunidade do desmatamento evitado[11]:
Análise 1[12]

> ... é um modelo de equilíbrio parcial constando de três exercícios.O primeiro identifica para quais usos da terra a Amazônia brasileira tem sido convertida historicamente e, então, estima seu retorno econômico. Incluem-se 64 diferentes produtos em cada uma das 102 micro-regiões da Amazônia Legal para o período 1997-2006. O segundo estima o retorno máximo que poderia ser obtido na mesma área. Um terceiro exercício estima os futuros usos da terra e o retorno econômico associado a um cenário de desmatamento no período de 2010-50. (Margulis, *et al.*, 2011, p.234).

Análise 2[13]

> *...modelo bottom-up que impõe limitações biofísicas, climáticas e de infraestrutura à expansão da agricultura e da pecuária nas regiões de floresta tropical. O estudo é composto por duas partes: na primeira, os modelos são combinados para estimar os custos de oportunidade da conservação da floresta usando modelos de renda para as três principais atividades – madeira, soja e gado. O segundo exercício calcula os custos de se reduzirem as emissões de carbono do desmatamento para próximo de zero, em um período de dez anos. Além dos custos do programa, é feita uma avaliação inicial dos benefícios dessas reduções para a sociedade brasileira e os elementos da organização institucional necessários.* (Nepstad *et al.*, 2007a).

---

8 Estudo desenvolvido por Emilio Lèbre La Rovere (coordenador), Daniel Fontana Oberling, Martin Obermaier, Renzo Solari e William Wills.

9 Estudo desenvolvido por Eduardo Haddad (Coordenador), Edson Domingues e Fernando Perobelli.

10 Custo correspondente ao valor do PIB agropecuário que deixa de ser realizado em função da não abertura de novas fronteiras agrícolas para a manutenção da floresta em pé.

[11]Custo correspondente ao valor do PIB agropecuário que deixa de ser realizado em função da não abertura de novas fronteiras agrícolas para a manutenção da floresta em pé.

[12] Modelo desenvolvido por Bernardo Strassburg.

[13] Modelo desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia - IPAM em parceria com o Woods Hole Research Center

As estimativas médias do custo de oportunidade das duas análises deste estudo – ver subcapítulo 4.3. – diferem por um fator pouco superior a 2. A justificativa principal é o fato de que, ao considerar apenas três culturas alternativas, o estudo do IPAM (Nepstad *et al.*., 2007a) ignorou *outras culturas*, que têm um custo de oportunidade líquido muito alto – cerca de dez vezes maior que o da pastagem – e ocupam 19% da área, segundo Strassburg. Este último autor, por outro lado, incluiu estas culturas, mas superestimou seu potencial de expansão ao não considerar no respectivo modelo de expansão do desmatamento, a adequação da terra e do clima, bem como a existência ou não de infraestrutura e mercados.

A Tabela 3.7 apresenta, neste subcapítulo, um conjunto de suposições revisadas por Margulis *et al.*. (2011) para cada modelo, representando uma aproximação às correções das limitações identificadas em cada um. Para o estudo de Strassburg, o custo de oportunidade das outras culturas foi reduzido por conta dos problemas de mercado associados à expansão da produção de culturas de alta rentabilidade na escala. Para o modelo do IPAM (Nepstad *et al.*, 2007) permitiu-se introduzir *outras culturas*, mas em apenas 10% da terra. O resultado mostra os dois modelos convergindo para um custo de oportunidade de US$ 1.000 por hectare. Margulis *et al* (2011) sugeriram, assim, US$1.000/ha/ano como uma estimativa indicativa razoável para o custo de oportunidade médio para agricultura em terras da floresta Amazônica.

Tabela 3.7 *Convergência entre os resultados dos dois estudos acerca do custo de oportunidade do desmatamento na Amazônia.*

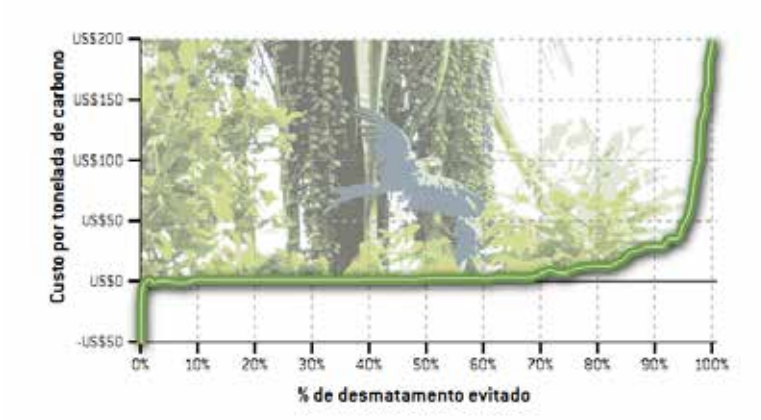
Uso agrícola	Alocação de terra – em % do total		Custo de oportunidade – em US$ por hectare por ano	Participação no hectare médio – em US$ por ano	
	Strassburg	IPAM	Strassburg	Strassburg	IPAM
Pastagem	69	84	402	277	338
Soja	12	6	2.051	246	123
Outras culturas	19	10	3.500	665	350
Total ponderado	**100**	**100**	--	**1.189**	**811**

Fonte: Margulis *et al.*, 2011

Com base neste valor ajustado às duas análises, estima-se que uma compensação ao produtor rural da Amazônia Legal superior a US$ 3 por tonelada de carbono – aproximadamente US$ 450 por hectare – desestimularia efetivamente grande parte das criações de gado nessa região, exceto as mais lucrativas, que representam entre 15 e 30% do total. Isto porque, embora responda por aproximadamente 70% do desmatamento, a criação de gado gera apenas 20% do valor líquido de produção total, sugerindo que a maior parte das áreas desmatadas poderia não sê-lo ao se pagar um valor mínimo pela preservação do estoque de carbono contido na floresta ao agricultor.

A Figura 3.4 deste subcapítulo representa, abaixo, a curva do custo de oportunidade do carbono emitido pelo desmatamento. Indica que algo como 95% do desmatamento poderiam ser evitados pagando-se, em média, US$ 50 ao produtor por tonelada de carbono estocado na floresta. Isto porque a renda das atividades nestas áreas seria inferior ao valor do estoque de cabono na floresta desde que remunerado a US$ 50 por tonelada. Observa-se, também, que 70% do desmatamento poderiam ser evitados mediante o pagamento de apenas US$ 3 por tonelada de carbono.

Figura 3.4 Custo do carbono emitido por desmatamento de 1997 a 2006.



Fonte: Margulis *et al*, 2010.

Ressalte-se que estes valores refletem apenas o PIB agropecuário gerado em áreas onde há supressão de florestas para fins econômicos. Não contabilizam os custos de regularização fundiária nem de gerenciamento e monitoramento florestal ou, mesmo, institucional relacionado à conservação da floresta.

3.1.2.5. ESTUDO 5 – ESTUDO COMPARATIVO ENTRE TRÊS CENÁRIOS DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO BRASIL E UMA ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO – MMA/PNUD (LA ROVERE *et al.,* 2011)

Este estudo construiu três cenários prospectivos de emissões de GEE no Brasil: um, central, – o cenário B – e dois, contrastados – cenários A e C. Realizou também, análise econômica estimativa dos custos a serem incorridos nos cenários B e C quando comparados ao A. Seis são os setores analisados:

- geração de energia elétrica,
- mudança de uso de solo e florestas
- transportes,
- indústria,
- resíduos, e
- agropecuário.

O horizonte temporal da simulação é o ano de 2030, com valores para períodos intermediários quinquenais. Até 2020, o cenário central – B – incluiu os objetivos voluntários de mitigação de emissões de GEE assumidos pelo Brasil no âmbito do Acordo de Copenhague, estabelecido na *COP* 15, e discriminados na lei federal nº 12.187 de 29 de dezembro de 2009 (Brasil, 2009c) que instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), posteriormente detalhada pelo Decreto Federal nº 7.390 de 9 de dezembro de 2010 (Brasil, 2010f).

Para o cenário A, foram reproduzidos os valores referenciais do decreto[14], representando a tendência das emissões até 2020, estendidas até 2030, o qual excluiu as medidas de mitigação de emissões que constavam do cenário central, adotadas a partir de 2009. Um exemplo dessas medidas é a construção de grandes empreendimentos como é o caso da usina hidrelétrica de Belo Monte, no Estado do Pará. O cenário C se distingue do B por simular ações complementares ao Acordo. A partir de 2020, a diferença entre os três cenários demonstra as oportunidades existentes para a ampliação de esforços brasileiros.

[14] Constantes de seu anexo.

Os cenários de emissões foram construídos em uma base comum do desenvolvimento socioeconômico brasileiro. A construção desse cenário socioeconômico seguiu o modelo de construção dos inúmeros cenários de crescimento econômico mundial do *IPCC* e utilizou a concepção do Cenário B2, não somente compatível com o adotado pela Empresa de Pesquisa Energética-EPE, no Plano Nacional de Energia (PNE) 2030 (EPE, 2007), como pela própria PNMC. Assim, a evolução do PIB brasileiro foi estimada em 5% ao ano até 2020 e em 4% ao ano de 2021 a 2030. A projeção populacional para o País foi definida em 207,7 milhões de habitantes em 2020 e 216,8 milhões em 2030.

Por fim, para calcular os custos de mitigação das emissões associados às ações previstas nos diferentes cenários, foram construídas curvas de custo marginal de abatimento. Para o cálculo, foram utilizados preços médios de 2009 e taxa de desconto de 8% ao ano.

Quando se compara o cenário B com o A no horizonte temporal de 2030, os resultados indicam que as ações mais relevantes em termos de potencial de mitigação – ou seja, superiores a 100 Mt de dióxido de carbono equivalente, nesse período – e que apresentam custos até US$ 10 por tonelada emitida de CO_2 equivalente são, por ordem crescente de valor, as seguintes: hidroeletricidade, eficiência energética relativa a combustíveis industriais, renováveis, eficiência energética no setor elétrico, fixação biológica de nutrientes na agricultura, plantio direto, recuperação de pastagens, aumento de uso de etanol, integração lavoura-pecuária, redução do desmatamento na Amazônia e no Cerrado, incremento do uso de carvão vegetal na siderurgia e expansão de áreas com florestas plantadas. O total das emissões evitadas nesse período pode alcançar o equivalente a 26 giga toneladas toneladas de CO_2eq (Gt CO_2.eq) de carbono lançadas à atmosfera.

Já na comparação feita entre os cenários C e B, considerando-se os mesmos critérios acima, tais ações seriam: incremento do uso de etanol, eficiência energética no setor elétrico, fixação biológica de nutrientes, plantio direto, recuperação de pastagens, integração lavoura-pecuária, redução do desmatamento na Amazônia, energias renováveis, redução do desmatamento no Cerrado, produção de ferro e aço (novas tecnologias), redução do desmatamento na Mata Atlântica, destruição de metano em aterros sanitários por queima e, finalmente, expansão de florestas plantadas. O total das emissões evitadas a mais no período pode alcançar o equivalente a 7,5 Gt CO_2eq.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos acima apresentados são abrangentes e incluem diferentes setores da economia. Por essa razão, envolveram uma gama considerável de especialistas de diversas formações acadêmicas. Em relação aos resultados dos estudos, verifica-se que, de uma forma geral, as medidas de eficiência energética são as que apresentam os menores custos para mitigação da emissão de gases de efeito estufa. Em alguns casos, observou-se custo marginal de abatimento negativo.

Algumas fontes renováveis de geração de energia, tais como pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e térmicas movidas a bagaço de cana-de-açúcar também apresentam essas características. Por outro, lado, medidas relacionadas a novos desenvolvimentos tecnológicos, como o de captura e estocagem de carbono – *CCS* na sigla para a denominação em inglês de *Carbon Capture and Storageb* – e a geração a partir de novas fontes renováveis – solar - fotovoltaica ou CSP – sigla em inglês para *Concentrated Solar Power* – estão entre as que apresentam os maiores custos. Neste caso, os estudos mostraram que, para torná-las viáveis, são necessários investimentos em P&D e introdução de mecanismos regulatórios de incentivo a tais tecnologias.

A energia eólica - renováveis em geral, à exceção de hidroeletricidade- apareceu nestes estudos como medida de mitigação relativamente cara. Porém, nos últimos anos, várias medidas foram implementadas para que esta fonte renovável de energia se tornasse viável, tais como o PROINFA, os leilões de fontes alternativas e os leilões de energia de reserva, de forma que hoje

ela já é competitiva frente às fontes convencionais, como apresentado no estudo MMA/PNUD (La Rovere *et al*, 2011), o mais recente. Dentre as medidas analisadas pelos estudos mencionados, as relacionadas a mudanças no uso de solo (redução do desmatamento) são as que, de longe, apresentaram maior potencial de mitigação.

Por fim, cabe ressaltar que os estudos utilizaram modelos *bottom-up*, sendo que o do Banco Mundial (Gouvello *et al*.., 2010) utilizou a análise insumo-produto para avaliar os impactos macroeconômicos de cada medida, em termos de geração de emprego e renda. Por sua vez, o EMCB (Margulis *et al*.., 2011) se valeu de um modelo de equilíbrio geral, *top-down*, para o estimar o impacto da taxa de carbono sobre a economia.

Atualmente, esforços de aprimoramento vêm sendo feitos no sentido de se desenvolverem novos estudos baseados em modelos híbridos que incorporam as interações econômicas de modelos técnico-econômicos em uma representação da estrutura econômica nacional cada vez mais consistente.

3.2. SISTEMAS ENERGÉTICOS: GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

INTRODUÇÃO

O foco desta seção será o setor elétrico nacional, deixando a questão dos combustíveis para ser tratada na próxima seção, que versa sobre transportes, que responderá em 2020, por algo entre 36,2% e 42% das emissões referentes à produção e uso da energia, segundo dados do Plano Nacional de Energia 2030 – PNE 2030 (EPE, 2007) e Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 – PDE 2020 (EPE, 2010a), respectivamente. Igualmente, questões relativas à energia no setor industrialpodem chegar quer a 32,1% ou a 25,7%, respectivamente, segundo as mesmas fontes , serão discutidas na seção referente à indústria. A subseção 3.2.3 desta seção tece algumas considerações sobre o conjunto das emissões do setor energético, excluindo os transportes.

O setor elétrico brasileiro tem algumas peculiaridades que o distingue da maior parte dos demais países. A principal delas é o fato de que o Brasil historicamente sempre teve uma matriz elétrica baseada no uso maciço da energia hidroelétrica, portanto, fortemente dependente de reservatórios hidrelétricos para garantir a confiabilidade do suprimento. Sua componente térmica ainda continua relativamente pequena e, em nenhum dos cenários disponíveis, mencionados abaixo, esta componente ultrapassa 30% da oferta de energia, devendo-se, todavia, ressaltar que há uma tendência a uma carbonização crescente do setor elétrico nacional.

O modelo instituído em 2004 para o setor elétrico definiu que a comercialização de energia elétrica passaria a ser realizada em dois ambientes de mercado: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). No primeiro, ACR, a contratação é feita em conjunto – *pool* – por todas as distribuidoras em leilões organizados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e operacionalizados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Neste ambiente estão concentradas as operações de compra e venda de energia envolvendo as distribuidoras e os agentes vendedores, titulares de concessão, permissão ou autorização para gerar, importar ou comercializar energia elétrica.

Já no ACL, atuam os agentes de geração, de comercialização, de importação, de exportação e os consumidores livres em contratos bilaterais de compra e venda de energia livremente negociada.

Com a implementação, em 2005, da sistemática de leilões reversos – nos quais ganha quem oferece o menor preço – realizados três ou cinco anos antes da entrega, a energia nova contratada nos três primeiros anos foi eminentemente térmica, em torno de 70%, com repercussões nos níveis de emissões futuros. Minimizaram este cenário os chamados projetos estruturantes, os grandes

aproveitamentos hidrelétricos de Jirau, Santo Antônio e Belo Monte. A partir de 2008, começaram a existir os leilões específicos para energias renováveis – biomassa, em 2008, eólica, em 2009, e renováveis em 2010 e 2011, quebrando a série em que foi, preponderantemente, adquirida a energia de termoelétricas fósseis (Pereira *et al.*, 2010).

O cenário traçado pelo PNE 2030 (EPE, 2007) sinaliza uma maior participação dos combustíveis fósseis do que das novas energias renováveis, fazendo saltar as emissões do setor elétrico de 29,07 milhões de toneladas de CO_2 ($MtCO_2$) em 2005 para 64,63 $MtCO_2$ em 2020[15]. Segundo este cenário as emissões do setor ganham importância saltando de 9% para quase 14% do total das emissões ligadas ao uso e produção de energia.

O PDE 2021 (EPE, 2012) sinaliza que os novos leilões a serem realizados a partir de 2013 não contemplarão mais novos aproveitamentos termelétricos de fontes fósseis grandes emissoras, apenas gás natural, ainda assim a partir de 2021, o que, entretanto parece inverossímil diante do fato de que ainda não foi completamente equacionada a questão do licenciamento das hidroelétricas. Mesmo com este cenário, as emissões do setor elétrico saltariam de 30 $MtCO_{2eq}$. em 2011, para 69 $MtCO_{2eq.}$. em 2021, sem contabilizar as emissões dos sistemas isolados.

Este aumento significativo na quantidade de emissões, da ordem de 130% em uma década, elevará a participação do setor elétrico no total das emissões na produção e no uso de energia de 7,6% para 10,8%, o que, todavia, ainda se caracteriza como uma participação pequena no total de emissões do setor energético. Por outro lado, La Rovere *et al.* (2011) apresenta um cenário em que o setor energético será responsável por manter o Brasil entre os prováveis maiores emissores de gases de efeito estufa (GEE) no mundo

Vale ressaltar que, de acordo com o PDE 2021 (EPE, 2012), as emissões de CO_2 em 2020 para o setor elétrico são ligeiramente superiores ao que fora previsto no PNE 2030 (EPE, 2007) para o mesmo horizonte, notando-se, todavia, que no primeiro caso as estimativas estão em $MtCO_2eq$ enquanto no segundo em $MtCO_2$, diferença que não é significativa no setor elétrico.

De acordo com dados do Banco de Informações de Geração – BIG, elaborado pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, a capacidade instalada total do sistema elétrico brasileiro, em maio de 2013, era de 131.608 MW (ANEEL, 2013). Este total engloba as unidades geradoras do Sistema Interligado Nacional (SIN) e também aquelas instaladas nos sistemas isolados, bem como a autoprodução – geração de energia elétrica instalada no local do consumo. A Tabela 3.8 sintetiza esta informação.

Tabela 3.8 *Capacidade instalada no Brasil: empreendimentos em operação*

Empreendimentos em operação							
Tipo		Capacidade instalada		%	Total		%
		N.° de usinas	(kW)		N.° de usinas	(kW)	
Hidro		1.063	84.790.118	64,43	1.063	84.790.118	64,43
Gás	Natural	111	12.007.805	9,12	150	13.691.468	10,4
	Processo	39	1.683.663	1,28			
Petróleo	Óleo diesel	1.008	3.473.868	2,64	1.042	7.724.515	5,87
	Óleo residual	34	4.250.647	3,23			
Biomassa	Bagaço de cana-de-açúcar	369	8.767.812	6,66	45	10.504.090	7,99
	Licor negro	14	1.246.222	0,95			
	Madeira	45	379.235	0,29			
	Biogás	19	74.388	0,06			
	Casca de arroz	9	36.433	0,03			
Nuclear		2	2.007.000	1,52	2	2.007.000	1,52
Carvão mineral	Carvão mineral	12	2.664.328	2,02	12	2.664.328	2,02
Eólica		93	2.044.538	1,55	93	2.044.538	1,55
Importação	Paraguai		5.650.000	4,3		8.170.000	6,22
	Argentina		2.250.000	1,72			
	Venezuela		200.000	0,15			
	Uruguai		70.000	0,05			
Total		2.818	131.596.057	100	2.818	131.596.057	100

Fonte: Aneel - Banco de Informações de Geração (ANEEL, 2013).

[15] O PNE 2030 apresenta os dados em toneladas de CO_2 (tCO_2), enquanto o PDE 2021 apresenta Mt-CO_2eq-.

Como mencionado anteriormente, ao longo desta seção será analisada a situação do setor elétrico nacional e suas perspectivas, o potencial energético nacional para a produção de energia elétrica, cenários potenciais de mitigação para o setor energético como um todo, as políticas e instrumentos de mitigação. Adicionalmente será feita uma análise sucinta sobre a relação do setor elétrico com o desenvolvimento sustentável, entretanto sendo aqui identificado um vácuo de conhecimento – *knowledge gap*, no termo inglês – pelo pequeno volume de literatura identificado pelos autores neste tema.

3.2.1. SITUAÇÃO DO SETOR

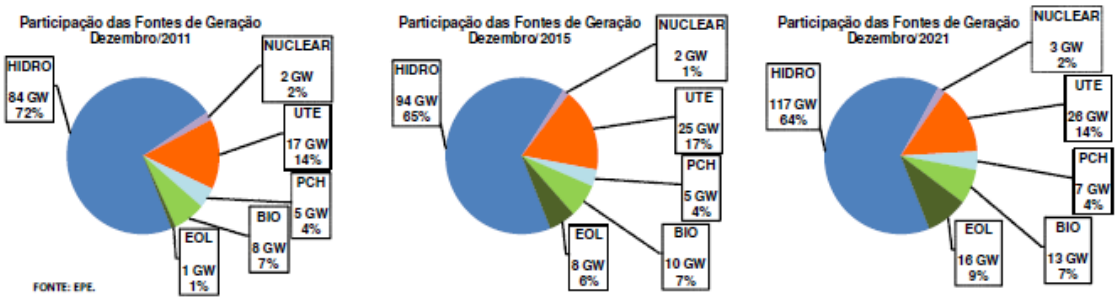
3.2.1.1. TENDÊNCIAS DE DESENVOLVIMENTO DO SETOR ELÉTRICO – PRODUÇÃO E CONSUMO

O Brasil tem características muito particulares na composição de sua matriz energética e na disponibilidade de recursos naturais. De um modo geral, a limitação na utilização de recursos fósseis ou renováveis está fortemente condicionada a considerações de ordem econômica e socioambiental e não a uma efetiva escassez de recursos. Assim, por exemplo, o potencial hidroelétrico ainda disponível é grande, mas localizado em regiões distantes dos principais centros de carga e com fortes impactos ambientais.

Produção

A geração de eletricidade no País tem sido e tende a continuar a ser predominantemente feita a partir de fontes renováveis, estabilizada em torno de 84% da capacidade instalada para produção de energia elétrica nos próximos dez anos, segundo previsão do PDE 2021 (EPE, 2012). A hidroeletricidade é a principal fonte primária, mas progressivamente deverá haver maior participação de outras fontes como biomassa e eólica, além do gás natural. A Figura 3.5 apresenta a participação das fontes e como ela está planejada para o horizonte 2011-2021.

Figura 3.5 Participação das fontes na geração de energia



Fonte: Relatório final do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2021) – EPE, 2012

Consumo

O PDE 2021 estima que a taxa anual de crescimento do consumo no período 2011-2021 será de 4,7%, para um consumo inicial de 500 terawatts-hora (TWh) resultando no final do período de aproximadamente 773,8 TWh, sendo 653,8 TWh consumidos no SIN, 118 TWh pelos autoprodutores e 2,2 TWh pelos sistemas isolados. O incremento médio anual da carga de energia elétrica no SIN seria de 3.073 MW_{med}[16] no período 2011-2021. A carga do SIN fecharia 2021 com um valor da ordem de 88.921 MW_{med}. Em termos de evolução da capacidade instalada no País a estimativa é chegar em 2021 com 182 GW (PDE 2021), sem considerar a autoprodução.

[16] MW_{med} ou megawatt médio: é a quantidade de energia demandada em um intervalo de tempo. 1 MW_{med} por ano = 8.760 MWh/ano.

O PDE 2021 informa que em 2012 o setor industrial representou 42,7% do consumo de energia elétrica na rede, isto é, sem considerar a autoprodução que ocorre quase totalmente neste setor. No final do horizonte do estudo espera-se que este segmento caia ligeiramente para um patamar de 40,6%. Já o setor comercial será o que mais cresceria no período, com uma taxa de 5,8% ao ano, atingindo uma faixa de 19,6% do consumo, enquanto o residencial ficaria na faixa de 26,5%.

3.2.1.2. TENDÊNCIAS DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Em termos per capita, o País apresenta índices muito baixos de emissões de gases de efeito estufa (GEEs), resultado de décadas de investimentos em fontes renováveis como hidroeletricidade e etanol. No entanto, para manter-se nessa condição serão necessários novos investimentos em alternativas de baixa intensidade de carbono e em maior eficiência energética. É importante ressaltar que diferentemente da grande maioria dos países, o setor energético brasileiro não é o principal responsável pelas emissões: apenas um quinto das emissões nacionais é atribuído ao uso e produção de energia (Gouvello *et al.*, 2010).

O PNE 2030 apresenta em seu cenário de referência um aumento das emissões durante o período 2010-30. Já o PDE 2021 sintetiza estas tendências com os números apresentados na Tabela 3.9, em que fica evidenciado um crescimento de 130% no setor elétrico, 92% no setor energético e de 216% nas emissões fugitivas – que são emissões de elementos gasosos de equipamentos sob pressão, que ocorrem devido a vazamentos e outras liberações involuntárias.

Ainda segundo o PDE 2021, em função da mudança na alocação das emissões decorrentes da autoprodução de energia elétrica nas instalações de produção e refino de petróleo, que passaram a constar na rubrica setor elétrico na parcela correspondente à autoprodução e não mais no setor energético (EPE, 2012, p. 323), o setor elétrico ganha mais expressão.

Tabela 3.9 *Brasil: evolução das emissões de GEE na produção e no uso de energia; valores em $MtCO_{2eq}$. referentes à queima de combustíveis fósseis*

Setor	2011	2016	2020	2021
Elétrico	30	54	68	69
Sistema Interligado Nacional (SIN)[1]	20	26	29	31
Autoprodução	10	28	39	38
Energético	25	334	46	48
Residencial	18	20	22	23
Comercial	2	2	2	2
Público	1	2	2	2
Agropecuário	18	22	25	25
Transportes	192	225	261	269
Industrial	99	133	160	165
Emissões fugitivas[2]	12	27	36	38
TOTAL	**397**	**519**	**622**	**641**

Fonte: EPE, 2012
Notas: (1) Não inclui sistemas isolados (2) Não incluem emissões nas minas de carvão

Para reverter ou estabilizar a quantidade de emissões, medidas mais agressivas de controle de crescimento da demanda por meio de investimentos em eficiência energética, reformas estruturais na economia, maior uso de reciclagem de materiais e combustíveis com menor conteúdo de carbono serão necessários.

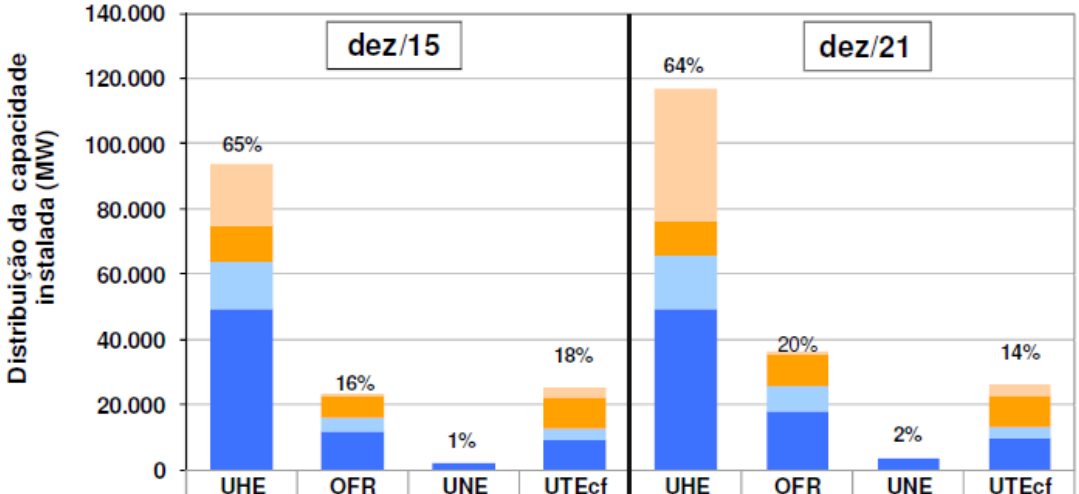
3.2.1.3. TENDÊNCIAS DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL

A Figura 3.6, extraída do PDE 2021 apresenta um resumo da participação das fontes de produção de energia elétrica no final do ano de 2015 e no final de 2021, por região do País e por tipo de fonte. Observa-se uma perda de importância das fontes térmicas e um aumento das outras fontes renováveis, mantendo as hidroelétricas sua participação na matriz elétrica. Destaca-se a participação das outras fontes renováveis na matriz nacional com quase 20% no final do horizonte, como a única que aumenta sua participação.

Segundo a EPE (2012), no PDE 2021, a análise da projeção do consumo por subsistema elétrico revela maior crescimento no subsistema Norte, em uma faixa de 9,5% ao ano, entre 2012 e 2016. Essa situação é atribuída ao efeito conjugado da instalação de grandes cargas industriais na Região e da interligação de sistemas isolados promovida pela Linha de Transmissão Tucuruí-Macapá-Manaus, que fará com que um sistema que até então era eminentemente térmico, passe a ter um nível de emissão muito mais baixo por estar conectado ao SIN. A Região Sudeste/Centro-Oeste ainda representaria ao final do período mais de 60% do consumo nacional.

O PDE 2021 também mostra que o nível de perdas da Região Norte, com 18,1%, estará em um nível muito maior que a média nacional que é de 16,1%. Já a Região Sul apresentaria perdas de 13,3%. A carga dos subsistemas varia de 8 GW_{med}, na Região Norte, passando por uma faixa de 13,5 GW_{med} nas regiões Nordeste e Sul e saltando dramaticamente para 54 GW_{med} na Região Sudeste/Centro-Oeste.

Figura 3.6: *Distribuição da capacidade instalada por Região do País*



	UHE	OFR	UNE	UTEcf	UHE	OFR	UNE	UTEcf
NORTE	18.745	207	0	3.279	40.361	597	0	3.279
NORDESTE	10.841	7.079	0	9.654	10.954	9.876	0	9.654
SUL	14.785	3.909	0	3.228	16.396	7.605	0	3.428
SUDESTE / CO	49.140	11.847	2.007	9.183	49.126	18.037	3.412	9.683
SIN	93.511	23.042	2.007	25.344	116.837	36.115	3.412	26.044

Legenda: UHE-usinas hidrelétricas; OFR-outras fontes renováveis; UNE-usinas nucleares; UTEcf -usinas termelétricas

Fonte: Relatório final do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2020

3.2.2. POTENCIAL DE RECURSOS ENERGÉTICOS PRIMÁRIOS E A INDÚSTRIA DE ENERGIA ELÉTRICA: GERAÇÃO, TRANSMISSÃO & DISTRIBUIÇÃO – G, T & D

3.2.2.1. FONTES PRIMÁRIAS

Hidroeletricidade de grande porte

Segundo o PDE 2021, a participação das fontes renováveis na matriz de energia elétrica brasileira em 2012 foi de 83,0%, sendo 69,9% correspondente às grandes centrais hidroelétricas. O PNE 2030, citando o PDE 2015, estima o potencial hidrelétrico no Brasil em 260 GW, dos quais 126 GW aproveitáveis uma vez abatido a parcela cuja concessão já foi outorgada – usinas em operação, em construção e em processo de licenciamento. Do total de hidroeletricidade estimada, mais de 70% estão nas bacias hidrográficas dos rios Amazonas, Tocantins e Araguaia.

A Tabela 3.10 sumariza o potencial hidrelétrico brasileiro, desagregado por estágio dos aproveitamentos e bacias hidrográficas. Os números dessa tabela mostram que apenas a bacia do Paraná apresenta um índice de aproveitamento que se aproxima de 80%. Já na Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas, aquela que apresenta o maior potencial, o nível de aproveitamento é inferior a 1%.

Obviamente, a região amazônica é muito sensível do ponto de vista ambiental e apresentará limitações significativas a níveis muito elevados de aproveitamento. No conjunto das bacias, ao se considerar as diversas interferências consideradas intransponíveis por afetar parques e florestas nacionais ou terras indígenas, o potencial remanescente ainda totaliza 45,5 GW. Ao final, assumindo algumas hipóteses de trabalho, o Plano estima que se possa chegar a uma potência hidroelétrica de até 174 GW em 2030.

Tabela 3.10: *Potencial hidrelétrico brasileiro por bacia hidrográfica – em MW.*

Bacia	Aproveitado	Inventário	Estimado	TOTAL[3]	%
Amazonas	835	77.058	28.256	106.149	42,2
Paraná	41.696	10.742	5.363	57.801	23,0
Tocantins/Araguaia	12.198	11.297	4.540	28.035	11,2
São Francisco	10.290	5.550	1.917	17.757	7,1
Atlântico Sudeste	4.107	9.501	1.120	14.728	5,9
Uruguai	5.182	6.482	1.152	12.816	5,1
Atlântico Sul	1.637	1.734	2.066	5.437	2,2
Atlântico Leste	1.100	1.950	1.037	4.087	1,6
Paraguai	499	846	1.757	3.102	1,2
Parnaíba	225	819	0	1.044	0,4
Atlântico NE Oc.	0	58	318	376	0,1
Atlântico NE Or.	8	127	23	158	< 0,1
TOTAL	77.777	126.164	47.549	251.490	100,0
%	30,9	50,2	18,9	100,0	

Observações: 1/ potencial aproveitado inclui usinas existentes em dezembro de 2005 e os aproveitamentos em construção ou com concessão outorgada;
2/ inventário nesta tabela indica o nível mínimo de estudo do qual foi objeto o potencial;
3/ valores consideram apenas 50% da potência de aproveitamentos binacionais;
4/Foi retirado o potencial das usinas exclusivamente de ponta.

Fonte: Plano Nacional de Energia (PNE) 2030 (EPE, 2007)

Outra fonte que apresenta o potencial hidráulico total nacional é o Sistema do Potencial Hidráulico Brasileiro (SIPOT/Eletrobras) cujos dados totalizam um potencial de 242.362 MW (incluídas as PCHs). Deste total, 97.250 MW – ou 40,13% – estão na Região Norte, assim divididos: 46.862 MW estudados, 35.693 MW estimados, 3.268 MW em construção e 11.427 MW em operação.

A Figura 3.7 apresenta esta distribuição. Segundo esta referência, o potencial a ser aproveitado seria

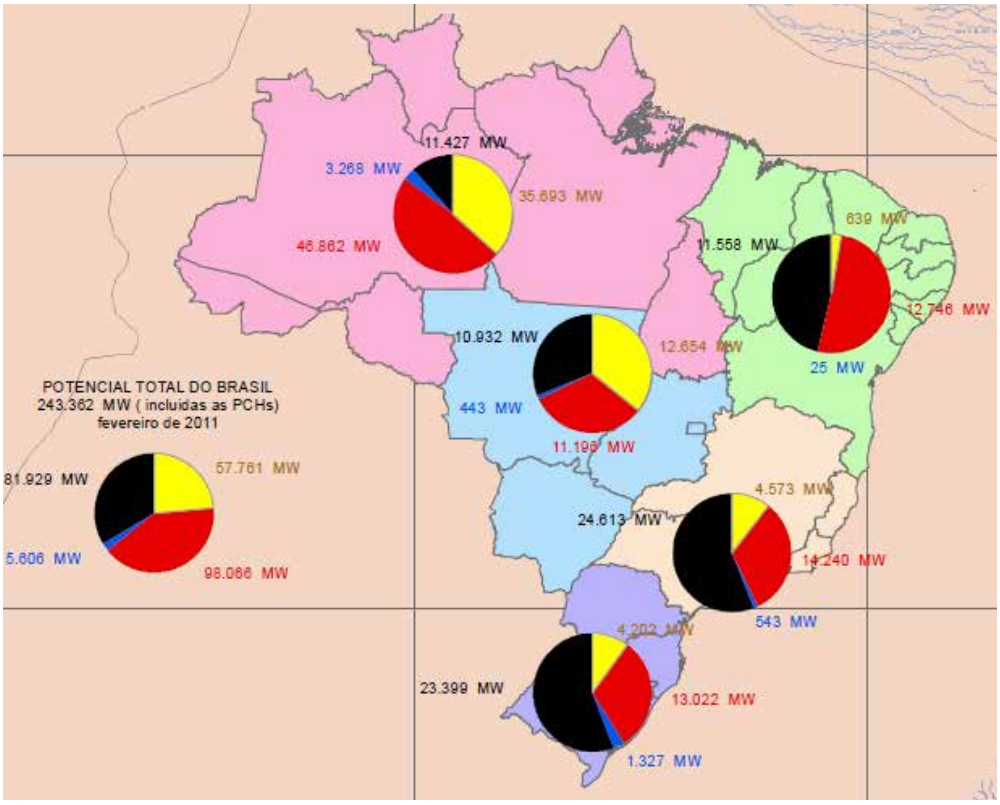
de 155.827 MW dispersos por todas as regiões do Brasil, mas com uma concentração da ordem de 53% na Região Norte, portanto longe dos centros de carga.
Segundo o PDE 2020, os projetos já concedidos a serem viabilizados de 2018 a 2020 somam 786 MW. Já os novos projetos hidrelétricos a serem viabilizados de 2016 a 2020 somam 18.185 MW. Ainda segundo esse Plano, a capacidade de geração hidráulica aumentará de 83.000 MW, em 2011, para 115.000 MW até 2020.

Na Região Norte é onde ocorrerá a maior expansão hidroelétrica, devido à entrada em operação de grandes empreendimentos, prevista para 2012, incluindo as Usinas Hidrelétricas (UHE) Santo Antônio, Jirau e Belo Monte – não efetivadas até 2014. A expansão hidroelétrica já contratada no horizonte do Plano soma 23.614 MW enquanto a parcela indicada pelo plano, mas ainda não contratada, agrega 8.570 MW.

Observa-se, todavia, que nesta expansão a tendência é de construção de usinas hidroelétricas a fio d'água, sem a existência de reservatório de acumulação, tornando os valores de suas densidades de potência – em quilômetros quadrados (km^2) inundado por MW instalado – muito inferiores em relação às usinas instaladas na Região nas décadas anteriores.

As usinas hidroelétricas em construção no rio Madeira – Santo Antônio e Jirau – serão usinas a fio d'água fazendo uso de turbinas Bulbo, utilizadas em rios de baixa queda e grande volume de água. Todavia, essas centrais, por serem a fio d'água, tendem a ter um preço do MWh superior as com reservatório regulador. Essa é uma preocupação da Confederação Nacional da Indústria (CNI), pois o aumento do custo da energia implicará aumento do custo do produto final e consequentemente queda da competitividade dos produtos brasileiros (CNI, 2010).

Figura 3.7. Potencial hidráulico brasileiro por Região do País



Fonte: Eletrobras, 2011.

Combustíveis fósseis e armazenamento e captura de carbono – *Carbon Capture and Storage* (CCS)

Usinas termoelétricas (UTEs) convencionais a carvão emitem cerca de 900 a 1000 gCO_2/kWh, enquanto que UTEs avançadas a carvão, entre 700 e 800 gCO_2/kWh e, aquelas a gás natural (GN), operando em ciclo combinado, lançam aproximadamente 370g CO_2/kWh à atmosfera (Rubin *et al.*, 2007a e b).

Alguns estudos têm se debruçado sobre a captura e sequestro de carbono (CCS) de UTEs a GN. Dificilmente, porém, os estudos enfatizam a introdução de sistemas de captura em UTEs a GN, operando em ciclo aberto de Brayton[17]. Assim, são enfatizadas as alternativas de captura na pós-combustão e na oxicombustão de UTEs a GN em ciclo combinado.

A realidade da expansão do sistema elétrico mundial mostra um quadro pouco promissor para CCS em UTEs a GN. De fato, como bem mostra o levantamento detalhado do Instituto de Energia Atômica dos Estados Unidos e da Agência de Energia Nuclear da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) – em inglês, *International Energy Agency (IEA)* e *Nuclear Energy Agency (NEA)* - (IEA/NEA, 2010), não se preveem atualmente a construção de UTEs a GN com CCS. De um lado, a própria UTE a GN – sem CCS –, ao substituir plantas a carvão, *per se*, já representa uma redução de mais de 50% das emissões de carbono por MWh gerado. De outro, a UTE a GN apresenta custos variáveis relativamente elevados, o que pode afetar muito a economicidade dessa planta, quando se lhe adiciona a unidade de captura – fato particularmente verdadeiro para as usinas que disputarão os futuros leilões de expansão do sistema elétrico brasileiro.

De fato, o custo do CO_2 evitado – em dólar por tonelada de dióxido de carbono (US$/t$CO_2$) – para as UTEs a GN que operam em ciclo combinado é maior do aquele estimado para UTEs a carvão (Rubin *et al.*, 2007a). A principal explicação para este fato se deve à baixa concentração do CO_2 no gás de exaustão da turbina a gás – cerca de 2% a 4% em volume e de 1 bar de pressão. O atual estágio de desenvolvimento tecnológico da captura de carbono faz com que, neste caso, a absorção química seja a única opção comercialmente disponível (Blomen *et al.*, 2009).

Ademais, UTEs a GN operando em ciclo aberto normalmente têm a função de atingir plena carga rapidamente, sendo usadas para atender a ponta do sistema ou mesmo para complementar usinas de geração variável. Neste caso, a adição de uma unidade de captura comprometerá o *ramp-up* da usina – sua tomada de carga. Este é exatamente o caso de UTEs a GN no Brasil que operam em ciclo Brayton.

Existe a possibilidade de desenvolvimento de novos solventes químicos e mesmo de processos diferentes de captura, como a adsorção química em estruturas covalentes (Chaffee, *et al.*, 2007; Grande & Rodrigues, 2007), mas, atualmente tal possibilidade ainda se encontra em estágio inicial de desenvolvimento, fazendo com que mundialmente se considere a UTE a GN – sem captura – como uma alternativa de mitigação da emissão de carbono da UTE a carvão que ela substitui.

No caso brasileiro, tal fato não é necessariamente verdade: a UTE a GN provavelmente não deverá substituir uma UTE a carvão. Contudo, para o Brasil, sendo a UTE a GN complementar a fontes variáveis de geração de eletricidade, como hidroelétricas a fio d'água e energia eólica, deve-se analisar com cuidado em que medida faz sentido comprometer sua flexibilidade operacional com unidades de captura à jusante do bloco de potência.

A questão da captura para UTEs a carvão é diferente. É notória a necessidade da redução de emissões de CO_2 de térmicas movidas por esse insumo através do aumento da eficiência termodinâmica dos ciclos a vapor e da adição de sistemas de captura de armazenamento de carbono.

[17]No ciclo aberto de Brayton, o fluído – ar) – admitido na pressão atmosférica e os gases de escape, após passarem pela turbina, são descarregados de volta na atmosfera, sem que retornem a admissão.

O sequestro geológico demonstra ser a opção de menor custo e maior escala no curto prazo, inclusive para o sistema energético brasileiro, pois ainda que algumas referências[18] envidem esforços em analisar a possibilidade de empreendê-lo quimicamente a partir do do CO_2, a etapa de captura de carbono supera 70% dos custos totais do sistema CCS para térmicas a carvão.

A capacidade instalada atualmente no Brasil em UTE a carvão é de 1.944 MW, em dez plantas que representam 1,6% da capacidade total instalada no País (ANEEL, 2011a). Contudo, esta capacidade deverá ser ampliada já no curto prazo, diante de três plantas em construção totalizando 1.440 MW, todas localizadas no Nordeste – Itaqui e Pecém I e II –, processando, sobretudo, carvão colombiano (ANEEL, 2011a). No médio prazo, a ampliação deverá alcançar o total de 3.364 MW diante de seis plantas em outorga, entre as quais o destaque reside em duas delas, no Sul do País, para processar carvão nacional – as de Candiota e Treviso – e uma terceira, em Itaguaí, no Rio de Janeiro, que também se alimentará, sobretudo, de carvão importado (ANEEL, 2011a).

Ademais, a maior utilização do carvão nacional se esteia, em grande medida, na existência de reservas de carvão, sobretudo, no Sul do País. A *British Petroleum* (*BP* 2011)[19] estima as reservas provadas – ou seja, com 90% de ocorrência provável – de carvão no Brasil em 4.559 milhões de toneladas, localizadas principalmente nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Os dados do DNPM (2006), elaborados a partir de uma abordagem determinista de reservas, são, por sua vez, diferentes, conforme representado neste subcapítulo na Tabela 3.11.

Devido à baixa qualidade do carvão nacional, as usinas termoelétricas que utilizam carvão nacional estão todas localizadas nas proximidades da mina, conforme demonstrado na tabela supra-citada. A baixa qualidade do carvão afeta não apenas sua queima, como também as opções de captura de carbono

Tabela 3.11 *Reservas de carvão no Brasil em 2005*

Reservas (10^3t)				
Estado	Medida	Indicada	Inferida	Lavrável
Maranhão	1.092	1.728	-	1.092
Paraná	4,184	212	-	3.509
Rio Grande do Sul	5.255.915	10.098.475	6.317.050	5.376.789
Santa Catarina	1.354.211	593.216	217.069	1.212.340
São Paulo	2.050	1.111	1.263	2.050
Total	**6.617.452**	**10.694.742**	**6.535.382**	**6.595.780**

Fonte: Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), 2006.

Uma alternativa de melhoria da queima de carvões de baixa qualidade como o brasileiro – alto teor de cinzas –, que levaria a uma pequena redução das emissões de carbono seria a combustão em leito fluidizado. Contudo, o porte típico de plantas de leito fluidizado é de 150 a 300 MW. Plantas de maior porte se encontram em fase de demonstração (Hoffmann *et al.*, 2012).

Outra opção seria o aumento da criticalidade do ciclo a vapor. Por exemplo, os principais resultados obtidos por Rochedo e Szklo (2012) indicaram que, se o objetivo for a redução das emissões de CO_2 em até 10% do total emitido na planta de referência, a *captura virtual,* ou seja, redução de

[18] Medeiros *et al.* (2008) e Moretz-Sohn (2009)

[19] http://www.bp.com/assets/bp_internet/globalbp/STAGING/global_assets/e_s_assets/e_s_assets_2010/downloads_pdfs/bp_sustainability_review_2011.pdf/

emissões por aumento da condição de criticalidade do vapor poderia ser uma alternativa mais efetiva do ponto de vista de custo, se comparada a instalações de captura de carbono. Em tal caso, as componentes do ciclo a vapor precisariam ser modificadas para poder resistir a pressões e temperaturas maiores.

Atualmente, uma série de plantas ultrassupercríticas, que operam com pressões de 32 MPa e temperaturas até 600 °C /610 °C, foi instalada na Europa, China e Japão.

No caso de maiores taxas de captura de CO_2 – acima de 10% – em UTEs a carvão no Brasil, Hoffmann *et al.* (2011) demonstraram a necessidade de instalação de sistemas CCS. Neste caso, o impacto do sistema CCS sobre a economicidade das UTEs foram consideráveis: para plantas com taxa de captura de 90% e fator de capacidade de 60%, os custos nivelados[20] – em US$/MWh – aumentaram cerca de 70%, os custos de investimento – em US$/kW –, aproximadamente 90% e o custo de abatimento ficou ao redor de US$70/t$CO_2$.

Assim, em linhas gerais, o custo de capital das plantas operadas com carvão colombiano se mostrou inferior ao custo de capital das plantas operadas com carvão brasileiro. Contudo, plantas convencionais operando com o insumo brasileiro apresentam o menor custo nivelado, o que se deve a seu menor preço relativo.

Tabela 3.12 *Características gerais dos carvões brasileiros*

UF	Jazida	Poder Calorífico (kcal/kg)	Carbono (% m/m)	Cinzas (% m/m)	Enxofre (% m/m)
PR	Cambuí	4.850	30	45	6
	Sapopema	4.900	30,5	43,5	7,8
SC	Barro Branco	2.700	21,4	62,1	4,3
	Bonito	2.800	26,5	58,3	4,7
RS	Candiota	3.200	23,3	52,5	1,6
	Santa Teresinha	3.800-4.300	28,0-30,0	41,0-49,5	0,5-1,9
	Morungava/ Chico Lomã	3.700-4.500	27,5-30,5	40,0-49,0	0,6-2,0
	Charqueadas	2.950	24,3	54	1,3
	Leão	2.950	24,1	56,6	1,3
	Iruí	3.200	23,1	52	2,5
	Capané	3.100	29,5	52	0,8

Fonte: Ministério de Minas e Energia (MME), 2009.

Quanto à questão do armazenamento do carbono capturado na UTE a carvão no Brasil, o potencial de armazenamento é de 2000 Gt para aquíferos salinos, 200 Gt para jazidas de carvão e cerca de 2500 MtCO_2 para campos de produção de petróleo (Kettzer *et al.*, 2007; Rockett *et al.*, 2011) e gás. Em particular, as bacias marítimas do Recôncavo Baiano, Santos, Campos e Solimões, repre sentam um bom potencial na estocagem de CO_2 em campos de petróleo/gás e aquíferos salinos. Para a bacia do Paraná, o CO_2 seria armazenado em camadas de carvão e ou aquíferos salinos.

Energia nuclear

O PNE 2030 indica uma potencialidade significativa de utilização da energia nuclear no final do horizonte, com hipóteses de trabalho do valor das reservas medidas e indicadas variando de um custo de exploração inferior a US$ 40/kg de urânio 308 U_3O_8 até um custo superior a US$ 80/kg de U_3O_8. O potencial poderia chegar a 33 GW, conforme demonstrado neste subcapítulo na Tabela 3.13. Já os planos decenais nos horizontes de 2019 e 2020 trabalham apenas com a incorporação da usina de Angra 3, que totaliza 1.405 MW.

[20] O custo nivelado considera a recuperação do investimento que é realizado no sistema energético, segundo uma taxa de desconto determinada e o tempo de operação atribuído ao sistema. Neste caso, o custo nivelado é definido como o custo unitário da energia que leva a que o valor descontado do empreendimento energético se anule conforme uma taxa de desconto e um tempo de vida útil.

Tabela 3.13 *Brasil: Potencial de geração de energia nuclear em 2030*

Cenário	Volume de reservas	Potencial total	Potencial de novas usinas	
	t U_3O_8	MW	MW	Unidades
1	66.200	7.800	4.500	4
2	177.500	2.800	17.500	17
3	309.370	36.400	33.000	33

Obs.: 1. os valores do potencial foram arredondados; 2. o potencial de novas usinas inclui Angra 1 e 2, em operação, e Angra 3.

Fonte: Plano Nacional de Energia (PNE) 2030 (EPE, 2007).

Energia renovável – exceto grandes usinas hidrelétricas

Biomassa

Segundo dados do PNE 2030, a disponibilidade de terras adicionais para cultivo de novas culturas no País é da ordem de 90 milhões de hectares, ou seja, quase 11% da área total do território brasileiro. Esse fato abre espaço para a expansão de culturas energéticas, incluindo a cana-de-açúcar, cujos resíduos – bagaço e palha – são muito importantes para a geração de energia elétrica, e outras culturas, como o capim elefante, que já foi utilizado em leilões para entrega futura, ou as florestas energéticas.

Ainda segundo o PNE 2030, o conteúdo energético dos resíduos produzidos em 2007 foi da ordem de 4,2 milhões barris equivalentes de petróleo por dia – bep/dia. Atualmente, parte desse potencial é aproveitado, especialmente o bagaço e a lixívia, para se produzir energia elétrica, em geral na forma de autoprodução.

No caso específico do bagaço, avanços tecnológicos aumentaram a perspectiva de maior eficiência de seu uso e do aproveitamento da palha na geração de eletricidade, ainda que uma parte do primeiro insumo possa ser usada para a produção de etanol celulósico, caracterizando-se assim, a possibilidade de disputa pela mesma biomassa para a produção de etanol e de eletricidade.

Segundo a ANEEL (2013), a potência instalada em 2013 no País para produção de energia elétrica a partir de biomassa era de 10,5 GW, distribuída em 456 usinas – o bagaço teria respondido por 83% da capacidade instalada em 369 usinas. Outras fontes foram: licor negro – 12% –, subproduto da produção da celulose nas indústrias de celulose e integradas – papel e celulose –; resíduos de madeira – 4% –; além de carvão vegetal, casca de arroz, biogás, principalmente de aterros sanitários; capim elefante e óleo de palma, com participações inferiores a 1%.

Outros 2,9 GW encontravam-se em construção ou foram outorgados, sempre com o bagaço representando mais de 80% e um crescente destaque para o licor negro, resíduos de madeira e capim elefante.

O PNE 2030 estima que a produção de energia elétrica a partir de biomassa possa chegar a 8,1 TWh/ano. A mesma fonte avalia que, com o uso de tecnologias mais modernas, poder-se-ia atingir uma produção três vezes maior, de até 24,3 TWh/ano. Também, a recuperação de parte da palha, visando à utilização como biomassa para fins energéticos, permitiria elevar a produção de eletricidade em cerca de 40%. Assim, nas condições de safra de cana-de-açúcar e para as tecnologias descritas pelo PNE 2030, em 2005, a geração de eletricidade poderia atingir entre 11,3 e 34,0 TWh/ano.

Segundo dados do PDE 2021 (EPE, 2012), o potencial de utilização do bagaço atingiria o valor

de 10 GW_{med} em 2021. O total até então comercializado nos leilões do PROINFA e de energia de reserva gira em torno de 2.000 MW_{med}, o que garante um grande volume a ser explorado em leilões futuros e no ACL. A este potencial, pode-se adicionar o potencial de utilização de palha e ponta da cana-de-açúcar, estimado entre 8,9 GW_{med} até 14,1 GW_{med} ao final do período decenal, levando em conta uma taxa de aproveitamento entre 500 e 787,5 kWh/tonelada para ambas.

Outra importante fonte de biomassa para geração de energia elétrica são os resíduos urbanos, que segundo dados do PNE 2030, somarão um potencial, ao final desse horizonte, calculado entre 1.230 a 8.440 MW, dependendo da tecnologia utilizada. Varia desde a digestão anaeróbica – 1.230 MW como limite inferior – até ciclo combinado otimizado – 8.440 MW como limite superior –, passando pelas alternativas de aproveitamento de biogás de aterro – 2.600 MW – e incineração – 5.280 MW.

Um benefício adicional da utilização dos resíduos urbanos é a captura e o aproveitamento do metano, transformando-o em CO_2, e, assim, mitigando o volume de CO_{2eq} emitido significativamente. No que se refere à silvicultura, o Atlas de Bioenergia, estudo desenvolvido pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO, 2012), mostra que o potencial brasileiro de geração de energia elétrica por meio de resíduos de biomassa deve estar entre 1.434 MW e 2.867 MW, dependendo da tecnologia considerada.

Finalmente, outra matéria-prima que vem sendo utilizada com viabilidade econômica, tendo já projetos contabilizados no leilão de reserva e habilitados para futuros leilões é o capim elefante (ANEEL, 2012), cujo potencial está ligado à viabilidade da sua utilização em áreas agriculturáveis e degradadas. No entanto, não se tem notícia de resultados concretos sendo alcançados.

Estudo realizado pelo CGEE (2001) analisa as principais oportunidades no Brasil no uso de resíduos para a geração de energia nos setores: sucroalcooleiro, celulose e papel, grãos e na indústria da madeira. Resíduos agrícolas, excetuados os da cana-de-açúcar, representam uma disponibilidade energética da ordem de 37,5 milhões de toneladas equivalente de petróleo (tep) anuais, praticamente não aproveitada.

A Comissão Especial de Bioenergia do Estado de São Paulo (Goldemberg *et al.*, 2008) realizou uma avaliação do potencial de expansão de geração de energia elétrica a partir de biomassa no Estado de São Paulo. Essa avaliação foi baseada na expectativa de aumento de moagem de cana e na disponibilidade de palha para a geração, supondo diferentes tecnologias de conversão. Foram também avaliados os potenciais de geração de energia elétrica a partir de biogás e de biomassa florestal.

Relatório da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2011) sobre a geração termoelétrica a partir do bagaço de cana-de-açúcar, baseado no desempenho da safra de 2009 a 2010, comparou a geração de energia elétrica a partir desta fonte com a das demais fontes energéticas brasileiras em 2009, produzindo uma fotografia ampliada da situação da geração termoelétrica a partir da combustão dessa biomassa em todos os estados que têm atividade sucroalcooleira, além de ter feito projeções para os dez anos seguintes do comportamento dos mercados de açúcar e de álcool etílico.

Em uma simulação da quantidade de energia que poderia estar sendo gerada caso todas as usinas dispusessem do uso da melhor tecnologia em unidades de porte equivalente, o total produzido passaria dos atuais 20 TWh para 39,95 TWh. O autoconsumo variaria pouco e chegaria a apenas 15,2 TWh, restando assim, 24,7 TWh para serem comercializados ante os 7,5 TWh realizados. Esta baixa capacidade é reflexo da falta de investimento na reforma dos equipamentos de geração.

Os autores ainda estabeleceram cenários referentes aos potencias de geração para a próxima década. Consideraram uma produção de 1,04 bilhões de toneladas de cana-de-açúcar para

projetar um cenário conservador, onde toda a energia seria produzida em sistemas equivalentes ao atualmente em uso; um segundo, intermediário, no qual apenas o bagaço de cana-de-açúcar adicional seria utilizado em tecnologias eficientes e, um terceiro, otimista, que levou em conta toda a geração baseada em sistemas eficientes.

A conclusão desse trabalho foi a de que o potencial de geração de energia variaria de 34,46 TWh a 68,73 TWh – o excedente disponível para venda varia de 12,92 TWh a 42,57 TWh.

No entanto, tais cenários podem ou não se concretizar, haja visto que houve queda de produção na última safra analisada, que pode levar a um comportamento diferente. Este fato é recente e é necessário aguardar a evolução das próximas safras para se verificar se se trata de fator estrutural ou momentâneo.

O instituto Governos Locais pela Sustentabilidade (ICLEI, 2009) analisou as alternativas para o aproveitamento de biogás gerado em aterros, inclusive a geração de energia elétrica e térmica. Várias outras referências sobre o tema incluiriam:

- a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, ligada à Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (Cetesb, 2006), que estimou a geração de energia com biogás e a produção de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto;
- Abreu (2011), que produziu uma análise de viabilidade técnica e econômica do seu aproveitamento energético; e ainda,
- Salomon (2007), que analisou o potencial energético do biogás no Brasil por diferentes fontes e produziu uma modelagem da produção de biogás e geração de eletricidade.

Além de biomassa sólida, é possível se utilizar óleos vegetais *in natura* em motores (Coelho *et al.*, 2005). Tal tecnologia ainda se encontra em estágio de demonstração, embora possa ser uma alternativa energética, especialmente para comunidades isoladas. Não há no País comercialização de óleo vegetal *in natura*.

No que diz respeito às tecnologias de aproveitamento de biomassa, a evolução da eficiência energética do setor tem sido lenta e gradual, especialmente nos segmentos de de açúcar e álcool. A partir da década de 1990, passou-se a adotar caldeiras de alta pressão, que além de mais eficientes, emitem menos poluentes atmosféricos. Por sua vez, o setor de papel e celulose já emprega hoje tecnologias mais modernas, como caldeiras de leito fluidizado. Vale ressaltar que ambos se valem de tecnologia nacional.

Eólica

A energia eólica no Brasil teve um significativo crescimento a partir de 2002, com a criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) pela Lei nº 10.438 de 26 de Abril de 2002 (Brasil, 2002). Até então, com aproximadamente 30 MW de projetos eólicos instalados, esse programa possibilitou a contratação de 1.420 MW em projetos eólicos, dos quais mais de 1 GW se encontrava instalado e em operação em 2011 (ANEEL, 2011a).

Com a mudança do modelo do setor elétrico implementado em 2004 pela Lei nº 10.848/2004 (Brasil, 2004), o sistema de contratação de novos empreendimentos de geração de energia elétrica passou a ser realizado através de leilões de energia enquanto um meio mais eficaz para se garantir a modicidade tarifária, um dos três pilares do modelo.

A partir de então, as novas fontes renováveis que participaram do PROINFA – hidroeletricidade de pequenas centrais, biomassa e eólica – deveriam competir entre si, no mesmo certame, em leilões específicos para energias alternativas, pela menor tarifa. Os oito leilões para fontes alternativas realizados no período de 2005 até 2008, apesar da participação maciça da fonte eólica, não reusltaram em nenhum projeto arrematado.

Durante esse período, houve um forte debate sobre formas mais efetivas da participação da energia eólica nos leilões. Tal discussão viabilizou a realização do primeiro leilão de energia de reserva exclusivamente para a fonte eólica em 2009, ao qual se seguiram outros leilões na modalidade energia de reserva e fontes alternativas em 2010 e, ainda mais dois, respectivamente, de energia nova e de reserva em 2011.

Os resultados dos leilões realizados em 2009, 2010 e 2011 possibilitaram a contratação de 6.759 MW em 258 projetos eólicos (EPE, 2010a, 2011) e, também, tarifas competitivas cujas médias foram, respectivamente, de R$ 148,39/MWh, em 2009, de R$ 130,86/MWh, em 2010, e de R$ 101,45/MWh, em 2011. Esses valores levaram o preço da energia eólica no Brasil a patamares inferiores à média internacional reportada em relatórios como *IPCC* e *Renewables Energy Policy Network for the 21st Century* (REN21), ambos de 2011.

Com resultados tão expressivos nos leilões, a energia eólica passou a ter uma perspectiva de participação mais significativa no mix de geração de energia elétrica. O PDE 2021 aponta para uma participação da energia eólica da ordem de 15.563 MW até essa data, o que representará 8,5% da matriz de geração.

Sem dúvida alguma, o estado atual da energia eólica no Brasil e suas perspectivas são influenciados, entre outros fatores, pelo potencial de sua alta qualidade, presente em várias partes do território nacional. Em sua primeira versão, o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (Amarante *et al.*, 2001) apontou as melhores regiões para o desenvolvimento de parques eólicos e calculou, com base nos aerogeradores disponíveis comercialmente – 50m de altura – e em outras premissas, que o potencial bruto de geração eólica era de 143 GW (Amarante *et al.*, 2001). A Figura 3.8 deste subcapítulo mostra esse potencial desagregado por região do País.

Dada a grande importância da localização dos ventos e suas principais características, vários outros estados patrocinaram a elaboração de seus próprios atlas, utilizando o mesmo modelo para novas alturas e modelos de aerogeradores.

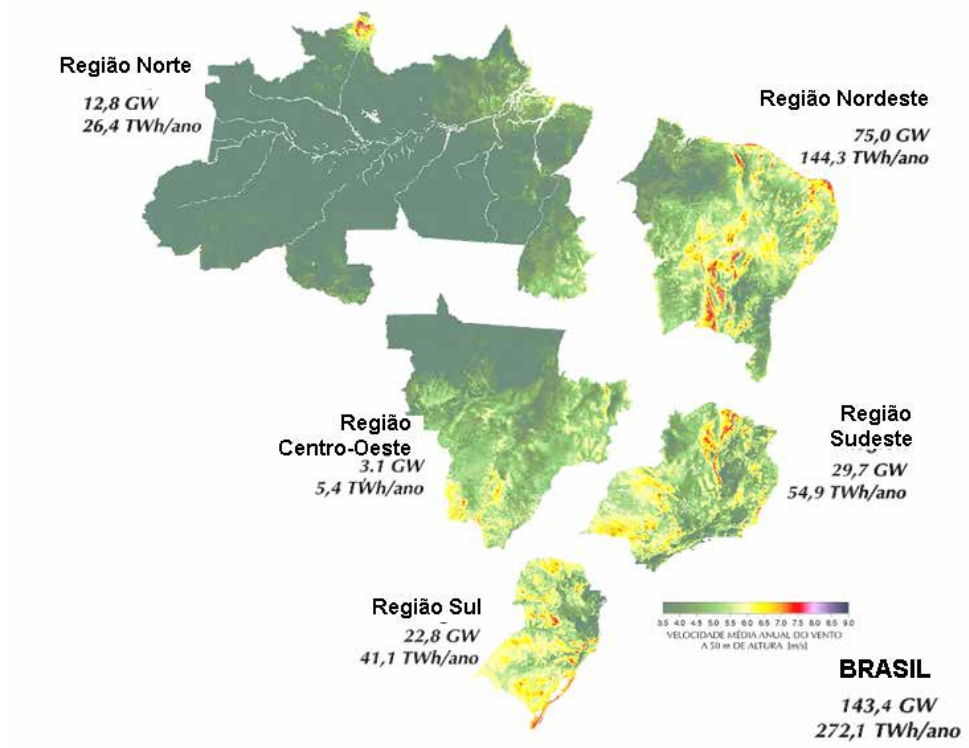
O Atlas Eólico do Rio Grande do Sul (Amarante e Silva, 2002), por sua vez, elevou o potencial comercial do estado de 15,8 GW a 50 metros para 115,2 GW a 100 metros, tendo como referência um limiar de velocidade média de sete metros por segundo (m/s). Para o mesmo limiar de velocidade de vento e altura, o potencial eólico do Estado de Alagoas foi informado em 650 MW (Amarante *et al.*, 2008). Já o Estado do Espírito Santo, adotando a mesma base, chegou a um potencial de 1.143 MW.

Em Minas Gerais, o potencial eólico calculado a 100 m chegou a 40 GW (Amarante e Silva, 2010). No Rio Grande do Norte, o potencial a 100 m alcançou 27 GW (Amarante *et al.*, 2003), no Paraná este número ficaria na faixa de 3,4 GW (Amarante *et al.*,. 2007) e, no Rio de Janeiro 922 MW (Amarante *et al.*, 2002). Somando-se apenas estes seis estados cujos atlas a 100 m já foram apresentados, chega-se a uma potência total próxima de 190 GW (Pereira *et al.*, 2010a).

Os projetos *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (*SWERA*) e Sistema de Organização de Dados Ambientais (SONDA) também disponibilizam dados de potencial eólico de alta confiabilidade integrados a uma ferramenta computacional capaz de cruzar diversas informações energéticas, fornecendo, assim, subsídios necessários para a tomada de decisões em vários níveis[21].

[21] O banco de dados eólicos está disponível no site do INPE: http://sonda.ccst.inpe.br/

Figura 3.8 Potencial eólico brasileiro.



Fonte: Amarante *et al.*, 2001

Fotovoltaica (PV) e *Potência solar concentrada* (*CSP*)
A partir do atlas de irradiação solar do Brasil (Colle e Pereira, 1998), a média anual da energia solar global diária sobre superfície horizontal é de:
5,5 kWh/m^2, na Região Norte;
5,7 kWh/m^2, na Região Nordeste;
5,6 kWh/m^2, na Região Centro-Oeste;
5,5 kWh/m^2, na Região Sudeste; e,
5,0 kWh/m^2, na Região Sul.
Portanto, o recurso solar disponível no Brasil é considerável.

Em média, anualmente, essa disponibilidade está entre 1.900 kWh/m^2 e 2.100 kWh/m^2 (Martins *et al.*, 2007), mas segue sendo marginal a utilização da conversão da radiação solar em eletricidade, seja pela utilização de sistemas fotovoltaicos ou de sistemas solares de concentração. Um outro Atlas Solarimétrico foi produzido pela Universidade Federal de Pernambuco (Tiba *et al.*, 2000), com pequenas variações em torno deste números.

No Brasil, a utilização de sistemas fotovoltaicos para eletrificação de domicílios isolados foi regulamentada pela ANEEL, através da Resolução Normativa nº 83 de 20 de setembro de 2004, com o título Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes (SIGFI), (ANEEL, 2004). A partir dessa resolução, as empresas de distribuição de eletricidade passaram a utilizar sistemas fotovoltaicos para cumprimento das metas de universalização.

Neste contexto, destaca-se a atuação da Companhia Elétrica do Estado da Bahia (COELBA) com mais de 20.000 domicílios atendidos por sistemas fotovoltaicos.

Estima-se que a potência instalada em sistemas fotovoltaicos para eletrificação rural no Brasil, esteja próxima a 30 MW. Devido às suas particularidades, eles operam com fator de capacidade anual entre 9% e 10%. Portanto, a partir dessas premissas, produzem por ano entre 23 e 26 GWh de eletricidade.

Já no que diz respeito à geração distribuída por sistemas fotovoltaicos conectados à rede, o Brasil já tem alguma experiência. Estas microusinas, de operação automática, não requerem operadores e não ocupam espaço extra por fazerem parte de prédios já existentes. Contam, atualmente com mais de 60 sistemas distribuídos, totalizando aproximadamente 400 kW de potência instalada. Desse total, apenas cinco, que somam 85 kW, foram oficialmente registrados e outorgados pela ANEEL.

Dependendo da localização geográfica, esses sistemas de geração distribuída de eletricidade podem operar com fatores de capacidade entre 13% e 17% e, em algumas situações, já há registro de alguns deles operando competitivamente, com custos de geração em paridade com as tarifas da concessionária (Ordenes *et al.*, 2007; Rüther e Zilles, 2011).

Ainda no que tange à produção de eletricidade com sistemas fotovoltaicos, destacam-se:

- a recente implantação e o início de operação da central solar fotovoltaica de 1 MW no município de Tauá, no Estado do Ceará;
- a publicação do Relatório do Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos (GT-GDSF), intitulado *Estudo e propostas de utilização de geração fotovoltaica conectada à rede, em particular em edificações urbanas* (MME, 2009), com proposição de uma política para o segmento; e,
- a edição da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 (ANEEL, 2012b).

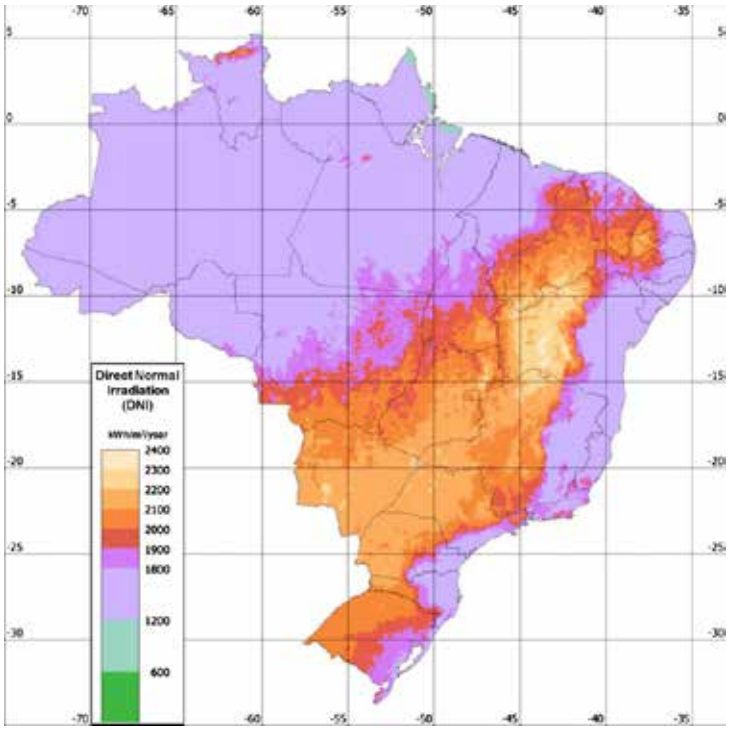
O relatório do GT-GDSF concluiu que a aplicação desses sistemas interligados à rede ainda está incipiente no Brasil e os custos e as implicações de um programa de larga escala é de fundamental importância a promoção de um projeto-piloto de pesquisa e desenvolvimento, com a instalação, operação e acompanhamento do desempenho desses sistemas conectados à rede em um conjunto de residências em uma região escolhida e monitorada, permitindo uma análise sistemática das possíveis implicações.

Já por meio de nota técnica, a agência apresentou os principais instrumentos regulatórios utilizados no Brasil e em outros países para incentivo da geração distribuída de pequeno porte a partir de fontes renováveis de energia conectada à rede de distribuição e contribuição para soluções de questões que o regulador deve enfrentar para reduzir as barreiras existentes. Tal iniciativa poderá estabelecer as condições de contorno necessárias para a implantação de geradores fotovoltaicos em telhados de consumidores de baixa tensão.

No que diz respeito à geração de eletricidade com sistemas solares de concentração, sua utilização está restrita a algumas experiências piloto (Guimarães *et al.*, 2002) realizadas por centros de pesquisa e associadas com projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D). O potencial de aproveitamento do recurso solar disponível no País, utilizando-se concentradores solares, depende da proporção da irradiação direta do Sol. Este potencial foi recentemente analisado por Viana *et al.* (2011), conforme apresentado na Figura 3.9 neste subcapítulo. É significativamente mais elevado na porção oeste do Estado da Bahia (Amarante e Silva, 2001), expandindo-se para regiões limítrofes.

A utilização de concentradores solares para produção de eletricidade está ganhando espaço na matriz de alguns países. No Brasil, destaca-se a iniciativa do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), e da Financiadora de Estudos e Projetos, (FINEP), para a implantação de uma planta piloto de geração heliotérmica na região do semiárido brasileiro (Vieira *et al.*, 2012a e b). Esta deverá ocorrer por volta de 2014. Ela possibilitará o estabelecimento, a partir da infraestrutura e dos recursos humanos formados, das bases para instalação de centrais solares de concentração no País.

Figura 3.9. Mapa do total anual de irradiação direta normal, em kWh/m²/ano, realizado com dados derivados de satélite.



Fonte: Viana, *et al.*(2011).

Pequenas centrais hidroelétricas (PCHs)

A Lei n° 9.648/1998 (Brasil, 1998) e a Resolução ANEEL n° 394/1998 estabeleceram os critérios atuais para o enquadramento de empreendimentos hidrelétricos na condição de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs). Passaram a ser consideradas PCHs os aproveitamentos hidrelétricos com as seguintes características:

- potência igual ou superior a 1MW e igual ou inferior a 30 MW;
- área total de reservatório igual ou inferior a 3 km²;
- cota d'água associada à vazão de cheia com tempo de recorrência de 100 anos.

Em 2003, a ANEEL, pela Resolução 652, alterou a área do reservatório. Determina que caso o limite de 3 km² seja excedido, o aproveitamento ainda seja considerado com características de PCH uma vez atendidas pelo menos duas condições:

- a inequação, $A \leq 14{,}3 \,.P/H_{_b2}$, onde

A [km²] é área máxima do reservatório,

P [MW]é a potência da central e

H_b[m] é a queda bruta da central, definida pelo nível máximo normal à montante do reservatório e a norma a jusante, no canal de fuga, e.

- os reservatórios que, comprovadamente, tenhamm seus dimensionamentos baseados em outros objetivos que não o de geração de energia elétrica.

De acordo com uma resolução da *7th Conference of the Parties* (COP7), da *United Nations Framework Convention on Climate Change* (2011a e b), estão inseridas no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo projetos de pequena escala para energias renováveis com capacidade máxima até 15 MW ou equivalente, que são a grande parte dos casos das PCHs.

Segundo o PDE 2021, atualmente a participação das PCHs na matriz de energia elétrica brasileira está por volta de 3,9% da capacidade instalada. Essa participação tende a se manter até o final do período. Conforme mostrado neste subcapítulo na Tabela 3.14, o crescimento da capacidade instalada das PCHs, tomando-se por base o ano anterior, se deu de forma decrescente: 36,6% em 2009; 14,0% em 2010 e, apenas, 2,6% até o mês de maio de 2011. Assim como a intensidade de crescimento das usinas em construção diminuiu às taxas de 21,04% em 2009; 21,8% em 2010 e 11,3% em 2011.

Desaceleração do crescimento das PCHs tem-se dado por diferentes fatores, como os aspectos regulatórios, de mercado e de procedimentos para obtenção do licenciamento ambiental, que têm onerado e/ou inviabilizado muitos projetos de PCHs. A saber:

- a falta de informação quanto aos reais impactos ambientais;
- a resistência da comunidade com relação à implantação da usina;
- as dificuldades face às leis ambientais; as condicionantes que oneram o empreendimento acima do factível;
- os altos custos para elaboração dos EIA/RIMAs e,
- o processo de licenciamento ambiental demorado.

Tudo isso, aliado à demora do trâmite dos processos nos diferentes órgãos que compõem os sistemas de licenciamento ambiental são alguns dos entraves que têm onerado em muito o desenvolvimento de novos projetos. O atual crescimento tem-se dado de forma inercial, devido apenas aos projetos que já se encontram em desenvolvimento, sem que surjam propostas de novos projetos. Diante do atual cenário, a taxa de crescimento da capacidade instalada das PCHs no País tende a decrescer.

Por outro lado, o Brasil é capaz de produzir todos os equipamentos necessários para uma central, podendo, inclusive, exportá-los bem como os serviços para países vizinhos. Finalmente deve-se ressaltar que o inventário nacional ainda não pode ser considerado completo, na medida em que existem locais ainda não identificados para PCHs na Região Norte do País.

Tabela 3.14 *Capacidade das PCHs no período 2008 a 2011*

Situação		PCHs							
		2008		2009		2010		2011	
		Qtd	MW	Qtd	MW	Qtd	MW	Qtd	MW
Em operação		310	2.209	358	3.018	389	3.440	397	3.530
Em construção		77	1.264	73	998	61	780	52	692
Autorização – outorgados		161	2.396	145	2.067	147	2.048	152	2.076
Inventariado	Em processo de elaboração	169	0	470	1.042	505	669	1	10
	Em processo de aceite	20	560	52	560	30	0	0	0
	Em processo de análise	86	1.775	129	4.443	203	3768	40	625
	Complementação – expansão	0	0	0	0	0	0	4	85
	Disponíveis	484	2.649	396	8.738	493	9.071	13	75
Projeto básico	Em processo de elaboração	0	0	0	0	0	0	181	1.072
	Em processo de registro	215	1.421	1133	0	0	0	0	0
	Em processo de aceite	30	385	59	317	47	150	22	116
	Em processo de análise e complementação	282	3.525	343	1272	454	4754	467	3532
	Aprovado	0	0	0	0	0	0	75	616
	TOTAL	**1.834**	**16.184**	**3.158**	**22.455**	**2.329**	**24.680**	**1.404**	**12.429**

Fonte: elaboração a partir de dados do Boletim de Informações de Geração (BIG) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2011a).

CONCLUSÃO

O potencial de recursos energéticos primários para geração de energia elétrica no País, conforme demonstrado nesta seção, é gigantesco e majoritariamente fundado em fontes renováveis, particularmente na hidroeletricidade e na energia eólica. A primeira fonte poderia chegar a uma potência instalada entre 155 e 174 GW, segundo as diferentes referências citadas, enquanto que a eólica teria um potencial aproveitável que varia entre 143 a 190 GW. A biomassa, centrada sobretudo no bagaço de cana-de-açúcar e nos resíduos urbanos, poderia contribuir, no cenário mais otimista, com quase 24 GW. A energia solar, apesar de ainda ser aplicável apenas em alguns nichos, tem um potencial ilimitado,

Entre as fontes não renováveis, o País tem reservas significativas de urânio, podendo chegar a 2030 com uma capacidade instalada de 36,4 GW, sem causar acréscimo de emissões de gases de efeito estufa. Tem-se, ainda, o gás natural, aquele que menos emite GEEs entre os combustíveis fósseis, e as reservas de carvão, que apesar de não serem da melhor qualidade, quando acopladas à captura geológica podem, no longo prazo, também contribuir para uma matriz elétrica com baixo nível emissor.

3.2.2.2. INDÚSTRIA DE ENERGIA ELÉTRICA – G,T&D

Autoprodução e cogeração
De acordo com o PNE 2030, existem hoje, no Brasil, diversas formas de geração elétrica para consumo próprio que podem ser classificadas como autoprodução. Neste contexto, sobressaem a cogeração e a geração distribuída.

A cogeração tem seu mercado potencial constituído, essencialmente, em setores industriais, tais como os de papel e celulose, açúcar e álcool, alimentos e bebidas, químico e petroquímico, siderúrgico e têxtil. Há também processos de cogeração no setor de comércio e serviços, como, por exemplo, em *shopping centers*, aeroportos, hospitais e frigoríficos. A geração distribuída, conectada à rede no nível da distribuição, tem grande potencial de crescimento e é tratada mais especificamente neste subcapítulo ao ítem Transmissão, Distribuição e Armazenamento.

De acordo com o PNE 2030, em 1990, a proporção de autoprodução no sistema elétrico brasileiro era de pouco mais de 6%, com perspectivas de crescimento até pouco mais que 9% da demanda total em 2030, cenário para o qual se efetuou a prospecção de futuro.

Transmissão, distribuição e armazenamento
A área de suprimento de energia elétrica, envolve, além da geração, o transporte das diferentes formas de energia aos locais onde pode ser convertida em serviços úteis – eletricidade, calor e outros. Este sistema de transporte pode afetar a produção de GEEs por diversos motivos como, por exemplo, vazamentos ou perdas, que vão resultar na necessidade de maior produção de energia para atender ao mesmo consumo.

Nos países onde predomina a utilização de combustíveis fósseis para geração de energia elétrica, isto se reflete de forma praticamente direta na emissão de GEEs. É o caso dos sistemas isolados brasileiros, onde a geração é feita basicamente com óleo diesel. Mas, no cômputo geral do sistema elétrico nacional, o impacto não é tão significativo devido à baixa participação dos sistemas isolados no consumo total.

Do ponto de vista de emissões atmosféricas, são pequenos os impactos causados pelos sistemas de transmissão e distribuição de energia. Mas, mesmos estes últimos, apresentam potencial para redução de emissão de GEEs, uma vez que há a possibilidade de ações para diminuir perdas, tanto técnicas, como comerciais – os denominados *gatos* ou *desvios* clandestinos e não comercializados

de energia elétrica.
A seguir, apresenta-se uma caracterização simplificada do sistema elétrico brasileiro, seguida da indicação de possíveis ações e tecnologias voltadas a mitigar o efeito das referidas perdas.

No caso específico da energia elétrica no Brasil, tais sistemas incluem, basicamente:

- um grande sistema interligado, formado por longas linhas de transmissão de grande porte, que permitem o escoamento da eletricidade das grandes unidades de geração, em geral hidroelétricas, distantes dos centros de consumo, e também por linhas menores e com menor capacidade em sistemas de malhas mais próximos aos grandes centros consumidores; e
- sistemas isolados de energia elétrica, com característica local, e que não estão conectados às redes interligadas.

Com relação aos sistemas de transmissão, cumpre salientar que boa parte deles, devido ao envelhecimento dos equipamentos, à congestão de rede e a demandas extremas de carga de pico, têm apresentado, ao longo do tempo, aumento de perdas e redução de confiabilidade, justificando ações de revitalização, assim como de modernização, para que possam incorporar avanços tecnológicos.

Uma incorporação de avanços tecnológicos, incluindo aqueles aplicáveis às redes e os disponíveis do lado do consumo, tem como objetivos principais diminuir perdas e aumentar confiabilidade – disponibilidade de acesso e segurança na conexão –, e incorporar um maior grau de tecnologia de informação (TI) e de controles, além de integrar sistemas energéticos com baixas emissões. Isto deve resultar também, em maior flexibilidade no controle dos sistemas locais e melhor desempenho de seu todo e do uso de recursos energéticos – principalmente, os renováveis.

Nesse contexto, existem diversas tecnologias e procedimentos operacionais que podem ser utilizados para os fins citados. No cenário tecnológico e operacional da transmissão e da distribuição, pode-se distinguir entre tecnologias e procedimentos que já se encontram inseridos tradicionalmente no setor elétrico – mas podem ser aperfeiçoados –, as que estão disponíveis para aplicação imediata e em curto prazo e, ainda, aquelas que estão em fase de aperfeiçoamento para aplicação comercial em horizonte de tempo um pouco distante.

Nesse conjunto, ressaltam:

- as políticas e os programas de eficiência energética e combate ao desperdício, pelo lado da oferta[22];
- o desenvolvimento adequado de interconexões elétricas;
- a geração hidroelétrica com velocidade ajustável;
- os sistemas energéticos descentralizados e geração distribuída; e,
- os sistemas avançados de armazenamento, dentre outros.

Todos esses aspectos apresentam diversas perspectivas favoráveis de uso para resolver os problemas citados, principalmente quando utilizam os grandes avanços da TI e da automação, principalmente no âmbito da denominada rede inteligente (*Smart Grid*) ou energia inteligente (*Smart Power*), conforme Fox-Penner (2010) e DOE (2010).

Políticas e programas de eficiência energética e combate ao desperdício
São políticas e programas de incentivo à eficiência energética e ao combate ao desperdício de energia que enfocam toda a cadeia da eletricidade, geração, transmissão e distribuição. Nesta última parte da cadeia – a distribuição –, predominam as ações e os avanços tecnológicos. A se destacar, um problema de grandes dimensões e difícil solução: as perdas comerciais, associadas à retirada clandestina da energia das redes, para o qual muitas ações têm sido tentadas, com diferentes graus de sucesso .

[22]As políticas e programas de eficiência pelo lado da demanda serão tratadas no capítulo sobre construções

Interconexões elétricas
Interconexões elétricas representam um meio eficiente de melhorar o desempenho de sistemas de geração renovável, uma vez que permitem uma operação integrada e objetivam o melhor uso dos recursos disponíveis. O sistema elétrico interconectado tem sido a razão do bom desempenho do sistema de potências no Brasil. Suas linhas de grande comprimento e os sistemas malhados interligam usinas hidroelétricas das diversas bacias hidrográficas do País – algumas apresentando sensíveis diferenças de comportamento sazonal – e permitem o melhor uso energético da água.

Nesses casos, as interconexões podem ser consideradas uma espécie de *vias de água*, por permitirem operação dos reservatórios de maneira integrada. A determinação do cronograma de operação não é tarefa simples e demanda uma complexa análise que implica diversos cálculos, estudos, simulações e, também a participação de todas as empresas envolvidas na geração e transmissão. No sistema interligado brasileiro isto é gerenciado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

Geração hidroelétrica com velocidade ajustável
As tecnologias que permitem o desenvolvimento de hidroelétricas capazes de operar com rotação ajustável são promissoras para aplicação em situações específicas. Esse tipo de geração baseia-se no uso de equipamentos eletrônicos pertencentes à família dos Sistemas Flexíveis de Transmissão de Corrente Alternada– *Flexible AC Transmission Systems,* conhecida pela sigla *FACTS* (Hingorani, 1988). Ela propicia o desacoplamento entre a velocidade do sistema de geração e a freqüência do elétrico, possibilitando às turbinas operarem em velocidades diferentes. Duas tecnologias estão disponíveis: a de conexão unitária em Corrente Contínua em Alta Tensão (CCAT) e a de ciclo – aplicável por meio de tecnologia de conversores.

Tais tecnologias permitem o ajuste da velocidade das turbinas de acordo com sua vazão e altura útil possibilitando a operação do conjunto no seu ponto ótimo de eficiência. Um estudo de simulação realizada no Brasil (Reis, 2011) demonstrou a possibilidade de ganhos consideráveis, tanto maiores quanto mais altas as variações da sua altura útil durante a operação das usinas.

Nesses estudos, as avaliações efetuadas para transmissão de grandes blocos de energia da Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas por longas distâncias demonstraram que, associado à alternativa de transmissão CCAT, o uso da conexão unitária pode resultar em reduções de 25% a 30% nos custos da estação retificadora e em ganhos energéticos em torno de 0,4% a cada ano.

Sistemas energéticos descentralizados e geração distribuída
Sistemas de energia descentralizada – também referida como geração distribuída –, próximos aos consumidores, são usualmente formados por instalações de pequeno ou médio porte voltadas a fornecer serviços energéticos múltiplos. Tais sistemas apresentam algumas vantagens importantes:

- redução de custos de transmissão;
- maior rapidez de implantação;
- redução das perdas totais da rede;
- garantia de maior confiabilidade em áreas industriais e sistemas de gerenciamento de dados e uso de TI;
- vantagem de estarem mais próximos do local da demanda, no caso de sistemas de aquecimento e refrigeração, resultando na melhor utilização de geração a partir das fontes renováveis, eólicas, solares, biomassa.

Há uma forte tendência de crescimento da aplicação dos sistemas de energia descentralizada, principalmente por meio da denominada geração distribuída. Esta se constitui em projetos de geração de pequeno porte, conectados de forma dispersa à rede elétrica, usualmente ao sistema de distribuição. Embora haja diversas tentativas de definição, em uma concepção mais ampla, geração distribuída refere-se à geração não despachada de forma centralizada, usualmente conectada aos sistemas de distribuição e menores que 50 ou 100 MW.

A geração distribuída é uma tendência associada a pequenos projetos de geração e co-geração. Os motores a gás, as pequenas turbinas a gás, miniturbinas a gás, sistemas de ciclos combinados, células a combustível, sistemas eólicos, pequenas usinas hidroelétricas (assim como mini-hidroelétricas), usinas solares fotovoltaicas, sistemas termossolares, utilização de diferentes combustíveis e motores Stirling – de combustão externa – estão se tornando cada vez mais competitivos para este tipo de geração (*IPCC*, 2007a).

Como a geração estará conectada com um sistema de distribuição já existente, é possível se conduzir análises de planejamento integrado local e centralizado, de modo a melhorar o desempenho do sistema como um todo (Ault e Macdonald, 2000). Além disso, se poderá também constituir um sistema de armazenamento de memória – back-up no jargão em inglês – dos distúrbios ocorridos em toda a rede.

Na integração dessa geração aos sistemas de distribuição, a utilização de novas tecnologias de automação e controle, associadas à utilização das características cada vez mais avançadas e abrangentes da tecnologia da Informação (TI), dentro dos conceitos da denominada rede inteligente – *Smart Grid*[23] –, (Fox-Penner, 2010; DOE, 2010), resulta em melhorias tanto na utilização de energia renovável quanto no sistema de distribuição.

Esses benefícios significam menores investimentos de capital devido a:

- o melhor uso das capacidades das linhas e/ou menores comprimentos das linhas de distribuição; menores custos de perdas pela redução das perdas no sistema;
- a contribuição da geração local na melhoria da utilização da geração hidroelétrica centralizada e,
- os benefícios sociais e ambientais, geralmente associados a soluções energéticas locais.

Com relação às novas tecnologias de automação e controle citadas acima, é importante ressaltar o grande número de equipamentos da família *FACTS* (Reis, 2011; Hingorani, 1988), que usam a TI e a eletrônica de estado sólido para controlar os fluxos de potência e seus níveis e os de tensão, chavear as redes e ajustar parâmetros, entre outras finalidades.

Cabos supercondutores, sensores e controles de resposta rápida, que podem reduzir os custos da eletricidade e as perdas nas linhas, estão em desenvolvimento. O gerenciamento do sistema será aperfeiçoado pelo provimento de informação avançada no desempenho da rede (Fox-Penner, 2010; *IPCC*, 2007b), a incorporação de equipamentos às rotas de fluxo de corrente nas linhas, a introdução de precificação em tempo real e outras tecnologias que atuam do lado da demanda, incluindo medidores inteligentes e melhor planejamento para todo o conjunto.

Sistemas de armazenamento

Os métodos mais conhecidos para se ampliar a utilização de energia renovável nos sistemas elétricos têm como conceito principal o emprego de redes de armazenamento. Elas servem para estocar a energia potencial gerada a mais do que a carga momentânea. Em outras palavras: nas situações em que a disponibilidade do recurso energético excede sua necessidade. Dessa forma, seu consumo futuro fica garantido sempre que a carga exceda a capacidade de energia disponível (Reis, 2011).

Tecnologias baseadas na associação de equipamentos da eletrônica de potência – as da família *FACTS* –, com os mais diversos tipos de sistemas de armazenamento, também podem ser utilizadas para se suavizar as características de carga (Reis, 2011; e Hingorani, 1988). Assim, permite operação de todo o sistema elétrico e utilização de energia melhores.

[23] A denominação Rede Inteligente ou Smart Grid se refere a uma rede de distribuição elétrica dotada de tecnologia computacional e comunicação digital de dois sentidos que permitem automação e aperfeiçoamento da monitoração e controle do sistema elétrico para permitir operação com menores custos e maiores confiabilidade e eficiência.

Os equipamentos *FACTS* têm tido uma inserção acelerada nos sistemas de potência. A perspectiva de sua aplicação associada a redes de armazenamento de energia elétrica permite visualizar enorme impacto sobre o planejamento e a operação para fornecimento de eletricidade.. Isto porque, ela poderá possibilitar a introdução, nos locais mais adequados da rede elétrica, de sistemas que ora armazenam, ora fornecem energia elétrica, com grande rapidez de resposta e sem inércia mecânica ou contribuição ao aumento da corrente de curto-circuito.

Modificações nos critérios de planejamento e operação, assim como o desenvolvimento de modelos para estudos já se encontram em andamento para incorporar tais sistemas (Cigré, 2000).

Sistemas avançados de armazenamento de energia podem ser mecânicos– inerciais e pneumáticos –, eletroquímicos – como as baterias avançadas, as células a combustível reversíveis e o hidrogênio –, puramente elétricos ou, ainda, magnéticos – caso dos super e ultracapacitores, dos sistemas de armazenamento magnético supercondutores – *Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES)* – ou do hidráulico por bombas – térmicos – calor – e de ar comprimido.

Em geral, a instalação de algum destes sistemas de armazenamento diminui, necessariamente a eficiência total do sistema. Seus graus de eficiência estão na faixa de 60% para água, reversíveis até mais que 90% para inércias e supercapacitores (*IPCC*, 2007a). Há, ainda, outros sistemas de armazenamento sob avaliação, que utilizam vanádio, um metal dúctil e maleável, mas que apresentam baixa densidade energética e altos custos.

Com base nas características das tecnologias e nos procedimentos operacionais enfocados neste subcapítulo, é possível sintetizar o seguinte cenário de ações para diminuição da emissão de GEEs:

- por meio de redução de perdas,
- melhor utilização dos recursos renováveis e
- aperfeiçoamento da transmissão e distribuição.

Para o grande sistema interligado, todas as tecnologias e procedimentos enfocados serão aplicáveis. Ao aplicá-los em situações localizadas e específicas, deve-se privilegiar formas de planejamento e gestão integradas que harmonizem o desempenho de um grande núcleo centralizado com os diversos sistemas energéticos descentralizados de menor porte.

Os futuros sistemas de infraestrutura e controle certamente se tornarão mais complexos para que se possa gerenciar cargas maiores e mais variáveis, reconhecer e despachar fontes geradoras em pequena escala e, ainda, integrar fontes descentralizadas e intermitentes sem se reduzir o desempenho sistêmico quanto a um maior fluxo de carga, oscilações de freqüência e qualidade de tensão.

A demanda dos sistemas futuros pode ser significativamente menor do que o aumento estimado para o uso de geração distribuída. As tecnologias e procedimentos avançados, bem como outros que venham a surgir, deverão ser efetivamente considerados na determinação e no desenvolvimento dos novos componentes de transmissão e distribuição que sejam agregados ao longo do tempo.

Para os sistemas isolados de energia elétrica, deverão ser aplicados, de forma mais imediata, as tecnologias e os procedimentos operativos enfocados relativos a eficiência energética, energia descentralizada, geração distribuída e armazenamento (Reis, 2011). Sempre com ênfase na utilização de recursos energéticos locais, uma vez que nesses sistemas, transmissão e distribuição serão desenvolvidas com orientação ao melhor desempenho de tais fontes, que terão impacto direto sobre a geração a diesel – e, portanto, na emissão total de GEEs pelo setor a partir do uso menor desse combustível.

Sistemas poligeradores – dotados de mais de uma tecnologia ou híbridos –, que formam minirredes e a implantação de hidroelétricas de porte reduzido – mini e micro – e operando à rotação ajustável

deverão ser efetivamente considerados (Reis, 2011). É importante lembrar que, para o horizonte de 2013, foi prevista interligação de uma significativa parte dos sistemas isolados, incluindo aqueles que atendem a grandes cidades à margem esquerda do Rio Amazonas, Macapá e Manaus (EPE, 2010a).

Finalmente, é importante salientar que, em tal cenário, não só quanto aos sistemas de armazenamento mas em geral, especial atenção deve ser sempre dada à adaptação e à evolução do arcabouço regulatório necessário para se embasar e incentivar ações imperiosas. Para tanto, é importante colocar foco especial na modicidade tarifária: novas tecnologias, usualmente, apresentam de início custos maiores, mas, no quadro atual, é possível se identificar diversas possibilidades de redução tarifária.

Uma avaliação correta de todos esses aspectos influenciará não só a viabilidade de introdução das transformações necessárias, mas também a velocidade segundo a qual as mesmas poderão ser implantadas.

Eficiência energética quanto à oferta

As perdas atuais do setor elétrico brasileiro, no que se refere aos serviços de transmissão e distribuição, são da ordem de 16%, segundo o PDE 2020. Esse valor inclui também, as perdas comerciais por furto e fraudes, que variam significativamente entre as diversas regiões do País – maiores no Norte e no Nordeste. A expectativa é a de reduzir a média nacional para 15% em 2020.

As estratégias para redução das perdas técnicas no sistema de oferta incluem as seguintes medidas (Marreco *et al.*, 2006; Volpi *et al.*, 2006):

- a repotenciação de usinas antigas;
- o contínuo aperfeiçoamento da operação do sistema elétrico, coordenando o despacho das termoelétricas com o melhor aproveitamento possível dos reservatórios de hidroelétricas, reduzindo-se, assim, as vazões vertidas – ou seja, o desperdício;
- a redução de perdas na transmissão e distribuição de eletricidade utilizando novos materiais e tecnologias avançadas para transporte de energia a longa distância; e, ainda,
- a melhoria de eficiência nas usinas termoelétricas, pois a maior parte das que estão em operação no País é de ciclo aberto, uma tecnologia mais barata mas com grau de eficiência ao redor de 35%. A substituição dessas plantas por outras, de ciclo combinado e com grau de eficiência de 60% a 65%, poderia reduzir significativamente o desperdício na geração de eletricidade. Além disso, novas tecnologias de combustão poderão contribuir para uma maior eficiência das novas termoelétricas.

Comércio internacional

Em busca pelo desenvolvimento da integração energética dos países latino-americanos, o governo brasileiro tem firmado acordos e as empresas do País, participado de estudos com seus pares em países das Américas Central e do Sul. A associação do Brasil a esses países se verifica predominantemente com relação a fontes que geram energia limpa e mais barata, como é o caso das hidrelétricas.

Atualmente, os principais projetos associados ao comércio internacional de energia elétrica do Brasil com os países vizinhos são:

- a conexão em HVDC *Back-to-back*[24] com a Argentina, em Garabi (2.200 MW),
- a conexão em Boa Vista, Roraima, com o sistema da usina de Guri, na Venezuela e, principalmente,

24 A denominação de sistemas Back to Back em High Voltage Direct Current (HVDC) é utilizada internacionalmente para indicar sistemas de corrente contínua em alta tensão, nos quais não há linhas de transmissão entre o retificador e o inversor, que, desse modo, podem ser fl instalados em uma mesma subestação de energia elétrica.

- a conexão com o Paraguai, em Itaipu, correspondente às máquinas de 50 Hz da referida usina (7.000 MW).

Segundo o PDE 2020, entre os projetos em estudo, destacam-se seis usinas hidroelétricas no Peru, que totalizam aproximadamente 7 GW de capacidade instalada – a usina de Inambari, de 2 GW, encontra-se em estágio mais avançado. Tais estudos indicam a possibilidade de exportação de energia excedente para o Brasil com interligação de sistemas elétricos no Estado de Rondônia.

No que se refere aos estudos com a Bolívia, existe a previsão de implantação da hidroelétrica Cachoeira Esperança, para gerar 800 MW em território boliviano, a montante das usinas do rio Madeira. Já com a Guiana, se estuda a viabilidade de uma usina com potência estimada em 1.500 MW. Estão sendo realizados também nesse último País, estudos de inventário que apontam para um potencial de aproximadamente 8 GW, conforme o PNE 2030 (EPE, 2007). A energia produzida pelas hidrelétricas a serem implantadas poderá ser importada pelo Brasil, por meio de interligações no Estado de Roraima. Entre Brasil e Argentina, por sua vez. existem estudos para a viabilização de empreendimentos binacionais no Rio Uruguai, totalizando capacidade geradora de aproximadamente 2 GW.

Tais projetos poderão ser viabilizados por meio de tratados internacionais e, à medida que estes acordos se concretizem, os projetos poderão passar a incorporar os estudos de planejamento da expansão da oferta energética do setor.

3.2.3. POTENCIAIS E CUSTOS DE MITIGAÇÃO

Esta seção tem como objetivo discutir os potenciais e os custos associados à mitigação das emissões dos GEEs no setor energético brasileiro[25], com ênfase no setor elétrico e baseado em análises e resultados apresentados por estudos e trabalhos recentemente publicados. A maior parte desses estudos deriva do conteúdo do PNE 2030 e, portanto, cobre o período de 2005 a 2030. Excluiu-se aqui, as emissões vinculadas ao segmento de transporte. Uma análise adicional, a partir de dados mais recentes apresentados pelo PDE 2020, permite se traçar um cenário mais próximo das emissões do setor elétrico até essa última data.

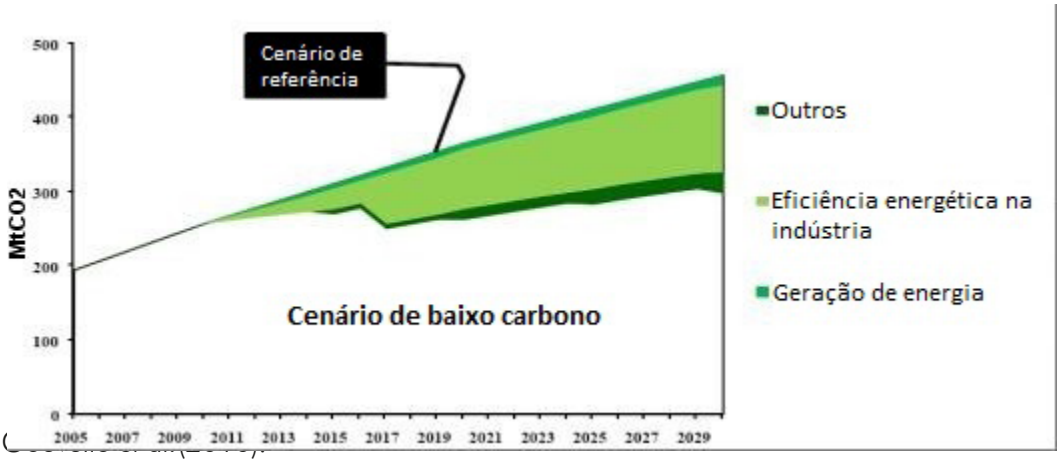
3.2.3.1. ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE GEES PELO SETOR ENERGÉTICO NACIONAL

Gouvello *et al.* (2010) mostraram, com base em dados fornecidos pela Agência Internacional de Energia (2007), 329 $MtCO_2$ emitidas pelo setor energético nacional em 2005 – ou seja, 1,2% do total pelo qual respondeu mundialmente o setor, que alcançou, nesse mesmo ano, 2,7 $GtCO_2$.

Considerando-se as emissões de GEEs estimadas pelo Plano Nacional de Energia 2030 com base no cenário intermediário B1, elaborado no âmbito dos estudos desenvolvidos nesse mesmo plano (EPE 2007) e priorizando-se o estabelecimento das estratégias de expansão do sistema energético nacional, excluindo-se o setor de transporte, a estimativa na linha de base para 2005 eram inferiores a 200 $MtCO_2$ emitidas, conforme representado na Figura 3.10, na qual o cenário de referência B1 é projetado até 2030.

Figura 3.10 Emissões: Cenário de Referência (B1) x Cenário de Baixo Carbono

25 O setor energético, de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN), compreende as emissões geradas pela produção e uso de energia e calor pelos seguintes subsetores: elétrico, setor energético propriamente dito, residencial, comercial, público, agropecuário, industrial, transporte, e o volume fugitivo de gases emitidos. Emissões pelo subsetor elétrico referem-se apenas ao SIN, não incluindo, portanto, os autoprodutores e os sistemas isolados. O consumo de coque de carvão mineral no setor siderúrgico passou a ter seus dados contabilizados nos relativos ao setor de processos industriais e não mais no energético, atendendo à recomendação do IPCC.



Fonte: [illegible]

No PNE 2030, cenários econômicos e energéticos para o País foram estabelecidos em quatro trajetórias distintas, considerando taxas anuais médias de crescimento do PIB, entre 2005 e 2030 conforme apontado na Tabela 3.15 deste subcapítulo.

Tabela 3.15 *Taxas médias anuais crescimento do PIB – em %*

	Cenário A	Cenário B1	Cenário B2	Cenário C
PIB	5,1	4,1	3,2	2,2

Fonte: Plano Nacional de Energia (PNE) 2030 (EPE, 2007).

Aos cenários econômicos foram associadas quatro diferentes trajetórias de consumo energético, divididas em eletricidade e combustível. Na Tabela 3.16 deste subcapítulo, são apresentadas as taxas de crescimento do consumo de energia e da eletricidade para distintos cenários de crescimento do PIB.

Tabela 3.16 *Taxa anual média de crescimento da energia de 2005 a 2030 – em %*

	Cenário A	Cenário B1	Cenário B2	Cenário C
Energia*	4,3	3,6	3,1	2,5
Energia elétrica	5,1	4,1	3,9	3,5
*Exclusive consumo pelo o setor energético e usos não energéticos				

Fonte: Plano Nacional de Energia (PNE) 2030 (EPE, 2007)

Cabe ressaltar que as emissões projetadas no cenário B1 do PNE 2030 são inferiores àquelas estimadas pela International Energy Agency (*IEA*). Isso se dá por duas razões principais:

- primeiro, a estimativa realizada pelo PNE 2030 exclui as emissões associadas ao transporte, o que explica a maior parcela da diferença, e,
- segundo, as estimativas realizadas pelo PNE 2030 já levam em conta o potencial de redução de emissões relacionado à implementação de diversas medidas, como o desenvolvimento da energia nuclear, a promoção da eficiência energética, a maior exploração do potencial energético renovável - em particular, com a construção de grandes hidroelétricas na Região

Norte do País.

Mas, a despeito dessas iniciativas, a expectativa é de que as emissões aumentem significativamente entre 2010 e 2030, atingindo 458 $MtCO_2$, conforme representado na Figura 3.10, neste subcapítulo. Isso deve ocorrer em função dos problemas ambientais enfrentados pelo setor elétrico para construir grandes hidroelétricas. E, mais recentemente, por conta da possível revisão sobre a construção de novas usinas nucleares, planejadas para serem construídas a partir de 2020.

As estimativas elaboradas por Gouvello *et al.*, 2010, apontam para uma expansão da contribuição de GEEs emitidos pelo setor elétrico da ordem de dois terços no período – de 6% registrados em 2005 para pouco mais de 10%, em 2030. Ou, em termos absolutos, de 97 Mt CO_2, considerando-se os seguintes fatores de emissão do setor elétrico em toneladas de dióxido de carbono por megawatt horário (tCO_2/MWh):

- 0,094, em 2010;
- 0,069, em 2020 e
- 0,079, em 2030.

Observe-se que, em uma eventual desmobilização das plantas nucleares indicadas no PNE 2030, parte dessa perda potencial de geração elétrica pode vir a ser compensada a partir de 2020 pela introdução de novas usinas movidas a combustíveis fósseis – em particular, a gás natural.

Caso esse cenário se realize, mantendo-se para o período de 2021 a 2030, a mesma taxa de crescimento estimada pelo PDE 2020 para a década anterior – de 2011 a 2020 – que é da ordem de 85%, as emissões de GEEs pelo setor elétrico brasileiro poderão atingir 93 $MtCO_2$. Tal estimativa é pouco menor do que aquela projetada por Gouvello *et al.*, (2010), de 97 $MtCO_2$ em 2030, já mencionada acima.

À semelhança de Gouvello *et al.*, 2010, as análises elaboradas por Margulis e Dubeux (2010), identificaram que o volume de emissões associadas ao setor energético brasileiro é relativamente baixo, tendo em vista a grande participação das fontes renováveis na oferta interna desse insumo.

As estimativas de emissões de GEEs e o horizonte do estudo acima referido foram os mesmos apresentados no trabalho coordenado por Gouvello e seus colaboradores, observando-se, ademais, que a expansão da oferta de energia elétrica deverá se realizar com um importante crescimento de fontes emissoras de carbono – usinas termoelétricas a carvão, óleo combustível e gás natural.

A consultoria *McKinsey & Company* (McKinsey, 2009c), considera como setor de energia apenas os seu segumentos elétrico e de transportes terrestres, denominado matriz energética pelo estudo. Analisa em separado, os segmentos de edificações, resíduos e os setores industriais. Assim, seu caso base, ao retirar do cômputo tanto transportes terrestres e como resíduos, somou 240 $MtCO_2$ em emissões de GEEs no ano de 2005, enquanto que o referido trabalho estimou 480 $MtCO_2$ para 2030.

Comparando-se as emissões de GEEs estimadas no cenário de referência adotado por Gouvello *et al.* (2010) e Margulis e Dubeux (2010) para o período de 2010 a 2030 – o cenário B1 do PNE 2030 – com as projetadas pela McKinsey e pelo PDE 2020, observam-se os seguintes aspectos mais relevantes:

- as estimativas realizadas apontam para o crescimento das emissões pelo setor energético brasileiro para os próximos 20 anos, mesmo sem associá-las ao volume emitido pelo segmento de transporte terrestre e o setor de resíduos, e às emissões contabilizadas no estudo da McKinsey relacionadas a processo industriais e captura e estocagem de carbono (*CCS*);
- quanto ao setor elétrico, todos os estudos apontam para uma maior fossilização da matriz elétrico; e

- em geral, as taxas de crescimento são superiores àquelas calculadas para outros subsetores analisados nos estudos – a McKinsey, por exemplo, estima que as emissões de GEEs tripliquem entre 2005 e 2030, passando de 30 $MtCO_2$ para 90 $MtCO_2$ (2009c).

3.2.3.2. OPÇÕES E MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DE GEES PARA O SETOR ENERGÉTICO BRASILEIRO

Gouvello *et al.*, 2010, investigaram diversas opções de mitigação dos GEE para o setor energético, envolvendo o segmento de eletricidade bem como o de petróleo e gás. Suas opções de mitigação consideradas pelo lado da oferta foram:

- geração com energias renováveis,
- esquemas de otimização de refinarias e
- uso do *Gas to Liquid* (GTL).

E pelo lado da demanda:

- **a eficiência energética, a exemplo de sistema de recuperação de calor, a recuperação de vapor,** a recuperação de calor do forno,
- novos processos,
- **o consumo de energia renovável e** reciclagem, e
- a troca de combustível por outros de menor teor de carbono.

Para cada medida, o estudo avaliou a capacidade técnica de evitar emissões de GEEs pela produção e consumo de energia no âmbito do cenário de referência.

A transição do cenário de referência adotado para o cenário de baixo carbono resultaria em redução acumulada de GEE emitidos pelo setor energético no Brasil da ordem de 1,8 $GtCO_2$ ao longo de 20 anos. Essa redução seria basicamente apoiada na eliminação dos combustíveis sólidos de biomassa não renovável utilizada pelo segmento industrial. Sozinha, ela representaria 31% do volume potencial a ser reduzido pelo setor energético.

Os resultados de Gouvello *et al.* (2010) mostraram ainda que, apenas 2% das emissões evitadas – 28 $MtCO_2$ acumuladas ao longo de 20 anos – ocorreriam por conta de ações no subsetor de eletricidade. Outros 77% dos potenciais abatimentos associar-se-iam às medidas adotadas pelo lado da demanda, 75% das quais vinculadas às mudanças no uso de combustíveis fósseis pelo setor industrial.

Pelo lado da oferta, 23% das emissões poderiam ser evitadas: as ações relacionadas com eletricidade responderiam por 9,7%, totalizando 177 $MtCO_2$ – ou uma média anual de 9 $MtCO_2$ – e o suprimento de petróleo e gás, pela fatia maior, de 13%.

A Tabela 3.17 deste subcapítulo apresenta o potencial de redução entre 2010 e 2030, considerando as opções de mitigação pelo lado da demanda e da oferta de energia.

Tabela 3.17: *Redução de volume de emissões por opção de mitigação*

Opções de Mitigação		Redução Emissões 2010-2030	
		$MtCO_2$	%
Demanda Energia		**1407**	**77%**
	Eletricidade	*28*	*2%*
	Combustível Fóssil	*1378*	*98%*
Oferta Energia		**423**	**23%**
Geração de Energia		**177**	**42%**
	Geração Eólica	*19*	*11%*
	Co-geração Biomassa	*158*	*89%*
Petróleo e Gás		**246**	**58%**
	GTL	*128*	*52%*
	Refino	*118*	*48%*
	TOTAL	**1830**	**100%**
	Média anual	**92**	

Fonte: Gouvello *et al.* (2010).

A McKinsey (2009c) também concluiu que, embora existam muitas oportunidades de redução de emissões no setor de energia brasileiro, o impacto a ser provocado com o aproveitamento das mesmas não seria significativo em função da importante participação das fontes renováveis de energia na matriz energética nacional, em especial da matriz elétrica. Em seu estudo, as estimativas de volume de GEEs emitido, agregado para o referido setor, foram classificadas da seguinte forma:

- setor de consumo - englobando os segmentos de edificações e de resíduos;
- setores industriais - agregando os segmentos industriais de cimento, siderurgia, química, petróleo e gás, além de outras indústrias;e, ainda,
- matriz energética - com foco em energia do segmento elétrico e em transportes terrestres.

Para calcular o potencial de abatimento, a consultoria determinou o cenário de referência dos setores de consumo, industriais e da matriz energética, com base no inventário brasileiro de emissões de GEEs. As extrapolações para 2030, conforme informado no estudo, foram efetuadas com base em premissas e metodologia coerentes com a abordagem do *IPCC*.

As previsões representaram a trajetória de emissões que ocorreria em face das atuais tendências e com todas as políticas públicas em vigor a partir de 2006, sem ações adicionais para o combate às mudanças climáticas e levando em conta uma taxa de crescimeto do PIB de 3% ao ano. Todas as medidas consideradas exigiriam apenas tecnologias atualmente disponíveis ou em fase avançada de amadurecimento.

Em termos absolutos, os segmentos energia – eletricidade –, siderurgia, cimento, química, petróleo e gás, outras indústrias e edificações representariam um abatimento potencial de 80,5 $MtCO_2$ em 2030, sem considerar como potencial, as reduções referentes aos processos industriais e de captura e estocagem de carbono. Ou seja, buscou-se identificar, para cada segmento dos três setores analisados no estudo da consultoria (McKinsey, 2009b), as estimativas de abatimento relacionadas com a queima de combustíveis fósseis apenas para fins energéticos.

Nessas condições, o potencial das reduções do consumo no setor elétrico – de 91TWh – ou 10% em relação ao cenário projetado para o caso referencial em 2030 de 933TWh, poderia ser realizado de duas formas:

- pelo cancelamento das plantas movidas a combustíveis fósseis ou
- distribuindo o potencial de redução entre todos os tipos de plantas.

Para as duas alternativas, foi considerada a expansão das PCH na matriz elétrica para se reduzir a entrada de combustíveis fósseis.

Em ambas, a implementação dessas ações resultaria em uma redução de 7,0 $MtCO_2$, representando 8% da redução total estimada de 85 $MtCO_2$ e levando-se em conta todos os segmentos energéticos selecionados – eletricidade, siderurgia, cimento, química, petróleo e gás, outras indústrias e edificações, até o final do horizonte, em 2030.

Na Tabela 3.18. deste subcapítulo, os volumes de reduções estimados pela McKinsey para os distintos segmentos estudados são informados.

Tabela 3.18 *Redução de emissões por oportunidade de mitigação para 2030*

Oportunidades de Redução de emissões	Redução de Emissões $MtCO_2$	Caso base 2030 $MtCO_2$	Redução de emissões %
Matriz elétrica	7	90	8
Siderurgia	28	132	21
Química	24	66	36
Cimento	9,6	53	18
Petróleo e gás	8	57	14
Edificações	8,5	36	24
Total	**85,1**	**434**	**20**

Fonte: McKinsey, 2009b.

3.2.3.3. ANÁLISE ECONÔMICA E DE CUSTOS

Em Gouvello *et al.* (2010), a análise de custo em relação ao benefício realizada em nível microeconômico permitiu que as comparações fossem feitas entre as opções individuais no cenário de baixas emissões e entre o conjunto global de todas as opções de baixas emissões em relação às opções no cenário de referência.

A abordagem social forneceu a base para se fazer uma comparação social cruzada da relação entre custo e eficácia em 40 opções de mitigação consideradas no estudo. Uma taxa social de desconto de 8% foi usada para calcular o custo marginal de abatimento. O resultado definiu as seguintes medidas de mitigação como as de menores custos de abatimento: iluminação residencial, cogeração com cana-de-açúcar e recuperação de vapor, todas com custos negativos.

De acordo com o estudo, o impacto econômico global de medidas de mitigação de GEE no setor de energia do Brasil pode aumentar em US$ 25,9 bilhões o PIB do País e gerar 4,4 milhões de empregos no período de 2010 a 2030.

Já a abordagem privada avaliou as condições sob as quais as medidas de redução das emissões se tornariam atraentes para que os agentes de mercado invistam em alternativas de baixo carbono. Esse incentivo deveria ser tal que, a taxa interna de retorno (TIR[26]) resultante, incluindo o incentivo, fosse, pelo menos, igual à TIR referencial – *benchmark*, no termo em inglês.

Desse modo, o incentivo pode ser visto como o preço de equilíbrio do carbono. Então, se o preço

26 TIR - é a taxa de juros hipotética que iguala, em determinado momento do tempo, o valor presente das entradas com o das saídas previstas do fluxo de caixa de um projeto de investimento.
Um determinado projeto de investimento será economicamente atraente se a TIR for maior do que a taxa mínima de atratividade – *benchmark* ou meta perseguida –, que é a taxa de retorno esperada pelo investimento.

de equilíbrio do carbono for positivo, a opção não será atraente porque não poderá gerar a TIR requerida pelo benchmark, na ausência de incentivos para minorar o custo de equilíbrio.

No estudo citado (McKinsey, 2009b), para a maioria dos setores, a TIR de referência consensual foi de 15%, embora, para algumas medidas, tenham sido adotadas outras taxas, em função de particularidades setoriais.

Ao considerar uma taxa social de desconto de 8%, a implementação das opções de redução das emissões de dióxido de carbono da área de energia poderia gerar um benefício da ordem de US$ 34 bilhões em 2030, o que equivale a um ganho médio de US$ 13/tCO_2 evitada. Observe-se que, no trabalho da McKinsey, a maioria das medidas redutoras apresenta custos negativos, considerando análise social com taxa de desconto de 8%.

Os resultados apresentados indicaram um potencial redutor de emissões de GEEs para a energia eólica de 19,3 MtCO_2 de 2010 a 2020 para um custo marginal de abatimento de -US$ 7,6 /tCO_2, considerando uma taxa de desconto de 8% e TIR esperada de 15% para o setor, resultando em um preço de equilíbrio para o carbono de US$ 98,5/tCO_2.

Já para a cogeração, os números foram significativamente mais favoráveis, com o potencial redutor na faixa de 157,9 MtCO_2, um custo de abatimento de –US$ 248,2/tCO_2, e um ponto de equilíbrio de preço calculado em US$ 34/tCO_2.

Em termos macroeconômicos, os impactos dessas medidas sobre o setor energético brasileiro poderão somar, anualmente, uma média de mais de US$ 851 milhões, e gerar mais de 142 mil empregos de 2010 a 2030.

Ainda no estudo da McKinsey, o custo[27] considerado para cada oportunidade de redução identificada é adicional ao que a sociedade teria, no caso base, sem a implementação da oportunidade de redução – ou qualquer esforço adicional para o combate às mudanças climáticas – e contabilizado para toda a vida útil do ativo correspondente à chance redutora.

Assim, ao considerar uma taxa projetada de crescimento econômico de 3% ao ano, o volume de cada oportunidade de abatimento foi computado pelo seu potencial técnico. Custos e volumes foram agregados formando a curva de ônus com redução de emissão de GEEs para o Brasil.

As várias medidas para redução da emissão de GEEs foram classificadas em ordem crescente de custo, ajustadas para eliminar contagem dupla, e, seus valores e volumes resultantes, plotados – impressos –, formando a curva total do gasto projetado para 2030 no Brasil.

Para se identificar as oportunidades para cada segmento dos três setores analisados pela McKinsey, relacionadas na Tabela 3.19, foram realizadas estimativas de abatimento referentes à queima de combustíveis fósseis apenas para fins energéticos.

As ações de abatimento consideradas envolveram implementação de pacotes para melhoria de eficiência, mudanças de combustível e elevação da geração de energia elétrica por meio da expansão das PCHs. Nessas condições, 85 MtCO_2 foram contabilizadas, representando 20% do total de emissões estimados para 2030. Todas elas, demostraram possuir potencial de mitigação emissora com custos negativos, exceto para a indústria siderúrgica, para o qual o valor foi calculado em 4 euros por tonelada de CO_2.

[27] Incluindo a somatória dos investimentos e custos operacionais menos os benefícios econômicos auferidos.

3.2.3.4. CONCLUSÃO

No cenário de base, embora os volumes de emissões estimados não apresentem diferenças importantes, eles não podem ser rigorosamente comparados porque foram definidos a partir de metodologias de apuração diferenciadas, exceto para os estudos coordenados por Gouvello *et al.* (2010), e Margulis e Debeux (2010), que os estimaram em suas linhas de base, utilizando as estimativas do cenário referencial do PNE 2030 (EPE, 2007).

Os resultados apresentados pela McKinsey, independentemente do processo pelo qual as emissões foram geradas, foram classificados em três grandes setores:

- consumo,
- setores industriais e
- matriz energética.

Ao se excluir o segmento de transporte terrestre, observou-se que as emissões dos segmentos de geração de energia elétrica e industrial são os que mais crescem ao longo do horizonte estudado, mesmo desconsiderando aquelas decorrentes de processos industriais e de captura e estocagem de carbono, (CCS) contabilizadas pela McKinsey (2009b).

As estimativas realizadas no cenário de base do PDE 2020 foram mais baixas que as apresentadas no PNE 2030, ainda que se refiram apenas ao horizonte decenal. De qualquer modo, essa diferença pode ser explicada em função da incorporação, no PDE 2020, das medidas para aumentar a eficiência recomendadas no PNE 2030 ao cenário de referência e à adoção da hipótese de que a construção e operação das plantas hidroelétricas e eólicas planejadas não sofrerão adiamentos ou atrasos importantes.

A McKinsey (2009b) estimou também, que as reduções das emissões para fins energéticos, excluindo o segmento de transportes terrestres e o de resíduos atinjam 85 $MtCO_2$. Gouvello *et al.* (2010), Margulis e Dubeux (2010), apontaram para um volume de redução média anual de 92 $MtCO_2$, de 2010 a 2030, a ser conquistada pelo setor energético nacional.

Para o setor elétrico, a estimativa de Gouvello *et al.* (2010) apontou para reduções médias anuais da ordem de 10 $MtCO_2$, entre 2010 e 2030. No estudo da McKinsey, porém a projeção de 7 $MtCO_2$ evitadas por esse setor foi calculada apenas para o ano de 2030. Barreiras aos investimentos – culturais e de hábitos – são os principais obstáculos para o maior desenvolvimento de ações firmes e transparentes que abram caminho para a transição a uma economia de baixo carbono. Somam-se, a tudo isso, incertezas de mercado e regulatórias, que envolvem diversos aspectos associados às medidas para se evitar e reduzir as emissões de GEE pelo setor energético do País.

3.2.4. POLÍTICAS E INSTRUMENTOS

3.2.4.1. POLÍTICAS PARA REDUÇÃO DE EMISSÃO

O Brasil passou por uma grande reforma do setor elétrico em meados da década de 1990 que desfez a verticalização do setor. Ela está consubstancida nas leis nº 8.987/95 (Brasil, 1995a), que normatizou as concessões de serviço público, e de nº 9.074/95 (Brasil, 1995b) – que introduziu o conceito de produtores independentes de energia elétrica, permitindo a investidores privados a possibilidade de participarem na área de geração e distribuição através de processos de licitação.

Ainda desse período, é a Lei nº 9.427/96 (Brasil, 1996), que criou a ANEEL como agência reguladora do setor elétrico, cujas responsabilidades são as de promover a concorrência e regular os monopólios naturais – caracterizados por investimentos elevados, custos marginais baixos e pouca ou nenhuma competição enquanto fornecedores de energia. Além dos objetivos principais da reforma,

de atrair investidores privados e de melhorar o desempenho do setor elétrico, havia inegavelmente a intenção de, através da privatização, maximizar receitas no curto prazo, ajudando a resolver o, então, crônico *deficit* fiscal do País. Todavia, as questões de fundo social e ambiental passaram à margem dessa reforma.

Em 2001, com a crise do racionamento e a necessidade de se amenizar seu impacto no fluxo de caixa de empresas recém-privatizadas, introduziu-se uma arrojada componente social ao se estabelecer a obrigatoriedade da universalização do serviço de energia elétrica, bem como uma componente de mercado para incentivar o emprego de fontes renováveis de energia através do PROINFA, com repercussão no nível de emissões futuras do País.

O programa se compunha em duas fases. Na primeira, seriam adquiridos 3.300 MW das fontes eólica, PCH e biomassa, conforme já mencionado, e, na segunda, garantiu-se a existência de um mercado estável para tais fontes através de compras anuais das mesmas, o que tenderia a atrair investidores para a produção nacional de equipamentos nesses segmentos.

A crise de 2001 evidenciou que a reforma elétrica não atingira completamente seus objetivos. Assim, novas mudanças foram introduzidas, particularmente na comercialização da eletricidade, sem que, todavia, se tenha feito mudança significativa na espinha dorsal do modelo do setor (Oliveira, 2011). Esta reestruturação ocorreu no escopo da Lei nº 10.848/04 (Brasil, 2004) e tinha como objetivos declarados:

- garantir a segurança de suprimento de energia elétrica;
- promover a modicidade tarifária, por meio da contratação eficiente de energia para os consumidores regulados; e, ainda,
- promover a inserção social no setor elétrico, em particular pelos programas de universalização de atendimento (MME, 2003b).

Novamente, nenhuma preocupação é dada à questão ambiental, particularmente no que diz respeito à redução de emissões e, em uma reversão da tendência estabelecida pelo PROINFA, abortou-se a segunda fase do programa, retardando, por alguns anos, a penetração das fontes alternativas na matriz elétrica nacional.

Com a implementação da sistemática de leilões realizados três ou cinco anos antes da entrega e introduzidos pelo novo modelo de comercialização, a energia nova contratada, à exceção dos três grandes projetos **hidroelétricos** – as usinas de Jirau, Santo Antonio e Belo Monte –, passou a ser eminentemente térmica, o que repercutiu nos níveis de emissões a partir de 2008. Do total da energia comprada entre 2005 e 2008, nos leilões convencionais, 73% foi de origem fóssil.

O cenário começa a mudar com a introdução dos leilões específicos de fontes renováveis. Foi inexpressivo o resultado em 2007, mas já significativo em 2008, com o leilão de biomassa, e, em 2009, com o de eólica, que resultaram em uma importante oferta de renováveis em 2010. Isso redirecionou a política do setor para uma efetiva mitigação das emissões futuras do setor (Pereira *et al.*, 2010).

Dois importantes cenários alternativos àquela tendência de aumentos significativos das emissões do setor elétrico foram propostos nos estudos desenvolvidos pelas organizações não governamentais *World Wildlife Fund* (*WWF*-Brasil, 2006) e pelo *Greenpeace* (2010). O primeiro criou um cenário batizado *Elétrico Sustentável*, com grande foco na desaceleração da taxa de crescimento da capacidade instalada para geração de eletricidade. Estimava-se que medidas agressivas para aumentar a eficiência poderiam manter um ritmo anual de 2% no período de 2004 a 2020, enquanto que o cenário tendencial trabalharia com 5%.

A participação de fontes fósseis para a geração de eletricidade, que no cenário tendencial chegaria ao final do período em 24%, cairia para 14% na proposta do WWF. O foco das ações seria, além

da eficiência energética, a geração distribuída, a segunda fase do PROINFA, o uso da energia solar para aquecimento e a redução de subsídios para as fontes convencionais.

O segundo estudo, intitulado *Revolução Energética*, previa que a matriz elétrica nacional poderia se tornar 93% renovável até 2050. As ações seriam focadas na eliminação das termoelétricas a óleo diesel, a carvão e nucleares e na diminuição gradativa da participação das movidas a gás natural, na medida em que cresceria a participação das fontes renováveis, que atingiriam, em 2050, 92,7% da geração total, assim constituída:

- hidroelétrica em 45,65%;
- energia eólica em 20,38%;
- biomassa em 16,6%; e,
- energia solar em 9,26%.

Dentre as políticas normalmente consideradas para mitigação de GEEs, destacam-se aquelas apoiadas em tributação sobre carbono ou fundamentadas em mecanismos de *cap and trade*, buscando sempre atender as diretrizes adotadas pelos países que, no caso do Brasil, são compromissos voluntários, como mencionado anteriormente.

Alguns estudos, sobretudo fazendo uso de modelos de equilíbrio geral (Tourinho *et al.*, 2003, e Ferreira Filho e Rocha, 2004) simularam o impacto da taxação do carbono sobre determiandos setores da economia brasileira, além do trabalho de Margulis e Dubeux (2010), já mencionado, e incluíram um cenário em que as emissões poderiam cair em 1,87%, com redução relativa do PIB de 0,13% ao ano.

Entretanto, isso afetaria basicamente as emissões de carvão, GLP, petróleo e gasolina. O impacto sobre o setor elétrico não foi quantificado. Eles recomendaram que
(...) uma forma de potencializar o impacto da taxação de carbono seria criar mercados de certificados de emissão, pois a conjugação dos dois instrumentos pode levar a uma redução de emissões mais eficiente e de menor custo (p. 68).

Pereira *et al.* (2010), por sua vez, analisaram as possibilidades de um sistema de *cap and trade* no setor energético brasileiro, concluindo que o impacto seria pequeno e o esforço, provavelmente injustificado.

A Tabela 3.19 detalha neste subcapítulo, as estimativas de emissões de GEEs[28] pelo o setor de energia no Brasil.

Tabela 3.19 *Emissões de GEEs pelo setor de energia no Brasil em Mt por ano.*

Ano	CO_2	CH_4	N_2O	NO_x	CO	NMVOC
1990	179.948	427	8,5	1.781	14.919	1.022
1994	206.250	382	9,0	1.996	14.438	974
2000	289,958	388	9,6	2.334	11.415	860
2005	313.695	541	12,1	2.388	11.282	958

Obs.: não estão quantificadas as emissões de HFC-23, HFC-125, HFC-134a, HFC143a, HFC152a, CF_4, C_2F_6 e SF_6.
Fonte: Brasil, 2010b

Na 15ª Conferência das Partes da CQNUMC (COP15), realizada em 2009 na capital dinamarquesa, o Brasil anunciou compromisso nacional de reduzir até 2020, as emissões de GEEs em 36,1% a 38,9% do volume comparativo de 1990 (Brasil, 2009a). A linha de tendência projetava

[28] No Inventário, optou-se por continuar relatando as emissões apenas em unidades de massa de cada GEE, sem o cálculo potencial de aquecimento global – em inglês, global warming potential ou GWP.

para esse ano, um total de 2703 $MtCO_2eq$ – milhões de toneladas de CO_2 equivalente –, dos quais 901 $MtCO_2eq$ se referiam ao setor de energia, conforme informado neste subcapítulo na Tabela 3.20.

A abordagem brasileira se baseia na elaboração de planos nacionais setoriais para redução de emissões em quantidades estipuladas, cuja soma leva à mitigação global compromissada. As medidas redutoras para o setor de energia incluem a promoção da eficiência energética e das fontes de energia renovável, notadamente os biocombustíveis. As ações para a mitigação de emissões até 2020, anunciadas em 13/11/2009, estão informadas neste capítulo na Tabela 3.20.

Tabela 3.20 *Ações para mitigação de emissões propostas pelo Brasil.*

Ações de mitigação (NAMAs)	2020 – tendencial	Amplitude da redução 2020 – em milhões de tCO2eq.		Proporção de redução – em %	
Energia	901	166	207	6,1	7,7
Eficiência energética		12	15	0,4	0,6
Incremento do uso de biocombustíveis		48	60	1,8	2,2
Expansão da oferta de energia por hidroelétricas		79	99	2,9	3,7
Fontes alternativas: PCH, bioeletricidade e eólica		26	33	1	1,2
TOTAL	**901**	**331**	**414**	**12,2**	**15,4**

Fonte: MMA, 2009.

Três semanas após a *COP*15, foi instituída, em 29 de dezembro 2009, a PNMC, por meio da Lei nº 12.187/2009 (Brasil, 2009c). Isso oficializou o compromisso nacional junto à Convenção quanto a redução de emissões em 36,1% a 38,9% de GEEs em relação ao projetado para 2020. O artigo 12 da PNMC estabelece tal meta global.

Os pontos da PNMC vetados pelo presidente da República residiram, sobretudo, no que dizia respeito ao setor de energia. Ouvido, o Ministério de Minas e Energia (MME) manifestou-se pelo veto ao dispositivo que determinava o *estímulo ao desenvolvimento e ao uso de tecnologias limpas e ao paulatino abandono do uso de fontes energéticas que utilizem combustíveis fósseis*, por considerar inadequada uma diretriz focada em tal descarte. A justificativa foi a de congregar a proteção ao meio ambiente *a outros valores relevantes para a política e a segurança energéticas* (Brasil, 2009b).

Em janeiro de 2010, o governo brasileiro comunicou ao secretariado da CQNUMC, estas ações de mitigação nacionalmente apropriadas – as *NAMAs*, no acrônimo em inglês..

Para o setor Energia, a eficiência teve a amplitude de redução estimada entre 12 e 15 $MtCO_{2eq.}$ em 2020. A expansão da oferta de energia por usinas hidroelétricas, algo entre 79 e 99 $MtCO_{2eq..}$ Já as fontes alternativas de energia as tiveram estimada entre 26 e 33 $MtCO_{2eq}$ para 2020. Tais medidas resultariam em uma proporção de redução em relação ao cenário tendencial de 6,1 a 7,7%, ou seja, de 17 a 20% do que se pretende reduzir no horizonte.

Posteriormente, o Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010, regulamentou a PNMC. Seu texto estimou a linha de base de emissões de GEEs para 2020 em 3.236 $MtCO_2eq$, o que as aumentaria em termos de tendência no País em 533 $MtCO_2eq$ sobre o anunciado em 13 de novembro de 2009.

Assim, a redução relativa – de 36,1% a 38,9% – ficou mantida, em esforço facilitado pela mudança legal. A redução absoluta correspondente ficou estabelecida entre 1.168 $MtCO_2eq$ e 1.259 $MtCO_2eq$, respectivamente.

A mudança de linha de base atingiu diversos setores. O setor Energia, tema deste tópico, foi reduzido de 901 para 868 $MtCO_{2eq.}$. O uso de carvão siderúrgico renovável – 92 $MtCO_{2eq}$ previstos inicialmente – deixou de ser discriminado, prevendo-se somente incremento da utilização na siderurgia do carvão vegetal originário de florestas plantadas e a melhoria na eficiência do processo de carbonização.

As medidas previstas, sem quantitativos específicos e relações de proporção para as alternativas fósseis, foram:

- a expansão da oferta hidroelétrica,
- da oferta de fontes alternativas renováveis, notadamente as centrais eólicas, pequenas centrais hidroelétricas e a bioeletricidade,
- da oferta de biocombustíveis, e ainda,
- o incremento da eficiência energética.

O cálculo das emissões de GEEs decorrentes da produção e do uso da energia para 2020 foi feito por meio da construção de cenários elaborados pela EPE, a partir de modelos de previsão de demanda baseados em estimativas populacionais, econômicas e de evolução da intensidade das emissões no setor energético.

Por sua vez, a oferta de energia para o atendimento dessa demanda considerou hipóteses determinísticas na composição da matriz energética, em um cenário no qual não ocorresse a execução das medidas de redução de emissões de GEEs contidas no PDE. Em tal situação, a demanda de energia projetada para 2020 seria atendida por meio de fontes fósseis, que ampliariam as emissões projetadas em 234 $MtCO_2eq$. Portanto, a projeção das emissões de gases devidas à produção e ao uso da energia ficaria em 868 $MtCO_2eq$. para 2020.

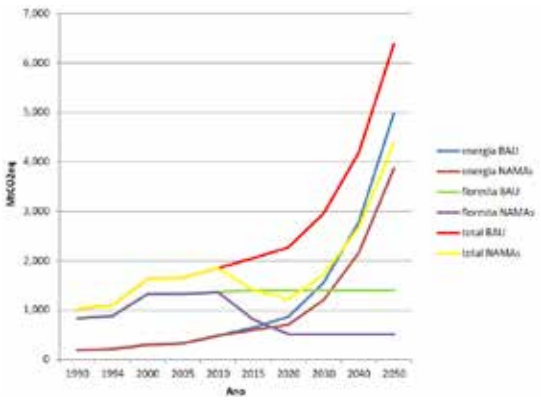
A projeção da linha tendencial para além da data da meta – 2020 – foi feita por La Rovere *et al.*, 2011.

A Figura 3.11 deste subcapítulo mostra dois pontos importantes:

- a linha de tendência, cujo pressuposto é um vigoroso aumento do PIB – de cerca de 5% ao ano, o que não se realizou em 2012 –, leva a uma linha de base – *baseline* no termo em inglês –inflada e a metas menos difíceis de se alcançar; e
- o efeito de travamento – *lock-in*, no jargão em inglês –, que apresenta consequências no longo prazo.

Como se observa na Figura abaixo em relação ao segundo ponto, mesmo que se contenha o desmatamento, o setor Energia será responsável por manter o Brasil entre os prováveis maiores emissores de GEEs do mundo.

Figura 3.11: Projeção das emissões nacionais além de 2020



Fonte: La Rovere *et al.*, 2011.

3.2.4.2. POLÍTICAS PÚBLICAS PARA FOMENTO E DISSEMINAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

O Relatório Especial do *IPCC* sobre Energias Renováveis (*IPCC*, 2011), em seu capítulo 11, trata especificamente de políticas para fomento e disseminação de fontes renováveis de energia. Entre os instrumentos listados estão:

- tarifas prêmio ou *feed-in tariff*, no termo inglês;
- quotas – *renewable portfolio standard*, no termo inglês;
- leilões específicos;
- comercialização de certificados de renováveis;
- créditos fiscais – *tax credits* – e os *energy production payments*;
- redução de *VAT* – sigla relativa aos impostos incidentes sobre venda ou produção de energia – e, depreciação acelerada;
- subsídios ao investimento, doações, deduções e reembolsos fiscais – *rebate,* no termo em inglês;
- financiamento público: participação acionária – *equity* – , empréstimos ou doações e garantias;
- compensação de energia – *Net metering*, na denonimação em inglês –;
- prioridade de acesso a rede ou de despacho – o controle da geração –;
- licitações públicas competitivas; e, ainda,
- etiquetagem verde – a certificação de geração de fonte renovável –, garantia de origem e compras verdes – contratações favoráveis ao meio ambiente.

A tarifa *feed-in* é um preço especial pago pelas concessionárias de energia para a eletricidade proveniente de fontes renováveis. O adicional de preço em relação às fontes convencionais é rateado entre todos os consumidores de eletricidade. Normalmente, o modelo ainda assegura a conexão da energia renovável à rede e garante a compra integral do insumo gerado.

O sistema de cotas se constitui na imposição ao mercado de produzir, vender ou distribuir uma quantidade mínima de energia elétrica derivada de fontes renováveis, decidindo-se ainda quais serão aquelas que participarão do sistema de cotas. Assim, elas podem ser protegidas da competição de outras, de baixo custo, já que as cotas são específicas por fonte.

No mecanismo de leilões específicos, as autoridades setoriais organizam leilões para uma determinada cota de renováveis ou demanda de mercado, e remuneram os vencedores com os preços, na maioria das vezes, mas não necessariamente, acima dos níveis que são o padrão do mercado. Existe sempre garantia de compra por longos períodos.

Net metering constitui um contrato entre concessionária e consumidor para a venda de energia excedente da geração distribuída. O consumidor fica sujeito a tarifação normal quando o consumo for maior que a geração. Mas no caso da geração superar o consumo, a concessionária paga o excedente ao valor do custo evitado ou, em alguns casos, o da tarifação normal. A sistemática impõe a necessidade de um sistema de medição de energia bidirecional.

O relatório prescreve ainda, que investimentos públicos em P&D são mais efetivos quando complementados por outros instrumentos de políticas que, simultaneamente, estimulem a implantação e façam aumentar a demanda pelas tecnologias renováveis.

O primeiro programa brasileiro de incentivo às renováveis, o PROINFA, incorporou características do sistema *feed-in*, como o pagamento de preço fixo diferenciado para a energia produzida. Mas também, adotou premissas do sistema de cotas, já que limitou a aquisição, em sua primeira fase, a uma única compra de 3.300 MW.

Adicionalmente, foram instituídos subsídios através de linhas especiais de crédito do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). No total do PROINFA, foram contratados 144 projetos. A potência instalada total foi de 3.315,26 MW, nos quais, os projetos de PCHs contribuíram

com 51% da energia gerada, seguidos pelos eólicos – 28% – e os de biomassa – 21%. Sua segunda fase não foi realizada em função da mudança do modelo setorial de comercialização de energia, que introduziu a sistemática dos leilões, como mencionado anteriormente.

As fontes alternativas renováveis passaram a competir com todas as demais em um mesmo certame, vencendo aquelas que apresentassem as menores tarifas. Nos oito leilões realizados de 2005 a 2008, nos quais puderam competir com outras fontes, observou-se uma diminuta aquisição da energia gerada por biomassa e PCHs e nenhuma por origem eólica.

Introduziu-se, então, o conceito de leilões específicos para as fontes renováveis. Nos quatro leilões específicos realizados entre 2007 e 2010, foram arrematados 3.333 MW_{med}, dos quais 1.682 MW_{med} de fonte eólica.

Os leilões tiveram um resultado mais positivo no Brasil por incorporarem características do sistema *feed-in* como a obrigação de contratos de longo prazo e a conexão dos empreendimentos à rede. Todavia, o País ainda não tem uma política de longo prazo de incentivos a fontes renováveis já que não há preceito legal obrigando a realização periódica de leilões específicos.

Em paralelo aos leilões de energia, tramita atualmente no Congresso Nacional um projeto de lei que institui o mecanismo de *feed in* para turbinas eólicas, biomassa ou placas solares, conectadas à rede ou em comunidades isoladas, para a geração de pequeno e médio porte.

Para a geração de grande porte por parques eólicos, centrais de cogeração e PCHs, foi proposta a realização de leilões anuais, com aquisição compulsória de 200 MW_{med} MW_{med} para cada fonte. A regularidade na realização desses leilões assegura uma visão de longo prazo ao mercado, desde que, como propuseram Baitelo *et al.* (2009), os preços referência das energias comercializadas no leilão viabilizem os projetos de geração renovável e que a quantidade de energia seja em volume suficiente para estimular o mercado.

Tanto Baitelo *et al.*(2009), como Gouvello *et al.* (2010), propuseram políticas de incentivo à disseminação das fontes renováveis. Os primeiros se alinharam com um sistema inicial de *feed in*, que garantiria estabilidade financeira ao empreendedor, evoluindo quando o cenário se torne mais competitivo para um regime de cotas, na medida em que se reconhece internacionalmente, que os leilões tendem a não desenvolver uma indústria nacional.

Já Gouvello e seus colaboradores propuseram leilões específicos para a energia eólica, com complementos como a redução da exigência do índice da nacionalização, tarifas mais favoráveis à importação de componentes do que de turbinas inteiras, subsídios aos custos de conexão e recursos para P&D.

Já para a cogeração a biomassa, esses autores sugeriram mecanismos de financiamento da conexão, leilões específicos, preços refletindo suas externalidades positivas e a flexibilização da condição de se negociar em benefício próprio – *self dealing*, no jargão em inglês –, permitindo uma parceria efetiva entre distribuidoras e usinas de cana-de-açúcar, os agentes mais importantes do segmento de biomassa.

3.2.4.3. POLÍTICAS PÚBLICAS PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – E.E.

Diversas iniciativas na área de eficiência energética vem sendo executadas por agentes públicos e privados desde a década de 1980. Mais recentemente, foi realizado esforço para a elaboração de um plano nacional de eficiência energética – (PNEf), sob a liderança do Ministério das Minas e Energia (MME).

Não se pode ainda afirmar que exista uma política para eficiência energética no País, pois as diversas iniciativas praticadas no Brasil não configuraram uma *ação coordenada, sistemática e contínua ao longo de um período de tempo, com investimentos programados e metas físicas integradas ao planejamento do setor energético e, consequentemente à política energética nacional*. Esses elementos são ingredientes necessários para se caracterizar uma *política de eficiência energética nacional*.

As ações atuais e as praticadas no passado na área de eficiência energética (E.E.) são caracterizadas por conjuntos de mecanismos e programas que contribuem para disseminar informações sobre *boas práticas*, facilitar e promover maior penetração de tecnologias mais eficientes e, também, por esforços em incentivar pesquisa e desenvolvimento. Esses mecanismos tiveram o propósito de remover com sucesso algumas barreiras, bem como de viabilizar oportunidades de eficiência energética e intervenções sobre as quais o mercado, por si só, não se interessaria.

Mesmo considerando que as principais iniciativas têm origem no MME, não existe uma coordenação dos vários programas e mecanismos[29], avaliações uniformes ou padronizadas de custo em relação a benefício e seu desempenho, juntamente com a designação de responsabilidades ou estratégias de implementação ao longo do tempo para se cumprir metas de energia evitada.

Considera-se mais adequado, portanto, no caso brasileiro, descrever a atuação nacional na área de E.E. através dos diversos mecanismos e programas que vêm sendo empregados mas não através da existência de uma *política de eficiência energética*.

Metas de E.E.

Até o momento, a única meta para economias de energia que aparece nos discursos oficiais se refere ao que está contido no PNE 2030. Esse plano estima a possibilidade de se induzir maior eficiência energética– além do que o próprio mercado se encarregaria de atingir – na faixa de 10% em relação a um de seus cenários. Não é oferecido nenhum detalhe sobre usos finais – as tecnologias – e custos envolvidos.

Pode-se observar que o PNE 2030, em seu cenário *progresso autônomo*, por exemplo, estima um total de energia conservada de 35,2 x 10^6 tep – milhões de toneladas equivalentes de petróleo –, ou 8,7% do consumo de energia projetado para 2030 no referido cenário. Cerca de 48% dessa economia seria realizada pelo setor de transportes e 39%, pelo industrial, resultando de uma evolução normal de renovação de estoques.

Já no caso da eletricidade, o PNE 2030 assume medidas adicionais de incentivo à eficiência energética – conhecido como *progresso induzido* – conseguindo uma redução total de 10,6% do consumo projetado, incluindo aquelas do cenário *progresso autônomo,* de acordo com Guerreiro (2009).

Esses números são difíceis de serem tomados como referência, mesmo porque o PNE não propõe programas para setores ou tecnologias específicas que indiquem prioridades baseadas em custos de oportunidade – ou seja *vis-à-vis* custos de fornecimento de energia e impactos na demanda nacional. Do mesmo modo, nenhuma ação do governo federal pode ser identificada procurando comprovar o cumprimento dessas metas. Não houve preocupação de se estabelecer um conjunto de indicadores de referência, programas ou projetos de eficiência para se acompanhar o progresso, seja ele *autônomo* ou *induzido*, conforme a terminologia utilizada no PNE 2030.

29 Algumas dessas iniciativas são apresentadas em CEPAL, 2009: CGIEE (http://www.mme.gov.br/mme/menu/conselhos_comite/CGIEE.html), nos programas PROCEL CONPET e no Programa de Eficiência Energética da ANEEL. CEPAL é a Comisión Económica para America Latina y el Caribe. CGIEE é o Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética.

O plano nacional de eficiência energética (PNEf)
Esse plano foi preparado pelo MME a partir de consultas aos mais variados agentes atuantes em atividades de E.E.. Tem o objetivo principal de organizar e orientar as políticas públicas para se conseguir maior sinergia e eficácia entre as instituições e as ações de eficiência energética no País. Historicamente, o MME não tem conseguido coordenar os diversos programas com o mesmo fim vigentes no Brasil.

A fragmentação das iniciativas sem uma liderança e coordenação tem sido a maior dificuldade para se melhor aproveitar o potencial de eficiência energética, realizar programas com maior sucesso e menor custo. Ainda é um mercado incipiente e necessita melhor atenção do setor público para promover constante atualização tecnológica e renovação do estoque de tecnologias obsoletas.

A abordagem praticada até o momento pelos órgãos públicos tem sido setorial, o que pode ser observado no principal programa voltado para o setor elétrico ainda existente no País: o PROCEL. Para se aproveitar ao máximo esforços e investimentos envolvidos nos programas de eficiência energética, eles precisam englobar tanto a energia térmica como a energia elétrica, e isso ainda não ocorre[30].

Muito embora o PROCEL tenha avançado nos esforços de avaliar ações e exista uma crescente preocupação da ANEEL em obter informações sobre os programas de E.E. das concessionárias, são ainda modestas a qualidade e a confiabilidade dos resultados dos programas e mecanismos adotados. Essa ausência de referência e credibilidade não permite, inclusive, a consideração de E.E. nos planos energéticos do País elaborados pela EPE.

A ausência de metodologias para acompanhar o desempenho dos programas também é, ainda, algo patente.

3.2.4.4. PESQUISA TECNOLÓGICA, DESENVOLVIMENTO, DEMONSTRAÇÃO E APLICAÇÃO

As tecnologias de energia, via de regra, exigem bastante capital e infraestrutura industrial de porte, além de dependerem da existência de mercados para sua disseminação. O sucesso de políticas públicas para acelerar a introdução de modernas tecnologias de conversão de energia com impacto ambiental e conteúdo de carbono menores depende, estritamente, da coordenação de pelo menos três áreas que ainda compartimentalizadas no País: as políticas climática, energética e de ciência e tecnologia.

O fundo setorial do setor elétrico, gerido pela ANEEL e conhecido como P&D, tem contribuído significativamente para avanços nesta área. Mais recentemente, inclusive, colaborou para a disseminação de tecnologias emergentes, tais como a energia solar fotovoltaica e a geração de energia elétrica a partir de biogás, através de projetos estratégicos (ANEEL, 2011b e ANEEL, 2012a).

Pode-se afirmar que o Brasil está bem posicionado para oferecer tecnologias e serviços relacionados em diversas áreas. Ligados ao setor elétrico, os principais grupos de opções tecnológicas identificados incluem a combustão, a gaseificação de biomassa, a geração tanto hidráulica quanto térmica, os sistemas de cogeração, e de produção de hidrogênio e os de células a combustível de pequeno porte (Januzzi *et al.*, 2009).
Claramente, o Brasil possui domínio em áreas como hidroeletricidade e biomassa, mas para se obter outras tecnologias que poderão ser importantes ao País, como é o caso da gaseificação de biomassa para geração de eletricidade, serão necessários novos esforços e maior cooperação internacional.

[30] Ao longo do tempo houve uma flexibilização por parte da ANEEL em admitir a utilização dos recursos destinados à eficiência energética do Programa de Eficiência Energética (PEE) para fomentar a utilização da energia solar em sistemas de aquecimento de água para substituir a eletricidade.

Para algumas tecnologias mais limpas e eficientes para combustão de carvão mineral, sistemas de captura de carbono (CCS) e energia solar em alta temperatura, a defasagem – *gap*, em inglês – tecnológica ainda é elevada no País.

Por outro lado, algumas delas já estão disponíveis comercialmente no mercado internacional, como é o caso das grandes turbinas para o gás natural e do carvão pulverizado, e, portanto, requerem um esforço muito diferente de outras em distintos estágios de desenvolvimento.

De modo geral, o Brasil possui em seus centros de pesquisa bom conhecimento científico e tecnológico de praticamente todos os grupos de tecnologias de energia analisados, mas a capacitação industrial não acompanha esse estágio. Tal é o caso de tecnologias mais avançadas de combustão e gaseificação e de processos envolvendo a conversão de combustíveis sólidos e gasosos em combustíveis líquidos – Fischer-Tropsch – e da energia solar fotovoltaica e térmica de baixa temperatura.

3.2.4.5. FINANCIAMENTO E OUTROS INCENTIVOS

Nas últimas décadas vêm sendo desenvolvidos instrumentos financeiros que incentivem práticas sustentáveis, tanto no âmbito governamental quanto por meio da iniciativa privada. No caso dos governos, a prática tem sido o uso de:

- incentivos fiscais,
- políticas de compras sustentáveis,
- políticas de apoio a negócios sustentáveis por instituições financeiras públicas,
- execução eficaz da política de comando e controle da legislação ambiental,
- incorporação transversal da sustentabilidade nas políticas de governo; além da
- orientação das empresas estatais para investimentos em energias renováveis, eficiência energética, diminuição da geração de resíduos e seu aproveitamento como subprodutos para a indústria, uso racional da água e compras sustentáveis.

Já no caso das instituições financeiras privadas (McKinsey, 2009b), verificou-se o uso de:

- políticas de sustentabilidade que premiem projetos com bons indicadores de responsabilidade socioambiental através de reduções no custo dos empréstimos e ampliação dos prazos de amortização;
- linhas socioambientais de estímulo a investimentos limpos;
- a preferência por fornecedores que atendem a padrões de excelência socioambiental;
- a criação de indicadores climáticos para as operações financeiras;
- o apoio ao mercado de carbono;
- a criação de produtos financeiros que valorizem negócios sustentáveis em suas carteiras; e, ainda,
- a integração com seguradoras e resseguradoras para o desenho de cenários climáticos e suas implicações na economia (McKinsey, 2009).

Várias são as possibilidades de financiamento hoje existentes, já centradas na questão da mudança climática, que podem contribuir para uma matriz elétrica mais limpa.

O Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC) foi instituído antes da Política Nacional sobre Mudança do Clima, sob o regime da Lei nº 12.114, de 09 de dezembro de 2009. Tem como finalidade assegurar recursos para apoio a projetos e empreendimentos que visem a mitigação e a adaptação à mudança do clima e aos seus efeitos adversos.

O FNMC, conforme o artigo 7º da lei que o institui, terá como agente financeiro o BNDES. Porém, poderá habilitar o Banco do Brasil, a Caixa Econômica Federal (CEF) e outros agentes financeiros públicos para atuar nas operações de financiamento com seus recursos e responder pelos devidos

riscos perante o Fundo.
O BNDES, antes da promulgação da Política Nacional sobre Mudança do Clima, já possuía algumas linhas de crédito que, com diferentes objetivos e modalidades, promovia ações pró-clima. Apesar das dificuldades burocráticas que têm retardando sua agilização, o FNMC funciona (Vitae Civilis, 2012).

Os fundos e programas do BNDES relacionados a atividades do Plano Nacional de Mudanças Climáticas e que podem beneficiar o setor energético incluem:

- PROESCO: recursos alocados em eficiência energética para as companhias de serviços de energia – *Energy Services Companies* (ESCOs) – e outras e empresas;.
- FINEM: recursos para investimentos em infraestrutura, indústria, comércio e serviços;
- FUNTEC: financiamento para desenvolvimento tecnológico e inovação nas áreas de energias renováveis, meio ambiente e saúde, destinado a instituições de pesquisa e centros tecnológicos;.
- Inovação Tecnológica: recursos para projetos de inovação em produtos e processos;
- Cartão BNDES: financiamento de equipamentos e insumos com maior eficiência energética e ambiental;
- BNDES Desenvolvimento Limpo: linha de crétido para projetos ralacionados ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).
- Energias Alternativas: outra linha do BNDES para geração de energias alternativas, na qual a instituição financia até 80% de empreendimentos de geração de energia a partir de fontes alternativas, tais como biomassa, eólica e solar, além de PCHs, visando diversificar a matriz energética nacional. Uma mesma operação pode combinar diferentes linhas de financiamento.
- Projetos de eficiência energética: apoio a projetos de eficiência energética que contribuam para que a economia de energia aumente a eficiência global do sistema energético ou promovam a substituição de combustíveis de origem fóssil por fontes renováveis.
- Linha Ecoeficiência Ambiental: financiamento de máquinas e equipamentos que reduzem a geração de resíduos e emissões, aumentando o uso de matérias-primas aplicáveis ao setor, água e energia;
- Linha Energia Limpa – Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs): Somente em 2006, foram contratadas sete operações, correspondendo ao investimento de R$ 329 milhões;
- linhas do FINAME – antigo Fundo de Financiamento para Aquisição de Máquinas e Equipamentos Industriais, hoje linha da Agência Especial de Financiamento Industrial do BNDES,
- BNDES Automático, outro financiamento criado pelo Banco, e
- PROGER – Investimento Máquinas e Equipamentos para Produção Mais Limpa, um dos programas de geração de emprego e renda do Ministério do Trabalho.

A título de exemplo da expansão creditícia, observe-se o ocorrido em 2011, quando a diretoria do BNDES aprovou financiamentos para a construção de 26 parques eólicos, todos no Rio Grande do Norte, no valor total de R$ 1,8 bilhão, alocados em quatro projetos distintos. Os empreendimentos somaram uma potência instalada de 628,8 megawatts com investimentos totais de R$ 2,6 bilhões. Com isso, o total de recursos aprovados em 2011 para parques eólicos totalizou R$ 3,3 bilhões, o maior valor já aprovado pelo Banco e 275% superior às aprovações de 2010, de R$ 1,2 bilhão. Já a carteira de pedidos de financiamento era maior e chegou a R$ 8 bilhões, fazendo com que, no total, os desembolsos do banco para parques eólicos pudessem chegar a R$ 4,5 bilhões. A carteira representa os pedidos de empréstimo, enquanto que desembolsos são os recursos efetivamente liberados (BNDES, 2011).

Além do BNDES, a CEF também apresenta linhas de créditos específicas para enfrentamento dos efeitos das Mudanças Climáticas pelo setor energético.

No âmbito das instituições financeiras multilaterais, pode-se destacar a atuação do Banco

Interamericano de Desenvolvimento (BID). Sua carteira com o setor privado, em 2008, incluía mais de 90 operações em 17 países e, ainda, dois fundos regionais. A instituição apoiou US$ 22,7 bilhões em investimentos privados com US$ 4,2 bilhões em financiamento direto e garantias e outros US$ 3,2 bilhões em participações consorciadas com mais de 90 bancos além de participantes institucionais (BID, 2008).

A energia renovável é um dos segmentos de crescimento mais rápido nessa carteira. No Brasil, a programação incluiu uma dúzia de projetos de etanol e biodiesel com um custo total em torno de US$ 1,5 bilhão. O BID vem investindo no setor de energia renovável no Brasil desde a década de 1970, primeiro por solicitação do governo brasileiro e, mais recentemente, em resposta à demanda do setor privado.

Embora o Brasil tenha recebido muito capital privado para o setor do etanol, o BID o complementa oferecendo produtos de empréstimos e garantias com prazos e condições melhores, que eventualmente podem não estar disponíveis no mercado de crédito comercial (BID, 2008).

Para os investidores privados, que vão financiar a ampla maioria dos investimentos em fontes renováveis, o BID oferece assistência técnica destinada a facilitar estudos de viabilidade, de impacto ambiental, bem como econômicos e de mercado, por meio de diversos instrumentos de concessões. Além disso, oferta produtos de crédito, como empréstimos sênior e subordinados, e garantias para projetos do setor privado.

Outras formas de participação dos bancos privados nesse mercado têm ocorrido através das regras para o financiamento de projetos de energia, a exemplo das cláusulas dos Princípios do Equador, as quais têm origem em oito padrões de desempenho definidos pelo *International Finance Corporation (IFC)* – o braço de atuação creditícia ao setor privado do Banco Mundial, em junho de 2003, para condicionar a aprovação de financiamentos ao cumprimento de certas práticas socioambientais.

Inicialmente, elas foram adotadas por bancos comerciais em operações de repasse de recursos do *IFC*. Posteriormente, vários entre os principais bancos internacionais adotaram voluntariamente essas cláusulas para todos as suas linhas de *project finance* – as que financiam projetos empresariais especificamente. Esse grupo de bancos – que hoje soma 51 instituições financeiras – denominou *princípios do Equador* a tais requisitos. Atualmente, 80% do volume dessa modalidade de financiamento no Brasil são aprovados por bancos signatários das premissas para concessão de crédito mencionadas (Banco do Brasil, 2010), com condicionalidades socioambientais no caso de valores superiores a US$ 10 milhões.

3.2.5. POLÍTICAS ENERGÉTICAS NO CONTEXTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Esta seção se propõe a manter o assunto em aberto – i.e. como um *knowledge gap* no jargão em inglês –, tanto por se tratar de um enorme esforço metodológico, com muitas interfaces, quanto pelas dificuldades de se definir parâmetros para o conceito de desenvolvimento sustentável, que não pode ser apresentado apenas na dimensão energética.

Deve-se, todavia, reconhecer que as políticas energéticas, cujo foco prioritário tem sido a segurança energética, têm tido outros objetivos, como os da modicidade tarifária, a universalização do acesso, e em menor escala, a redução da emissão de GEEs e outros gases poluentes, o desenvolvimento de tecnologia nacional, a criação de uma liderança industrial, a criação de empregos e a exportação de bens e serviços,entre outros cobenefícios.

Escolheu-se, apenas alguns dos itens mais abordados pela literatura científica nacional.

3.2.5.1. AUMENTO DO ACESSO

O baixo nível de atendimento rural em toda a década de 1990 fez com que o governo federal instituísse, através do decreto de 2 de dezembro de 1999, o Programa Nacional de Eletrificação Rural Luz no Campo (PLC), tendo como meta eletrificar um milhão de propriedades/domicílios rurais até 2003, através de sua interligação às redes de energia.

Ainda com o Programa Luz no Campo em andamento, foi instituída, por meio da Lei nº 10.438/2002 (Brasil, 2002), a universalização de atendimento, delegando à ANEEL a fixação de metas de eletrificação e fixando a gratuidade do atendimento, além de prorrogar, em seu artigo 15, o prazo de extinção da Reserva Global de Reversão (RGR), cujos recursos passariam a financiar a medida. Também, em seu artigo 13, criou a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), um novo encargo setorial para financiar o programa.

A Resolução n° 233/2003 da ANEEL definiu as metas de universalização para cada município do País, fixando como data-limite nacional para o completo atendimento da meta o ano de 2015. Assim, a Lei e a resolução da referidas estabeleceram a obrigatoriedade, os critérios e os prazos relativos à universalização.

Para acelerar o atendimento elétrico frente à questão da universalização, foi criado o programa Luz para Todos. Buscou-se, por meio dele, antecipar metas através de mecanismos institucionais e financeiros, tendo como principal objetivo levar energia elétrica à população rural[31] não atendida.

Para otimizar os recursos, o Programa prioriza o uso de rede de baixo custo e, de forma complementar, sistemas de geração descentralizados – micro e minicentrais hidroelétricas, solares, eólicas, além das pequenas centrais térmicas e dos sistemas híbridos – com rede isolada e/ou individualmente. Isso desde que os custos do projeto – relativos a geração, redes, operação e manutenção – por unidade consumidora seja inferior ao de extensão de rede. Ainda que minimamente, todas estas ações contribuem para reduzir emissões de combustíveis fósseis tradicionais usados para iluminação, que são efetivamente desprezíveis.

A meta inicial do Programa foi a eletrificação de dois milhões de novos atendimentos até 2008, alcançada em 2009. Foram efetuadas 2,7 milhões de ligações até 2010, beneficiando 13,7 milhões de pessoas, e, gastos R$ 19 bilhões, 157% a mais do que os R$ 7,4 bilhões inicialmente previstos, por meio da CDE e do RGRs. O governo federal participava do programa aportando 72% dos recursos; os estaduais, respondiam por 11%; e as concessionárias, por 17%. O custo médio das ligações era da ordem de R$ 7.037,00 por domicílio (Craide, 2011).

Posteriormente, foi necessário revisar os números, adicionando mais um milhão de famílias e prorrogar o programa até dezembro de 2011. Mesmo assim, ainda restaram muitas ligações a ser feitas, a um custo cada vez maior, pois se localizavam em regiões mais isoladas e de difícil acesso, como é o caso da Amazônia Legal.

Camargo argumentou em 2010 que, localidades mais remotas e isoladas, como são os casos de muitas áreas na Amazônia Legal, exigem a criação de pequenas usinas energéticas para o atendimento, pois não podem ser interligadas. Em tais situações, historicamente, tem se usado sistemas operados a diesel.

Espera-se, porém, que no âmbito do Programa Luz para Todos (PLT), outras alternativas menos emissoras sejam consideradas. A COELBA, na Bahia, já instalou mais de 18.000 sistemas solares fotovoltaicos (COELBA, 2012), considerados a opção de menor custo. O governo federal já lançou uma nova etapa do Programa, para estender o acesso à energia elétrica a 495 mil famílias, a

[31] Considerando que 80% da exclusão elétrica está no meio rural.

maioria delas nas regiões Norte e Nordeste, meta que foi inserida na segunda edição do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC 2), cf. Craide (2011).

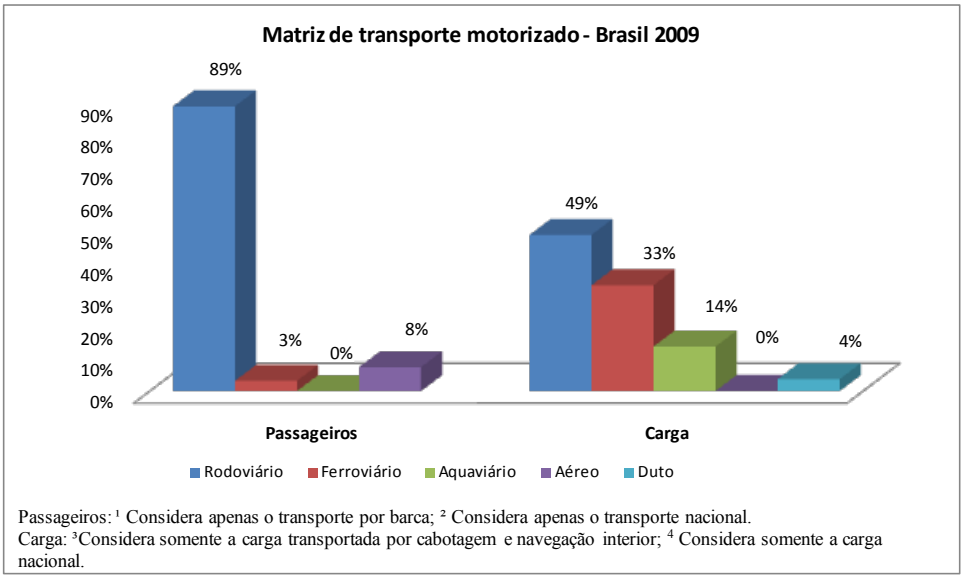
3.3. TRANSPORTES

Este subcapítulo trata do potencial de mitigação das emissões de CO_2, principal GEE associado ao consumo de combustíveis fósseis na operação dos transportes no Brasil. A partir de uma visão geral desta atividade, identifica-se o perfil nacional de emissões de CO_2 nos últimos anos, considerando a operação direta dos veículos. A seguir, são apresentadas as políticas, as práticas e as opções tecnológicas de mitigação das emissões de CO_2 nos transportes que poderiam ser aplicadas à realidade brasileira. Por fim, são apresentadas as considerações finais, as limitações do estudo e suas sugestões para trabalhos futuros.

3.3.1. VISÃO GERAL SOBRE O TRANSPORTE NO BRASIL

Em 2009, a distribuição modal do transporte motorizado de passageiros e de carga no Brasil seguiu o padrão apresentado na Figura 3.12 deste subcapítulo, onde se verifica a predominância do modo rodoviário, em particular, no segmento de transporte de passageiros.

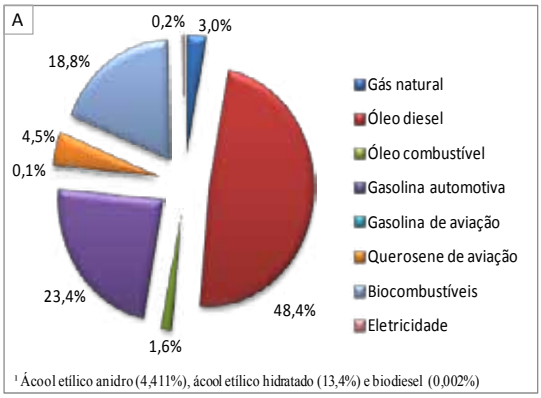
Figura 3.12 Matriz de transporte motorizado - Brasil 2009.



Obs.: Percentuais calculados com base em dados fornecidos sobre passageiros e toneladas por quilômetro (km).
Fonte: Elaboração própria com base em FIPE (2011), ANTT (2009), ANTAQ (2009), ANTP (2009) e ANAC (2009).

Em 2009, o setor de transporte respondeu por 28% do consumo final de energia no Brasil, conforme a divisão representada neste subcapítulo na Figura 3.13:

Os dados informados ao painel A significam que o transporte rodoviário representou 92,02% da participação setorial acima citada; o ferroviário, 1,23%; o hidroviário, 2,17%; e, o aéreo, 4,59%. Assim como do painel B (EPE, 2010b), está ausente o transporte dutoviário, que não faz parte das estatísticas oficiais do Balanço Energético Nacional publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE).
Figura 3.13 Consumo de energia do setor de transporte – Brasil, 2009.



B

Combustível	Rodoviário	Aquaviário	Ferroviário	Aéreo
Gás natural	3,212%			
Óleo diesel	50,905%	27,448%	82,214%	
Óleo combustível		72,552%		
Gasolina automotiva	25,438%			
Gasolina de avição				1,658%
Querosene de aviação				98,342%
Biocombustíveis [1]	20,445%		0,003%	
Eletricidade			17,783%	

[1] O modo rodoviário considera, como combustíveis, ambos os tipos de álcool etílico – anidro e etílico – e o biodiesel. Já o modo ferroviário considera apenas o último como combustível.

Obs.: Percentuais calculados a partir do consumo de energia – em toneladas equivalentes de petróleo (tep).
Fonte: Elaboração própria com base em EPE (2010b).

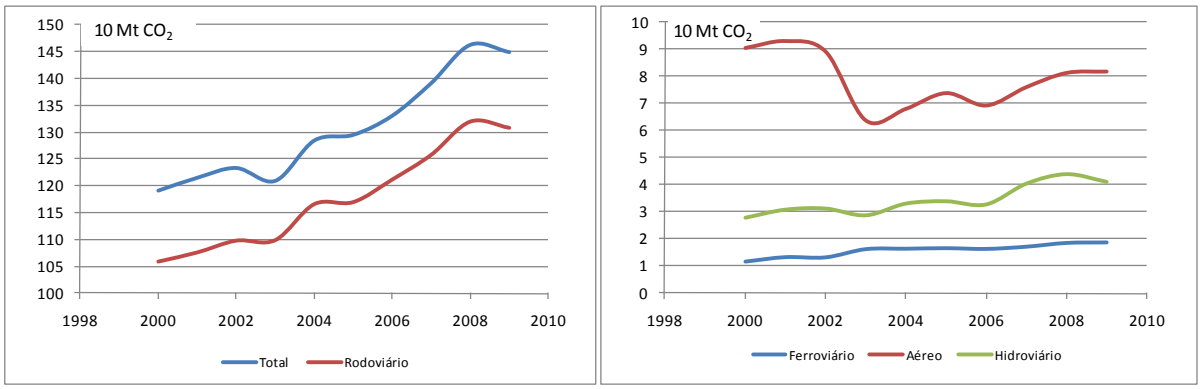
Destaca-se que o consumo de biocombustíveis apresentou crescimento contínuo no período de 2006 a 2009, no qual se verificou aumento de 84% no consumo de etanol e de 1.706% no de biodiesel. Ambos somaram em 2009, 18,8% da energia consumida pelo setor de transporte.

No entanto, observou-se que o Brasil ainda utiliza prioritariamente combustível de origem fóssil – 80,96% – para viabilizar o setor de transportes, valendo-se majoritariamente do óleo diesel, cuja participação foi de 48,4% em 2009. Este percentual equivaleu ao consumo de 50,758 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (TEP) de combustíveis fósseis, dos quais 30,369 toneladas corresponderam somente a óleo diesel.

Tal crescimento remete ao perfil de emissões de CO_2 representado na Figura 3.14. neste subcapítulo, em que se observa, de 2000 a 2009, uma expansão total de 21,7%, decorrente dos crescimentos parciais de 23,4% para o transporte rodoviário, 56,8% para o ferroviário e 46,9 % para o hidroviário e de um decrescimento de 9,6% para o transporte aéreo.

A Figura 3.14 não considera emissões de CO_2 provenientes do uso dos biocombustíveis, uma vez que o desempenho deste gás foi capturado na avaliação emissora do cultivo da matéria-prima considerada para a produção de fonte de energia.

Figura 3.14. Perfil de emissões equivalentes de CO_2 pelo setor de transportes no Brasil derivada do uso de combustíveis fósseis.



Fonte: Elaboração própria com base em EPE (2010b).
Observa-se que, em relação às emissões de CO_2 resultantes do consumo de combustíveis fósseis,

o transporte rodoviário é, igualmente responsável, pela maior parcela no período de 2000 a 2009. No entanto, este é o modo de transporte que utiliza a maior proporção de biocombustíveis na matriz energética do setor – 99,99%. Ao mesmo tempo, os modos que apresentaram a maior taxa de crescimento – o ferroviário e o aquaviário – são quase que exclusivamente dependentes de derivados de petróleo, ou seja, óleo diesel e óleo combustível.

Destaque-se, ainda, o fato de que o modo aéreo apresentou redução no consumo de querosene em 2003, provocando abatimento nas emissões de CO_2. Esse resultado se deu em função de aeronaves maiores, mais eficientes e com novas tecnologias embarcadas.

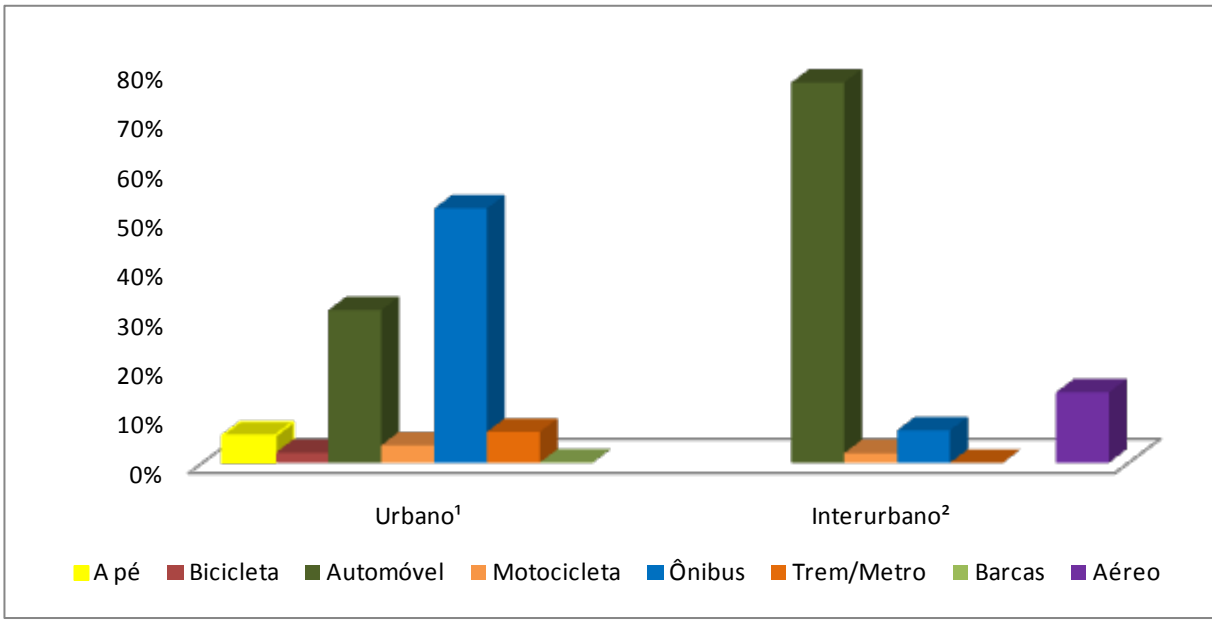
O primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por veículos automotores rodoviários (MMA, 2011a) estimou a emissão de CO_2 por categoria de veículo e tipo de combustível em 2009 e a projetou até 2020, baseado na estimativa de crescimento da frota nacional.

Nota-se nas estimativas para 2020, que o setor de transporte rodoviário poderá emitir cerca de 60% a mais do que em 2009, alcançando cerca de 270 gigatoneladas (Gt) de CO_2, pouco se alterando os percentuais de participação relativa das categorias que o compõem, com destaque apenas para a redução da constribuição dos ônibus no volume total projetado. Assim, no cômputo para 2020, 40% dos GEEs serão lançados à atmosfera pelos automóveis, incluindo entre eles os veículos movidos a gás natural veicular (GNV), 36% pela frota de caminhões, 13% pelos ônibus e 3% pelas motocicletas.

3.3.1.1. TRANSPORTE DE PASSAGEIROS

A Figura 3.15. representa a distribuição modal dos transportes urbano e interurbano de passageiros através do indicador de passageiros por quilômetro – pass.km – em 2009. É possível observar a predominância do modo rodoviário em ambos os segmentos.

Figura 3.15. Matriz de transporte de passageiro – Brasil, 2009.



1. Transporte municipal e intermunicipal 2. Transporte interestadual 3. Para cidades com mais de 60 mil habitantes que contêm a maior parte da população e frota.
Fonte: Elaboração própria com base em FIPE (2011), ANTT (2009), ANTAQ (2009), ANTP (2009) e ANAC (2009).

A Figura 3.16. representa a evolução da matriz de transporte de passageiros através do indicador

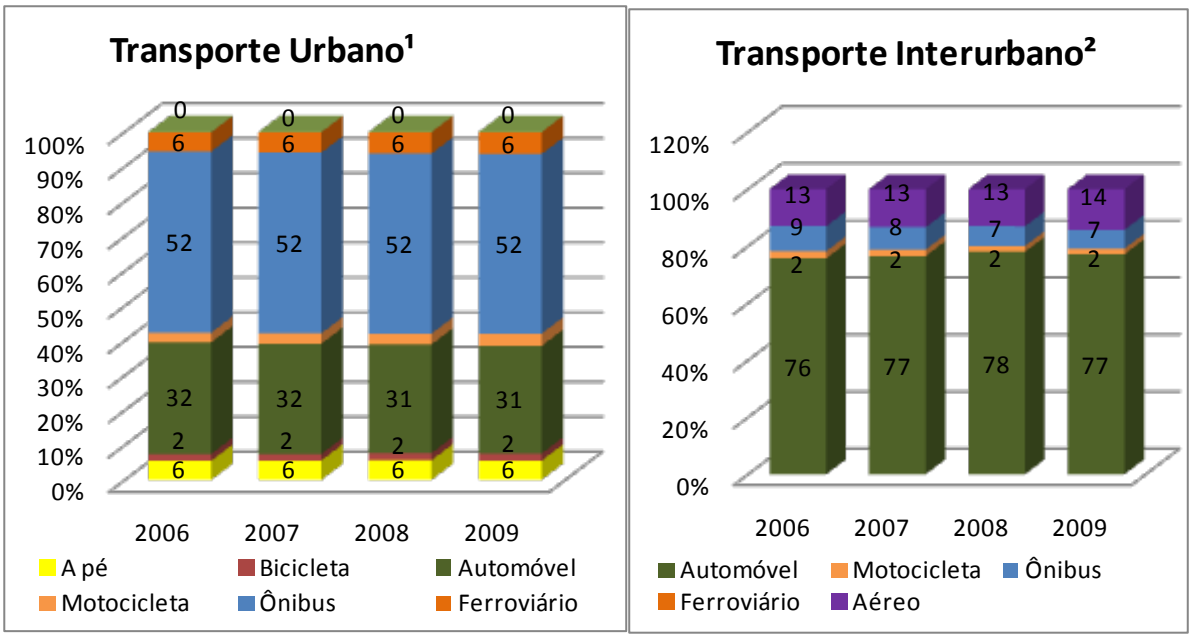
de passageiros por quilômetro – pass.km. Os dados referentes às modalidees de transporte não motorizado, isto é, a pé, de bicicleta e rodoviário aí incluidos os automóveis, as motocicletas e os ônibus, e ferroviário, seja por trem ou metrô, em área urbana utilizou como fonte dados a Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP, 2009). Em relação ao transporte aquaviário – realizado por barcas –, utilizou-se para a estimativa de passageiros transportados por quilômetros uma projeção elaborada a partir de dados apurados pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 1999) e a distância média de cinco quilômetros por viagem, representativa dos cinco sistemas considerados – Rio de Janeiro, Santos, Vitória, Salvador e Aracaju.

No que tange ao transporte interurbano, fez-se um estimativa para o modo rodoviário – ônibus, automóveis e motocicletas – considerando o consumo de energia informado em publicação da EPE (2010b) e o rendimento energético divulgado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2011a). Por fim, para o transporte ferroviário interestadual, utilizou-se dados da ANTT (2009) e para o aéreo, aqueles provenientes da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2009).

Foi possível observar que as participações modais apresentaram pequenas variações no período considerado. No entanto, verificou-se em relação transporte urbano uma pequena queda no que toca ao serviço executado por ônibus e uso de automóvel, além de leve aumento no utilização de veículos ferroviários.

Já em relação ao transporte interurbano, observou-se redução do transporte coletivo (coletivo) e um crescimento no transporte por automóvel (individual).

Figura 3.16 Evolução em percentual da matriz de transporte de passageiro no Brasil



Fonte: Elaboração própria com base em FIPE (2011), ANTT (2009), ANTAQ (2009), ANTP (2009) e ANAC (2009).

3.3.1.2. TRANSPORTE E MOVIMENTAÇÃO DE CARGA

Cada modo de transporte apresenta especificidades que o torna mais adequado a determinado tipo de carga e operação. No Brasil, utiliza-se para transportar carga os cinco modos existentes. Se consideradas as cargas transportadas dentro do País em tonelada por quilômetro (t.km), nota-se a evolução dessa matriz, conforme representado neste subcapítulo na Figura 3.17.

Na composição da matriz exibida, os dados foram basicamente fornecidos pelas agências reguladoras ANTT (2009), ANAC (2009) e ANTAQ (2009) e pela Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE, 2009). Para o modo rodoviário, a informação foi extraída exclusivamente do trabalho dessa fundação, enquanto que, para o transporte ferroviário, ela foi fornecida em toneladas por quilômetro de 2006 a 2008 pela ANTT. Obteve-se os valores para 2009 através de projeção feita por meio de regressão linear[32].

Para o modo aéreo, os dados em toneladas por quilômetro foram fornecidos pela ANAC e consideram a carga paga transportada acrescida de 0,014% referente à carga grátis transportada. Tal pecentual foi calculado com base na relação verificada entre a carga transportada total[33] – paga + grátis – e a paga transportada[34]. Isso foi necessário já que a Agência informa apenas o volume total relativo a 2009. Adicionou-se, ainda, a esse valor, a carga transportada pelos Correios.

O transporte aquaviário foi estimado a partir dos dados referentes ao transporte de cabotagem e navegação interior, fornecidos pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ). Como a informação da autarquia está computada em toneladas, foi necessário calcular o volume transportado por quilômetro (km), para o que se utilizou uma distância média, por viagem, de 596 kms, obtida no trabalho de Garcia (2008).

Para o transporte realizado por duto, considerou-se dados fornecidos, em tonelada, pela ANTT para o período de 2006 a 2008. Em virtude dos valores apresentarem regularidade, os dados utilizados para o ano de 2009 foram obtidos utilizando-se média aritmética. Para o cálculo de t.km considerou-se a distância média de 116 km, estimada com base nos dados para o ano de 2004, fornecidos por CNT (2005).

Ao se analisar a Figura 3.17. exibida neste capítulo, observa-se a predominância do transporte rodoviário ao longo do período apresentado, com estabilidade na divisão modal, o que coloca os modos ferroviário e aquaviário respectivamente na segunda e terceira posições, com cerca de 30% e 14% de participação respectivamente.

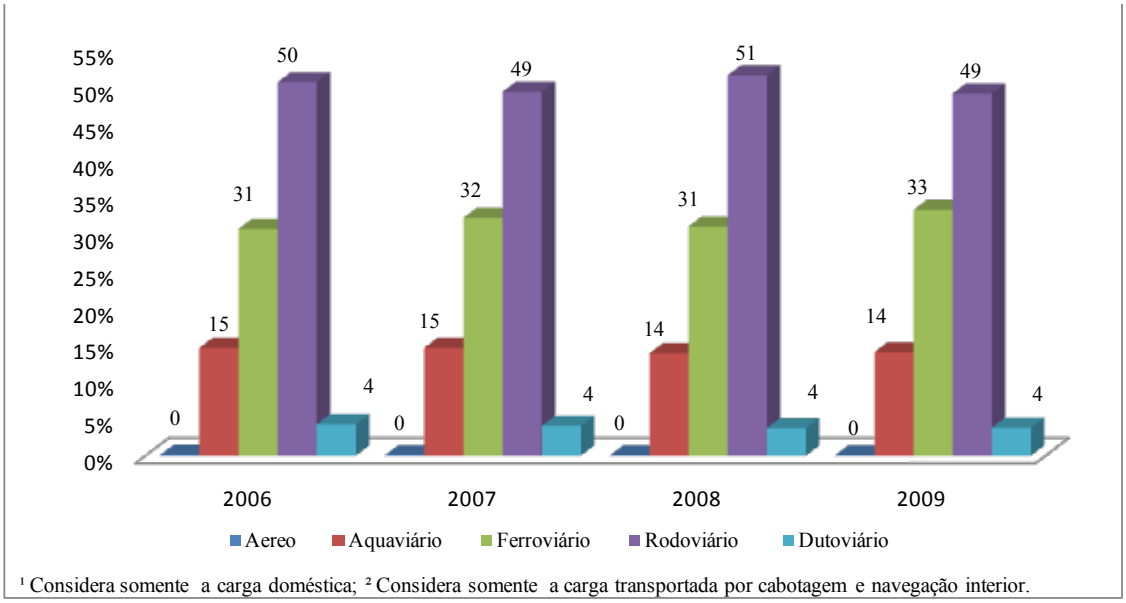
---

[32] Foram utilizados dados do período de 2004 a 2008, fazendo-se uma regressão linear na forma y [t.km] = 15.800x [ano]+ 190.498, que obteve coeficiente de determinação R^2 = 0,9926.

[33] Este dado está disponível para o ano de 2009.

[34] Este dado está disponível para o período de 2006 a 2009.

Figura 3.17 Matriz do transporte de carga no Brasil: participação em tonelada por quilômetro (t.km).



Fonte: Elaboração própria com base em FIPE (2011), ANTT (2009), ANTAQ (2009) e ANAC (2009).

3.3.2. OPÇÕES PARA MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE CO_2

As opções para mitigação de emissões de CO_2 podem considerar políticas, práticas e opções tecnológicas que estejam relacionadas à redução e/ou à racionalização do uso de transportes motorizados, a promoção da transferência das viagens para equipamentos ou modos de maior eficiência energética e a utilização de fontes de energia com menores taxas enquanto emissoras.

3.3.2.1. REDUÇÃO E/OU RACIONALIZAÇÃO DO USO DE TRANSPORTES MOTORIZADOS

O uso frequente e intensivo do transporte motorizada, fortemente baseado em combustíveis fósseis, constitui-se atualmente na principal fonte de emissão de CO_2 pelo setor de transportes. No caso do segmento de passageiros, reduzir a frequência – número de veículos em relação a tempo – e a intensidade – extensão da distância percorrida – do uso do transporte motorizado são tarefas que envolvem mudança nas atuais práticas de gestão da mobilidade, além de depender de medidas que podem ser classificadas, de modo amplo, em duas categorias: a de mudanças comportamentais e a de promoção de infraestrutura (Santos *et al.*, 2010).

Reduzir o número de deslocamentos praticados diariamente depende de uma mudança de comportamento que pode decorrer da adoção de formas não presenciais de trabalho – o chamado *teletrabalho* –, de troca de informações – a *teleconferência* – e de aquisição de bens – ou *telecompras* –, o que pode ser feito por meio da telemática (Ory e Mokhtarian, 2006; James e Hopkinson, 2006 e Williams e Tagami, 2003). Porém, seu impacto potencial na redução do total das emissões de CO_2 por meio da diminuição do número de viagens e dos congestionamentos não é facilmente comprovável.

Outra forma de se reduzir o número de viagens que envolve mudança comportamental decorre da prática do compartilhamento de veículos – na expressão em inglês, *car sharing* – ou dos *clubes do carro – car clubs*. No entanto, tais práticas usualmente se baseiam em acordos informais, o que dificulta a determinação precisa da sua contribuição para o volume de emissões de CO_2 (Santos *et al.*, 2010). Cita-se, ainda, a possibilidade de limitação ou desestímulo ao uso do automóvel,

tal como a instituição de pedágio ou rodízios ou o aumento do preço cobrado por direito de estacionamento de veículos.

Em um sentido bastante amplo e naquilo que se refere a mudança comportamental, pode-se considerar campanhas informativas e educativas voltadas para a adoção de práticas ambientalmente sustentáveis em transporte. Seriam formas não motorizadas de deslocamento, tais como a caminhada ou o ciclismo, práticas de direção que privilegiam a redução do consumo de energia, tal como a chamada *eco-direção* – ou direção ecológica e práticas que sejam menos intensivas em carbono – conhecidas, em inglês, por *carbon-friendly*. Há, também, a prática da adoção consciente de uma mobilidade sustentável, que significa conciliar um menor número de deslocamentos e/ou optar pelos de menor extensão e por meio do modo de transporte de maior eficiência energética (Kahn, 2007 e Goodwin, 2008).

Tais mudanças comportamentais podem levar a uma ampla faixa de redução na emissão de CO_2 (Cairns *et.al.,* 2008), conforme representado neste subcapítulo na Tabela 3.21.

Tabela. 3.21 Potencial de redução de emissões de CO_2: mudanças comportamentais.

PAÍS	REFERÊNCIA	MEDIDA	REDUÇÃO POTENCIAL DE EMISSÃO DE CO_2 EM %
UK	Lindqvist e Tegner (1998)[1], Gross *et.al.* (2009)	compartilhamento de veículo	0,3
UK	Rydén e Morin (2005), Shaheen e Cohen (2007)	compartilhamento e *clubes de carro*	39 a 54
UK	Ledbury (2007) [2]	compartilhamento de veículo	6,4
UK	Smokers *et.al.* (2006)	*direção ecológica*	10
UK	UKHCEAC (2006)	Diversos	19
UK	McKinsey (2009c)	*direção ecológica* com redução de distância e melhora do fluxo de tráfego	3

1. Prática de compartilhamento de veículo e uso de pistas expressas para unidades de alta ocupação – *high occupation vehicles* (*HOV*); 2. Se 15% dos britânicos adotassem o método dos *clubes de carros*, deixariam de ser emitidas à atmosfera 7,75 megatoneladas de CO_2CI.

No entanto, não há mudança de comportamento que se sustente sem a promoção de uma infraestrutura adequada à prática da mobilidade sustentável. A opção pela caminhada ou pelo ciclismo, que proporcionam saúde à medida que promovem deslocamento de curta distância em área urbana, depende da redução do índice de criminalidade de modo que se possa dispor de logradouros seguros, além passeios preservados e limpos, mobiliário urbano atraente, segurança e rapidez nos cruzamentos de vários fluxos de tráfego, ciclovias bem projetadas, limites de velocidade moderados para o transporte rodoviário e vestiários nas empresas e locais de trabalho (Banister,

2008).
A substituição das viagens pelo uso da telemática exige que se disponha de uma infraestrutura de comunicação aptada paratransações de dados de forma rápida e segura, além de confiabilidade no atendimento à entrega de encomendas. Por outro lado, a redução na extensão das viagens depende de políticas de uso e ocupação de solo que permitam proximidade entre zonas habitacionais e aquelas onde há oferta de empregos e lazer.

Para se controlar a produção excessiva de externalidades negativas no setor dos transportes rodoviários, uma combinação de duas ou mais medidas pode ser usada ao invés de uma única. Banister (2008) argumentou que elas são necessárias para se reduzir o volume de emissões de CO_2, pois as políticas individuais são insuficientes.

Além disso, o grande passo na direção do transporte de baixa emissão de CO_2 no futuro é o investimento em P&D de novas tecnologias (Banister, 2008). Por sua vez, Stern (2006), TFL (2007) e Walsh *et al.* (2008) apresentaram um intervalo potencial de redução de CO_2, com a aplicação de novas tecnologias para o transporte e políticas combinadas, conforme representado neste subcapítulo na Tabela 3.22.

Tabela 3.22. Potencial de redução do volume de emissões de CO_2 através de medidas e tecnologias combinadas.

PAÍS	REFERÊNCIA	MEDIDA	PERCENTUAL DE REDUÇÃO POTENCIAL DE VOLUME DE EMISSÃO DE CO_2 – em % [1]
UK	TFL[2] (2007)	Redução de tráfego de veículos de uso privado no centro de Londres minorando congestionamentos e produção de CO_2.	16
UK	Walsh *et al.* (2008)	Várias alternativas de transporte combinadas em substituição ao automóvel, incluindo viagens a pé.	33 a 83

Notas: 1. Considera esta redução até 2050. 2. Transport for London
No que se refere ao transporte de carga, as medidas apresentadas anteriormente parecem não se aplicar, a menos em casos nos quais se disponha de flexibilidade no uso e uma ocupação do solo que permita o suprimento de produtos e serviços na proximidade das zonas de consumo.

3.3.2.2. TRANSFERÊNCIA DAS VIAGENS PARA EQUIPAMENTOS OU MODOS DE MAIOR EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A seguir, são apresentados neste subcapítulo, aspectos relacionados ao potencial de redução do consumo de energia e emissão de CO_2 por meio da melhoria da eficiência energética nos veículos rodoviários e através de substituição modal.

3.3.2.2.1. PERSPECTIVAS DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O uso mais eficiente da energia no transporte é uma opção para a redução de emissões de CO_2, mitigação que está associada à redução do consumo dos recursos petrolíferos não renováveis. Sendo assim, tem-se observado um grande esforço para se reduzir o consumo energético no transporte rodoviário, modo de transporte mais utilizado em todo o mundo. Porém, alguma dificuldade vem sendo encontrada, principalmente quanto à propulsão dos veículos derivada de motores de combustão interna, conhecidos pela sigla MCI.

Usualmente, da energia disponível no combustível armazenado no tanque do veículo, é perdido entre 70% e 80% pela química da combustão, seja, na forma de transferência de calor ou por exaustão dos gases pelo escapamento, ou ainda, por ambas. O restante é convertido em energia mecânica, que será usada para o deslocamento.

Mas esta energia mecânica ainda está sujeita as perdas que ocorrem no sistema de transmissão, estimadas entre 17% e 40%. Logo, para que o veículo efetivamente se movimente, vencendo as resistências ao rolamento, à aerodinâmica, à inércia e de rampa, restam entre 15% e 25% da energia originalmente armazenada no tanque de combustível. A Tabela 3.23. representa neste subcapítulo, a distribuição típica de energia consumida por automóveis.

Tabela 3.23. Eficiência energética do sistema de propulsão convencional em automóveis

				REFERÊNCIAS					
	1	2		3	4	5	6		
COMPONENTES DA OFERTA DE ENERGIA									
ENERGIA DISPONÍVEL NO COMBUSTÍVEL EM %				100	100	100	100	100	100
COMPONENTES DO SISTEMA DE PROPULSÃO	Motores de combustão interna (MCI)	Perdas de energia	sistema de refrigeração	36	30	30	20	73	79
			gases de exaustão	38	35	35	35		
			fricção dos componentes do motor	6	5	5	-		
			radiação térmica do motor	-	-	5	20		
		Eficiência do MCI		20	30	25	25	27	21
	Sistema de transmissão mecânica (STM)	Perdas de energia	transmissão	10	17	40	24	18,5	28,6
			pneus	15	-	-	-	-	-
		Eficiência do STM		75	83	60	76	81,5	71,4
	Eficiência do conjunto			15	25	15	19	22	15
OFERTA FINAL DE ENERGIA				15	25	15	19	22	15
PARTICIPAÇÃO DOS COMPONENTES NA DEMANDA POR ENERGIA									
RESISTÊNCIA AO MOVIMENTO									
RESISTÊNCIA AO ROLAMENTO		-		6	-		4,2	7	4
RESISTÊNCIA AERODINÂMICA		8		13	10		10,5	11	3
ENERGIA DISPONÍVEL PARA VENCER A INÉRCIA, RAMPAS E OS EQUIPAMENTOS AUXILIARES		7		6	5		4,3	4	8

Obs.:O ciclo Euromix compreende percurso do qual um terço se dá em condições de tráfego urbano, e as outras terças partes ocorrem, respectivamente, avelocidades constantes de 90 quilômetros por hora (km/h) e 120 km/h.

Fonte: Elaboração própria com base em: 1) automóvel norte-americano típico operando sob condições corriqueiras de tráfego urbano (Ristinen e Kraushaar, 1999); 2) automóvel europeu com motor a óleo diesel em ciclo Euromix (Poulton, 1997); 3) automóvel norte-americano típico (Wiser, 2000); 4) automóvel norte-americano típico em (OECD, 1997); 5) regime de operação rodoviária (NRC, 2006); 6) regime de operação urbana (NRC, 2006).

Embora a Tabela 3.23. possa servir de guia para direcionar ações específicas na redução do consumo de combustível, dificilmente uma diminição dessas perdas – como, por exemplo, a da. energia exalada nos gases de exaustão – se reflete diretamente e na mesma proporção, no consumo energético.

Visando minimizar tais perdas é possível se aperfeiçoar a eficiência energética por meio do uso de novas tecnologias. A Tabela 3.24. representa a seguir, alguns exemplos. Se incorporadas ao veículo, podem torná-lo mais eficiente em termos de consumo de energia e, consequentemente propiciar menor volume de emissões atmosféricas

Tabela 3.24 Potencial de aumento de eficiência energética em automóveis.

CICLO	APLICAÇÃO	TECNOLOGIA	POTENCIAL DE AUMENTO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM %	PRAZO PARA DIFUSÃO DE TECONOLOGIAS EM ANOS
OTTO	Motor de combustão interna (MCI)	Diminuição de tamanho do motor com sobrealimentação	3 a 8	3 a 6
		Injeção direta	10 a 15	3 a 6
		Motor de ignição por compressão de carga homogênea (*HCCI*)	15	3 a 6
		Comando variável de válvula *(VVT&L)*	3 a 8	até 3
		Variador[1] do tempo de válvula (*VVT*)	2 a 3	N.I.
		Desativação de cilindros	4 a 6	acima de 6
		Motor sem eixo de cames[2] (*CVA*)	5 a 10	acima de 6
		Razão de compressão variável (*VCR*)	2 a 6	3 a 6
	Sistema de transmissão mecânica (STM)	Transmissão variável contínua (*CVT*)	4 a 6	até 3
		Partida integrada/ gerador (*ISG*)	5 a 10	3 a 6
		Transmissão automática em seis velocidades	1 a 2	3 a 6
		Transmissão automática/ manual (*AST/AMT*)	4 a 8	não informado
	Veículo	Sistema elétrico do veículo (> 42 V) ao redor de 42 volts	1	3 a 6
		Redução de coeficiente de arraste[3] aerodinâmico em 10%	1 a 2	até 3
		Redução da resistência ao rolamento em 10%	1 a 2	até 3
		Redução de massa do veículo em 10%	7	até 3
		Melhorias no ar condicionado	não informado	até 3

Fonte: Elaboração própria com base em Smith (2010) e NRC (2002).

Em virtude da lacuna tecnológica existente entre o mercado automotivo brasileiro e os mais avançados, observa-se que existe grande potencial de redução de consumo de combustível na frota do País. Embora algumas das tecnologias apresentadas na Tabela 3.24. já estejam consolidadas por fabricantes no mercado internacional, estes alegam que, na maioria dos segmentos de veículos brasileiros, o custo da aplicação de tais tecnologias não gera retorno, visto que os consumidores não conseguem perceber o benefício gerado em termos de redução do gasto do insumo energético.

De acordo com Smith (2010), o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV) pode vir a estimular o desenvolvimento tecnológico, a partir do momento em que este passe a servir de referência para os consumidores na escolha de veículos mais eficientes. No entanto, segundo a autora, tem-se observado uma pequena adesão por parte dos fabricantes, o que pode estar relacionado à flexibilidade regulatória da iniciativa e ao pouco comprometimento dos agentes envolvidos, isto é, da indústria e do governo.

No que se refere aos veículos comerciais com peso bruto total acima de 3,5 t, os ganhos de eficiência energética em sistemas convencionais devem estar focados nos motores a diesel, bem como em todo o sistema de transmissão – o trem de força – e nas melhorias do veículo, conforme representado na Tabela 3.25.

Tabela 3.25 *Potencial de aumento de eficiência energética em veículos comerciais.*

CICLO	APLICAÇÃO	TECNOLOGIA	POTECIAL DE AUMENTO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM %	PRAZO PARA DIFUSÃO DE TECNOLOGIAS
A DIESEL	Motor de combustão interna (MCI)	Melhorias no turbo compressor	2 a 5	já disponível
		Válvula de atuação variável (*VVA*[1])	1	já disponível
		Pós-tratamento (*EGR*[1]) com arrefecimento avançado	1	já disponível
		Eletrificação de acessórios	2 a 4	não informado.
		Redução de perdas por fricção	1 a 2	não informado
		Ciclos de combustão alternativos	N. I.	não informado
		Aumento de conversão de pós-tratamento (*SCR*[2])	3 a 4	já disponível
		Sistema de recuperação de energia residual	10	disponível em cinco anos
	Sistema de transmissão	Automatizado (*AMT*)	4 a 8	já disponível
		Transmissão variável contínua (*CVT*)	4 a 8	disponível em três a seis anos
		Transmissão de dupla embreagem	2	disponível em três a seis anos
	Veículo	Melhora de coeficiente aerodinâmico em 10%	1 a 2	disponível em até três anos
		Resistência ao rolamento em 10%	1 a 2	disponível em até até três anos
		Redução da massa do veículo em 10%	7	disponível em até três anos

Fonte: Elaboração própria com base em NRC, 2010.

Outra oportunidade para aumento da eficiência energética em veículos é por meio de sistemas

híbridos, associados a um motor de combustão interna ou célula de combustível, com um gerador, um dispositivo de armazenagem de energia, em sua grande maioria uma bateria, e um ou mais motores elétricos.

Estes componentes podem ser agrupados de várias formas sendo que o motor elétrico pode gerar uma maior e menor parcela da propulsão. Assim, um veículo só é classificado como totalmente híbrido se puder ser movido, pelo menos parte do seu tempo, somente pelo motor elétrico.
Todavia, o veículo híbrido nem sempre está associado a um motor de combustão interna e um elétrico, embora esta seja a configuração mais comum. Qualquer sistema capaz de recuperar a energia cinética durante a frenagem, e devolvê-la ao veículo para impulsioná-lo, conjugado a um motor de combustão interna, também pode ser caracterizado como híbrido.

Veículos comerciais, em particular, possuem as características necessárias para utilização de acumuladores hidráulicos – sistema onde um gás é comprimido sob efeito de pressão hidráulica fornecida durante a frenagem ou por bomba impulsionada pelo motor de combustão interna. Quando distendidos, os acumuladores podem acionar um motor hidrostático. Trata-se de uma tecnologia bastante simples, cujos componentes já estão disponíveis no mercado. Devido a seu elevado torque e velocidade final na ordem de 100 km/h, os sistemas híbridos possuem vocação para mover, principalmente, caminhões de entrega e ônibus urbanos.

Outro dispositivo capaz de acumular energia e que tem sido aplicado em veículos comerciais híbridos é o ultracapacitor, capaz de acumular muito rapidamente grande quantidade da carga elétrica recuperada na hora da frenagem, por exemplo, para liberá-la posteriormente de maneira instantânea. Os ultracapacitores acumulam apenas uma quantidade mínima de eletricidade, de 3 a 4 Wh/kg, por capacitor. Em contrapartida, podem oferecer eletricidade instantaneamente, com picos de potência consideráveis. Além disso, são recarregados em algumas dezenas de segundos e suportam até um milhão de ciclos de carga e descarga.

3.3.2.2.2. POTENCIAL DE SUBSTITUIÇÃO MODAL

Neste ítem, se trata de identificar o potencial de redução de emissões de CO_2 por meio da substituição modal, tanto no transporte de passageiros como no de carga.

3.3.2.2.2.1. TRANSPORTE DE PASSAGEIRO

No que se refere ao transporte de passageiros, as principais medidas para redução de emissão de CO_2 relacionadas à transferência modal procuram transferir viagens de automvovel para o transporte público coletivo – ou seja, ônibus, trens e metrôs.

Incentivar o uso de transportes públicos coletivos depende da disponibilidade dos mesmos, o que pode ser um problema em países em desenvolvimento como o Brasil. Ainda assim, o potencial de substituição das viagens de automovel depende de medidas que envolvam:

- integração física, operacional, institucional e tarifária entre os modos de transporte;
- integração entre as políticas econômica, de transportes, saúde pública e de inclusão social e
- das maneiras pelas quais o poder público desestimula o uso do transporte individual (Santos *et al*., 2010).

Gross *et. al.* (2009) concluíram que o transporte público produz uma quantidade muito menor de CO_2 pelo mesmo total de passageiros por quilômetro do que os carros particulares. Em seus estudos são usados dados da instituição do governo britânico *United Kingdom Department for Environment, Food and Rural Affairs* (*DEFRA*, 2007). *DEFRA* (2007); Kemp (2007); Givoni *et. al.* (2009) e Chester e Horvath (2009) apresentaram um intervalo potencial de redução de CO_2, utilizando a transferência

modal, conforme representado neste subcapítulo na Tabela 3.26. Cabe ressaltar que os valores dos volumes de reduções mencionados foram obtidos em diferentes países, considerando suas respectivas realidades e tecnologias e que devem ser analisados para o caso brasileiro.

Tabela 3.26 *Potencial de redução de emissões de CO_2 por transferência modal.*

PAÍS	REFERÊNCIA	TIPO DE TRANS-PORTE	POTENCIAL DE REDUÇÃO DE CO^2 EM %	VOLUME DE CO_2 EMITIDO EM GRAMAS CALCULADO PARA PASSAGEIROS POR QUILÔMETRO
UK	DEFRA (2007)	carros particulares	-	de 124,2 gramas – diesel – a 130,9 – gasolina (gasolina)
	DEFRA (2007)	Ônibus	28,3 a 31,9	89,1
UK	DEFRA (2007)	Trem diesel elétrico	51,5 a 54	60,2
UK	Kemp (2007)	trem elétrico ou megabus[1]	59,7 a 61,8	50
UK	Givoni et.al. (2009)	trem a diesel	44,4 a 47,3	69
UK	Givoni et.al. (2009)	trem elétrico	56,5 a 58,8	54
USA	Chester e Horvath (2009)	ônibus a diesel horário de pico[2]	59,7 a 61,8	50
USA	Chester e Horvath (2009)	ônibus a diesel fora do horário de pico[3]	222, a 205,6	400

[1] Ônibus rodoviários que podem transportar até 91 passageiros. O consumo de combustível é de 0,63 litro para cada 100 lugares por quilômetro. [2] Com cerca de 60 passageiros por veículo, incluindo os que viajam em pé. [3] Com cerca de cinco passageiros por veículo. Neste caso, houve aumento de emissão de CO_2. [4] Os valores se referem apenas ao uso final.

3.3.2.2.2.2. TRANSPORTE DE CARGA

Existem referências relacionadas à transferência modal no transporte de carga e seus impactos no meio ambiente que fornecem base suficiente para entender como tal iniciativa pode proporcionar reduções de emissão de CO_2.

Moran e Gonzalez (2007) mostraram os fatores estruturais que afetam as emissões de CO_2. Os autores abordaram a questão da transferência modal como alternativa para redução de gás carbônico lançado à atmosfera, o que, em muitos casos, não é possível por motivos físicos e pela natureza estrutural de alguns processos produtivos.

No Brasil, a estrutura produtiva favorece a transferência modal por apresentar algumas peculiaridades quanto aos produtos que produz, seu consumo e transporte. Segundo o IBGE (2011a), a produção brasileira se concentra em produtos agrícolas, siderurgia, minérios – incluindo petróleo – e combustíveis, rol do qual fazem parte biocombustíveis como o bioetanol e o biodiesel.

Em muitos casos, a distância entre centros produtores e consumidores supera 500 km, o que, aliado às características dos produtos de grande volume e baixo valor agregado, justifica o uso de modos de grande capacidade que implicam menor uso de energia por unidade transportada e menor volume de emissão de CO_2.

Observe-se que a matriz de transporte de carga brasileira, representada neste subcapítulo na Tabela 3.26, exibe distorções quanto a essas características, predominando o modo rodoviário em detrimento dos demais.

Steenhof *et al.* (2006), Stanley *et al.* (2009), Uherek *et. al.* (2010), Real *et. al.* (2009) e, também, Leal Jr. e D'Agosto (2011a) avaliaram o potencial de redução do consumo de energia e emissão de CO_2 no transporte de carga por transferência modal, representado neste subcapítulo na Tabela 3.27. Verificou-se aí, um intervalo potencial de redução de 30% a 80% em consumo de energia e de 10% a 80% do volume de CO_2 a ser emitido por conta da troca de modo. Cabe ressaltar, que estas reduções foram obtidas em diferentes países e consideram suas respectivas realidades e tecnologias e que estes números devem ser melhor analisados para o caso brasileiro.

Tabela 3.27 Potencial de redução de uso de energia e emissão de CO_2 por transferência modal.

MEDIDA	REFERÊNCIA	REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA EM %	PERCENTUAL DE REDUÇÃO DE CO_2
Transferência do modo de cargas geral rodoviário para o ferroviário no Canadá.	Steenhof *et al.* (2006)	23	10
Promoção de melhor eficiência operacional do modo rodoviário associado a transferência modal de cargas gerais para o ferroviário.[1]	Stanley *et al.* (2009)	20	30
Transferência modal de cargas gerais do rodoviário para o ferroviário e aquaviário.[2]	Real *et. al.* (2009)	-	43,1
Transferência modal de cargas gerais do rodoviário para o ferroviário.[3]	Uherek *et. al.* (2010)	20 a 30	-
Transferência modal de cargas gerais do rodoviário para o ferroviário.[4]	Gouvello *et al.* (2010) eliminar "De"	-	38,3
Transferência modal do transporte rodoviário de etanol para o dutoviário.[5]	Leal Jr. e D'Agosto (2011a)	75,8	81,5

[1]. Projeção para o ano de 2020. [2]. A implantação das obras propostas no PNLT (PNLT, 2007) poderia reduzir o desequilíbrio da matriz de transporte, de tal forma que em 2025, 30% do transporte de carga seria realizado pelo modo rodoviário, 35% pelo ferroviário, 29% via aquaviário, 5% pelo dutoviário e 1% via modo aéreo. [3]. Estima-se que na Europa, seria possível substituir 2,5% a 5% do transporte rodoviário pelo ferroviário. [4]. seria possível uma redução de 38,3% de CO_2 com base no cenário atual e 6,66%, considerando o crescimento da produção até 2030. [5]. Os mesmos autores demonstram que isso pode ser feito sem comprometer aspectos econômico-financeiros (Leal Junior e D'Agosto, 2011b).

Schafer e Jacoby (2006) estudaram a tecnologia dos veículos sob as restrições de emissão de CO_2 e, para isso, levaram em consideração a questão da adequabilidade do modo de transporte ao tipo de mercadoria. Os autores citaram o transporte de mercadorias como derivado diretamente dos fluxos setoriais e consideraram as questões nas quais o Brasil também deve se basear – quais sejam, analisar o fluxo de produtos e identificar os modos mais adequados ao seu transporte.
Timilsina e Shrestha (2009) analisaram os potenciais fatores que impactaram o crescimento das emissões de CO_2 e consumo de energia em países como China, Índia, Indonésia, Coreia do Sul, Malásia, Paquistão, Sri Lanka e Tailândia. Os autores apresentaram a transferência modal como uma das alternativas. As características dos locais estão associadas aos tipos de produtos produzidos, distâncias entre centros produtores e consumidores e ao quanto já se utiliza de modos com maior capacidade.

Gallo (2011) apresenta o desequilíbrio da matriz de transporte na Itália, que se concentra no modo rodoviário, e comentou que o equilíbrio da divisão modal no transporte, tanto de passageiros quanto de carga, seria importante para a redução dos gases de efeito estufa.

Liimatainen e Pollanen (2010) ponderaram quanto à divisão modal e àq eficiência energética, explicando que devem ser feitas análises do tipo de produto, da distância percorrida e da capacidade dos modos, pois alguns modos comumente considerados mais eficientes que o rodoviário, como o ferroviário, podem não o ser por conta dessas características. Os autores complementam enfatizando o uso da intermodalidade para melhorar a eficiência energética.

Demir *et al.* (2011) abordaram a questão de transferência modal por meio da apresentação de diferentes emissões e consumo de energia, derivados dos tipos de veículo rodoviários,e à sua relação com as condições de vias e velocidade. Cosideraram os modos de transporte distintos para os tipos de veículos rodoviários, abordagem que pode ser utilizada também para o transporte urbano de carga.

A oferta brasileira de transporte atual potencializa a emissão de $CO_{2,}$ visto que se concentra na modalidade rodoviária. Além de pouco apropriada ao perfil dos produtos brasileiros, suas deficiências incluem:

- veículos com idade avançada ainda integrando a frota,
- problemas de manutenção e elevado consumo de combustível fóssil, marcadamente o diesel, e, por consequência, e
- maior volume de emissões atmosféricas.

No trânsito urbano e em vias que ligam grandes centros, como Rio de Janeiro e São Paulo, a quantidade de veículos causa lentidão no tráfego, aumento da poluição sonora e maior concentração de poluição atmosférica. Alia-se a isto a falta de manutenção de rodovias. A Tabela 3.28. apresenta os modos de transporte e suas respectivas capacidades, consumo de energia e emissões de $CO_{2,}$ além das cargas potencialmente aptas para transferência modal.

Tabela 3.28 *Modos de transporte de carga no Brasil: capacidade, consumo de energia, emissão de CO_2 e cargas potencialmente aptas para transferência modal.*

MODO		CAPACIDADE DE TRANSPORTE EM TONELADAS	CONSUMO DE ENERGIA[1] – em MJ/t.km	QUILOS DE CO_2 EMITIDOS EM TONELADAS POR QUILÔMETRO TRANSPORTADO[2] – em kg/t.km	CARGAS DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO COM POTENCIAL PARA TRANSFERÊNCIA MODAL
RODOVIÁRIO		26 [3]	1,663	0,119	
FERROVIÁRIO		10.000 [4]	0,483	0,035	*commodities* agrícolas, produtos siderúrgicos e carga geral conteinizada.
DUTOVIÁRIO		26.000 [5]	0,112 [9]	0 [9]	Biocombustíveis.
AQUAVIÁRIO	fluvial	22.500 [6]	0,284	0,0203	*commodities* agrícolas e biocombustíveis.
	de cabotagem	54.500 [8]	0,130	0,0157	todas as cargas.
AÉREO		62 [7]	12,390 [10]	0,886 [10]	carga geral.

[1]. Cada litro de diesel é igual a 38,32 mega Joules (MJ) e de querosene de aviação, igual a 47,8 MJ [2]. Fator de emissão diesel igual 2,7458 quilos por litro e no caso do querosene de aviação, igual a 3,4177 quilos por litro [3]. Veículo semi-pesado. [4]. Composição ferroviária de 100 vagões com capacidade de 100 toneladas cada. [5]. Duto para etanol com capacidade diária. [6]. Comboio fluvial com quinze barcaças com capacidade de 1.500 toneladas. [7]. Boeing 747-400. [8]. Frota Transpetro [9]. Energia hidroelétrica. [10]. Com base em querosene de aviação.

Fonte: Rodrigues (2007); Odebrecht (2007); Ristinen e Kraushaar (1999); D'Agosto e Ribeiro (2009); GHG (2008); Ribeiro *et al.* (2007). TRANSPETRO (2008)

3.3.2.3. UTILIZAÇÃO DE FONTES DE ENERGIA COM MENORES TAXAS DE EMISSÃO DE CO_2

A mitigação das emissões de CO_2 em transportes também pode ser obtida por meio do uso de fontes de energia com menores ou, mesmo, nenhuma taxa de emissão direta de CO_2. Exemplos disso são os usos de biocombustíveis, gás natural, hidrogênio e energia hidrelétrica.

3.3.2.3.1. BIOCOMBUSTÍVEIS

A participação dos biocombustíveis no setor de transportes em todo o mundo tem se ampliado de forma contínua, porém lenta. Principalmente devido à instabilidade dos preços do petróleo no mercado internacional. Sua participação no transporte rodoviário atingiu 2% em 2008 e pode chegar a 8% em 2035 (IEA, 2010b). Atualmente, o maior produtor mundial é os Estados Unidos, seguido por Brasil e União Europeia. . No Brasil, a participação de renováveis na matriz energética de transportes é a maior do mundo e continua crescente e em 2009 eles alcançavam 18,8% (EPE, 2010b).

Atualmente, no Brasil, o percentual da mistura de bioetanol já é de até 25% na gasolina. O crescimento desse percentual de mistura dependerá da futura conjuntura geopolítica e econômica do petróleo, que certamente representa a maior barreira à viabilidade econômica de novos processos produtivos.

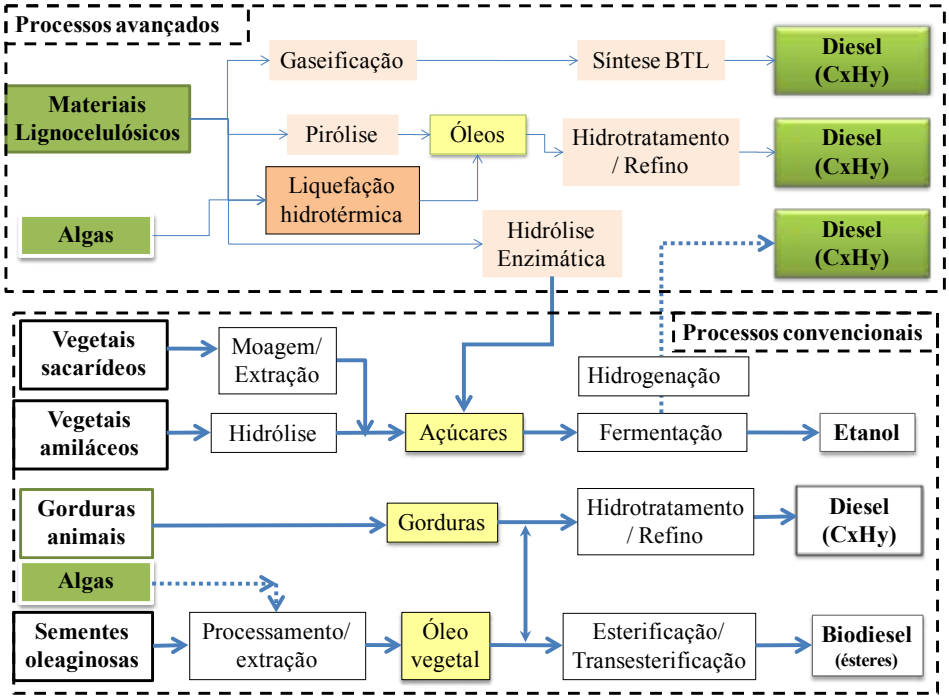
Ainda que grande parte da totalidade dos biocombustíveis líquidos produzidos sejam usados

no transporte rodoviário, mais recentemente têm surgido projetos de demonstração na Inglaterra, Austrália e Japão que comprovam seu grande potencial de uso em grande escala para a aviação e a navegação. No Brasil, misturas contendo 20% de biodiesel com o diesel mineral (B20) já foram testadas com sucesso em locomotivas (D'Agosto *et al.*, 2006).

Os biocombustíveis compatíveis com diesel e gasolina são muito convenientes para serem incorporados nos atuais sistemas de transporte. Haja visto que eles podem ser usados puros ou misturados com os derivados de petróleo e que, usualmente, não exigem modificações significativas nos motores.

Os processos de produção de biocombustíveis compatíveis com diesel e gasolina se encontram em diferentes estágios de desenvolvimento tecnológico e muitos novos processos foram incorporados ao leque de alternativas de fabricação na última década. A Figura 3.18 sintetiza, neste subcapítulo, os processos convencionais e avançados para a produção de biocombustíveis líquidos a partir de biomassa.

Figura 3.18 Processos de produção de biocombustíveis para o transporte.



Fonte: Elaboração própria a partir de Ribeiro *et al.*, (2007), Wiser (2000), Ristinen e Kraushaar (1999)

Os processos avançados – de segunda e quarta geração – se destacam por conta do uso de materiais lignocelulósicos, que podem incluir madeira, restos de madeira, resíduos vegetais, grama, algas e outros. Entre eles, os principais são os processos listados a seguir:

- termoquímicos, nos quais se incluem os de gaseificação, pirólise e liquefação hidrotérmica, sendo que os dois primeiros podem estar em prática em escala industrial entre 5 e 10 anos e enquanto que o último ainda se encontra em desenvolvimento;
- químicos, como é o caso da conversão via síntese *Biomass to Liquids* (*BTL*) que engloba a síntese catalítica de *Fischer-Trospch* (*FT*) e, apesar de ser um processo conhecido há quase século, sua aplicação em larga escala ainda não se consolidou industrialmente, ao passo que os catalisadores específicos não garantem os rendimentos requeridos na conversão devido à presença de contaminantes, mas podem se tornar economicamente viável em até cinco anos;
- e os bioquímicos, tais como o de hidrólise enzimática de materiais celulósicos e a

fermentação de caldo de cana-de-açúcar para produção de óleo diesel e outros hidrocarbonetos. Pode se tornar economicamente viável em até cinco anos

Os processos convencionais – aqueles de primeira geração – podem ser classificados conforme suas rotas de produção da seguinte maneira:

- químicos, como a esterificação, transesterificação e hidrotratamento de óleos vegetais e gorduras ;bioquímicos, como a fermentação dos açúcares produzidos por hidrólise de vegetais e gorduras, como são os casos do milho, da mandioca, da batata ou a de vegetais com alto teor de sacarídeos – por exemplo, da cana-de-açúcar e da beterraba.

No Brasil, os processos tradicionais indicados na Figura 3.18, desde a obtenção da matéria prima até o produto final, são dominados e estão em uso corrente, com exceção da obtenção de etanol por hidrólise de mandioca. Este último processo, chegou a ser desenvolvido no País nas décadas de 1970 a 1980, mas foi descontinuado por razões econômicas e energéticas. O milho é a principal matéria-prima usada nos Estados Unidos, por falta de alternativa tecnológica mais econômica.

A produção de bioetanol a partir da cana-de-açúcar é. sem dúvida, o processo que apresenta o melhor rendimento energético (D'Agosto e Ribeiro, 2009).

No Brasil, um dos processos emergentes é a fermentação do caldo de cana-de-açúcar para produção de diesel e de outros hidrocarbonetos, cujo potencial de produção local aponta para depois de 2013.

Um dos maiores produtores brasileiros de açúcar e etanol assinou acordo com uma empresa multinacional e sua subsidiária brasileira para produzir especialidades químicas a partir do caldo da cana-de-açúcar. Uma unidade química produzirá diesel a partir de leveduras capazes de converter sacarose em biocombustível.

O Brasil tem planos de iniciar a produção industrial de diesel de cana-de-açúcar (Liebsch, 2011). A principal barreira ao processo de sua fabricação a partir da fermentação desse insumo é o custo, já que requer uma unidade de hidrogenação para ajustar a composição do produto final.

3.3.2.3.2. OUTRAS FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA

O GNV é composto essencialmente por gás metano (CH_4), com traços de etano (C_2H_6), propano (C_3H_8) e butano (C_4H_{10}). Para uma mesma quantidade de energia liberada durante a combustão, ele emite menos 25% de CO_2 do que o diesel ou a gasolina, aproximadamente.

Segundo dados da *Natural Gas Vehicles Association* (*NGVA*), em 2004, o GNV era utilizado em quatro milhões de veículos em todo o mundo passando em 2009, para 11,3 milhões. Estima-se que existam ao redor de 10 milhões de carros e 400 mil ônibus utilizando esse insumo energético(Boisen, 2009). Estados Unidos, Alemanha, França, Itália, Espanha e Suécia são exemplos de países que possuem frotas de veículos comerciais movidas a gás natural. Na China, a realização dos Jogos Olímpicos, em 2008, serviu como grande motivação para o emprego deste combustível, mais limpo que o óleo diesel.

Iniciativas na direção de se promover o uso do GNV no transporte público urbano foram realizadas no Brasil na década de 1980. Porém, a produção em larga escala de veículos coletivos a gás natural no País inexiste. Problemas com relação à baixa qualidade desse tipo de combustível atualmente distribuído, ao elevado tempo de abastecimento, à perda da dirigibilidade com relação a tecnologia a diesel e do valor de revenda dos veículos foram as causas mais comuns para que este energético não se transformasse numa alternativa real no transporte coletivo urbano brasileiro. O hidrogênio é um gás inodoro, incolor, muito leve e não tóxico. Possui alta densidade energética – 33,3 quilowatts horários por quilo (kWh/kg) –, ou seja, o dobro daquela exibida pelo gás natural, por exemplo. Sua

combustão libera apenas água e calor.
Tais características despertaram tamanho interesse que o fez parecer o combustível ideal. Todavia, o hidrogênio não está disponível na natureza em sua forma elementar H_2. Uma vez produzido, é necessário estocá-lo e distribuí-lo de forma a se adaptar às necessidades do setor de transporte. Em sua forma liquefeita – -253 °C – , ele ocupa um espaço 600 vezes menor do que em estado gasoso, e, por essa razão, ela é a utilizada no transportede grande quantidade do insumo.

Há duas possibilidades para se utilizar hidrogênio em veículos: motores de combustão interna e de células de combustível. Na primeira rota tecnológica, encontram-se montadoras como a BMW e MAN. Já na segunda, os maiores esforços até aqui foram feits pela Mercedes-Benz.

Os veículos elétricos movidos a bateria – em inglês, *Battery Electric Vehicles* ou *BEV* –, embora não emitam CO_2 no uso final, apresentam ainda problemas com relação ao seu custo e peso. Suas baterias ainda são muito mais pesadas do que um tanque de combustível e sua limitada capacidade de estocagem energética restringe a autonomia veicular. Resta, ainda, o problema do tempo de duração para recarga, que leva várias horas, ao invés dos poucos minutos necessários para se encher um tanque de combustível líquido.

Ao contrário dos motores elétricos, que são baratos e possuem alta durabilidade, as baterias apresentam baixa durabilidade e são vendidas a preço bastante elevado. Além disso, a recuperação da energia cinética da frenagem exige que elas nunca estejam completamente carregadas, alcançando até cerca de 60% da carga total, o que limita ainda mais a durabilidade.

Desta forma, não é de se admirar que os principais esforços do desenvolvimento dos veículos elétricos se concentrem nas baterias. Além do desenvolvimento tecnológico – desempenho, segurança e durabilidade –, é necessário se planejar também sua produção em escala industrial.

Entre as tecnologias existentes, as baterias de metal-hidreto metálico (Ni-MH) possuem pelo menos o dobro da densidade energética daquelas de chumbo ácido, o que lhe confere uma autonomia de 100 km. Além disso, são capazes de operar em temperaturas externas de 10 °C a 50 °C e ser recarregadas em períodos de três a seis horas, suportando até 2.000 ciclos de carga e recarga. Lançadas em telefones celulares e computadores portáteis, as baterias de íon de lítio equipam atualmente os veículos elétricos denominados de alto desempenho. Possuem densidade energética duas vezes maior que as NI-MH, o que se traduz em autonomia superior a 200 km e peso de 200 a 250 quilos (kg). Entretanto, sua confiabilidade ainda necessita maiores estudos.

Outro dispositivo capaz de acumular energia que tem sido aplicado em veículos híbridos são os ultracapacitores. Capazes de acumular muito rapidamente uma grande quantidade de carga elétrica – recuperada na hora da frenagem, por exemplo –, para liberá-la posteriormente de maneira instantânea, acumulam porém, apenas uma quantidade mínima de eletricidade – de três a quatro watts horários por quilo (Wh/kg) em cada capacitor. Em contrapartida, podem oferecer essa eletricidade instantaneamente, com picos de potência consideráveis. Além disso, eles são recarregáveis em algumas dezenas de segundos. Suportam até um milhão de ciclos de carga e descarga.

Há também no mercado, veículos híbridos *plug-in* com baterias de porte médio.

3.3.3. CONTEXTO GEOPOLÍTICO, ECONÔMICO E SOCIAL ASSOCIADO A MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO_2

O contexto associado à mitigação de emissão de CO_2 está intrinsecamente ligado ao vigor econômico das nações, pois são os países mais industrializados e membros do G-7 que estão no topo da lista dos dez maiores emissores de poluentes atmosféricos do mundo no que tange ao setor de transportes.

Verifica-se que, a energia consumida no transporte de carga e passageiros cresce contínua e gradativamente, acompanhando, no mínimo, as taxas de crescimento do PIB e as rendas per capita dos países (EPE, 2010b). O Brasil é um emergente da economia mundial e segue a tendência internacional. No entanto, por conta do uso de biocombustíveis, as taxas de crescimento das emissões de CO_2 do País são inferiores às contabilizadas pelos demais.

Existe, há muito tempo no Brasil, base legal que, em tese, poderia apreciar os aspectos relacionados ao problema da emissão de CO_2 no setor de transportes. A Constituição Federal e as leis de números 6.938/1981 – que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente – e 10.257/2001 – o Estatuto das Cidades – apresentam mecanismos que poderiam ser direcionados para a mitigação do poluente emitido por transportadores (Brasil, 1988; 1981; 2001c). Por exemplo:

- a exigência da garantia do ar limpo, da realização de estudos de impactos ambientais e relatórios de impactos ambientais (EIA/RIMA) para o licenciamento de atividades de transporte,
- a realização de estudos de impacto de vizinhança (EIV),
- a obrigatoriedade de elaboração de planos diretores paracidades com mais de 20.000 habitantes e, ainda,
- a possibilidade de implementação de planos de operação urbana consorciada, que poderiam otimizar as redes de transporte urbanos e minimizar o consumo de energia e as emissões de CO_2.

Porém, esta base legal tem se mostrado pouco efetiva para atuar na mitigação da emissão de CO_2, pois não trata da questão do meio ambiente focada na dimensão das mudanças do clima, muito menos na compreensão de que o binômio energia e mobilidade urbana está relacionado com a dimensão emissora de CO_2 nas urbes. Nada – ou quase nada– se apreende dos dispositivos analisados quanto à preocupação com esse problema específico, embora o Estatuto da Cidade seja posterior à Declaração do Rio/92 sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – fruto da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, ocorrida no Rio de Janeiro, em junho de 1992 e a assinatura da Convenção-quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC).

Recentemente surgiu uma legislação cujo foco se volta com maior intensidade sobre o problema do CO_2. Trata-se dos seguintes textos legais:

- o Decreto nº 5.445/2005, que promulgou no Brasil os termos firmados pelo País em relação ao Protocolo de Quioto (Brasil, 2005)
- e as leis de números 12.187/2009, referente à PNM C, 12.114/2009, que instituiu o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC) e 12.351/2010, que criou o Fundo Social com recursos da exploração das jazidas das camadas pré-sal da plataforma marítima do litoral do País (Brasil, 2009c; 2009e; 2010a).

Esse conjunto de leis e decreto parece instituir mecanismos financeiros, econômicos, creditícios e tributários, que podem servir para financiar a mudança para uma economia de baixo carbono – em especial, as relacionadas ao financiamento da mobilidade urbana, que efetivamente possam agir no sentido de mitigar as emissões de CO_2, pois, em parte, foram estabelecidas e consideram recursos para este fim.

Em termos de compromissos oficiais com as Nações Unidas, ainda que o Brasil não seja obrigado a reduzir suas emissões de GEEs, esforços têm sido feitos para se estabelecer um padrão de desenvolvimento sustentável. Ações de mitigação dos impactos causados por vários setores foram propostas para desviar a tendência de crescimento de consumo de energia para um modelo que utilize menos combustíveis fósseis (Alvim e Vargas, 2009).

Metas para o setor de transporte brasileiro estão previstas no acordo firmado na COP15 e constam

na PNMC (Brasil, 2009c), prevendo até 2020 um aumento na participação dos biocombustíveis na matriz energética dos transportes, que deverá reduzir 0,4% a 0,6% do volume de emissões de CO_2eq (EPE, 2010b). Inclusive, se consideradas as projeções previstas no PNE para 2030 – o PNE-2030, publicado em 2007 pela EPE –, o aumento do uso de biocombustíveis deverá evitar a emissão d 85,5 milhões de toneladas de CO_2eq em uma década, ou seja, de 2010 a 2020.

Ainda que, no Brasil, o setor de transportes seja o maior usuário de petróleo, responsável pela demanda de mais de 50% dos seus derivados, ele é o que possui a matriz energética mais renovável do mundo, em função do uso de bioetanol e biodiesel (EPE, 2010b). Já em 2009, a participação dos biocombustíveis no transporte rodoviário atingia 78% do previsto pelo PNE-2030 (EPE, 2007) para todo o setor em 2030.

Segundo o PNE-2030, com relação a aspectos sociais, ainda que a produção de biocombustíveis no País seja significativa e gere atualmente mais de um milhão de empregos na área rural com prespectiva de 70% de crescimento até 2020, ela tem tido questionada a dignidade das colocações que o setor sucroalcooleiro gera. Historicamente, este é marcado pela exploração do trabalho sazonal. Cortadores de cana-de-açúcar têm sofrido cada vez mais com seus salários estagnados e desemprego, devido ao crescimento da mecanização da colheita (UNEP, 2008).

Apesar da privilegiada posição brasileira quanto a sua riqueza energética – tanto renovável quanto fóssil – diante dos crescentes recursos ainda inexplorados na camada pré-sal da plataforma marítima no litoral do País, é imprescindível aumentar a eficiência do setor, a fim de reduzir o desperdício de energia e recursos naturais.

Nesse sentido, outras políticas, leis e normas nacionais têm também grande repercussão nas emissões pelo sistema de transportes:

- os padrões de emissões veiculares fixados pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente – (CONAMA), que, por enquanto, não abrangem o CO_2;
- as normas sobre combustíveis detemirnadas pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), notadamente as misturas – os *blends*, no termo em inglês – obrigatórias de óleos biodiesel no óleo, as especificações do primeiro e do etanol e a remoção do enxofre ao último óleo que é pre-requisito, inclusive, para a adoção novas tecnologias veiculares no País;
- a regulação que influi na tarifação e, consequentemente, no custo da energia elétrica para uso em transportes coletivos;
- os diversos mecanisos de políticas fiscal e tributária, como por exemplo, a utilização da Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico CIDE-Transportes ou a possibilidade de se criar subsídios cruzados para o uso de opções menos poluidoras e mais eficientes;
- a regulamentação de produção e consumo – de energia elétrica, combustíveis, equipamentos e veículos –, promovendo rápida renovação de equipamentos ineficientes;
- a regulamentação de trânsito, como é o caso da inspeção veicular de segurança;
- a integração do PBEV, que é regulado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), ao Programa Nota Verde, regulado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), tornando-os, assim, compulsórios; e,
- a inclusão dos veículos a diesel no âmbito do PBEV.

3.3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES

O Brasil apresenta potencial de mitigação de emissões de dióxido de carbono no setor de transportes, principalmente por ter nele uma matriz desequilibrada que enfatiza o modo rodoviário, tanto para cargas quanto para passageiros. A transferência modal pode trazer reduções consideráveis no consumo de energia e, consequentemente, no volume de CO_2 a ser emitido.

Algumas tecnologias que ainda não foram implementadas nos veículos fabricados no Brasil

também compõem futuro de mitigação potencial se adotadas, uma vez que, além de já existentes, foram devidamente implementadas em outros países. Há, ainda, a possibilidade de se melhorar a qualidade dos combustíveis e/ou a utilização de biocombustíveis de diferentes fontes, pois o País possui grande potencial de recursos como terra e tecnologia para a produção dos mesmos.

No caso específico do transporte de passageiros, é possível ainda, adotar-se incentivos para a utilização de meios não motorizados de locomoção, bastando para isso, que se tenha a infraestrutura adequada para o emprego de veículos específicos.

Com relação aos riscos tecnológicos, às incertezas ambientais e à aceitação social, cita-se as questões de concorrência dos biocombustíveis com a produção de alimentos – entre açúcar e etanol ou entre a soja e o biodiesel, por exemplo.

Outra questão a ser observada é a do desmatamento para plantio de cana-de-açúcar e oleaginosas com vistas à produção de biodiesel (Domingues, 2010).

Por fim, há o caso do cultivo das matérias-primas para a produção de biocombustíveis distante dos centros consumidores. Enumera-se ainda, no rol das preocupações sobre o tema, os custos da adequação da defasada infraestrutura para o transporte de carga em todo território nacional.

As ações mitigadoras citadas neste capítulo trazem cobenefícios, vantagens e desvantagens. A substituição modal para o transporte de cargas – do rodoviário por modos de maior capacidade – não somente melhora o tráfego nas cidades como também aumenta a qualidade de vida da população (Demir *et al.*, 2011).

Para a adoção de processos de mitigação na área de transportes, existem tanto barreiras quanto oportunidades tecnológicas, físicas, financeiras, institucionais, culturais e jurídicas. Destaca-se aí, o entrave social para a substituição do modo rodoviário por outros no transporte de carga, devido ao fato de que grande parte dos motoristas são autônomos, o que poderia desequilibrar, no curto prazo do processo de transferência modal, níveis de emprego e renda altamente dependentes dessa atividade em algumas regiões do País.

Outra questão que se impõe é a da renovação da frota de veículos, que exige ações para se dar o destino correto às unidades descartadas, tirando-as de circulação e transferindo os resíduos corretamente.

O fato de existirem poucas pesquisas realizadas no Brasil que apresentem dados relacionados ao consumo de energia e aos fatores de emissão do setor de transportes, assim como informações reais sobre sua operação, constitui-se em barreira que impacta diretamente os estudos relacionados ao meio ambiente.

Por fim, deve-se considerar os aspectos relativos ao desenvolvimento sustentável e os comportamentais. Em alguns casos, não seria suficiente prover o Pais com infraestrutura adequada e veículos mais eficientes e de alta tecnologia. Faltaria ainda, a disponibilidade de informações para a população – inclusive, para as empresas –, que precisaria mudar seus hábitos de locomoção de forma a usar da melhor maneira possível os recursos à disposição, adquirir unidades veiculares certificadas e com maior eficiência energética, exigir combustíveis de maior qualidade, realizar manutenções dos meios de transporte na periodicidade correta além de priorizar sempre, os modos mais adequados ao meio ambiente.

3.4. AS EDIFICAÇÕES E SEU ENTORNO CONSTRUÍDO

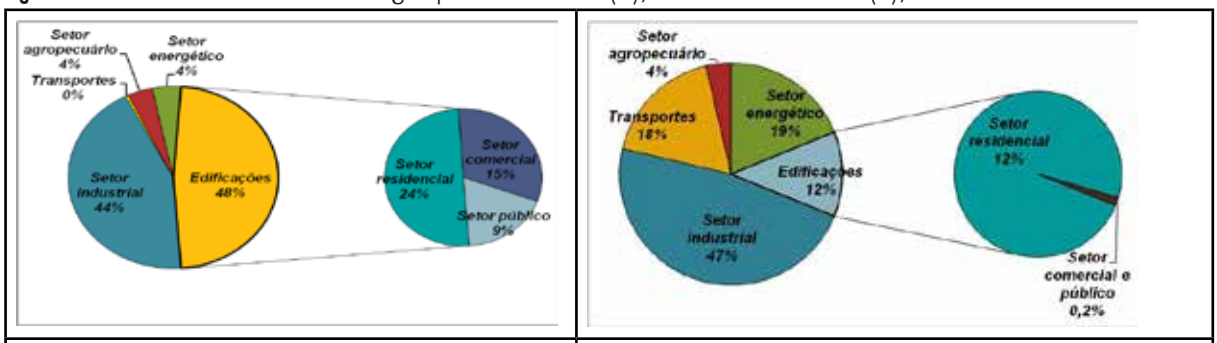
INTRODUÇÃO

De toda a energia produzida no mundo, a atividade industrial consome aproximadamente 51,8%, seguida pelo parque edificado, que absorve cerca de 21,6% e o setor de transportes, com participação consumidora de 26,6%. (*EIA*, 2011). O consumo de energia das edificações tem crescido mundialmente e, como boa parte dela provém direta ou indiretamente de combustíveis fósseis,esse segmento reponde por grande parte das emissões GEE, cerca de 36% das emissões de CO_2 relativas ao consumo total de energia.

Conforme a *U.S. Energy International Administration* (*EIA*), há uma tendência de crescimento no consumo energético da ordem de 30% até 2030, em estimativa feita com base em dados de 2006 (*EIA*, 2011). No caso do Brasil, em 2010, a indústria, incluindo a agropecuária, consumiu 38,9% do total de energia utilizado pelo País, o parque edificado – soma dos segmentos residencial, comercial e público – respondeu por cerca de 15% e o setor de transportes contribuiu com a fatia de 28,3% (EPE, 2010b).

Entretanto, com relação à eletricidade, o parque edificado foi o maior consumidor naquele ano (47,6%), ultrapassando o setor industrial. Quanto a consumo de biomassa, é o 4° maior consumidor, sendo a maior parte lenha usada para cocção no setor residencial.

Figura 3.19: Consumo final de energia por setor– em (A), eletricidade e em (B), biomassa

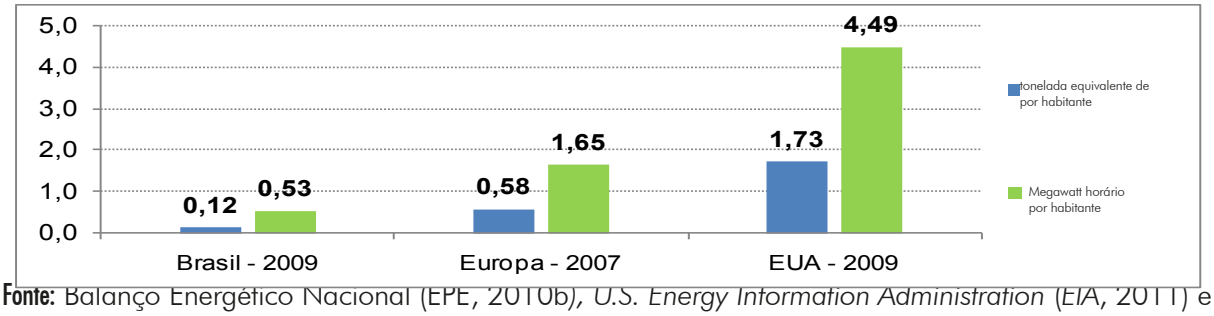


A	B

Fonte de dados: Balanço Energético Nacional (EPE, 2010b)

No setor residencial, há uma diferença marcante em termos de consumo de energia elétrica entre as regiões brasileiras. A Região Sudeste concentra mais da metade do consumo nacional – 53,6% – e 45,1% do consumo de gás liquefeito de petróleo (EPE, 2010b). Entretanto, o consumo final energético no setor residencial brasileiro, de acordo com o Balanço Energético Nacional, pode ser considerado baixo, quando comparado ao consumo energético do setor residencial europeu ou americano, como mostrado na Figura 3.20.

Figura 3.20 Consumo final de energia e eletricidade por habitante pelos setores residenciais brasileiro, europeu e norte-americano



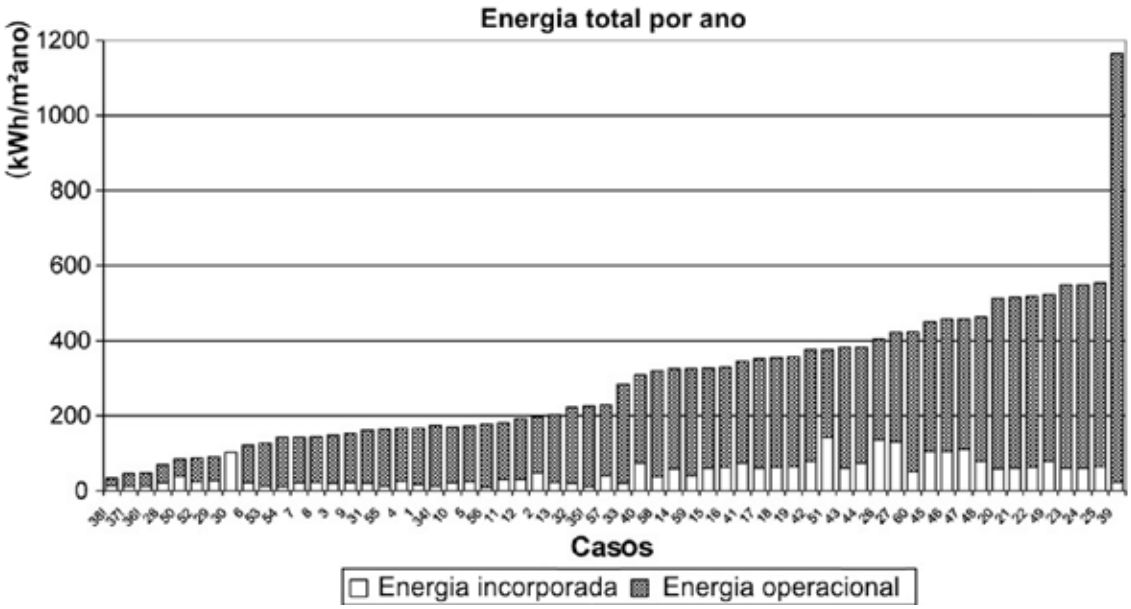
Fonte: Balanço Energético Nacional (EPE, 2010b), *U.S. Energy Information Administration* (*EIA*, 2011) e *U.S. Census Bureau*, (2009)

3.4.1 CONSUMO ENERGÉTICO DAS EDIFICAÇÕES BRASILEIRAS

As edificações demandam energia para iluminar ambientes internos, manter certos níveis de conforto ambiental dos usuários e para o funcionamento de diferentes equipamentos. Embora a aquisição e o acionamento destes últimos dependam diretamente de escolhas dos usuários, o consumo de energia para iluminar e propiciar conforto aos ambientes estará diretamente relacionado à forma como se construiu os edifícios. Por isso, decisões tomadas na fase de projeto podem contribuir para uma redução de até 50% na demanda por energia[35].

A revisão realizada por Sartori e Hestnes (2007) em mais de 60 exemplares localizados em nove países demonstrou que é durante a operação que ocorre a maior parte da demanda por energia durante o ciclo de vida de um edifício, conforme representado neste subcapítulo na Figura 3.2.1. Também foi demonstrado que há relação linear entre o consumo de energia total ao longo de sua vida e o consumo operacional, o que se mostrou válido para todos os casos estudados, independentemente de clima e outras diferenças contextuais.

Figura 3.21 Consumo normalizado de energia nos 60 casos estudados



Fonte: Sartori e Hestnes (2007)

De acordo com Mascaró e Mascaró (1992), o maior consumo de energia das edificações brasileiras, particularmente as residenciais, não está no processo de produção, mas na utilização dos edifícios ao longo de sua vida útil. Na produção de um edifício habitacional padrão, o consumo energético total, tanto direto como indireto, foi estimado em 7,24 x 10^{-2} tep/m^2 – 0,0724 toneladas equivalentes de petróleo por metro quadrado – sendo 96,4% desse valor relativos à fabricação de materiais de construção; 1,38% devidos ao transporte de materiais para a obra; 1,24% consumidos na elevação e colocação de materiais durante a construção e 0,57% demandado para escavações e terraplenagem. Os dados de emissões da indústria do cimento, assim como informações sobre oportunidades de eficiência energética e de uso de materiais, serão apresentados no subcapítulo 3.5. deste Relatório.

Os perfis de consumo energético das edificações típicas dos setores residencial, comercial e público são bem diferentes e podem influenciar a maneira de se projetar um edifício e se planejar o

[35] Informação disponível no sítio web Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (PROCEL Edifica): http://www.eletrobras.com/pci/main.asp. Acessado em maio de 2011.

desenvolvimento urbano. Assim, é importante observá-los em tais tipologias, de modo a se identificar as melhores oportunidades de racionalização do uso de energia, diversificação de sua matriz, integração de soluções passivas – aquelas que dispensam fontes convencionais para garantir conforto ambiental no interior de edificações – e tecnologias para a eficiência energética dos sistemas prediais.

A Figura 3.22. mostra o perfil de consumo de energia em edificações do setor residencial, considerando seus usos finais. Nela, se observa que as maiores demandas partem da refrigeração –uso de equipamentos, como geladeiras e congeladores –e do aquecimento de água – utilização de equipamentos de aquecimento de passagem, tais como chuveiros e pequenas caldeiras armazenadoras elétricas – conhecidas pelo termo inglês *boilers* – para banheiros.

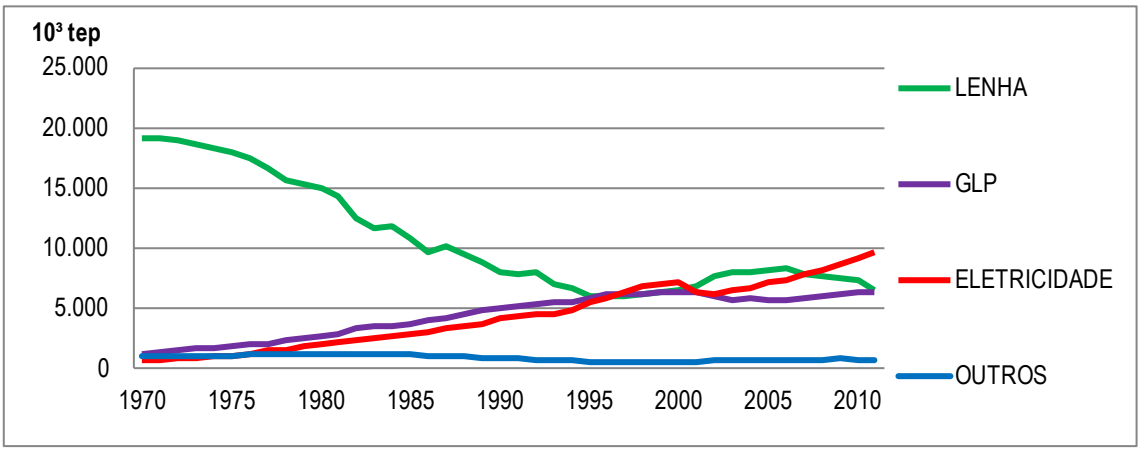
Figura 3.22: Consumo desagregado por uso final de energia pelo setor residencial.

Fonte: Elaboração própria com base em Jannuzzi e Schipper (1991), Pereira (2002) e adaptado de Procel (2007)

Com a crise de abastecimento de eletricidade ocorrida em 2001, houve uma mudança de hábitos da população na direção do uso de lâmpadas mais eficientes e por tempo menor, além do desligamento de congeladores. A substituição de geladeiras e outros eletrodomésticos por modelos de maior eficiência lançados ao mercado com o Selo Procel Eletrobras de Economia de Energia também contribuiu para a diminuição do consumo.

Em contraposição, a utilização de aparelhos de ar condicionado apresentou expressivo crescimento em algumas regiões do País, tornando-se o terceiro maior consumidor entre os segmentos de uso neste setor. A evolução do consumo de energia em residências por cada tipo de fonte pode ser vista neste subcapítulo na Figura 3.23.

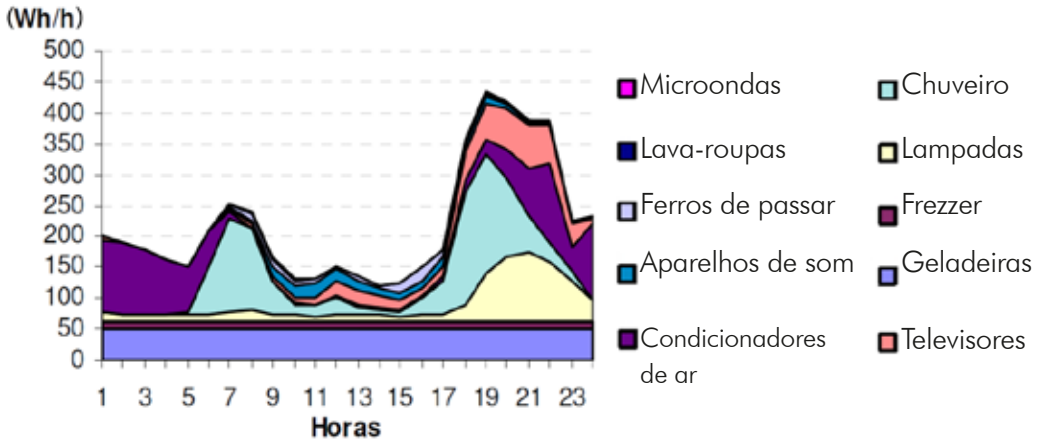
Figura 3.23 Evolução do consumo de energia pelo setor residencial.



Fonte: BEN 2010 (EPE, 2011)

Embora não seja o maior consumidor nacional de eletricidade, o setor residencial é o responsável pelo *maior impacto social* sobre o sistema brasileiro de energia, devido ao consumo para aquecimento de água para banho. O pico na curva de carga típico do sistema brasileiro ocorre próximo às 19 horas e se deve ao uso de chuveiros elétricos, conforme mostrado neste subcapítulo à Figura 3.24. Tal fato provoca um dimensionamento da oferta energética para atender o *horário de ponta*, causando ociosidade no sistema em outros períodos e risco maior de ocorrência do chamado *apagão* no referido período.

Figura 3.24 Curva da carga elétrica diária média pelo setor residencial brasileiro



Fonte: Procel (2007)

Há um grande potencial para a substituição da eletricidade como fonte principal de energia para aquecimento de água por alternativas igualmente renováveis, como a solar, cuja disponibilidade é abundante no território nacional. Desse modo, a diversificação da matriz energética da edificação deve ser considerada desde a etapa dos estudos preliminares à elaboração do projeto, definindo a correta orientação solar para o edifício ou alguns de seus componentes – como, por exemplo, a localização de uma cobertura –, de modo a permitir captação suficiente de energia por coletores e maximizar seu desempenho.

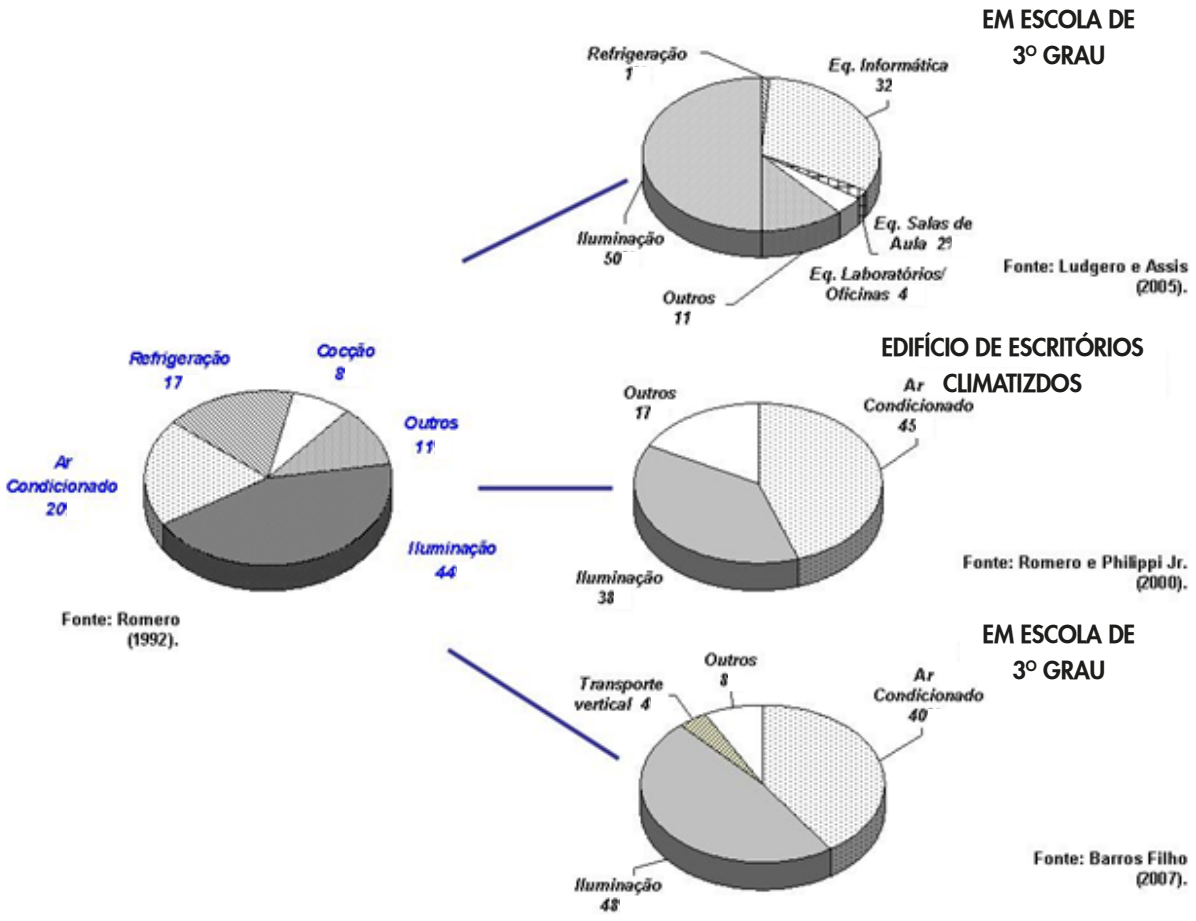
A Figura 3.25 representa neste subcapítulo, os perfis típicos de consumo desagregado de energia pelas edificações comerciais e públicas. Observa-se, de imediato, que eles

A são muito diferentes daquele das edificações do segmento residencial e

B) exibem grande variabilidade dentro do próprio setor.

De modo geral, se pode dizer que o maior consumo ocorre por conta da iluminação artificial quando não há uso de sistemas de climatização ambiental. Do contrário, o sistema de ar condicionado torna-se um importante consumidor de energia elétrica na edificação.

Figura 3.25 Consumo desagregado em percentuais de energia por usos finais nos setores comercial e público.



Fonte: elaborado pelos autores a partir de Barros Filho, 2007; Ludgero e Assis, 2005; Romero e Philippi Jr., 2000

Ao se observar os usos finais de energia, destaca-se a importância da concepção do projeto arquitetônico. Se bem feito, ele pode reduzir ou aumentar os ganhos de calor que passam pela envoltória do edifício – fechamentos e aberturas –, conforme a necessidade de aquecimento ou resfriamento de seus ambientes interiores.

Além disso, o projeto pode contribuir para a remoção do calor produzido pela ocupação interna sem consumo de energia por meio da ventilação natural, diminuindo a necessidade do uso de condicionadores de ar.

Quando integrado demais projetos prediais, o projeto arquitetônico pode auxiliar na substituição da iluminação artificial pela luz natural, reduzindo diretamente o consumo de energia elétrica e, indiretamente, o do condicionador de ar, em consequência da redução de carga térmica gerada por luminárias (Mascaró e Mascaró, 1992).

3.4.2. EMISSÕES DE GEES NAS EDIFICAÇÕES BRASILEIRAS

Os edifícios emítem, direta ou indiretamente, gases de efeito estufa ao longo de todo o seu ciclo de vida: da produção de seus materiais e componentes, passando pelo transporte dos mesmos, a construção propriamente dita, sua operação e manutenção ao momento de sua desmontagem final. Suas fontes das emissões incluem:

- o uso de combustíveis fósseis, na produção de uma infinidade de materiais, componentes e equipamentos, no transporte destes produtos e dos resíduos, na operação do edifício e em atividades domésticas como a cocção e o aquecimento de água;
- o uso de eletricidade nas fases de uso e, secundariamente, de construção;
- o emprego de madeira nativa que imponha redução do estoque de biomassa na superfície terrestre, seja para uso como material de construção ou combustível;
- a decomposição de carbonatos durante a produção de materiais de construção tais como cimento, aço, cal;
- a liberação de compostos orgânicos voláteis e seus insumos; e, ainda,
- a perda de gases de refrigeração, incluindo o CFC, como é o caso do DuPont™ Freon® 22, utilizado para aplicação em ar condicionado residencial e comercial de média e baixa temperatura, que por estar incluso no âmbito do Protocolo de Montreal não integram usualmente os inventários do Protocolo de Quioto.

No Brasil, há vários problemas para se estimar o volume emitido pelo setor de construção. Um dos problemas é o emprego pelas construtoras de materiais oriundos de diferentes cadeias industriais, como a madeira, o aço e o alumínio. A exceção ocorre no uso do cimento e da cerâmica quase que exclusivamente utilizados para obras de construção civil – ler o subcapítulo 3.5.

Além disso, muitas vezes, o produto utilizado na construção emite volumes equivalentes de CO_2 significativamente diferentes da média lançada por outros setores, como por exemplo, o como por exemplo, o aço. Outro problema importante é a informalidade existente tanto na construção civil como na fabricação de materiais, que pode superar 70%. A extração de madeira é bom exemplo disso, pois seu uso ilegal como combustível não aparece nas estatísticas de produção.

Devido a tais limitações, este subcapítulo apresenta, a seguir, o resultado das emissões durante a fase de uso dos edifícios, com base no Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (MCT, 2009) e no BEN (EPE, 2010b), cujos dados foram complementados por informações acerca dos lançamentos indiretos à atmosfera pela utilização de eletricidade calculadas a partir daquelas fornecidas pelo Balanço Energético Nacional de 2005 (EPE, 2010b), que informou as médias referentes aos anos de 2006 a 2010.

O fator utilizado no cálculo das emissões foi de 0,036135 kg/kWh – ou 0,42 gigagramas por 10.000 toneladas equivalentes de petróleo – (Gg/10^3 tep) uma vez que o de emissão de CO_2 da eletricidade brasileira não está disponível no sítio web do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) para o ano de 2005 e que o valor aqui citado é compatível com aqueles dos anos posteriores (MCTI, s.d.).

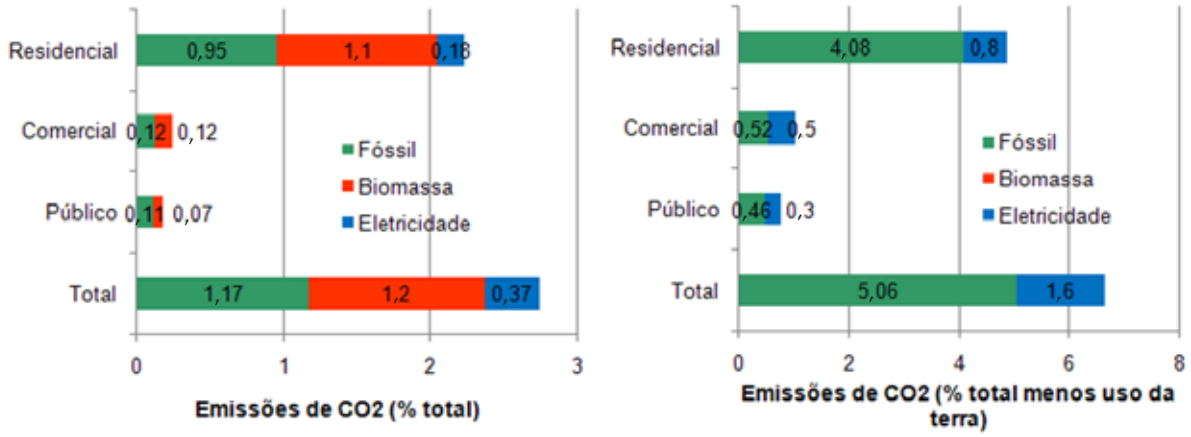
3.4.2.1 EMISSÕES NO USO DAS EDIFICAÇÕES

As principais emissões na fase de uso dos edifícios estão associadas à utilização de energia, o que inclui não só eletricidade, mas também combustíveis empregados nas atividades de cocção, aquecimento de água para fins diversos e, até mesmo, para geração de eletricidade. Os dados do Inventário Nacional e do BEN (EPE, 2010b), conforme representados à Figura 3.26., permítem estimar que a operação dos edifícios brasileiros é responsável por 2,8% do volume de GEEs emitidos pelo País admitindo-se que 50% da biomassa queimada como fonte de energia, sobretudo na cocção, não é renovada. Retirada a biomassa, as emissões dos edifícios se reduzem a 1,6% do total nacional.

O segmento residencial é responsável por cerca de 80% das emissões dos edifícios, sendo que a energia para cocção – derivada do gás e da lenha – responde por 90% dessa fatia –ou 22% no caso exclusivo do gás. Já os edfícios públicos e comerciais são responsáveis por apenas 20% do total emitido pelo parque edificado. Ainda que nestes, o emprego de combustíveis fósseis seja menor, tem crescido por conta da instalação de geradores em edifícios privados.

Portanto, a economia de eletricidade não é uma prioridade do ponto de vista da redução das emissões de GEEs em edificações no País[36].

Figura 3.26 Participação das emissões equivalentes em CO_2 por segmentos da edificação brasileira nos volumes totais conforme fonte enrergética.



Obs.: Fontes energéticas expressas à esquerda, como fração do volume total de emissões e, à direita, como porcentagem desse total excluído o lançado por mudança no uso da terra e desmatamento – do qual, por coerência, se retirou o relativo à lenha

Fonte: de la Rue du Can e Price, 2006; Levine *et al.*, 2007.

Os valores constantes da Figura 3.26. são de ordem de grandeza inferior às estimativas globais, que atribuem ao uso dos edifícios 25% do volume das emissões de CO_2 (de la Rue du Can e Price, 2006; Levine *et al.*, 2007). Tal diferença pode ser atribuída a dois fatores primordiais:

A) a baixa intensidade em CO_2 da energia elétrica brasileira (MCT, 2009) e

B) o baixo uso de energia no condicionamento artificial dos edifícios.

A tendência futura é de crescimento de emissões de dióxido de carbono à atmosfera, associadas ao uso energético, como se lê à seção 3.4.3. deste subcapítulo. Não é certo que a baixa intensidade em CO_2 da energia elétrica brasileira seja mantida no longo prazo.

Adicionalmente, espera-se que o consumo médio mensal de eletricidade de uma residência no Brasil passe, de 138 kWh/mês em 2005, para algo entre 245 a 308 kWh/mês, dependendo do cenário futuro considerado (EPE, 2007). Crescimento similar é esperado para os demais segmentos de edificação. Um dos fatores para tanto, é o uso mais frequente de condicionadores de ar já evidenciado no mercado, que implica aumento de consumo de eletricidade e de emissões derivadas do eventual vazamento de seus fluidos refrigerantes.

3.4.3. CENÁRIOS FUTUROS DE USO DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES

A retomada do planejamento de longo prazo energético e habitacional no Brasil aconteceu praticamente de forma concomitante a partir das iniciativas dos ministérios de Minas e Energia(MME) e das Cidades (MCidades), com o lançamento do Plano Nacional de Energia (PNE) pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2007) e do Plano Nacional de Habitação (PlanHab), publicado em 2009.

O PNE trata de projeções, tendo 2030 como horizonte, para consumo final de energia, dos

[36] Os valores de intensidade de CO_2 utilizados no inventário de emissões são valores médios. No entanto, a eletricidade consumida no horário de pico da demanda, onde as térmicas entram com toda a força, é mais impactante que o aqui estimado.

combustíveis e das formas de energia, além de questões de inovação e eficiência energética nos diferentes setores consumidores de energia, o que inclui (i) o residencial e (ii) o comercial, serviços e público.

O plano aponta para o crescimento da participação da eletricidade na matriz energética brasileira e denomina esse fato *vetor de modernidade*. Vale destacar que a razão aventada para tanto é o aumento do consumo justamente por edificações, devido ao número crescente de consumidores associado à elevação de nível de consumo pelos edifícios.

Observa-se a projeção de queda de intensidade energética do PIB e da indústria em três dos quatro cenários econômicos analisados pelo PNE. Esta queda está relacionada à transformação do perfil de atividade do País, no qual a base industrial se contraiu em contraposição à expansão dos serviços, afetando diretamente o consumo de energia.

As projeções relacionadas à eficiência energética das edificações indicam estreita relação entre o desempenho econômico do País e as expectativas de conservação de energia. O cenário mais otimista aponta para um índice de 12,2% por parte do segmento residencial e, o mais pessimista, para 6,1%. Os edifícios de de comércio, serviços e públicos tenderiam a conservar entre 8% e 3,3%. De acordo com o PNE, isso seria possível devido à melhoria de eficiência dos equipamentos e eletrodomésticos.

Já no setor residencial, a maior contribuição ocorreria no uso final de refrigeração, por conta da substituição de antigas geladeiras por novas, mais eficientes. Entretanto, merece destaque, no que toca às residências, as projeções de conservação de energia por condicionadores de ar. O PNE projetou uma tendência de aumento de posse desses equipamentos e previu, para o cenário econômico mais otimista, sua inserção em 30% das residências do País, patamar hoje equivalente ao observado na região metropolitana do Rio de Janeiro (EPE, 2007). Porém, quando se trata da conservação de energia para esse uso final, o relatório afirma haver potencial pequeno, pois, devido às características do mercado brasileiro, a maior parte das residências contará com equipamentos com eficiência satisfatória. Por essa razão, o Plano desconsidera o papel das edificações em si como forma de melhorar a eficiência energética neste setor.

O PlanHab é considerado um dos mais importantes instrumentos para a implementação da Política Nacional de Habitação. De acordo com o Ministério das Cidades (MCidades, 2009), ele:

> (...) é parte de um processo de planejamento de longo prazo para o setor habitacional, que pressupõe revisões periódicas e articulação com outros instrumentos de planejamento orçamentário-financeiro do Governo Federal, como os planos plurianuais, permitindo que suas metas de produção física e de avanços institucionais possam estar associadas ao planejamento dos recursos necessários para sua cobertura e tendo o ano de 2023 como horizonte final para a elaboração de estratégias e de propostas.

Esse plano apresentou desenho institucional do sistema nacional da habitação, definindo o papel dos agentes públicos e privados. Mostra a demanda atual por moradias e faz uma projeção para a demanda até 2023. Desenvolve também, estratégias para atingir as metas, inclusive através de previsões de recursos e suas origens. Suas metas estão relacionadas com os seguintes aspectos:

- financiamento e subsídios;
- arranjos institucionais;
- acesso a terra urbanizada e regularização fundiária e
- cadeia produtiva da construção civil.

São, ao todo, 25 metas, mas nenhuma delas faz menção ao desempenho energético dessas novas habitações.

Confrontando-se os dois planos, verifica-se que a integração ressaltada por ambos não ocorreu,

de fato. Basta, para tanto, observar a projeção do número de domicílios em 2030 feito pelo PNE e as metas de total moradias elaboradas pelo PlanHab para 2023. Enquanto este último persegue produzir 34,9 milhões de novas unidades habitacionais, afirmando ser suficiente para atender à nova demanda e ao déficit existente, o PNE prevê que haverá um aumento de cerca de 30 milhões de domicílios em 2030 em relação ao total verificado em 2005.

A abordagem desses dois planos tem em comum a desconsideração da edificação como artefato que interfere no consumo e, consequentemente, na demanda energética nacional. Uma maior aproximação desses planejadores possibilitaria avanços importantes.

Por um lado, o planejamento habitacional conheceria o impacto de suas metas de construção de novas unidades habitacionais sobre a matriz energética brasileira e, assim, se tornaria mais sensível ao estabelecimento de metas relacionadas ao desempenho das edificações nesse aspecto. Por outro, o planejamento energético teria condições de desenvolver previsões de demanda, conservação e oferta, com base em números de unidades consoantes com as expectativas da política habitacional.

Além disso, seria possível incluir a edificação como elemento importante para o desempenho energético dos segmentos residencial e comercial.

A falta de integração durante a criação de planos direcionadores tende a se repetir em outros níveis de planejamento e esferas de governo. Como exemplo, é possível citar as legislações municipais que têm surgido em algumas cidades do País como São Paulo – em 2007 e 2008 –; Porto Alegre – em 2006 –; Belo Horizonte – em 2007 –; Curitiba em 2006 e 2007 –; Campo Grande – em 2007, obrigando ou criando incentivos para a instalação de sistemas de aquecimento *termossolar* para água em residências.

Em todos esses casos, percebe-se claramente a intenção de aumentar a produção de energia gerada por fontes renováveis e reduzir emissões de carbono. Porém, em nenhum deles, se observa associação dessa legislação com a lei de uso e ocupação do solo urbano para se garantir o mínimo de horas de sol necessárias à operação satisfatória de tais sistemas. Assim, não se pode ter certeza de que eles funcionarão conforme os desempenhos técnico e econômico definidos em projeto.

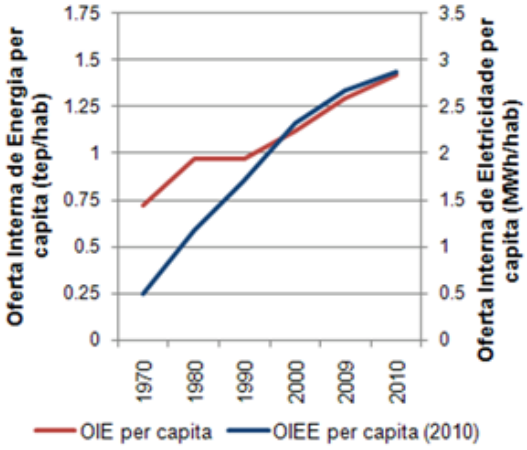
A respeito dos investimentos previstos nos planos, não há nenhum objetivamente destinado à melhoria do desempenho energético de edificações. Como já foi dito neste subcapítulo, o Planhab não trata do assunto e o PNE não considera a edificação um elemento passível de ter sua eficiência melhorada.

Por fim, vale comentar que a característica do planejamento de longo prazo é a continuidade do processo. Desse modo, espera-se que o amadurecimento de abordagens como as aqui tratadas promova maior integração entre áreas tão importantes para o crescimento do País e a qualidade de vida de seus habitantes.

3.4.3.1 CRESCIMENTO ECONÔMICO, REDUÇÃO DA POBREZA E EMISSÕES DE GEE

Nos últimos anos, o crescimento econômico e a estabilização da economia contribuíram para o crescimento da renda familiar média brasileira, causando maior posse de bens pela população, o que aumentou o consumo de energia elétrica *per capita* no segmento residencial. Conforme representado na Figura 3.27, o Brasil tem atravessado processo contínuo de expansão de consumo de energia e eletricidade *per capita*.

Figura 3.27: Evolução da oferta interna de energia (OIE) *per capita* e da oferta interna de energia elétrica (OIEE) *per capita* no Brasil



Fonte: Adaptado de BEN (EPE, 2011)

Barros *et al.* (2011) afirmaram, com base em dados do IBGE, que o índice da população brasileira abaixo da linha da pobreza extrema – definida em renda de R$ 70 mensais *per capita* pelo Banco Mundial – estava próximo de 8,4% em 2009. Em 1993, no auge da hiperinflação no País, ficou em 22,9%. O acentuado crescimento na renda dos mais pobres resulta de foco melhor das transferências públicas, em particular do Programa Bolsa Família (PBF), e de transformações demográficas, como a queda da taxa de fecundidade, que reduziram reduziram o tamanho das famílias de menor renda. Outro fator importante foi a inserção produtiva desse contingente populacional contribuindo para a expansão de seu poder aquisitivo *per capita* (Barros *et al.*, 2011).

Era de se esperar que essa população, ao melhorar seu padrão de vida, adquirisse bens de consumo duráveis, contribuindo, quase inevitavelmente, para um volume maior de emissões de GEEs. Entretanto, conforme discutido por Morello *et al.* (2011), essa associação entre os dois aspectos – qualidade de vida melhor igual a mais gases lançados à atmosfera –não é necessariamente válida para todos os itens constitutivos do que se entende, concretamente, pelo primeiro conceito.

Isso decorre do consumo de lenha que, de acordo com esses autores, é inversamente proporcional à renda familiar – o mesmo valendo para o carvão vegetal, empregado na cocção. Esses dois combustíveis respondem por parte significativa das emissões mundiais de GEEs. Assim, a substituição do primeiro por GLP ou gás natural reduzirá o comportamento emissor de gases por parte das famílias mais pobres.

Morello *et al.* (2011), mostraram, ainda, que o conteúdo de carbono para atender às necessidades dos usuários do segmento residencial pode ser muito variado, conforme a classe de renda. No caso dos combustíveis domésticos, a transição da lenha para outros insumos energéticos tem como resultado a simultânea elevação da qualidade de vida e a redução do volume de emissões de GEEs. Com base em dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares – conhecida pela sigla POF e referente aos anos 2002 e 2003 –, esses autores demonstraram que, apenas a partir de um nível de renda mensal superior a R$ 1.600,00, é que o patamar de CO_2 emitido pelas famílias com renda mensal menor que R$ 400,00 é ultrapassado. Assim, no Brasil, com relação ao comportamento emissor do segmento residencial associado ao consumo de energéticos, prevalece a situação em que muitos lançam pouco gás carbônico à atmosfera e poucos emítem muito (Morello *et al.*, 2011).

3.4.4. OPÇÕES DE MITIGAÇÃO DE EMISSÕES EM EDIFÍCIOS E EQUIPAMENTOS

3.4.4.1 PRINCÍPIOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética em edifícios implica estratégias de redução da demanda por eletricidade para prover conforto ambiental. Em uma dada edificação, o consumo para obtenção de conforto térmico está relacionado ao total anual de horas em que o usuário se sente confortável, ao desempenho da envoltória quanto a esse aspecto e à eficácia da ventilação natural. O consume energético para iluminar se relaciona à disponibilidade de luz natural interna nas edificações e à ausência de incidência excessiva de radiação solar direta. São aspectos tradicionalmente discutidos em pesquisas voltadas a questões relativas ao conforto tanto térmico quanto luminoso e, mais recentemente, naquelas que investigam a eficiência energética em edifícios.

Atualmente, as principais pesquisas realizadas sobre eficiência energética de edificações têm utilizado a simulação computacional como ferramenta para análise de desempenho. Essa abordagem se baseia em modelos matemáticos para representar fenômenos complexos e averiguar seus impactos. É especialmente útil para se conhecer o desempenho *termoenergético* de edificações, nosquais muitas variáveis se relacionam.

Mendes *et al.* (2005) compilaram as pesquisas relacionadas à simulação de desempenhos térmico e energético de edificações no Brasil desde a década de 1980. Apontaram que as ferramentas utilizadas se refereriam tanto a códigos antigos, quanto a programas mais sofisticados e detalhados desenvolvidos no exterior. E ressaltaram que, no Brasil, ainda se concentra em instituições de ensino e pesquisa a prática de simular, com pouca transferência dessa tecnologia para o setor privado.

De acordo com tais autores, o desenvolvimento de ferramentas nacionais ainda é pouco expressivo, podendo-se destacaros seguintes modelos:

- UMIDUS, que simula a transferência de calor e umidade em estruturas porosas e
- SPTE, que estima o desempenho térmico de componentes construtivos, ambos desenvolvidos no Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas (LMPT) da Universidade Federal de Santa Catarina;
- DOMUS, em desenvolvimento pelo Laboratório de Sistemas Térmicos da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, que simula o desempenho higrotérmico e energético de edificações;
- ARQUITROP, desenvolvido na Universidade Federal de São Carlos na década de 1980 foi muito utilizado para a análise térmica de ambientes e comparação entre alternativas de projeto.

No Brasil, a simulação tem sido utilizada para avaliar o desempenho de diferentes estratégias energéticas e quantificar a redução do consumo de eletricidade delas decorrentes. Há exemplos nas áreas de ventilação e iluminação naturais, bem como de análise de desempenhos térmico e energético de edificações.

A determinação completa do desempenho térmico dos edifícios é feita por *softwares* mais complexos, capazes de considerar as diferentes cargas térmicas internas e externas no balanço balanço térmico dos ambientes de modo dinâmico. Atualmente, no País, esses programas são utilizados para se avaliar também o comportamento energético. Destaca-se o uso dos programas *EnergyPlus* (Didoné e Pereira, 2010, Carlo e Lamberts, 2010a e 2010b), *VisualDOE* (Ghisi *et al.*, 2005) e *TAS* (Marcondes *et al.*, 2010).

De modo geral, na área de eficiência energética, modelos numéricos e procedimentos experimentais têm sido utilizados para avaliar o desempenho energético de componentes e sistemas construtivos no Brasil. Já a simulação computacional por programas avançados tem sido usada para mensurar e otimizar o comportamento energético de projetos de edificação.

Em todos os trabalhos já citados neste subcapítulo, há um consenso de que essas são as melhores abordagens para a redução do consumo de energia nos edifícios frente à complexidade da questão e ao número de variáveis envolvidas. Além disso, os autores consideram que o estabelecimento de estratégias de desempenho prescritivas por tipo de clima é limitador e nem sempre conduz a consumo menor.

Contudo, procedimentos de medição e simulação são aplicados, geralmente, apenas em centros de ensino e pesquisa, permanecendo distantes da prática projetual dos escritórios de arquitetura. Além disso, há grandes lacunas de conhecimento no Brasil, no que se refere a dados fundamentais à elaboração de estudos do comportamento termo-energético de edificações.

Assim, ainda são poucos os materiais e sistemas construtivos utilizados na construção civil brasileira cujas propriedades higrotérmicas – referentes a umidade e calor – tenham sido medidas e disponibilizadas. Apesar de haver progressos na obtenção de dados climatológicos digitais e dos limites de conforto térmico e aclimatação regional, ambos esses tipos de informação ainda são escassos em relação à extensão do território nacional e sua diversidade climática.

3.4.4.2 SISTEMAS NATURAIS E ARTIFICIAIS DE ILUMINAÇÃO

Com relação ao uso da iluminação natural e seu potencial de redução de consumo de energia, Ferreira e Souza (2009) realizaram levantamento sobre publicações nacionais e internacionais acerca do tema. As autoras concluíram que são os sistemas de controle que determinam o potencial de economia e que, entre eles, a dimerização conjugada a sensores de presença apresentou maior resultado. Em contrapartida, esse mesmo sistema com controle individual associado ao sensor de presença exibiu o pior desempenho.

Na área de iluminação, os programas APOLUX (Bogo *et al.*, 2009, Pereira *et al.*, 2008; Leder *et al.*, 2008) e Radiance (Moura *et al.*, 2009) são utilizados para se estimar o potencial de aproveitamento da luz natural frente a diferentes contextos. Já para a avaliação integrada do desempenho luminoso e energético são utilizados os programas Daysim e EnergyPlus integrados (Didoné e Pereira, 2010; Carlo e Lamberts, 2010a e 2010b) e o VisualDOE (Ghisi *et al.*, 2005).

3.4.4.3 DESEMPENHO ENERGÉTICO DE ENVOLTÓRIAS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS

No que toca ao desempenho térmico de componentes construtivos, Castro *et al.* (2003), utilizaram análise espectro-fotométrica para determinar a refletância solar de diferentes tipos de tintas. Medições em campo também têm sido empregadas para definir parâmetros de avaliação de desempenho térmico e energético de habitações, e juntamente com a modelagem numérica, resolver o problema da transferência de calor na medição do comportamento de envoltórias (Grigoletti e Sattler, 2010; Specht *et al.*, 2010). Modelos numéricos foram também usados por Granja e Labaki (2004) para avaliar envoltórias em regime permanente.

Procedimentos experimentais têm sido adotados para se determinar o desempenho térmico de componentes ou partes de edificações – geralmente relacionados com a envoltória – e de zonas de conforto térmico locais. Essa última abordagem foi realizada para três para três cidades brasileiras: Natal (Araújo, 1996), Florianópolis (Xavier, 1999) e Belo Horizonte (Gonçalves, 2000).
Além das faixas de conforto estabelecidas pelos citados trabalhos, Candido *et al.* (2010) realizaram experimentos de campo em Maceió, para discutir a adequação dos limites de velocidade do ar para conforto definidos pelas normas ASHRAE 55 (ASHRAE, 2004) e ISO 7730 (ISO, 2005) ao caso brasileiro.

3.4.4.4 SISTEMAS DE VENTILAÇÃO E AR CONDICIONADO

Considerando a ventilação natural, os programas computacionais de dinâmica de fluidos têm sido utilizados para avaliar o potencial de estratégias atinentes a tal aspectoem climas quentes e úmidos. Exemplos de programas adotados no Brasil são o PHOENICS (Lôbo e Bittencourt, 2003; Bittencourt *et al.,* 2007; Trindade *et al.*, 2010) e o CFX 5.7 (Marcondes *et al*., 2010).

No Brasil, o condicionamento artificial de ar representa, em média, 20% do consumo total de eletricidade e a iluminação, 14% nas edificações de uso residencial (Procel, 2007). Já nos edifícios comerciais, esses valores sobem a 40% e 20%, respectivamente (Procel, 2008).

Com o crescimento do uso de ar condicionado – e como alguns fluidos têm potencial de efeito estufa 1.500 vezes superior ao do CO_2 –, o vazamento de fluidos pode representar parcela progressivamente importante do volume total emissões de GEEs. Políticas que estabeleçam não apenas critérios de eficiência energética mínima, mas também seu potencial de contribuição para as mudanças climáticas necessitarão ser desenvolvidas.

3.4.4.5 ECONOMIA DE ENERGIA POR *RETROFIT* DE EDIFICAÇÕES

No Brasil, o termo *retrofit* é utilizado para designar o conjunto de intervenções realizadas para recuperação de um bem e melhora de seu desempenho através da incorporação de novas tecnologias. Assim, o *retrofit* energético de edificações é feito por meio da modernização de sistemas de condicionamento de ar, de iluminação e, por vezes, de automação predial. Em geral, os autores brasileiros demonstraram que há grande potencial de redução do consumo pela via de *retrofiting*, o que será apresentado nesta seção.

Lamberts *et al.*, em 1997, alcançaram redução de 28% no consumo de energia do edifício sede da Eletrosul, em Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina, graças a alterações no sistema de iluminação e troca dos resfriadores de líquido do sistema de ar-condicionado. Apesar do alto investimento inicial, os autores comprovaram que o tempo de retorno do mesmo ficaria ao redor de dois anos e meio.

Leme Filho e Bacellar (2009) propuseram a adoção de um novo sistema de climatização para um edifício comercial localizado em São Paulo. Apesar das intervenções atingirem um orçamento elevado, de cerca de R$ 1,5 milhão, o projeto foi considerado viável economicamente pois obteve economia anual de energia da ordem de 432,5 MWh (megaWatt-hora) e 405,9 quiloWatt (kW) de redução na ponta do sistema.

Tal resultado permitiu a realização do projeto através do Programa de Eficiência Energética da AES Eletropaulo. Pereira *et al.* (2011) mostraram que seria possível alcançar redução de 59% no consumo anual do edifício-sede do Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística, em São Paulo, por meio da substituição dos sistemas de ar condicionado e de iluminação integrados a estratégias passivas, como o uso de luz natural, e de automação predial. Os benefícios foram comprovados por simulação computacional, apontando corte anual de 231 231 MWh no gasto de energia elétrica.

Os *retrofit* também podem evitar o emprego de sistemas de climatização. Cóstola e Marcondes (2008) demonstraram que intervenções a partir de estratégias bioclimáticas podem aumentar o número de horas de conforto térmico, evitando o uso do ar-condicionado. As intervenções podem, ainda, ser realizadas apenas em um dos sistemas prediais, obtendo reduções significativas de consumo energético – da ordem de 20% a 50%, dependendo das características da edificação e e de seus sistemas prediais (Ghisi e Lamberts, 1998; Rodas *et al*., 1998; Westphal *et al.,* 1998 e 2002).

3.4.4.6 CAPTAÇÃO ATIVA E TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA SOLAR EM ELETRICIDADE

O Brasil possui grande disponibilidade de luz solar, o que lhe atribui expressivo potencial de uso de energia solar fotovoltaica (FV). Contudo, essa tecnologia ainda é sub-utilizada no País devido a vários fatores, destacando-se entre eles o custo desses sistemas. Por essa razão, atualmente, a principal aplicação dessa tecnologia ocorre em edificações afastadas da rede elétrica, a chamada zona de eletrificação rural.

Para o atendimento de moradores situados em locais remotos e isolados, a Resolução Normativa nº 83 da Agência Nacional de Energia Elétrica, de 20 de setembro de 2004, define as condições de fornecimento de energia elétrica a uma única unidade consumidora por meio de sistemas individuais de geração com fontes intermitentes (SIGFI). Até o final de 2006 (Borges *et al*., 2007), somente cerca de 6 mil novos consumidores foram atendidos por SIGFIs pelas concessionárias de eletricidade COELBA, CEMIG e AMPLA, que atendem os estados da Bahia, Minas Gerais e Rio de Janeiro, através de sistemas fotovoltaicos domiciliares.

De acordo com Borges *et al*. (2007), o custo de geração de energia por sistemas fotovoltaicos domiciliares (SFD) é bastante elevado. Seu investimento varia entre R$25 a R$35 por Wp (Watt-pico) para produção e o custo unitário da energia disponibilizada gira em torno de em torno de R$3 a R$6 por kWh (quiloWatt-hora). Os autores concluíram que, frente à obrigatoriedade do atendimento de energia elétrica a todos os domicílios brasileiros, tais sistemas emergem como tecnologia imprescindível. Apesar de consolidada, ainda há pouca experiência no seu emprego e sua regulamentação no setor elétrico do País ainda é incipiente.

Estudos apontaram porém, a iminente viabilidade da inserção de tecnologia fotovoltaica (FV) em edificações urbanas integradas à rede elétrica. Isso ocorre porque em áreas metropolitanas adensadas, há boa coincidência entre demanda de energia e geração FV.

Rüther *et al*. (2007) avaliaram o potencial do uso desses sistemas conectados à rede elétrica – *BIPV*, na sigla em inglês – em edificações urbanas situadas em áreas ensolaradas nas quais há grande demanda por ar condicionado. Eles demonstraram que a energia fotovoltaica pode reduzir significativamente os picos de demanda de energia durante o verão nas cidades, localidades onde a maior carga está associada às edificações comerciais e ao período diurno.

Jardim *et al*. (2008) também estudaram as vantagens do uso dos sistemas FV e avaliaram a disponibilidade de áreas de coberturas no meio urbano para a instalação desses equipamentos. Concluíram que, mesmo utilizando o sistema FV menos eficiente, é possível se obter razoável geração de energia em áreas urbanas adensadas e verticalizadas, aproveitando-se suas áreas de cobertura.

Os sistemas FV são também viáveis para instalação em superfícies verticais nas cidades – ou seja, nas fachadas de edifícios. Contrariando o senso comum de que essa tecnologia só é viável para edificações localizadas nas regiões de alta latitude, Ordenes *et al*. (2007) comprovaram que essa tecnologia pode gerar mais energia do que a demanda durante 30% do ano, ao estudarem o uso de placas fotovoltaicas aplicadas sobre fachadas verticais em edificações residenciais típicas destinadas a famílias de classe média no Brasil.

Apesar dessas vantagens, a legislação nacional em vigor que rege a produção, transmissão e distribuição de energia elétrica não prevê incentivos para os sistemas FV interligados à rede elétrica pública.

Rüther *et al*. (2008) investigaram cenários para um eventual *Programa Solar Brasileiro*. Suas simulações identificaram, entre diversos itens, o custo total da iniciativa, seu impacto tarifário por meio da diluição do mesmo entre os consumidores finais e o momento em que os preços das

energias fotovoltaica e convencional seriam iguais para o consumidor final. Concluíram que, entre 2012 e 2013, algumas regiões do Brasil já poderiam ter alcançado essa equidade tarifária e que tal cenário seria alcançado primeiro naquelas onde há sol em abundância e a energia convencional custa mais caro.

Os autores concluíram também, que a paridade de rede acontecerá por si própria ao longo dos anos, independente de qualquer subsídio ou programa de incentivo. Contudo, é primordial que o País invista em maior escala na tecnologia FV antes que ela tenha seus preços equivalentes aos da geração convencional, de modo a permitir que o setor elétrico brasileiro esteja preparado para integrá-las visando a redução de carga na ponta, no atendimento das necessidades energéticas da população.

Finalmente, é necessário ressaltar também que a maior ou menor viabilidade da utilização de sistemas de conversão de energia solar, tanto para gerar eletricidade, quanto para aquecimento de água, em áreas urbanas no País, está diretamente relacionada aos Planos Diretores e sua legistação complementar, como as leis de parcelamento, de uso e ocupação do solo, bem como os códigos municipais de edificações. Isso ocorre porque é necessário preservar as condições de acesso ao sol das superfícies edificadas que receberão esses sistemas, impedindo que os edifícios vizinhos projetem sombras indesejadas uns sobre os outros. Apesar de ser corrente na legislação construtiva de vários países, como Austrália e regiões dos Estados Unidos, instrumentos para a proteção do acesso ao sol para fins de conversão da energia solar ainda não existem na legislação construtiva urbana do Brasil.

3.4.4.7 AQUECIMENTO DE ÁGUA DOMÉSTICO

O uso de aquecedores solares de água em substituição ao chuveiro elétrico no segmento de edificações residenciais tem importante papel na economia de energia, assim como na atenuação e no deslocamento da ponta de consumo que ocorre entre 17h e 21h no País.

Para quantificar viabilidade e adequação do uso intensivo de aquecedores elétricos de passagem, recomenda-se a utilização do conceito de efetividade pela Segunda Lei da Termodinâmica ao invés da avaliação clássica de eficiência energética de equipamentos pela Primeira Lei, que relaciona apenas o ganho de energia útil à energia consumida pelo equipamento, na forma de forma de trabalho ou calor.

Entretanto, é a efetividade medida pela Segunda Lei (e) que permite que permite avaliar a disponibilidade (exergia) incorporada incorporada ao fluído de trabalho, a partir do energético utilizado. Isso é expresso pela seguinte equação

$$\varepsilon = \frac{\dot{m}[a_S - a_E]}{W} = \frac{\dot{m}[(h_S - h_E) - T_o(s_S - s_E)]}{W}$$

onde:	• m é a vazão do fluido de trabalho no equipamento; • a, h e s representam as propriedades termodinâmicas específicas de disponibilidade, entalpia e entropia, respectivamente; • W é a potência elétrica consumida; • T_o representa a temperatura absoluta de referência; e,
	• os subscritos E e S correspondem aos pontos de entrada e saída do equipamento.

No caso do chuveiro elétrico, considera-se potência elétrica de 4,4 kW, presente em 56,1% dos domicílios brasileiros (Procel, 2007), vazão de 0,05 kg/s correspondente a três litros por minuto,

temperaturas da água à entrada e à saída de 20° C e 40° C respectivamente e de referência de 293 K ou 20°C.

Substituindo-se os valores das propriedades termodinâmicas na equação da efetividade, tem-se que:

$$\varepsilon = \frac{0.05\,\frac{kg}{s}\left[(167.6 - 84.03)\frac{kJ}{kg} - 293K(0.5724 - 0.2965)\frac{kJ}{kg\,K}\right]}{4.4kW} = \frac{0,1366}{4.4} = 3.1\%$$

Pela primeira lei da Termodinâmica, a eficiência do chuveiro elétrico é de 95%, enquanto que a segunda Lei prevê efetividade de apenas 3,1% – ou seja, 96,9% da energia elétrica consumida são degradados no equipamento. Este fato é explicado pelo uso de uma energia nobre e de alta qualidade apenas para aquecer a água de 20°C a 40°C, o que agrega pouco valor energético ao fluido.

Portanto, o uso intensivo do aquecimento solar no País, notadamente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, que têm elevada penetração de chuveiros elétricos, pode contribuir para melhorar o balanço nacional de energia útil, com expressiva redução do consumo de eletricidade e aumento de eficiência energética para o setor. Consequentemente, essa substituição ajudará a conter e diminuir o volume de emissões de GEEs inerente ao processo de aquecimento de água para fins sanitários no segmento residencial.

Segundo a Associação Brasileira dos Fabricantes de Equipamentos Solares (ABRAVA, 2011), ao final de 2010, a área total de coletores solares instalada no País atingiu 6,238 milhões de metros quadrados, 72% dos quais montados em domicílios unifamilares – 66% – e em edificações multifamilares – 6%. Quase toda a sua venda – 95,3% – se concentrou nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Com base no fator de conversão proposto pela *IEA* (2004), o total de coletores solares em uso no Brasil corresponde a uma capacidade instalada de 4.367 megaWatt-térmicos (MWth).

Para cálculo do potencial de economia de energia e redução de emissões de GEEs decorrentes do uso de aquecimento solar, consideram-se os índices de conversão constantes das premissas e diretrizes básicas do Plano Nacional de Eficiência Energética (MME, 2011a). Assim, a área atual de coletores solares no setor residencial responde por economia anual de 1.140 GWh– 1,14 terawatts por teraWatt-hora –, e o equivalente a cerca de 100 mil toneladas de CO_2.

Para uma projeção de 12 milhões de metros quadrados em 2015, a economia anual de energia pode atingir 2.740 GWh – 2,74 terawatts horários –, reduzindo o equivalente a 243 mil toneladas de CO_2. O cumprimento de tal meta implica enfrentar as grandes barreiras identificadas no setor residencial, que são o alto custo do aquecedor solar, principalmente para a população de baixa renda e a classe média, e a falta de capacitação formal nos diferentes níveis de qualificação da energia solar térmica – os dos usuários finais, instaladores, revendedores, projetistas, engenheiros e arquitetos. Cita-se, ainda, a compulsoriedade e o aprimoramento continuado do Programa Brasileiro de Etiquetagem do INMETRO e do Selo PROCEL, visando eliminar a participação no mercado brasileiro de produtos de qualidade questionável e baixa durabilidade, que comprometem a confiança do consumidor final e, até mesmo, dos gestores públicos, na tecnologia solar.

Políticas públicas e/ou planos governamentais previstos para o setor

O Ministério do Meio Ambiente (MMA), por intermédio da Portaria 238, de 21 de julho de 2009, criou, sob sua coordenação, um grupo de trabalho sobre energia solar – o GT Solar Térmica – com o objetivo de apoiar a disseminação de sistemas de aquecimento solar de água (SAS), bem como de elaborar e acompanhar atividades específicas que visam instalá-los nas habitações financiadas pelo programa habitacioal do governo federal Minha Casa Minha Vida (PMCMV).

Esse grupo de trabalho é integrado por representantes do MMA, MME, Eletrobras/PROCEL, MCidades; INMETRO, Caixa Econômica Federal (CEF) e da academia. Como membros convidados, dele também participam a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA), a Cooperação Alemã para o Desenvolvimento (Agência GIZ do Brasil) e a Organização Internacional do Trabalho (OIT).

Atualmente, encontra-se em fase final de elaboração pelo GT Solar Térmica, o Plano Estratégico Disseminação de SAS no Brasil, que busca melhor direcionamento de esforços e recursos para a manutenção da matriz energética brasileira de baixa emissão de carbono.

O Plano propugna o uso de coletores solares nos diferentes segmentos de edificação, de modo a se instalar 15 milhões de metros quadrados até 2015, através de cinco grandes linhas de atuação:

- políticas públicas,
- capacitação,
- inovação tecnológica,
- informação e divulgação, e, ainda,
- plataforma solar.

Suas ações estruturantes e consultivas garantiriam uma bem sucedida implementação, além da elaboração de programas de revisão, com ações corretivas quando necessário.

No governo federal, o momento atual pode ser considerado único para o desenvolvimento da energia solar térmica no País: pela primeira vez, identifica-se coordenação efetiva nas ações governamentas e definições claras de funções e atribuições de cada órgão ou ministério envolvido.

Destaca-se o papel do PMCMV, que foi o grande agente da e mudança de perfil do consumidor atendido pelo aquecimento solar no País em 2010.

A partir da Portaria 9.324 de 24 de fevereiro de 2010 do Ministério das Cidades, o governo federal incentivou o uso do aquecimento solar para famílias com renda mensal inferior a R$1.365,00, nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do País, contratando mais de 40.000 novas casas populares com aquecedores solares em 120 empreendimentos. O SAS básico consiste de um coletor solar e um reservatório térmico de 200 litros, ambos etiquetados pelo INMETRO. Para o coletor foi exigida, lassificação A ou B e produção mínima de energia de 150 kWh/mês (quiloWatt-hora por mês).

Este programa é entendido como um grande projeto de demonstração, sem similar na América Latina. Contratou mais de 80.000 metros quadrados de coletores solares. Com ele, lições foram aprendidas e novas ações estão sendo incorporadas ao Plano Estratégico, como a proposta de criação de um programa de treinamento do usuário final, através de parceria entre a Caixa e a Secretaria de Ciência e Tecnologia para Inclusão Social (SECIS/MCT), bem como a implementação de programas de medição e verificação (M&V), financiados pela Eletrobras a partir de 2011.

Busca-se, assim, comprovar, entre outros objetivos,os resultados reais de economia de energia elétrica pelas famílias e o correspondente deslocamento do pico de demanda de energia na curva de carga típica do sistema elétrico nacional,, além de verificar aspectos como o impacto do SAS no consumo de água, o comportamento da família frente ao SAS, o papel do gênero na apropriação dessa tecnologia para a população de baixa renda, entre outros.

3.4.4.8 USO DE MATERIAIS E RECICLAGEM DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

De acordo com o estudo de Garcia (2010), o setor da construção civil brasileiro deve dobrar de tamanho até 2023, e como não existem, neste horizonte, substitutos para muitos dos materiais de construção atualmente utilizados, seu consumo deverá crescer nessa mesma proporção. Em

consequência, mantidas as estratégias tradicionais de produção, a atividade de construção civil impactará indiretamente o crescimento da contribuição desses materiais para as emissões de GEEs, principalmente nos casos do cimento (e seus materiais associados, como areia e brita) e da madeira. A seguir, analisam-se algumas questões relativas a utilização desses materiais estritamente quanto à construção de edificações. Em outros sub-capítulos, estão tratadas as questões relativas à produção industrial e/ou extração dos materiais.

A produção de cimento, conforme o Plano Nacional de Mineração 2030 (MME, 2011b), deverá chegar a mais de duas vezes e meia a produção do ano-base de 2010, no cenário mais provável de crescimento econômico adotado. Os investimentos para a implantação de estratégias de sequestro e captura de carbono poderão dobrar o custo do produto para a construção civil (IEA, 2010c), com grandes implicações sócio-econômicas para o País. Por outro lado, o desenvolvimento de alternativas e inovação tecnológica na cadeia produtiva do material poderia chegar a dobrar a produção de produtos a base de cimento para a construção civil, sem aumentar significativamente as emissões totais de CO_2 (Müller e Harnisch, 2008).

Ações de grande alcance no setor da construção de edificações seriam as relacionadas à redução de perdas do material, o que certamente também teria impacto positivo na redução dos resíduos de obras. Essas perdas tanto se relacionam ao uso em excesso, seja por dosagem incorreta do cimento ou produção de peças com espessuras exageradas, quanto pela deterioração em função da má qualidade ou inadequação da armazenagem. No Brasil, estima-se que a perda do cimento em obras de edificações representem aproximadamente 30% da massa total do material comercializado no varejo (Souza *et al.*, 1998). Assim, o incentivo ao uso de materiais e componentes industrializados para a construção, como por exemplo o concreto usinado, cujas perdas são substancialmente menores, é uma ação importante.

A madeira nativa participa da cadeia produtiva da construção civil como combustível na fabricação de materiais – particularmente na indústria de ferro gusa, cerâmica e gesso –, e como material de construção. A madeira amazônica é usada na construção principalmente como madeira serrada. O enorme desperdício durante a extração em processos geralmente não manejados, apontado pelos estudos de Amaral *et al.* (1998) e Keller *et al.* (2004), além de provocar a destruição de cerca de 30% da biomassa *in loco*, é complementado pela transformação de aproximadamente 60% da massa das toras em resíduos nas serrarias (Pereira *et al.*, 2010b).

Interpolando os dados desses autores, é possível estimar que, em 2005, foram comercializadas cerca de 2,3 milhões de toras, o que implicaria em emissões da ordem de 147.000 a 190.000 Gg de CO_2[37]. Esses valores representam entre 3,9 a 6,4% das emissões de CO_2 naquele ano (MCT, 2009). São dados superiores à soma dos valores das emissões relativas ao uso de energia e ao de cimento no ambiente construído. Esses resultados mostram a grande importância do controle do uso de madeira ilegal na construção civil, o que teria repercussão direta na mitigação das emissões de GEEs.

A madeira é um dos poucos materiais de construção renovável, cujo consumo deveria, portanto, ser incentivado. As ações para o contorle das emissões de GEEs na sua produção para a construção civil passam pela promoção da madeira plantada e/ou certificada, pelo manejo adequado de espécies nativas, bem como pelo controle fiscal.

Por sua vez, a reciclagem de resíduos na construção civil é uma prática relativamente nova no país e que pode ser significativa quando se trata de sustentabilidade. Isso acontece devido à diminuição do impacto ambiental gerado pela indústria da construção e pela redução de custos no setor. Esse

[37] Admitindo-se a emissão específica de 6,4 tCO_2/m^3 (MCT, 2009) a 8,4 tCO_2/m^3 (EPE, 2007). A parcela dessa madeira transformada em produtos duráveis (estruturas, por exemplo) pode ser considerada como estoque de carbono, porém isso não foi considerado nesta análise, por falta de dados.

processo diminui a extração de matéria prima não renovável na natureza, visto que a construção civil chega a consumir até 75% de recursos naturais (Levy, 1997; Pinto, 1999; John, 2000). Ao mesmo tempo, busca solucionar o problema de descarte dos resíduos gerados numa construção, uma vez que não existem áreas centrais urbanas disponíveis para tal, devido à valorização dessas regiões, além de representar risco à saúde (presença de materiais pesados, como o chumbo, por exemplo, nos resíduos) caso não haja um sistema eficiente de saneamento.

Projetos de reciclagem de entulho de obras de construção são atualmente desenvolvidos por alguns municípios brasileiros, como São Paulo, Belo Horizonte, Londrina, Ribeirão Preto e São José dos Campos. Entretanto, a prática da reciclagem no setor da construção civil é ainda muito pequena, em geral associada a programas sociais (Carneiro, 2005; Ribeirão Preto, 2010) e sem grande visibilidade por parte das empresas, que temem a desvalorização de seus produtos caso se veicule que são oriundos de material reciclado.

O potencial econômico e de redução de GEEs pode ser significativo, a exemplo da indústria cimenteira, cuja reciclagem de resíduos, de acordo com Ângulo *et al.* (2010), reduziu a produção de CO_2 em 29%, economizando 28% em combustível e ainda valendo-se da chamada "publicidade verde".

No Brasil, o entulho da construção civil é constituído de restos de praticamente todos os materiais de construção (argamassa, areia, cerâmicas, concretos, madeira, metais, papéis, plásticos, pedras, tijolos, tintas, etc.) e sua composição química está vinculada à composição de cada um de seus constituintes. No entanto, a maior fração de sua massa é formada por material não mineral (madeira, papel, plásticos, metais e matéria orgânica). A composição da fração mineral do entulho é, por sua vez, extremamente variável quando se comparam diferentes áreas urbanas.

Observa-se, também, como já mencionado, que a construção civil no país possui uma grande taxa de desperdício, pois muitos produtos encaminhados para os aterros são jazidas de matéria prima não aproveitada. Em Belo Horizonte, por exemplo, a participação dos resíduos de construção civil no total dos resíduos sólidos urbanos chega a 50%, de acordo com Damasceno *et al.* (1999).

O material reciclado pode substituir a brita e a areia em elementos da construção civil que não tenham função estrutural, sendo geralmente usado pelas prefeituras municipais como agregado para ser aplicado em serviços como pavimentação, argamassas de assentamento e revestimento, concretos, fabricação de pré-moldados (blocos, briquetes, meio-fio e outros), serviços de drenagem, etc. (Couto Neto, 2007).

A reciclagem pode ser mais barata do que a disposição dos rejeitos, pois se estima que o custo da disposição clandestina para a administração municipal gire em torno de US$10/m^3, considerando a correção da disposição e o controle sanitário. Além disso, a produção de agregados com base no entulho pode gerar economias de mais de 80% em relação aos preços dos agregados convencionais. Damasceno *et al.* (1999) verificaram que, a partir deste material, é possível fabricar componentes construtivos com uma economia de até 70% em relação a similares com matéria-prima não reciclada.

Outro aspecto de interesse é o papel que a construção civil pode ter como reciclador de resíduos provenientes de outras indústrias, a exemplo da escória granulada de alto forno e cinzas, que são atualmente matéria prima comum nas construções (Ângulo *et al.*, 2001).

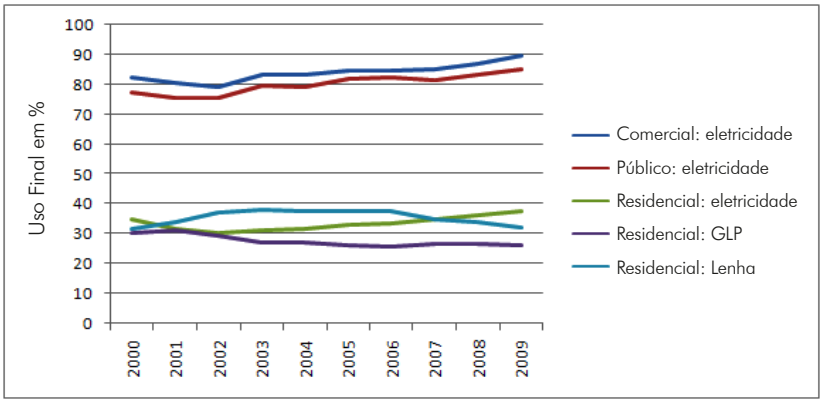
3.4.5 POLÍTICAS PÚBLICAS PARA PROMOVER A MITIGAÇÃO DE GEE EM EDIFICAÇÕES

A primeira legislação para edificações com impacto significativo para a redução de emissão de GEEs colocou seu foco sobre o problema do consumo da energia. A Política Nacional de Conservação e

Uso Racional de Energia foi lançada em 2001 através da Lei 10.295 (Brasil, 2001a), enquanto o Decreto 4.059 (Brasil, 2001b) estabelecia a necessidade de criação de *níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética* para edificações. O racionamento de eletricidade empreendido em 2001 foi o motivo para esse direcionamento legal, mas o aumento de consumo do insumo por edificações no País também pesou para essa escolha.

A Figura 3.28. deste subcapítulo mostra a evolução dos usos finais mais significativos nos três segmentos do parque edificado - comercial, público e residencial – ao longo da última década. Crescentemente utilizada, a eletricidade predomina nos edifícios comerciais e públicos. Já nas residências, o emprego da lenha está em visível declínio desde 2006, e o do gás liquefeito de petróleo, que apresentou queda no início da década, mantém-se estável desde 2007. De tal modo que, também no setor residencial, o predomínio foi da energia elétrica desde 2008 (EPE, 2010b).

Figura 3.28: Usos finais percentuais mais significativos por setor



Fonte de dados: Balanço Energético Nacional (EPE, 2010b)

Tal cenário reforça e justifica as exigências da Lei 10.295 (Brasil, 2001a), cujos *indicadores técnicos e regulamentação específica* para níveis de eficiência energética foram alavancados pelo Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País (GT-Edificações), do Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE (Brasil, 2001b).

Essa lei incentivou, em 2003, a criação do PROCEL-Edifica,cujo plano de ação para eficiência energética em edificações (PROCEL, 2003) visou construir as bases necessárias para racionalizar o consumo de energia por esse setor no Brasil.

Atualmente, a Secretaria Técnica de Edificações, criada pelo GT-Edificações no final de 2005 com apoio do PROCEL-Edifica, discute continuamente os parâmetros para indicadores de eficiência energética após ter participado do processo de inclusão das edificações no PBE do INMETRO.

Em 2009, foram incluídos no PBE os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) (INMETRO, 2010a) e seus Requisitos de Avaliação da Conformidade (RAC) (INMETRO, 2010b). Em 2010 e 2011, o mesmo ocorreu com o segmento residencial por meio dos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (INMETRO, 2010c) e seus Requisitos de Avaliação da Conformidade (RAC) (INMETRO, 2011).

A adesão é, ainda, voluntária e a obtenção da etiqueta nacional de conservação de energia (ENCE) junto ao INMETRO deverá ser consolidada após o setor de construção suprir as novas demandas técnicas e de mercado. Demandas essas, que foram previstas durante o desenvolvimento da etiquetagem e impediram que a mesma fosse mais restritiva, como sugerido por Batista *et al.* (2011), em análise restita aos parâmetros técnicos.

O estágio atual de implementação do programa exige a capacitação de profissionais tanto de projeto quanto de gestão e obra, assim como paracumprir a padronização de especificações técnicas de produtos e materiais construtivos por fabricantes e fornecedores e, e até mesmo a familiarização do consumidor com os parâmetos da ENCE (Carlo e Lamberts, 2010a).

As barreiras de mercado a superar podem determinar o sucesso dessa política pública e os parâmetros técnicos não devem ser avaliados de modo isolado em relação ao potencial da indústria da construção para atender às exigências (Batista *et al.*, 2011).

Se a etiquetagem, que é voluntária, trouxe um impacto a ser absorvido pelo mercado construtivo, a obrigatoriedade de normas, como é o caso da NBR 15.575 (ABNT, 2008), exige adaptação maior dos métodos construtivos tradicionais a fim de atender aos novos requisitos de desempenho. No que toca ao aspecto térmico, os requisitos da NBR 15.220 (ABNT, 2005), antecedentes aos da NBR 15.575 (ABNT, 2008), não causaram impactos tão significativos no mercado quanto quanto à dessa última, que abrange grande número de sistemas com atendimento obrigatório desde 2010. Entre suas exigências, estão as referentes a segurança, durabilidade, saúde e conforto do usuário.

Os itens de desempenho térmico, adequação ambiental saúde, higiene e qualidade do ar são conteúdos diretamente relacionados à emissão de GEEs. O mercado do setor construtor requer tempo para se adaptar a tais requisitos.

Ainda no terreno da habitação, a CEF lançou, em 2010, a primeira certificação em sustentabilidade de origem brasileira. Esta considera as variáveis socioambientais específicas do País. O selo Casa Azul é uma certificação voluntária que demanda cumprimento obrigatório de 19 critérios para que se possa obter o selo Bronze. Outros 34 critérios opcionais são necessários observar para se cumprir as exigências dos selos Prata e Ouro.

Os critérios obrigatórios de paisagismo e de orientação ao sol e ventos, bem como de concreto com dosagem otimizada, indicam a intenção de redução da emissão de GEEs como um dos benefíciose sócio-ambientais dessa certificação (John e Prado, 2010). Mesmo voluntária, acredita-se que ela seja relevante para o setor habitacional devido ao papel que a CEF desempenha nesse mercado. Por consequência, deverá ser também significativo seu impacto na construção civil.

Outras ações públicas são diretamente relacionadas à ação governamental como exemplo de boas práticas. A Instrução Normativa nº 1 do Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão (Brasil, 2010c), por exemplo, dispõe sobre os critérios de sustentabilidade ambiental na contratação de serviços ou obras pela administração pública federal. Seu artigo IV indica as tecnologias a serem adotadas nos edifícios, tal como energia solar, e o uso de materiais locais de origem comprovada. Estima-se que a referida norma pode vir a causar um grande impacto nas licitações públicas para a comprovação do atendimento às exigências.

Se, em 2007, o Plano Nacional de Energia avaliou que o potencial técnico de conservação do insumo era de 58% nos setores comercial e público e de 32% no setor residencial, e que esses mercados reduziriam tais potenciais para 16% e 6% respectivamente (EPE, 2007), espera-se que as políticas citadas possam alterar tal cenário. Como os programas mencionados passaram a apresentar impactos no setor construtor a partir de 2009, acredita-se que o potencial estimado pelo plano de 2007 poderá ser elevado com o incentivo destes mecanismos normativos ou de certificação. As ações governamentais seguintes devem voltar-se, portanto, à adesão efetiva da sociedade às políticas voluntárias ou obrigatórias implementadas no final da última década.

3.4.6 LIMITAÇÕES E LACUNAS DO CONHECIMENTO

Apesar da relevância dessa questão, o desenvolvimento e a implementação de medidas para

melhoria do desempenho energético de edificações é ainda incipiente no Brasil, quando comparado ao estado atual dessa discussão em outros países, como os Estados Unidos, Austrália e nações europeias.

Roriz e Ghisi (2005a, 2005b) realizaram um levantamento das publicações e pesquisas elaboradas no País até 2005 concluindo que a maior parte delas trata de diagnósticos de desempenho de materiais, de sistemas ou de edificações. Há pouca continuidade nos trabalhos, o que limita a capacidade dessas pesquisas em definir requisitos adequados com relação ao envelope da edificação, áreas de janela, tipos de componentes, padrão de uso de equipamentos e de ocupação, capazes de garantir edificações energeticamente mais eficientes.

Os autores apontam como principais lacunas de conhecimento, de modo geral, o rol a seguir:

A) metodologia única de avaliação do desempenho térmico dos sistemas construtivos;
B) definição de limites de zona de conforto térmico para diferentes regiões do País;
C) trabalhos que correlacionem tipologia, localização geográfica, e outras variáveis com o consumo de energia;
D) estudos de economia de energia e envoltórias;
E) trabalhos que determinem parâmetros para a integração de iluminação natural e artificial e ainda,
F) a ausência de dados climáticos digitais disponíveis para um maior número de cidades brasileiras.

3.5. INDÚSTRIA

3.5.1. A INDÚSTRIA BRASILEIRA E SUAS EMISSÕES DE GEES

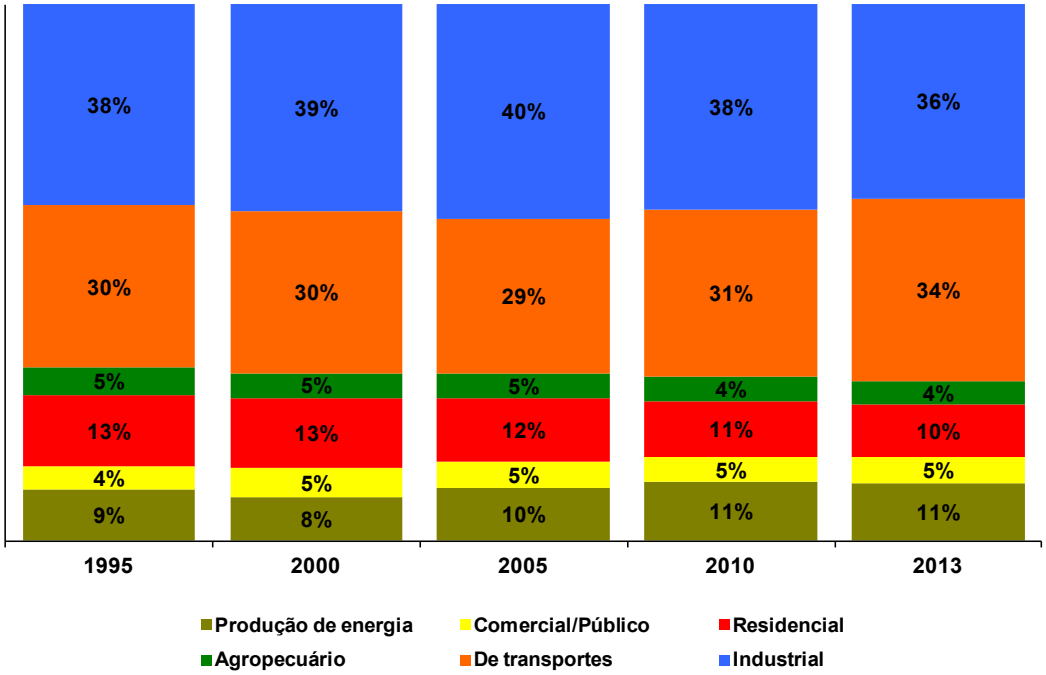
A relevância do setor industrial brasileiro nas emissões nacionais de gases de efeito estufa pode ser compreendida por seu porte, tanto na economia quanto no consumo energético brasileiro.

Nesse sentido, na produção de bens duráveis e não duráveis e de insumos para expansão de infraestrutura, ela contribui com aproximadamente 25% do PIB nacional[38] (IPEADATA, 2014), tendo sido responsável por aproximadamente 36% do consumo total de energia no Brasil em 2013 (Figura 3.29).

O setor industrial consumiu o equivalente a cerca de 88 milhões de toneladas de petróleo em 2013 (EPE, 2014), 40% das quais em combustíveis fósseis, com destaque para o carvão mineral e seus derivados, tais como o coque e o gás de coqueria, além de outros derivados do petróleo, como o óleo combustível e as fontes secundárias (estas últimas, representado principalmente por gás de refinaria e coque de petróleo).

[38] Estimado com base no PIB a preços básicos.

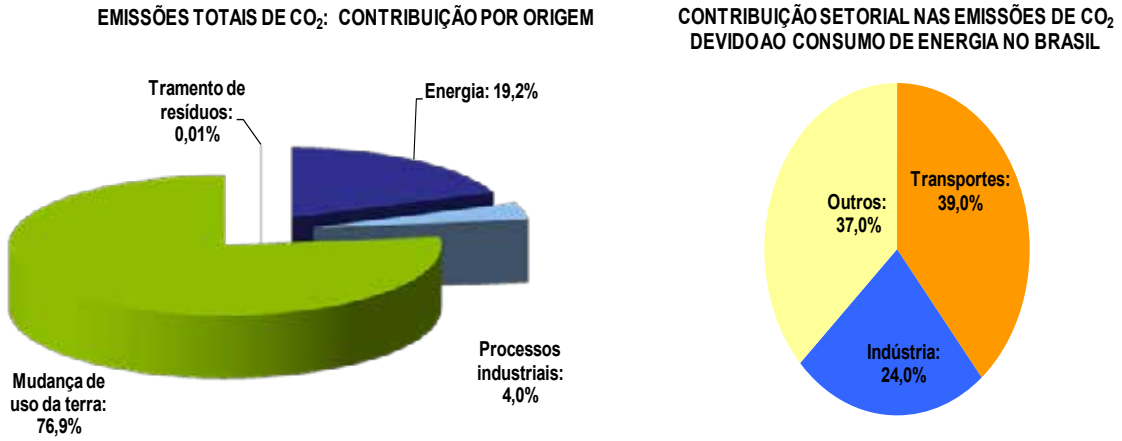
Figura 3.29: Evolução recente da participação dos setores no consumo total de energia[39]



Fonte: Elaborado a partir de EPE (2014)

Em termos de emissões de GEEs devidos ao consumo de energia, a indústria brasileira respondeu por aproximadamente 24% do total em 2005 (Brasil, 2010b). Se consideradas as emissões brasileiras totais – incluindo-se aquelas devidas a mudança no uso da terra e tratamento de resíduos –, o setor industrial exibiu participação de 5% , conforme representado na Figura 3.30.

Figura 3.30: Contribuição das fontes de emissão às emissões brasileiras de CO_2 e participação da indústria na parcela *energia*.



Fonte: Brasil (2010b)

[39] A classificação setorial apresentada segue a adotada pelo Balanço Energético Nacional, publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), na qual os setores de consumo final são classificados da seguinte forma: indústria, agropecuária, residencial, transportes, comercial, público e energético. Este último compreende o consumo próprio da indústria produtora de energia – ou seja, suas atividades de exploração e produção de petróloe e gás natural (E&P) e refino de petróleo, processamento de gás natural, além de coquerias e/ou carvoarias, e ainda, destilarias para produção e de etanol.

3.5.2.TENDÊNCIAS DE EMISSÕES DE GEES NA INDÚSTRIA BRASILEIRA

Vários estudos reforçam a manutenção da atual representatividade do setor industrial brasileiro nas emissões de gás carbônico à atmosfera devidas ao consumo energético, tanto no médio quanto no longo prazos, conforme descrito a seguir.

De acordo com o Plano Nacional de Energia 2030 (EPE, 2007), estima-se que o setor industrial brasileiro responderá pela emissão de 290 milhões de toneladas CO_2 em 2030, o mesmo que cerca de 30% do total projetado para aquele ano;

Também para 2030, Gouvello *et al.* (2010) indicaram emissões de 292 milhões de toneladas de CO_2, ao adotarem premissas de crescimento compatíveis com o PNE 20_{30};

Henriques Jr. (2010) estimou que as emissões totais de CO_2 devidas ao consumo de energia no setor industrial brasileiro somarão aproximadamente 329 milhões de toneladas de CO_2 em 2030, em um cenário de crescimento industrial anual de 3,7% e de 4,1% ao ano para o Produto Interno Bruto (PIB) do País;

Nos estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) mais recentes publicamente, que assume um cenáriode crescimento econômico médio de 4,7% a.a. entre 2013 a 2022, estima-se que em 2020, o setor industrial estará emitindo o equivalente a 149 milhões de toneladas equivalentes de CO_2 (EPE, 2013).

Adicionalmente, é importante destacar que através da lei nº 12.187/2009 (Brasil, 2009c), o governo federal estabeleceu metas voluntárias para as emissões brasileiras de GEEs, correspondentes ao abatimento de 36,1% a 38,9 % em relação ao emitido em 2009 pelo País (Brasil, 2009c).

Posteriormente, o decreto nº 7.390/2010 (Brasil, 2010f) apresentou a meta de abatimento do equivalente a 234 milhões de toneladas de gás carbônico em 2020, derivado de consumo de energia, incluindo nela a contribuição por parte de todos os setores da economia, conforme representado na Tabela 3.29.

Ademais, cumpre destacar que esse decreto estabeleceu o PDE como plano setorial de mitigação de emissões de GEEs para o setor de energia[40], além de ter instituído a necessidade de elaboração de um plano mitigatório específico para o setor siderúrgico. Com base no lei nº 12.187/2009, decreto nº 7.390/2010 e considerando margem de 20%, de acordo com o Comunicado Nacional do Brasil na COP-15, o abatimento total de emissões devido ao setor de energia pode variar entre 188-234 milhões de toneladas de CO_2, o que implica em emissões totais variando entre 634-680 milhões de toneladas de CO_2 em 2020 (EPE, 2013).

Tabela 3.29 *Meta setorial para emissões de GEE no setor de energia em 2020, de acordo com a Política Nacional sobre Mudança do Clima*

	Megatoneladas de CO_2 equivalente	**%**
Cenário PDE com o abatimento já considerado	634	73
Mitigação das emissões incluindo as ações consideradas pelo PDE	234	27
Cenário de referência: 2020	868	100%

Obs.: Emissões do setor industrial em 2005 devidas ao consumo de energia: 314 megatoneladas de gás carbônico ($MtCO_2$.)
Fonte: Decreto 7.390/2010, (Brasil, 2010f).

[40] Conforme Art. 3º, inc. III.

Finalmente, cabe destacar que o referido decreto também estabeleceu o nível agregado de emissões de processos industriais e tratamento de resíduos equivalendo a 234 mil toneladas de CO_2 em 2020, ao considerar um crescimento médio anual do PIB de 5% entre 2006 e 2010.

Como a indústria apresenta heterogeneidade em termos de processos produtivos e forma de uso de energia, entre outros aspectos, é tradicional utilizar-se a abordagem combinadade identificação de tecnologias transversais – ou seja, aplicáveis a mais de um segmento industial, como por exemplo, operações de secagem, bombeamento, entre outras –, juntamente com o tratamento de processos específicos em determinadas indústrias e que sejam identificados como como relevantes para a análise de medidas de mitigação de emissões de gases de efeito estufa. Esta abordagem é apresentada neste subcapítulo ao ítem que se segue.

3.5.3. OPÇÕES PARA MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE GEES PELA INDÚSTRIA

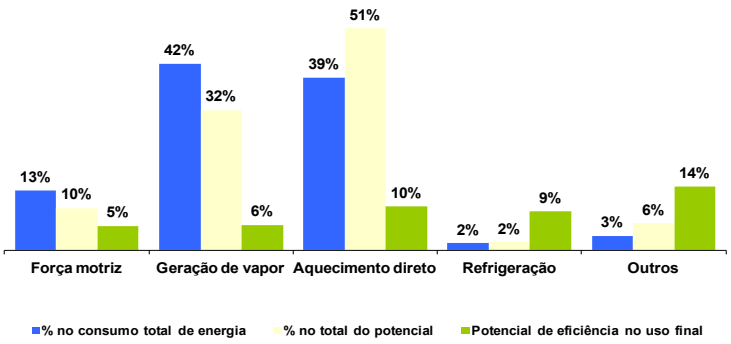
As alternativas para mitigação de emissões de GEEs na indústria incluem, além das chamadas tecnologias transversais e das específicas de cada segmento industrial, também aquelas de cunho operacional, que implicam melhor gerenciamento do uso da energia nas fábricas e melhoria de procedimentos operacionais.

No setor industrial, diversas são as possibilidades de mitigação de GEEs, o que torna conveniente se categorizar os conjuntos de medidas quanto a seus respectivos potenciais de redução total de emissões, indicando a priorização no aproveitamento dos mesmos. Para realizar esse mapeamento, a abordagem proposta parte da estimativa da- de usos finais energéticos na indústria brasileira, identificando aqueles onde residem as maiores possibilidades de eficiência energética e de substituição de combustíveis.

Esta estimativa, realizada a partir de dados de EPE (2014) e MME/FDTE (2005), pode ser verificada na Figura 3.31 e mostra que os usos térmicos – os destinados a aquecimento direto e geração de vapor – responderam em 2013 pela maior parcela de consumo industrial de energia – aproximadamente 81% do total, dos quais 42% para o último uso citado e 39% para o primeiro.

Igualmente, exibiram o maior potencial absoluto de conservação de energia: 83%.
Já no emprego energético para acionamento motriz, que respondeu por cerca de 13% do total consumido pela indústria brasileira em 2013, estima-se que possa representar aproximadamente 10% de do potencial total de economia de energia na indústria. Deste uso final, o consumo de eletricidade responde por quase 93%, basicamente devidos aos motores elétricos.

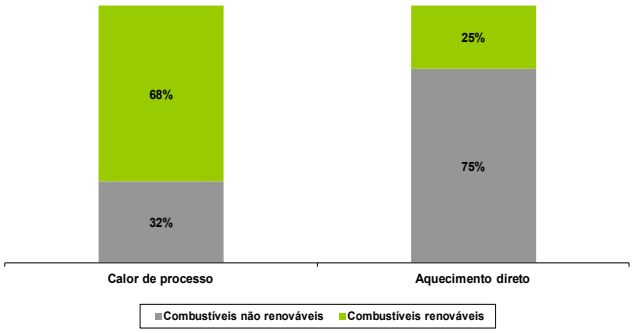
Figura 3.31 Participação por uso final na demanda total de energia pela indústria brasileira em 2013.



Fonte: Elaborado a partir de EPE (2014) e MME/ FDTE (2005)
Ao se analisar o perfil de consumo de combustíveis por uso final, conforme representado na Figura 3.32, observa-se que os combustíveis fósseis predominam especialmente em fornos – usados para

aquecimento direto –, principalmente devido a energéticos como gás natural, óleo combustível, coque de petróleo além de carvão mineral e seus derivados. Já para a geração de vapor – calor de processo –, o consumo de insumos de origem fóssil, em particular os dois primeiros mencionados, responderam por 32% do total. Neste uso específico, as principais fontes energéticas utilizadas incluem o bagaço de cana-de-açúcar e a lixívia, por conta da importância da produção de etanol, açúcar e de celulose.

Figura 3.32: Perfil de consumo de combustíveis pela indústria brasileira por grau de renovabilidade em 2010.



Obs.: Considera-se 50% como o grau de *renovabilidade* associado ao consumo de lenha no setor industrial brasileiro, conforme e Henriques Jr. (2010)
Fonte: Elaborado a partir de EPE (2014) e MME/ FDTE (2005)

Assim, a partir das estimativas representada na Figura 3.31, pode-se inferir que as alternativas selecionadas que resultam em maior eficiência e/ou redução de consumo de combustíveis fósseis por unidade de produto incluem:

- eficiência energética, priorizando medidas para ganhos através do uso térmico da energia, o que implica melhorias no processo de combustão e recuperação de calor em processos;
- utilização de combustíveis com menor fator de emissão de CO_2;
- cogeração de energia;
- uso de energia renovável, envolvendo substituição por biomassa e seus derivados, bem como emprego de energia solar térmica;
- reciclagem de materiais e
- Adoção de tecnologias mais eficientes em processos de produção específicos.

3.5.3.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

As medidas de eficiência energética visam reduzir a quantidade do insumo demandada para se produzir em volume e qualidade originais o produto desejado. Em escala crescente de custo e complexidade, as possibilidades para isso incluem:

- ações no campo operacional,
- substituição por equipamentos mais eficientes e
- adoção de novos processos de produção.

Tais são as opções são abordadas a seguir, neste subcapítulo.

Melhoria do processo de combustão

Os processos de combustão ocorrem em praticamente todos os segmentos industriais que demandem calor para operar seus processos produtivos. Volumes excessivos de ar de combustão e/ou com produção de fuligem contribuem para desperdício de energia (DOE, 2002).
As medidas listadas neste tópico se referem a melhorias em procedimentos operacionais (Henriques Jr., 2010).

- Ajustar níveis dos queimadores de óleo combustível e gás natural para a faixa ideal de excesso de ar de cada insumo.
- Utilizar combustíveis fósseis na forma de briquetes, cavacos, chips ou material pulverizado, o que permite operar com menor volume de ar de combustão e maior eficiência energética. O emprego de leito fluidizado é outra opção tecnológica interessante.
- Realizar manutenção adequada e periódica dos queimadores.
- Em processos de alta temperatura como a metalurgia ou o emprego de vidro pode ser interessante, em termos energéticos e econômicos, operar processos de combustão com oxigênio puro (ABM, 2008).

No conjunto, estas medidas podem resultar em ganhos de consumo de energia de 2% a 12% (DOE, 1998, Reed *et al.*, 1985; DOE, 2002).

Processos de recuperação de calor

Segundo Worrel *et al*. (2009), a recuperação de calor em processos industriais pode contribuir para gerar economias de combustíveis da ordem de 5 a 40%. As alternativas neste sentido, podem ser subdivididas em três blocos (Henriques Jr., 2010): recuperação de calor em sistemas de vapor, integração de processos e recuperação de calor em fornos.

Recuperação de calor em sistemas de vapor

A demanda de vapor para aquecimento se destina a fins como cocção, reações químicas, secagem, esterilização. Conforme a Figura 3.31, estima-se que os sistemas de geração de vapor sejam responsáveis por 42% do consumo total de combustíveis na indústria.

Entre as medidas específicas de economia de energia nos sistemas de vapor se incluem:

- a recuperação de condensado;
- o aproveitamento de calor de gases de exaustão de caldeiras para pré-aquecimento de água de alimentação e/ou pré-quecimento de ar de combustão;
- a melhoria da troca de calor em caldeiras através de limpeza de tubos e os ajustes de tiragem de gases de combustão.
- a otimização de sistema de distribuição e do uso de vapor através de controle e ajustes de pressões;
- o isolamento térmico de tubulações e de equipamentos aquecidos;
- a drenagem adequada de condensado e eliminação de ar;
- o uso de sistemas de múltiplo efeito;
- a redução de descargas de fundo e
- o tratamento de água em caldeiras (DOE, 2002; Kurita, 2009; Henriques Jr., 2010).

A Tabela 3.30 sumariza exemplos de potenciais de economia para algumas medidas relacionadas à recuperação de calor em sistemas de geração de vapor. Cabe destacar que se referem a estudos destinados à indústria norte-americana. Contudo, tais estimativas ilustram, em alguns casos, uma faixa de valores em torno dos quais podem se situar aqueles relativos à indústria brasileira podendo variar, inclusive, de acordo com plantas dentro de um mesmo segmento.

Tabela 3.30 *Potencial típico de economia de energia para medidas diversas em sistemas de geração e uso de vapor*

Medidas de otimização	% de economia típica
Instalação e manutenção de purgadores	5
Instalação de economizador para água de alimentação	5
Aumento de recuperação do condensado	10
Instalação de pré-aquecedores de ar de combustão	3
Otimização de operação de caldeiras	2

Limpeza de superfícies de troca de calor em caldeiras e correção de seus refratários	2 a 3
Melhorias no balanço térmico do sistema	1 a 2
Redução de pressão de caldeiras	1 a 2
Vapor *flash* de condensado	até 10
Recompressão de vapor	até 20
Melhoria na descarga de fundo de caldeiras	2 a 5

Fonte: DOE (2002)

Integração de processos

Baseia-se no aproveitamento de correntes quentes de fluidos diversos para pré-aquecer outros, de processo, por meio de recuperadores e trocadores de calor. Um método utilizado para tanto que se destaca com grande aplicação é o da *Pinch Point*, conhecida como de ponto de estragulamento (Linnhoff e Hindmarsh, 1983). Há várias economias relatadas a seu respeito. Por exemplo, em refinarias de petróleo, há estimativas que se situam entre 6 e 15% de consumo energético (Alsema, 2001; De Beer, 1998; Worrell e Galitsky; 2005; Moreira *et al.*,2008).

Deve-se ressaltar que o bom desempenho de trocadores de calor exige controle de incrustações para garantir superfícies limpas e livres de outros depósitos que eventualmente dificultem a troca de calor entre as fontes quente e fria.

Outras medidas incluem o aproveitamento de calor exausto de baixa qualidade para aplicação em ciclos de refrigeração por absorção (Tolmasquim *et al.*, 2003), o uso de bombas de calor (Hepbasli e Kalinci, 2008), e o aumento do grau de turbulência em escoamento de fluidos, por exemplo.

Recuperação de calor em fornos

Nos processos a alta temperatura, comuns nas indústrias de cimento, vidro, aço, petroquímica e outras, o emprego de recuperadores de calor em fornos é uma prática bastante comum, aplicada para pré-aquecimento de ar de combustão, de cargas ou de fluidos de processo, secagem de materiais e geração de vapor (Trinks e Mawhinney, 1975). Os processos passíveis de se instalar recuperadores e trocadores de calor de porte exigem disponibilidades de altas vazões de gases quentes de exaustão e um diferencial térmico significativo, de forma a disponibilizar grandes quantidades de calor. Geralmente os investimentos necessários são elevados e têm retorno de médio a longo prazo (DOE, 2002).

A recuperação de calor pode-se dar também simplesmente pelo aproveitamento direto dos gases quentes de exaustão e seu direcionamento para outras unidades de processo, para secagem e pré-aquecimento de carga. Fornos de fusão de vidro, que operam na faixa de 1.500 °C, fornecem um ótimo exemplo do potencial de recuperação de calor. Nestes equipamentos, o emprego de regeneradores de calor torna possível que uma grande parcela do calor de exaustão possa ser recuperado para preaquecimento do ar de combustão, reduzindo drasticamente o consumo de combustível.

Maior eficiência em motores elétricos

Na indústria, o uso de motores responde por aproximadamente 65% da demanda de eletricidade. Oportunidades de eficientização neste caso incluem (Martin *et al*, 2000):

- o monitoramento de sistemas existentes em tempo real, que permite acompanhar o desgaste natural de componentes elétricos e mecânicos ao longo do tempo e intervir no sistema, reduzindo impactos de perdas de eficiência e confiabilidade;
- a otimização do fluxo volumétrico em sistemas de ventilação e bombeamento, o que possibilitaria até 20% de economia, dado ser oo consumo de energia é diretamente proporcional ao cubo da velocidade de bombeamento;

- a substituição dos motores convencionais ao final de sua vida útil por motores de alto rendimento;
- a adequação da carga para eliminar, quando possível, o sobredimensionamento de motores.

Sistemas de ar comprimido também costumam apresentar potenciais relevantes de eficiência energéticaEntre as principais medidas aplicáveis a tais sistemas, pode-se citar (Martin *et al*, 2000; Henriques Jr., 2010):

- o uso de controle avançado que permite operar um conjunto de compressores integradamente em situação de oferta próxima da demanda e do ponto de máxima eficiência. Como regra heurística, cada redução de dois psi na pressão requerida representa uma economia de 1% no consumo de eletricidade;
- o gerenciamento integrado do sistema de ar comprimido, que envolve controle de seu nível de pressão e/ou redução de vazamentos de gás além de correção de uso inapropriado do mesmo em sua integralidade, o que pode reduzir o consumo de energia entre 20 a 30%.

Ademais, o uso de lubrificantes sintéticos, com resistência e viscosidade superiores a dos derivados de petróleo, permite economizar entre 2% e 30% em dispositivos tais como compressores, bombas e motores, por exemplo. Além disso, também reduzem a frequência de reposição desses lubrificantes (Martin *et al.*, 2000).

Outras medidas de eficiência energética

Outras medidas de eficiência energética compreendem procedimentos operacionais, envolvendo programação, controle e manutenção. Normalmente, os investimentos associados a esses procedimentos apresentam prazos de retorno extremamente rápidos sendo, em alguns casos, menores do que um ano. Planejamento de produção, instalação ou reparo de isolamentos térmicos, eliminação de vazamentos de vapor ou calor, regulagem e controle de temperatura de equipamentos, redução de pressão em sistemas de vapor, instalação e/ou manutenção de purgadores, fechamento de tanques aquecidos e manutenção de válvulas são algumas dessas iniciativas.

Implantar ou melhorar isolamentos térmicos em equipamentos e tubulações aquecidas – ou mesmo, nas de fluidos frios –, e empregar refratários adequados e revestimentos em fibra cerâmica nos fornos pode possibilitar uma economia de energia entre 3% e 15% ao se evitar perdas de calor por convecção e radiação através de paredes e abóbodas (Trinks e Mawhinnney, 1975).

O controle de incrustações e a limpeza de trocadores de calor e caldeiras não tendem a ser ações dispendiosas, à exceção de quando se exigir paradas frequentes de manutenção e perda de produção. Geralmente, o que se requer é o tratamento de água, além do uso de inibidores de corrosão e outros produtos químicos.

Finalmente, cabe destacar que ganhos também são possíveis através de sistemas de iluminação mais eficientes do ponto de vista energético. Embora este uso responda por parcela bastante reduzida do consumo do insumo pela indústria – menos de 1% em 2013 –, o potencial de economia de energia pode ser estimada em 14% em 2013 (EPE, 2014; MME/ FDTE, 2005).

3.5.3.2. SUBSTITUIÇÃO DE COMBUSTÍVEIS

Compreende a substituição de combustíveis por outro de menor fator de emissão de carbono. A troca de óleo combustível por gás natural é um exemplo – quando integral, permite redução de até 27%. Nesse caso, a conversão de equipamentos geralmente exige somente adaptações de baixo custo de investimento, tal como a troca de queimadores (Henriques Jr., 2010). Aspectos relacionados à logística de oferta e aos preços relativos entre os energéticos devem ser considerados adicionalmente para avaliar a viabilidade da medida.

3.5.3.3. COGERAÇÃO DE ENERGIA

A cogeração de energia compreende a produção combinada de calor e energia eletromecânica. Representa alternativa de eficiência energética para aproveitamento do insumo térmico disponível em gases de exaustão que, de outra forma, seria perdido. É amplamente utilizada em segmentos industriais de grande peso no Brasil, como os sucro-alcooleiro, químico, siderúrgido, de celulose e papel e de refino de petróleo, os quais exibem farta disponibilidade de resíduos em seu processo de produção.

Essencialmente, os ciclos básicos de cogeração seguem duas configurações principais:

- *topping*, em que se produz inicialmente energia eletromecânica em uma máquina térmica, sendo o calor rejeitado encaminhado a processo subsequente;
- *bottoming,* em que se aproveita o calor rejeitado em altas temperaturas para gerar energia eletromecânica.

A maioria das aplicações está centrada no ciclo *topping*, com uma diversidade de tecnologias disponíveis e aplicáveis a conjunto significativo de insumos – biomassa, gás natural, óleo combustível, carvão mineral e gases combustíveis residuais. No ciclo *bottoming*, há um menor número de possibilidades (De Paula, 2004). Praticamente, elas estão restritas à recuperação de calor em caldeiras a vapor.

Neste subcapítulo, na Tabela 3.31 estão representadas as características de tecnologias utilizadas por ciclos de regime *topping*. Observa-se nela, que a cogeração baseada em motores a gás apresenta maior eficiência elétrica. Em ambos os sistemas, há disponibilidade de calor residual nos gases exauridos, de modo que é possível aumentar a produção de eletricidade ao se acoplar uma turbina a vapor. A configuração daí resultante é denominada ciclo combinado e sua viabilidade econômica dependerá, entre outras, das condições de venda de eventuais excedentes à rede.

Outra possibilidade de aumento de eficiência global em sistemas baseados em turbinas a gás natural inclui, ainda, o uso de caldeiras de queima complementar para geração de vapor adicional ao processo industrial.

Tabela 3.31 *Características das tecnologias de cogeração em ciclo topping.*

Tecnologia	Porte típico da unidade (MW)s	*Heat rate* (MJ/kWh)	Razão vapor/eletricidade (kg/kWh)	Eficiência global (%)
Turbinas a vapor				
Contrapressão	0,5 a 60	15 a 42	4,5 a 13,6	75 a 85
Condensação/ Extração	10 a 100	10 a 42	0,0 a 13,6	70 a 80
Turbinas a combustão	0,5 a 100	10 a 16	1,1 a 4,5	65 a 75
Motor a diesel	0,1 a 30	9 a 12	0,5 a 1,4	75 a 85

Fonte: OTA (1993)

Cabe destacar que a recomendação do uso de sistemas de cogeração como alternativa de mitigação de emissões de GEEs no Brasil deve ser analisada criteriosamente, uma vez que geração de eletricidade se faz em base fortemente renovável e, por conseguinte, com reduzido fator emissor

de CO_2.[41] Neste sentido, algumas configurações de tais sistemas baseados em combustíveis fósseis tendem a níveis de emissão de CO_2 à atmosfera superiores aos produzidos pela que é atualmente gerada no *grid* brasileiro e resultando, portanto, em aumento líquido destas emissões.

Assim, para que a cogeração seja alternativa de mitigação efetiva no Brasil, são estas as configurações, de fato, aplicáveis (Henriques Jr., 2010):

- aquelas que maximizem o emprego de biomassa residuais de processos industriais – bagaço, lixívia e madeira –, gerando excedentes disponíveis para o sistema interligado e
- aquelas que reaproveitam gases residuais para geração elétrica em determinados processos fabris, tais como os produzidos por combustíveis no setor siderúrgico – gases de alto e baixo forno ou de coqueria –, pelo refino de petróleo – gás de refinaria – , o que reduz a demanda por eletricidade nas redes de transmissão e distribuição.

3.5.3.4. USO DE ENERGIA RENOVÁVEL

O emprego da energia renovável considera a substituição de combustíveis fósseis por energéticos como as diversas fontes primárias de biomassa, bem como o uso de energia solar.

Biomassa

O uso de biomassa em processos industriais no Brasil contempla atualmente a lenha, o carvão vegetal e os resíduos agroindustriais, com destaque para o bagaço de cana-de-açúcar e a lixívia. Cabe destacar que a potencial oferta desse insumo no Brasil é bastante relevante, como representado neste capítulo na Tabela 3.32.

Tabela 3.32 *Oferta de biomassa por tipo de resíduo no Brasil em 2005.*

	Toneladas por ano	Energia equivalente (milhões de barris equivaletes de petróleo por[1])
TOTAL	*558*	*42,4*
Resíduos agrícolas	**478**	**35,4**
Milho	176	14,3
Soja	185	12,5
Cana-de-açúcar – palha	60	4,4
Arroz – palha	57	4,2
Resíduos agroindustriais	**80**	**5,9**
Cana-de-açúcar – bagaço	58	4,6
Lixívia	13	0,8
Madeira	6	0,4
Arroz – casca	2	0,2
Florestas energéticas	**13**	**1,1**
Madeira excedente	13	1,1

1 bep = 5,95 gigajoule (GJ)

Fonte: EPE (2007)

O emprego de carvão vegetal na indústria siderúrgica brasileira – característica única do Brasil – como agente termo-redutor possui algumas vantagens, dentre os quais a simplificação do processo

[41]Em 2010, o fator médio anual de emissão do sistema interligado nacional brasileiro foi de 0,0512 toneladas de gás carbônico por megawatt horário (MCTI, 2011). A título de comparação, o fator médio de emissão de uma termoelétrica a gás natural situa-se entre 400 e 500 toneladas de CO_2/MWh.

e a ausência de enxofre, elemento indesejável na fabricação do aço, mas também traz como pontos negativos, a baixa resistência mecânica, que inviabiliza seu emprego em fornos de redução de grande porte.

Os equipamentos de maior capacidade produtiva para uso de carvão vegetal não ultrapassam 500 mil toneladas de ferro-gusa ao ano, enquanto que alto-fornos a coque mineral chegam perto de volume seis vezes maior – 3 milhões de toneladas de ferro-gusa ao ano. Embora as vantagens e desvantagens de cada uma das rotas tecnológicas estejam bem estabelecidas, há ainda muita controvérsia sob os pontos de vista das emissões de carbono e ambiental.

Aparentemente a via do carvão vegetal apresenta-se mais interessante, mas como não há garantia de que sua origem seja renovável – ou seja, de que não tenha sido gerado por desmatamento –, não se pode ter como certa a perspectiva de resultar em redução de emissões de GEEs.

Além disso, no plano socioambiental, seria importante estar atento para não se permitir a competição entre produção de alimentos e energia, ao se considerar áreas para plantio de madeira potencialmente apropriadas para agricultura. Além disso, deve-se ter em mente que empreendimentos com o carvão vegetal renovável demandam investimentos de vulto e de prazo longo para a formação de florestas plantadas (Henriques Jr., 2010).

Energia solar térmica

A energia solar pode ser aproveitada de modo a complementar sistemas de aquecimento de água para uso em processos de baixa temperatura, em particular em setores que requerem procedimentos de cozimento de alimentos, secagem de produtos diversos, lavagem e esterilização. Dessa forma, os segmentos industriais mais promissores para a adoção de coletores solares são o alimentício e uma parcela do cerâmico, têxtil, químico e de papel, para os quais são comuns operações de secagem ou pré-aquecimento de água.

3.5.3.5. RECICLAGEM E USO EFICIENTE DE MATERIAIS

A reciclagem de materiais permite economizar energia e matérias-primas, além de trazer benefícios ambientais ligados à extração de materiais e à disposição final de resíduos. Esta alternativa é particularmente atrativa para indústrias como a siderúrgica e a vidreira, além das fabricantes de alumínio, papel e cimento (IEA, 2010b).

Emprego de sucata na produção de aço

O aço é um material que pode ser aproveitado várias vezes, sem perder suas características – dureza, resistência e versatilidade. A economia para as empresas é significativa, tendo em vista que são evitadas as despesas da fase de redução do minério em metal, que envolvem alto consumo de combustível fóssil.[42]

No Brasil, o índice atual de reciclagem de aço é de 39% (MME, 2013), equivalente em 2012 a cerca de 9,5 milhões de toneladas. Aproximadamente 43% da sucata processada no País provem da chamada *sucata de obsolescência*, originária da coleta de produtos em desuso, como veículos e embalagens usadas.

A sucata de ferro pode ser empregada nas duas rotas típicas de produção de aço: o processo via

[42] Exemplificando, no caso de uma usina integrada de produção de aço – produtora, portanto, do próprio coque –, o consumo bruto total de energia em uma fábrica é estimado em torno de 43,8 GJ por tonelada de aço. As fases de produção de coque, sinterização e redução totalizam cerca de 84% deste consumo. Considerando- se o consumo líquido de energia de uma fábrica deste tipo – dado que a unidade produz energia a partir de resíduos térmicos disponíveis no processo –, o gasto energético evitado pela supressão dessas etapas devido À reciclagem corresponderia a cerca de 76% do total (EPE, 2009).

alto-forno combinado com aciaria a oxigênio – conhecido em inglês pela sigla *BF-BOF* – e aquele de aciaria elétrica em fornos a arco – ou *EAF*.

O primeiro processo emprega grandes quantidades de minério de ferro – a ser reduzido – e proporções de sucata próximas a 10%, chegando a 25% conforme a formulação requerida para alguns tipos de aço. Já na aciaria elétrica (*EAF*), emprega de 40% a 100 % de sucata no processo de redução direta – *DRI/ EAF* (Worrel *et al*., 2008).

Entretanto, não apenas a disponibilidade de sucata pode se constituir em gargalo, como alguns tipos de aço não permítem o uso de proporção muito elevada de material a ser reciclado. Em outras palavras, a participação da sucata dependerá de sua oferta oriunda de bens duráveis – veículos e equipamentos inutilizados, por exemplo –, como também da recuperação de refugo de produção.

Emprego de sucata na produção de alumínio

O alumínio pode ser reprocessado em cubas eletrolíticas, durante a fase de fusão ou redução nas empresas de produção de alumínio primário, que empregam grande quantidade de energia elétrica. A reciclagem proporciona uma economia de 95% em relação à energia utilizada para produzir o metal primário a partir da bauxita/alumina (ABAL, 2008). Além dessa economia, ocorre também economia de energia na fabricação da bauxita e da alumina, que poderiam ter sua demanda reduzida pelo maior uso de sucata de alumínio.

Considerando-se os segmentos da cadeia acima mencionados,o aumento de 10% nível de reciclagem total de alumínio permitiria reduzir 175 quilos de gás carbônico por tonelada de alumínio em emissões a atmosfera, principalmente devido ao menor consumo de óleo combustível na produção de alumina.

Cabe destacar ainda que, embora o nível de reciclagem de alumínio no Brasil situe-se em torno de 35,2% – valor superior à média mundial de 29,9% –, este é menor do que a taxa observada em países como Reino Unido (47,3%), Estados Unidos (44,6%), Itália (43,6%) 37,7% e Espanha (42,2%), segundo dados de ABAL (2014) para o ano de 2011. Isso sugere que possa experimentar algum aumento, mas deve-se, mesmo assim, analisar com maior profundidade as possibilidades para emprego dessa alternativa no mercado brasileiro.

Papel: aumento do uso de aparas de papel usado

No Brasil, o índice de uso de papel reciclado foi de 45% em 2013, segundo dados da Associação Brasileira de Árvores[43] (IBÁ), enquanto em vários outros países desenvolvidos esse valor ultrapassa 60% – Alemanha, Japão e Reino Unido –, e atinge até 80%, como é o caso na Espanha e na Coréia do Sul (BRACELPA, 2008).

O aproveitamento de papel usado substitui a polpa de celulose virgem, insumo bastante intenso em energia. As plantas de reciclagem tendem a ser menores e mais dispersas que as plantas de produção de papel primário, e suas necessidades de energia externa para fabricação de papel são um pouco maiores. Porém, de outro lado, a energia que seria gasta na produção de celulose equivalente para a mesma quantidade de papel é poupada. Como essa economia na fabricação de polpa supera a energia adicional empregada na reciclagem, o balanço final resulta positivo para o setor (Henriques Jr., 2010).

Se por um lado, o efeito da reciclagem de papeis se encontra bem estabelecido quanto à eficiência energética, por outro, seu impacto na redução das emissões apresenta alguma dificuldade para se cotabilizar. Isto porque, dependerá da proporção em que se emprega lixívia no processo de

[43] Em abril de 2014, foi lançada a indústria brasileira de arvores (Ibá, reunindo as empresas que participavam da Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira (Abipa), da Associação Brasileira da Indústria de Piso Laminado de Alta Resistência (Abiplar), da Associação Brasileira dos Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF) e da Associação Brasileira de Celulose e Papel (Bracelpa).

fabricação e do grau de integração das empresas do setor (IEA, 2007).
Uma estimativa a partir dos dados da matriz média de consumo de energia pela indústria de celulose e papel (EPE, 2014), indica que cada 10% de aumento na taxa de reciclagem de papel pode representar cerca de 41 quilos de dióxido de carbono por tonelada economizados.

Cabe destacar que tal volume inclui o *mix* de fábricas integradas, exclusivas em celulose e em papel, além de recicladoras e que a economia pode diferir substancialmente dependendo do tipo de fábrica envolvida na avaliação. Todavia, o índice apresentado visa ilustrar o potencial existente neste segmento industrial, cuja produção foi de 10,4 milhões de toneladas anuais em 2013 no Brasil (IBÁ, 2014).

Uso de cacos na produção de vidro
A reciclagem de vidro é uma prática tradicional, utilizada há muitos anos devido à economia de energia e de matérias-primas – areia e barrilha, principalmente – que propicia. A economia principal que se tem é de combustíveis nos fornos de fusão, onde, via de regra, a cada 10% de adição de caco de vidro (*cullets*) na carga a ser alimentada para a fabricação de vidro, obtém-se 3% de economia dos combustíveis usados (MME, 2007, Martin *et al.*, 2000).

No Brasil, o índice de reciclagem global de vidro é de 20%, sendo que para embalagens atinge 47%, valor bem inferior a valores encontrados na Europa, em particular na Alemanha (81%), Suécia (91%) e Bélgica (96%) (MME, 2013).

Uso de aditivos na produção de cimento
A produção de cimento é concluída com a moagem do clínquer pelo emprego de aditivos, cuja proporção depende do tipo a ser produzido. No Brasil, as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) regulam o teor de adições de materiais como gesso, material pozolânico e escória de alto forno, cujo teor, em conjunto, pode variar entre 5% e 70%.

A adição destes materiais permite que seja produzida menor quantidade de clinquer, produto intermediário onde de fato se dá o uso mais intensivo em energia no processo de produção do cimento. Um aumento de 4% na taxa de uso de aditivos nesta indústria, evitaria, conforme estimativa, a emissão de 9,2 quilos de dióxido de carbono por tonelada de clínquer.

3.5.3.6. TECNOLOGIAS DE PROCESSOS ESPECÍFICOS

Ferro e aço
A produção de aço pode se dar por diferentes rotas, dependendo da disponibilidade de matérias-primas e energia, bem como dos custos de investimento. Três delas são as principais atualmente:

- Alto-forno – ou *blast furnace* (*BF*) – e conversor a oxigênio – ou *Basic Oxigen Furnace* (*BOF*), que utiliza de 70% a 100% de minério de ferro e do qual até 30% do insumo remanescennte é sucata;
- Forno elétrico a arco – ou *electric arc furnace* (*EAF*) –, que usa entre 70% e 100 % de sucata, complementando-a com materiais à base de minério de ferro;
- Redução direta – ou *direct reduce iron* (DRI) – com forno elétrico a arco (*EAF*).

Entre essas tecnologias, o processo de redução direta é o menos energo-intensivo (4-6 GJ/t de aço), se usado com 100% de sucata. Por outro lado, a rota integrada é a mais energo-intensiva, entre 13-14 GJ/t de aço, em uma situação de máxima eficiência energética. A adoção da rota menos energo-intensiva, entretanto, é limitada por barreiras tais como a disponibilidade de sucata e a demanda por aços com composição mais pura (IEA, 2010b).

Dado a diversidade de processos e rotas tecnológicas, o consumo específico de energia final pode variar bastante. Oscila, por tonelada de aço por tonelada de aço, de 5 GJ – quando produzida

por unidades não integradas e através de rota elétrica – até mais de 30 GJ, quando derivada dos processos integrados[44]. A título de comparação, a média setorial no Brasil em 2013 foi de 21,5 GJ por tonelada (EPE, 2014). Uma planta siderúrgica com as melhores tecnologias embutidas, pode consumir 14,8 GJ por tonelada produzida, incluindo-se aí todos os energéticos, segundo Worrel *et al*. (2008).

Quanto a tecnologias que, no futuro, poderão contribuir para a redução de emissões de CO_2 pelo setor, pode-se citar (IEA, 2010b):

- o uso de carvão vegetal e plástico em substituição ao mineral;
- a fusão e o refino simultâneos com injeção de carvão;
- a redução por hidrogênio, cuja viabilidade técnica ainda precisa ser demonstrada;
- o reaproveitamento do gás de topo de alto-fornos e
- o uso de CCS para captura de CO_2 gerado no processo siderúrgico.

Cimento

O consumo típico de energia na fabricação de cimento situa-se na faixa entre 3 e 6,5 GJ por tonelada de clínquer, conforme o tipo de processo de fabricação e a configuração das plantas em termos de sistemas de recuperação de calor (IEA, 2007).

Um forno via seca consome entre 5,9 e 6,7 GJ por tonelada de clínquer. Já aqueles com seis estágios de pré-aquecimento e pré-calcinadores consumem atualmente de 2,9 a 3,3 GJ.

No Brasil, o consumo específico global médio situa-se em 4,1 GJ por toneladade clínquer, enquanto que o térmico fica em 3,7 GJ, estimados a partir de dados da EPE (2014). A configuração tecnológica mais moderna e eficiente pode permitir alcançar um mínimo de 2,85 GJ, segundo Worrel *et al*. (2008), considerando exclusivamente o uso da energia térmica.

Em termos de tecnologias futuras que podem contribuir para redução das emissões de CO_2 por esta indústria, pode-se citar (IEA, 2010c):

- a substituição de plantas ineficientes pela melhor tecnologia disponível (*Best Available Technologies - BAT*);
- o uso de combustíveis alternativos;
- o aumento do uso de aditivos na produção de cimento e
- o uso de CCS na pós-combustão e *oxicombustão*.

Papel e celulose

Praticamente todas as etapas do processo fabril apresentam alta intensidade energética. Os consumos específicos de energia variam numa ampla faixa de acordo com o processo empregado e em função das características do produto final - como celulose branqueada, não branqueada, gramatura do papel etc. No processo termomecânico, por exemplo, o consumo específico global de energia varia na faixa de 4,3 a 12,6 GJ/t de papel, dependendo do nível tecnológico e da fração de vapor recuperado. Já nos processos por via química, este parâmetro pode se situar na faixa de 20 a 25 GJ/t, sendo boa parte da demanda elétrica suprida por unidades de cogeração de energia (IPT, 1985a).

No Brasil, o consumo específico global médio deste segmento em 2013, segundo o BEN (EPE, 2014), é de 18,8 GJ/t de papel e celulose. Excluindo-se a energia elétrica, este consumo específico resulta em 15,8 GJ/t de papel e celulose. Se considerada a adoção das melhores tecnologias, de acordo com IEA (2007) e Worrel *et al*. (2008), e a cesta atual de produtos (rotas de processamento

[44] O processo integrado consiste dos processos desde a preparação do coque mineral até a laminação do aço. Portanto, inclui: coqueria, sinterização, redução em alto forno, aciaria, lingotamento e laminação. O processo não integrado, por sua vez, pode corresponder a uma ou duas das etapas anteriormente citadas. Por exemplo: somente produção de ferro-gusa (alto forno) via carvão vegetal, ou produção de gusa e aciaria, ou somente laminação.

de celulose e os diversos tipos de papel), poderia se projetar o consumo específico global ideal a ser atingido entre 13,5 e 14,5 GJ/t de papel e celulose ou entre 11,5 e 12,3 GJ/t para somente a energia térmica.

Em termos de tecnologias futuras que podem contribuir com a redução de emissões de CO_2 nesta indústria, pode-se citar (IEA, 2010b):

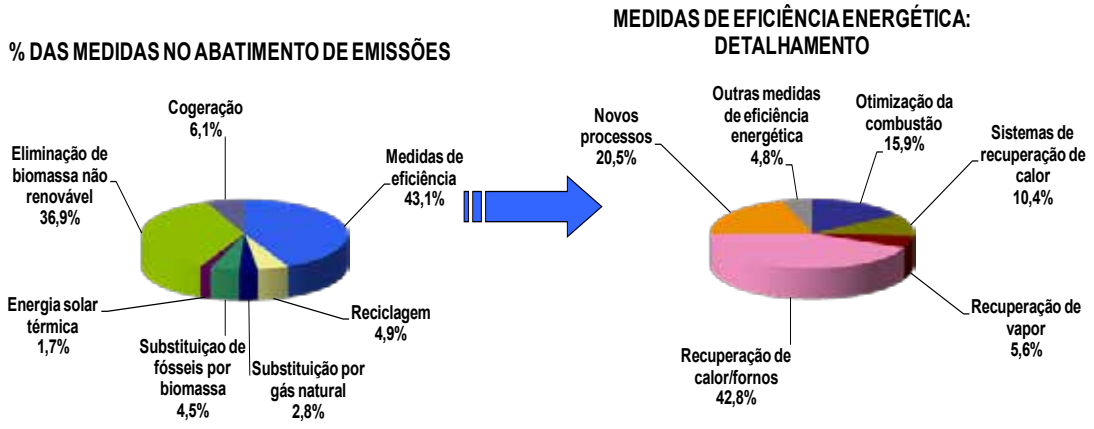
- Gaseificação de lixívia;
- Conversão de biomassa para combustíveis e produtos químicos;
- Tecnologias avançadas de remoção de água.

3.5.4. POTENCIAL PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO

3.5.4.1. OPORTUNIDADES

Há pouca disponibilidade de estudos nacionais cobrindo a potencialidade de aplicação de medidas de mitigação de emissões de CO_2 no Brasil.[45] O mais recente deles data de 2010 foi realizado por Henriques Jr. (2010), estima que as medidas de eficiência energética respondem pela maior parcela de contribuição para mitigação de emissões de GEEs: aproximadamente 43% do total, como representado na Figura 3.33.

Figura 3.33 Contribuição de medidas de abatimento de emissão de CO_2 na indústria brasileira: acumulado entre 2010-2030.



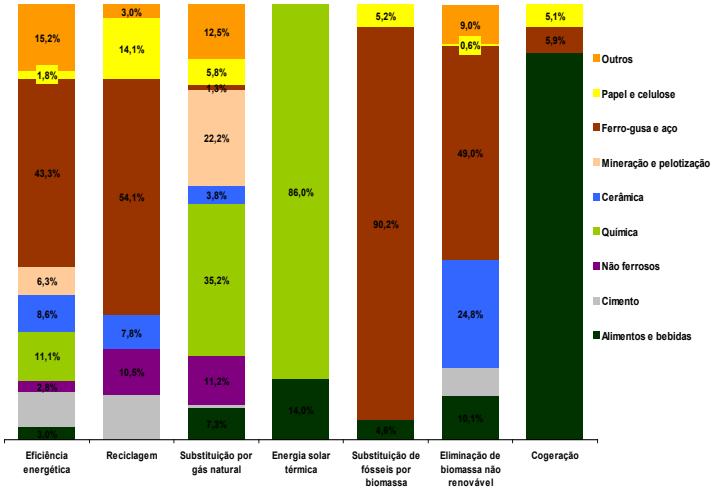
Obs.: Total de abatimento entre 2010-2030: 1.535.844 mil t CO_2
Fonte: Henriques Jr. (2010)

A contribuição por segmento industrial a cada uma dessas medidas de mitigação de emissões de GEEs está representada na Figura 3.34. Estima-se, por exemplo que a indústria siderúrgica responda pelo maior potencial de redução de emissões devido à reciclagem de materiais – da sucata, portanto

[45] Pode-se, contudo, citar alguns estudos com abrangência estadual: Schaeffer, R. et al., 2012: Impactos da Adoção de Metas de Redução de Emissão de Gases de Efeito Estufa sobre Setores Energointensivos do estado do Rio de Janeiro, Alternativas e Custos de Mitigação. Estudo contratado pela Secraria Estadual do Ambiente, Subsecretaria de Economia Verde. SEA: Rio de Janeiro, 372 pp. (Schaeffer et al., 2012; Gomes, G.L., 2011: *Análise da integração refino-petroquímica.Oportunidades econômicas, estratégicas e ambientais.* Tese de Doutorado. PPE/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ; Gomes, 2011; Rochedo, P.R.R. e A.S. Szklo, 2012: *Minimum work of separation and learning curves for carbon capture based on chemical absorption. Paper presented in The 7th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, SDEWES Conference, held in Ohrid in 2012.*

– seguido pelo aproveitamento de aparas de papel pelo setor de celulose e papel. A eficiência energética, por sua vez, tem também na prdução de aço o segmento industrial de maior potencial contribuinte – 43% do total.

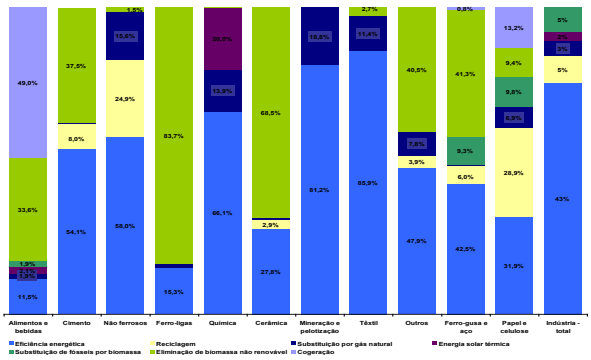
Figura 3.34 Contribuição dos segmentos industriais, por medida, para o abatimento acumulado de CO_2 de 2010 a 2030.



Fonte: Henriques Jr. (2010)

Em função de especificidades de cada indústria, quando analisada dentro de cada segmento industrial, a contribuição de cada medida de mitigação se distribui de forma diferenciada, conforme representado na Figura 3.35 e na Tabela 3.33. Assim, na indústria siderúrgica, as medidas de eficiência energética e a eliminação de biomassa de origem não renovável (carvão vegetal) agregam as maiores contribuições para mitigação de emissões de GEE: 42% e 41%, respectivamente. A eliminação de biomassa não renovável também tem papel relevante em indústrias tais como: alimentos e bebidas (66%), ferro-ligas (84%) e cerâmica (68%).

Figura 3.35: Percentagem por segmento industrial de contribuição das medidas para abatimento de CO_2 acumulado entre 2010 e 2030.



Fonte: Henriques Jr. (2010)

[46] A título de comparação com preços referenciais do mercado de carbono, considerando-se o preço de aproximadamente US$ 7/tCO2, observado em abril de 2013, o potencial de abatimento total estimado de acordo com essa curva pode ser de 824 MtCO2.

[47]Cabe destacar que essa medida provisória também estabelece que o Conselho Nacional de Política Energética poderá, a qualquer tempo, reduzir o percentual para até 5%, restabelecendo-o quando da normalização das condições que motivaram a redução do percentual.

Tabela 3.33 *Percentagem por segmento industrial de contribuição das medidas para abatimento de CO_2 acumulado entre 2010 e 2030*

Medida	Alimentos e bebidas	Cimento	Não ferrosos	Ferroligas	Química	Cerâmica	Mineração e pelotização	Têxtil	Outras indústrias	Ferro-gusa e aço	Papel e celulose	Indústria - total
Eficiência energética	11,5	54,1	58,0	15,3	66,1	27,8	81,2	85,9	47,9	42,5	31,9	**43,1**
Reciclagem	0,0	8,0	24,9	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	3,9	6,0	28,9	**4,9**
Substituição por gás natural	1,9	0,4	15,6	1,0	13,9	0,8	18,8	11,4	7,8	0,1	6,9	**2,8**
Energia solar térmica	2,1	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**1,7**
Substituição de fósseis por biomassa	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3	9,8	**4,5**
Eliminação de biomassa não renovável	33,6	37,5	1,5	83,7	0,1	68,5	0,0	2,7	40,5	41,3	9,4	**36,9**
Cogeração	49,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	13,2	**6,1**

Fonte: Elaborado a partir de Henriques Jr. (2010)

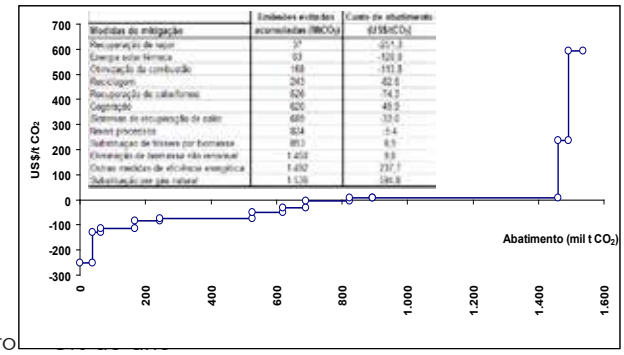
No que se refere aos custos de abatimento associados a essas medidas de eficiência energética, percebe-se que são negativos para quase 50% do potencial de mitigação de emissões de GEEs, conforme representado neste subcapítulo na Figura 3.36. Pode-se destacar que a maior parte delas se encontra neste intervalo, o que indica que as mesmas já se mostram viáveis do ponto de vista econômico.

Adicionalmente, cabe destacar que, considerando o conjunto de medidas com custo de abatimento que considera desde valores negativos até medidas com custo de US$ 9/t CO_2, pode-se estimar um volume de abatimento total de emissões economicamente viável da ordem de aproximadamente 900 $MtCO_2$.[46]

Contudo, isso não significa que se viabilizem apenas por este aspecto. A efetiva realização deste potencial de mitigação pode depender da adoção de ações adicionais para remoção de barreiras. A despeito do seu custo de abatimento negativo, uma ação pode não ocorrer, por exemplo, porque o custo de oportunidade de parada de produção para a substituição de equipamentos não se mostre atrativo.

Figura 3.36 Custos de abatimento de emissão de CO_2 por medida.

A



Obs.: Considera taxa de desconto

Fonte: Henriques Jr. (2010)

3.5.5. POLÍTICAS SETORIAIS E SOBRE O CLIMA RELACIONADAS A MUDANÇAS CLIMÁTICAS E INDÚSTRIA

3.5.5.1. POLÍTICAS PÚBLICAS VIGENTES RELACIONADAS A MUDANÇAS CLIMÁTICAS E INDÚSTRIA

São apresentadas aqui, de forma breve, as principais políticas implantadas pelo governo federal com efeito direto e indireto sobre a redução de emissões de gases de efeito estufa no Brasil.

Eficiência energética

Criado em 1985, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) tem atuação em vários setores – indústria, saneamento, prédios e iluminação públicos entre outros –, sendo coordanado pelo MME e conduzido pela ELETROBRAS. Entre 1986 e 2011, estima-se que o programa tenha contribuído para reduzir o consumo de eletricidade em aproximadamente 51.200 TWh, a um cuto estimado no período em torno de R$ 1, 26 bilhões, valor correspondente ao somatório simples dos gastos observados em cada ano individualmente nesse período (PROCEL, 2012).

A racionalização do uso de derivados de petróleo e gás natural é tarefa do Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), criado em 1991 e também coordenado pelo MME e conduzido pela Petrobras. Suas principais ações não têm se destinado ao setor industrial, mas para o segmento de transportes e à etiquetagem de aparelhos de uso domésticos. Em termos de resultados obtidos, o programa TRANSPORTAR aponta emissões de GEEs evitadas graças à economia de óleo diesel equivalentes a 227,5 mil toneladas de dióxido de carbono (CONPET, 2011).

Ademais, no plano legislativo as seguintes leis em vigor merecem destaque, a saber:

- A Lei 8.631/1993 (Brasil, 1993), que estabeleceu a obrigatoriedade de as empresas distribuidoras de eletricidade aplicarem 1% de suas receitas operacionais líquidas em ações de combate ao desperdício do insumo.
- A Lei 9.991/2000 (Brasil, 2000), ao que define a destinação de recursos oriundos do setor elétrico brasileiro para programas de eficiência energética. Atualmente, eles representam 0,25% da receita operacional líquida (ROL) das concessionárias de energia elétrica.
- A Lei 10.295/2001 (Brasil, 2001a), também conhecida com Lei da Eficiência Energética, estabeleceu, por fim, a base para a regulamentação de padrões mínimos de rendimentos para vários equipamentos e normas específicas que estão sendo regulamentadas por tipo de equipamento.

Derivado da Lei de Eficiência Energética, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) foi criado para garantir desempenho energético e segurança operacional de equipamentos diversos, compreendendo motores elétricos, lâmpadas, aparelhos eletrodomésticos e gasodomésticos. Coordenado pelo INMETRO, é integrado aos dois programas brasileiros de conservação de energia citados – o PROCEL e o CONPET (Henriques Jr., 2010).

Produção e uso de biocombustíveis

No caso dos biocombustíveis, os planos nacionais trataram prioritariamente do setor de transportes. Assim, ainda na década de 1970, instituiu-se o PROALCOOL para promover a substituição parcial da gasolina que movia a frota automotiva. Também foi criado o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel, estabelecendo a adição de percentuais crescentes do biocombustível. Recentemente, entrou em vigor a Medida Provisória 647, estabelecendo a adição obrigatória de biodiesel de 6% ao diesel mineral a partir de 1º de julho de 2014, e de 7% a partir de 1º de novembro.[47]

Reciclagem e economia de materiais

As principais iniciativas no campo da reciclagem advêm, atualmente, de grupos empresariais privados, a partir da percepção de oportunidade de negócio, economia de matérias-primas e redução de demanda de energia.

Também vale lembrar a existência de programas de coleta seletiva em alguns municípios brasileiros. A despeito, porém, das claras vantagens da reciclagem, um dos gargalos evidenciados em pesquisa realizada pelo Cempre é alto custo da sua fase inicial – a da coleta – , cinco vezes maior do que o da convencional.

Cogeração

Com 2,652 GW instalados (dados de13/07/2014) de capacidade instalada em cogeração, baseada principalmente em biomassa (ANEEL, 2012c), o desenvolvimento dessas unidades no País conta com o arcabouço legislativo resumido a seguir:

- o Decreto 2.003/1996 (Brasil, 1996b), permitiu ao cogerador comercializar a energia elétrica junto a consumidores aos quais se fornece energia térmica sob forma de vapor, água quente ou água gelada;
- a Lei 10.848/2004 (Brasil, 2004a), dispôs sobre a comercialização de energia elétrica, incluindo a aquisição de eletricidade cogerada por concessionárias;
- o Decreto 5.163/2004 (Brasil, 2004b) regulou a aquisição de energia distribuída por concessionárias, definindo a cogeração como fonte de suprimento elegível à contratação pelas distribuidoras de eletricidade;
- a Resolução Normativa (REN) ANEEL 235/2006 estabeleceu critérios para qualificação de centrais cogeradoras quanto a índices de eficiência mínimos (Aneel, 2006);
- a Lei 11.488 de 2007 estabeleceu, entre outros mecanismos, o Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI), que concedeu a pessoas jurídicas cujos projetos de implantação de obras de infraestrutura nos setores de transportes, energia, saneamento básico, irrigação ou portuário tenham sido aprovados, isenção no pagamento das contribuições PIS/PASEP e COFINS (Brasil, 2007a);
- a REN ANEEL 389/2009 estabeleceu direitos e deveres para a autoprodução de energia (APE) e/ou a independente (PIE), incluindo no rol, o livre acesso ao sistema de transmissão, encargos e fiscalização (Aneel, 2009);
- REN ANEEL 371/1999, 304/2008 – numeração atual da resolução 371 após alterações em seu texto – e399/2010, regulamentaram tanto a contratação quanto a comercialização de reserva de capacidade por APE e/ou PIE.

No âmbito da promoção de empreendimentos de cogeração, pode-se citar, ainda a criação do PROINFA, através da Lei 10.438/2002 (Brasil, 2002), com contratação de 3,3 gigawatts de capacidade instalada para geração elétrica renovável, dos quais 830 megawatts oriundos de biomassa de cana-de-açúcar, conforme disposto pelo Decreto nº 5.025/2004 (Brasil, 2010d).

Já através da Lei 10.848/2004 e do Decreto nº 5.163/2004 (Brasil 2004a e 2004b), foram criados leilões de compra de energia elétrica específicos para empreendimentos baseados na cogeração a biomassa de cana-de-açúcar. Este tipo de ação institucional do governo brasileiro proporcionou a inserção de maior parcela de biomassa no sistema elétrico nacional.

PROESCO

O programa PROESCO se destina a apoiar financeiramente os serviços de consultoria das empresas de eficiência energética, conhecidas pela sigla ESCOs. É conduzido pelo BNDES.

Em paralelo aos fundos instituidos por esse Banco, ainda que com um volume de recursos bem menor, a indústria conta com linhas específicas de financiamento, reembolsáveis ou não, operadas pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), a projetos de pesquisa e desenvolvimento e de inovação tecnológica destinados a produtos, processos e equipamentos em geral. Provenientes dos fundos setoriais da ciência e tecnologia geridos pelo MCTI, que desembolsaram em 2011 de R$

1,5 bilhão em ações de fomento no País (MCTI, 2012), eles incluem o CTPETRO – dedicado aos segmentos de petróleo e gás natural – e o CTENERG – abrangendo o setor de energia elétrica (MCTI, 2012). O acesso da indústria a tais instrumentos financeiros pode ser indireto, com os projetos envolvendo parcerias com universidades e/ou centros de pesquisa, ou direto, na modalidade intitulada *subvenção*.

Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC)

Como resultado da Lei 12.187/2009 e do Decreto 7.390/2010 (Brasil, 2009c e 2010f), várias diretrizes e instrumentos operacionais estão sendo disponibilizados – entre os quais o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC) –, além de compromissos setoriais específicos, definidos. Relacionado ao setor industrial, as metas de tais iniciativas contemplam ações para eficiência energética e maior uso de fontes renováveis na geração de energia – inclusive de bagaço de cana-de-açúcar nos processos de cogeração –, e a produção de aço a partir do carvão vegetal.

Posteriormente, o Decreto 7.390/2010 (Brasil, 2010f) definiu metas setoriais de mitigação e destacou a necessidade de desenvolvimento de planos setoriais específicos pelo País (FBMC, 2012).

Finalmente, ainde merecem destaque as leis que estabeleceram as políticas de mudanças climáticas e global do clima e desenvolvimento sustentável – 13.798/2009 e 5.690/2010, respectivamente –, para os estados de São Paulo e do Rio de Janeiro.

Projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) no setor industrial do Brasil

Projetos de MDL constituem um plano que transcende a política nacional. Sob a liderança do MCTI, o governo brasileiro vem buscando assegurar um ambiente com regras claras de forma a incentivar sua implantação.

Do total de projetos de MDL registrados atualmente no Brasil, cerca de 27% estão no setor industrial, nos quais, segundo levantamento realizado no portal do MCTI (2011a) 50% das emissões evitadas se referem à cogeração no setor sucroalcooleiro.

Plano de expansão da malha de transporte de gás natural (PEMAT)

Criado através da Lei nº 11.909/2009 e posteriormente regulamentado pelo Decreto nº 7.382/2010 (Brasil, 2010e), tem o objetivo de estabelecer estudos sobre mercado potencial para licitação de dutos de transporte de gás natural. Este arcabouço, além de alterar o regime de concessão, também instituiu figuras no arcabouço jurídico desse segmento energético, como a do autoprodutor. Nesse sentido, objetiva-se expandir a oferta de gás natural no País, através da licitação de gasodutos a serem indicados pela União, para viabilizar a expansão mais acelerada da demanda de gás natural, o que permite deslocar energéticos com maior fator de emissão de carbono, bem como alguns poluentes locais.

3.5.5.2. PROPOSTAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DAS OPÇÕES MITIGADORAS DE EMISSÕES DE GEES PELA INDÚSTRIA

Algumas propostas para aceleração da adoção de alternativas tecnológicas que representem ganhos na redução das emissões de GEEs pela indústria nacional são apresentadas neste ítem, a partir das alternativas relatadas anteriormente.

Além de barreiras específicas a cada alternativa de mitigação, é mister destacar aspectos que entre outros – e transversalmente – dificultam a adoção de opções de baixo carbono, quer sejam:

- barreiras de financiamento,
- assimetrias de informação quanto às opções tecnológicas disponíveis,
- marco regulatório insuficiente para promover a adoção de tais tecnologias ou
- descoordenação entre os diversos agentes (Borba *et al.*, 2012).

Além desses aspectos, as propostas apresentadas também buscam superar as barreiras específicas inerentes a cada uma das alternativas de mitigação apresentadas.

Eficiência energética

Entre as diversas barreiras apontadas por especialistas (Worrel *et al.*, 2009; Dyer *et al.*, 2008; Jochem e Gruber, 2007; IEA, 2007; Taylor *et al.*, 2008, Geller *et al.*, 2004, Jannuzzi, 2000), incluem-se dificuldades de acesso a financiamento, reduzido grau de informação quanto a alternativas de uso eficiente de energia, baixo grau de articulação entre agentes, baixa capacitação técnica e aspectos culturais.

A seguir, um resumo das medidas propostas no campo da promoção de eficiência energética:

- estabelecer sistema de estatísticas e monitoramento de informações sobre o desempenho energético de setores econômicos do País e seus respectivos potenciais de economia de energia;
- estabelecer projetos de demonstração que contemplem tecnologias transversais e/ou específicas para a divulgação de casos de sucesso;
- estudar a adoção de incentivos tributários para instalação de equipamentos eficientes;
- incentivar o desenvolvimento doméstico de tecnologias apropriadas a tal objetivo para cada setor da economia brasileira;
- estudar e disponibilizar linhas de financiamento a juros e condições diferenciadas para a implementação de projetos com tal característica;
- desenvolver programas de capacitação técnica para identificação e implantação de soluções eficientes usuários finais;
- estabelecer metas de índices de consumo específico por setores ou grupos de empresas assemelhadas, criando bônus ou prêmios para as melhores;
- estabelecer ações para a aceleração do desenvolvimento do mercado de ESCOs;
- ampliar os recursos de P&D para projetos de desenvolvimento tecnológico de energia eficiente e a implantação daqueles que possam servir de demonstração;
- ampliar a transferência tecnológica nessa área através de parcerias;
- criar processos de certificação de empresas energeticamente eficientes através da concessão de incentivos fiscais, tributários ou de outra natureza;
- incentivar acordos voluntários para adoção de medidas/tecnologias eficientes; e ainda,
- promover uma política para compras pelo setor público de equipamentos eficientes.

Reciclagem e economia de materiais

As principais barreiras no setor de reciclagem residem na limitação de financiamentos, no baixo engajamento dos municípios na adoção dessa prática e, ainda, na flutuação de preços de matérias-primas e determinadas *commodities*. Alguns materiais têm oferta limitada eventualmente por conta de custos elevados de coleta seletiva e transporte (CEMPRE, 2009).

As medidas propostas para se alcançar ambos os objetivos incluem:

- apoio e financiamento para associações e cooperativas de reciclagem de material usado;
- criar e financiar programas de coleta seletiva em cidades de médio e grande porte – para papel, vidro, metais e plásticos, inclusive propiciando a ampliação dos mesmos a criação de programas de reciclagem com estratégia de marketing aprimorada para que obtenham maior visibilidade na mídia, tais como selos e certificados verdes para produtos reciclados possivelmente compatíveis com os padrões da ISO 14.000; e ainda,
- o estabelecimento de política para consorciamento entre municípios cuja escala conjunta de disponibilidade de resíduos possa justificar a instalação e operação de unidades geradoras de eletricidade.

Substituição entre energéticos fósseis

A substituição de fontes fósseis de maior conteúdo de carbono por gás natural está condicionada a dois aspectos básicos: a disponibilidade e a competitividade de preços relativos.

Para fomentá-la, as ações propostas incluem:

- a oferta de recursos financeiros para conversão e aquisição de equipamentos apropriados ao consumo de gás natural;
- a manutenção de investimentos em P&D para alimentar o mercado desse insumo com produtos e equipamentos eficientes em termos energéticos e
- o estabelecimento de uma política de preços para esse energético que reflita as vantagens comparativas de seu uso o uso em detrimento dos combustíveis fósseis.

Cogeração de energia

A cogeração de energia no Brasil tem se voltado tradicionalmente para setores com disponibilidade de resíduos energéticos em seus processos de produção, tais como as indústrias sucroalcooleira, siderúrgica, petroquímica e de papel e celulose.

Quando fruto do gás natural, as principais dificuldades para implantação de suas unidades residem em aspectos ligados aos padrões de interconexão à rede da concessionária, à venda efetiva de seus excedentes e a incertezas diante da evolução dos preços relativos de energéticos.

Cabe destacar que a economicidade desses empreendimentos também pode ser estimulada por conta da percepção de perdas devidas a interrupções não programadas de eletricidade (Szklo *et al.*, 2000).

Para incentivo à instalação de tais sistemas, as ações sugeridas incluem:

- o estudo da adoção de política tributária diferenciada para os equipamentos de cogeração;
- o incentivo às políticas de depreciação acelerada da avaliação dos mesmos;
- o estabelecimento de processos e metodologias para a colocação de excedentes elétricos cogerados à rede, definindo regras específicas de entrada e saída nos ativos de distribuição – as unidades cogeradoras ofertantes e os consumidores optantes por fornecimento derivado de cogeração.

Uso de biomassa renovável em detrimento da derivada de desmatamentos

As biomassas enfrentam barreiras de diversos tipos. No caso da lenha e do carvão vegetal há dificuldades pelo lado da oferta diante de limitações de crédito e pelo baixo preço praticado na oferta das biomassas de desmatamento. Somam-se a estes pontos a questão do alto custo da terra, a competição com outros usos, as distâncias existentes dos empreendimentos florestais para alguns pólos industriais, que encarecem o transporte, e os demais custos de transação da utilização da biomassa renovável (Henriques Jr., 2010).

Medidas para incrementar a participação da biomassa renovável e eliminar o desmatamento são complexas, exigindo ações coordenadas, que envolvem ações comando e controle – basicamente, fiscalização –, redefinição de regras e leis, compensações financeiras, limitação de crédito para atividades degradantes e, principalmente, financiamento de longo prazo para formação e manutenção de florestas energéticas – capazes de observar rotações a cada sete e ciclos de até 21 anos, como é o caso daquelas formadas por eucaliptos.

Muito embora a principal barreira para o uso do carvão vegetal seja a reduzida competitividade das florestas plantadas para essa aplicação, o que reduz a oferta deste tipo de floresta, é igualmente importante coibir a produção e o consumo desse energético proveniente de desmatamentos, que gera degradação ambiental e concorrência predatória. Além de ações de fiscalização em relação ao uso ilegal desse insumo não-renovável, sugere-se também a substituição integral de fornos rudimentares – do tipo conhecido como rabo-quente, ainda muito comuns em áreas rurais, por substitutos tecnologicamente modernos e energeticamente eficientes. Sob a ótica social, é preciso se considerar também um novo modelo de produção que dê conta da situação dos trabalhadores rurais que atuam na cadeia informal e ilegal de produção biomassas, tanto no corte de árvores quanto na produção de carvão.

As medidas políticas a serem implementadas para se alcançar tais objetivos seguem descritas, de forma resumida:

- o desenvolvimento de programas de exploração sustentável de florestas conjugado à adequada fiscalização de tais empreendimentos;
- o financiamento da adoção de florestas energéticas para produção de lenha e carvão vegetal renovável;
- a integração do MDL, como concebido pelo Protocolo de Quioto, às políticas públicas de financiamento enquanto instrumento adicional para o incremento da atratividade do uso de carvão vegetal;
- o estudo e a implementação de políticas de financiamento específicas para aquisição de equipamentos industriais necessários ao uso de tais energéticos eficientes e de menor impacto ambiental – ou seja, de picadores, fornos, caldeiras, entre outros –; e ainda,
- ações para para a recolocação em atividades distintas de trabalhadores informais que atuam no desmatamento e/ou na produção de carvão vegetal.

Energia solar

Quanto à energia solar, as principais barreiras têm sido a falta de conhecimento da tecnologia, a ausência de financiamento e aspectos culturais. Muitas empresas estão acostumadas com seus processos tradicionais e têm dificuldades em mudar ou inovar.

As principais recomendações para expandir o uso desta fonte energética envolvem:

- a manutenção da alíquota zero para o Imposto sobre a Produção Industrial devido sobre a fabricação de produtos de uso de energia solar, tais como os coletores para aquecimento de água e ar e os painéis de energia fotovoltaica;
- a criação de linha de financiamento especial – a juros reduzidos, carência e prazo dilatado de amortização – para empreendimentos baseados no aproveitamento dessa fonte;
- a alocação de recursos para P&D para equipamentos industriais alimentados pela fonte solar, como é o caso de secadores; e, ainda,
- o desenvolvimento de projetos de demonstração.

3.6. AGROPECUÁRIA E SILVICULTURA

3.6.1 INTRODUÇÃO

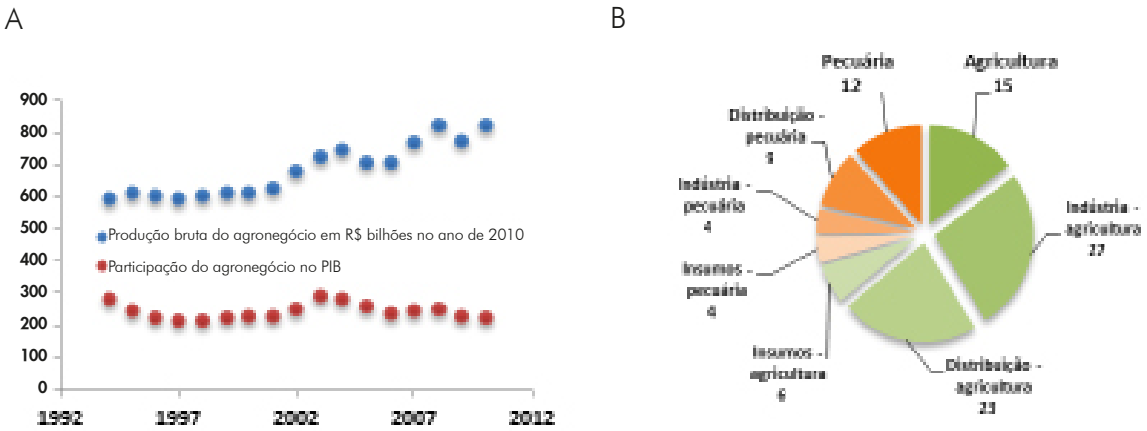
Em termos globais, as emissões de GEEs pelos setores de agricultura e pecuária contribuíram com 10 a 12% dos lançamentos antropogênicos equivalentes de CO_2 à atmosfera por todo o planeta, no ano 2005 (Smith *et al*., 2007).

No Brasil, dados do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) indicaram que 19% das emissões do País registradas naquele ano foram originadas na agropecuária (MCT, 2010). Com base em estudo realizado em 2010, obteve-se que esse setor foi responsável por 35% do volume total emitido (Brasil, 2010b). No entanto, como o Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa - Relatórios de Referência somente será publicado em 2014, este subcapítulo se concentra nos dados do Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (Brasil, 2010b).

Importante setor da economia brasileira (IBGE, 2011b), a agropecuária do País é referência no suprimento da demanda de várias *commodities* para o consumo global. Considerando-se por inteiro o agronegócio, que agrega movimentações dos setores de indústria e de serviços, estima-se que a agropecuária, incluindo-se nela a silvicultura, venha contribuindo com 22 a 29 % do PIB nacional desde 1994. Trata-se de participação com tendência a queda desde 2003, ainda que ascendente desde então, em valores monetários anuais, conforme representado neste subcapítulo na Figura

3.37, o que indica crescimento ainda maior de outros setores da economia.

Figura 3.37: Produção bruta do agronegócio brasileiro e sua participação no PIB nacional de 1994 a 2010 e participação dos segmentos dos setores agrícola e pecuário no PIB do agronegócio.



Queiroz da Universidade de São Paulo (CEPEA, 2011).

Em relação à produção bruta do agronegócio, a agricultura e a pecuária movimentaram *per se* 15% e 12%, respectivamente. O restante se refere à produção industrial e de serviços do setor, conforme representado neste subcapítulo na Figura 3.37B.

Enquanto o setor se destaca na economia do País, no plano ambiental seu desempenho está associado ao avanço de lavouras e pastagens sobre ecossistemas, principalmente dos biomas Cerrado e Amazônia (Sawyer, 2008; Barona *et al.*, 2010). Em 2005, as emissões pelo uso e mudança de uso de solo e florestas, juntamente com a agropecuária, representaram as principais fontes de GEEs do País, próximo de 80% do total (MCT, 2010). No entanto, em 2010, diminuiram para 57% em função da redução das taxas de desmatamento, com o setor uso e mudança de uso do solo e florestas reduzindo de 57% para 22%, e o setor agropecuário elevando de 19% a 34% os respectivos volumes equivalentes em CO_2 emitidos (MCTI, 2013). Estudos estimaram aumento de emissões de GEEs pela agricultura e pecuária no cenário nacional para a década atual e a de 2020, em função da necessidade de atendimento à demanda global de alimentos (McKinsey, 2010; Gouvello *et al.*, 2010; Cerri *et al.*, 2010). Porém, tal previsão é um consenso já que se trata de subsetores com muitas oportunidades de mitigação de emissões (Cerri *et al.* 2010), tais como a expansão do cultivo por plantio direto na palha – PDP, sistema de produção agropecuária em que se evita a perturbação do solo e se mantém sua superfície sempre recoberta de resíduos de palha ou vegetação – e a melhoria das pastagens, tema abordado neste subcapítulo

3.6.2. AGRICULTURA BRASILEIRA

O Brasil se destaca no cenário internacional pela produção agrícola e pecuária. Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (*FAO*), em 2009, o País liderou a produção mundial de café, derivados de cana-de-açúcar, laranja e feijão. Ocupou também, a segunda posição entre os produtores de soja e a terceira entre os de milho, além de se ter destacado nas exportações desses produtos (*FAO*, 2011b). Ainda segundo a *FAO*, o Brasil possuía o segundo maior rebanho bovino do mundo com mais de 200 milhões de cabeças de gado e o terceiro maior plantel de aves, posicionando-se entre os maiores exportadores de carne de boi, de frango e suína.

3.6.2.1 PRINCIPAIS LAVOURAS

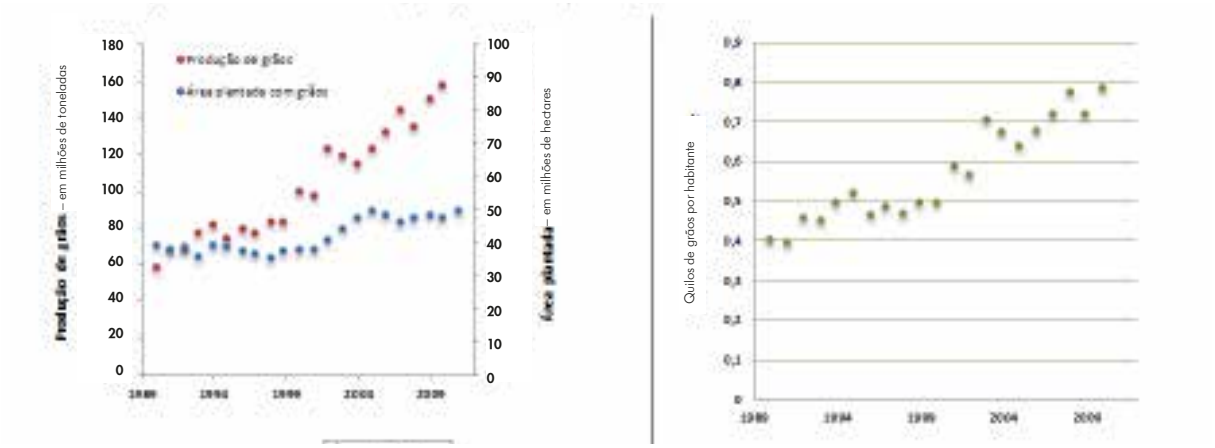
Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2011c), a área total plantada no Brasil na safra 2010/2011 foi de 66,7 Mha, dos quais, aproximadamente 49,3 Mha, destinaram-se à produção de grãos; 9,6 Mha, à cultura da cana-de-açúcar; 1,5 Mha a outras culturas anuais e 6,3 Mha a lavouras permanentes. A área plantada com grãos variou entre 35 e 39 Mha de 1990 a 2001, aumentando para 47 a 49 Mha entre 2002 e 2004, principalmente pela expansão das áreas de soja, e mantendo-se nesse patamar até 2011.

Por outro lado, a safra de grãos apresentou volumes crescentes de 1990 a 2011, evoluindo de 58 para 157 milhões de toneladas, conforme representado na Figura 3.38A neste subcapítulo. Isso significou um aumento de produtividade nesse período de 1,6 para 3,2 megagramas, ou toneladas, por hectare (Mg ha^{-1}), enquanto a população brasileira cresceu do patamar de 145 milhões para 191 milhões de habitantes, com o bom desempenho da agricultura permitindo o avanço da produção de grãos *per capita* de 0,40 para 0,78 toneladas, como está representado na Figura 3.38B.

Da área de agricultura de sequeiro, dedicada à safra de verão[1], pouco mais de 60% tem correspondido ao plantio da soja e milho. Estimativas para a safra 2010/2011 indicavam área cultivada para a primeira de 24 Mha (Conab, 2012).

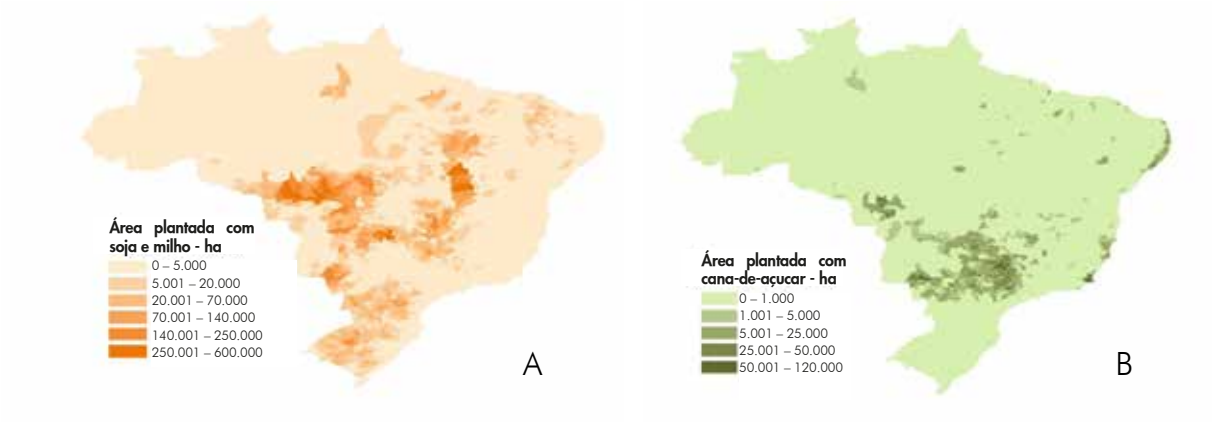
As áreas mais relevantes para produção de grãos se estendem de Norte ao Sul no País, concentrando-se nas regiões Sul e Centro-Oeste e nos estados da Bahia e Minas Gerais, conforme representado neste subcapítulo na Figura 3.39A. O plantio direto foi utilizado em 17,6 Mha de acordo com o Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2006a), embora a estimativa baseada em cooperativas de produtores, informações da agroindústria e especialistas do setor tenha sido de 25,5 Mha para safra 2008/2009 (Derpsch *et al.*, 2010).

Figura 3.38: Produção e área plantada com grãos de 1990 a 2011 (A), e razão entre a quantidade de grãos produzida e o número de habitantes do Brasil no período de 1990 a 2010 (B).



Depois da soja e do milho, a cana-de-açúcar era a cultura com maior área plantada, com 9,6 Mha na safra 2010/2011, concentrando-se em São Paulo e no litoral nordestino, além dos estados de Minas Gerais, Paraná e Mato Grosso do Sul, conforme se pode observar na Figura 3.39B deste subcapítulo. Sozinho, o estado de São Paulo respondia por aproximadamente 64% da produção nacional de cana-de-açúcar, com uma área disponível para colheita que se aproximava de 5,3 milhões de hectares nesse mesmo período.

Figura 3.39: Hectares de área plantada com soja e milho no Brasil em 2009 (A) e com cana-de-açúcar (B).



Fonte: Pesquisa Agropecuária Municipal do IBGE (2011c).

Soja, milho e cana-de-açúcar, por representarem perto de 50% da área agrícola, consumiram grande parte dos recursos utilizados nessa atividade. Entre 40 a 50% dos fertilizantes nitrogenados consumidos no País - onde o total, em 2001, somou 3,37 milhões de toneladas de nitrogênio -, são empregados nas duas últimas culturas (ANDA, 2012), enquanto que mais de 50% dos defensivos são consumidos no manejo das três culturas (Neves *et al*. 2006).

3.6.2.2 PECUÁRIA

De acordo com o censo agropecuário de 2006, o Brasil possuía um rebanho bovino estimado em 171,6 milhões de cabeças de gado (IBGE, 2006b), 80% das quais com sangue zebuíno – *Bos indicus* –, especialmente da raça Nelore, para o caso de animais de corte (Ferraz e Felício, 2010).

O gado de corte é a maioria do rebanho nacional e, grande parte dele, se encontra na região de vegetação de Cerrado, que também concentra parte significativa da produção agrícola nacional, sendo que pastagens cultivadas e lavouras ocupam, respectivamente, 26,5 e 10,5 % da área (Sano *et al.*, 2010).

Em 2010, 22 milhões de vacas foram ordenhadas no País segundo o IBGE (2011e), total que oscilou em 10% desde 1990, alcançando produção entre julho de 2010 e junho de 2011 de 21,3 bilhões de litros de leite (IBGE, 2011e). Aproximadamente 34% desse rebanho se encontra na Região Sudeste. O restante estava distribuído equilibradamente nas demais regiões, com exceção da Região Norte, que contava com número menor de cabeças, equivalente a aproximadamente 10 % do total.

A área ocupada por pastagens, estimada pelo IBGE em intervalos de quinquênio a decênio, encolheu 10% em 2006 em relação a 1990 e 1995, cedendo espaço principalmente para as lavouras de grãos e cana-de-açúcar. Dos 159 milhões de hectares de pastagens existentes em 2006, 57,31 milhões eram de espécies nativas, 91,59 milhões de espécies cultivadas em boas condições e 9,84 milhões de pastagens cultivadas degradadas (IBGE, 2006c).

A área degradada estimada pelo IBGE está bem abaixo do que tem sido divulgado por especialistas e disseminada em artigos científicos, como é o caso daqueles de autoria de Peron e Evangelista e de Oliveira *et al.*, publicados em 2004; e ainda, por Euclides *et al.*, editado em 2010. Considerando-se os totais de rebanho e área de pastagem, obtém-se uma lotação animal média próxima de uma cabeça ha^{-1}, o que caracteriza a pecuária nacional como extensiva.

A produção de ovos e carne de frango representavam as principais atividades da avicultura brasileira em 2010. Dados então coletados pela União Brasileira de Avicultura (UBABEF 2010) – hoje Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA) mostram que o abate de frangos resultou em 12,23 milhões de toneladas de carne em 2010, em um crescimento de 11,38% em relação a 2009, representado consumo *per capita* de 44 quilos por ano. Do total produzido, 31% foram destinados ao mercado externo, sendo o Oriente Médio o principal importador desse produto. Ainda nesse mesmo ano, conforme a mesma fonte, foram produzidos 28,8 bilhões de ovos para um consumo *per capita* anual de aproximadamente 149 unidades.

O abate de suínos alcançou 30,8 milhões de animais em 2011, produzindo 3,36 milhões de toneladas de carne que atenderam principalmente ao mercado interno a uma média anual de 15,1 quilos consumidos *per capita*, conforme informou a Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína (ABIPECS, 2011) – hoje Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA).

Tanto a produção de aves quanto a de suínos geram grandes quantidades de dejetos que são usados como adubos alternativos na agricultura (Fioreze e Ceretta, 2006; Aita *et al.*, 2006).

3.6.2.3 FLORESTAS PLANTADAS

As florestas plantadas destacam-se por representarem a principal fonte de madeira para a produção de celulose e papel, móveis, energia e siderurgia a carvão vegetal. No Brasil, sua área em 2010 foi estimada pela Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF) em 6,97 milhões de hectares, 3,2% maior que a ocupada no ano anterior e concentrada nas regiões Sul e Sudeste do País. Desse total, 68,2% são áreas plantadas com eucalipto, principalmente para a produção de celulose de fibra curta, segmento que o Brasil é líder mundial.

Outro segmento para o qual são importantes as florestas plantadas é o de carvão vegetal. Em 2010, sua produção a partir de florestas primárias ficou em 4,95 milhões de toneladas, rendendo faturamento bruto de R$ 2,34 bilhões, no qual 72% (R$ 1,69 bilhões) corresponderam à receita com a silvicultura – ou a exploração de florestas plantadas – e, a parcela restante equivaleu ao extrativismo (IBGE, 2010). Nesse mesmo ano, os estados brasileiros que apresentaram maiores índices de crescimento de área de plantio florestal foram o de Mato Grosso do Sul, com avanço de 27,4%; Maranhão, com incremento de 10,2%; Tocantins, com expansão de 7,2%; Minas e Pará – ambos com variação de 6,4% e chamados de *novas fronteiras florestais* (ABRAF, 2011) –, além de Goiás, em que a extensão aumentou 6,7%.

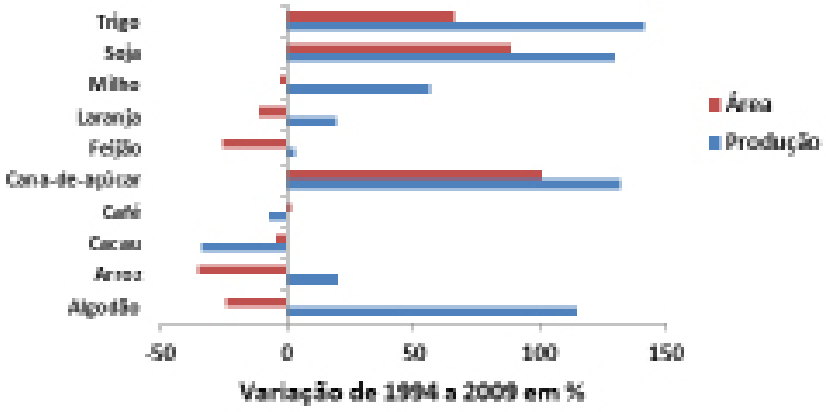
3.6.2.4 TENDÊNCIAS FUTURAS

Até 2050, a população do planeta deve atingir nove bilhões de habitantes e demandar 70% a 100% mais alimentos do que o registrado na década de 2000, em função das tendências de melhoria de renda e padrões de consumo mais elevados nos países em desenvolvimento e da globalização da economia (Godfray *et al.*, 2010). Essa demanda potencial tende a exercer pressão para expansão das áreas de produção e intensificação de sistemas agropecuários, além de implicar na necessidade de mais áreas plantadas para obtenção de biocombustíveis.

Uma análise do Governo Federal brasileiro trouxe projeções das principais culturas para a safra 2020/2021 (MAPA, 2011a). As principais mudanças deverão ocorrer na área plantada com soja, que aumentará em 21,5%, chegando a 30 milhões de hectares, e na área de cana-de-açúcar, que será de 11,5 milhões de hectares, uma expansão de 22,3% em relação à safra 2010/2011. Já o milho deverá ocupar 13,4 milhões de hectares, enquanto arroz, algodão, feijão e trigo tendem a manter o patamar de ocupação atual.

O Banco Mundial (Gouvello *et al.*, 2010) apontou para avanços de 7,9 milhões de hectares (Mha) da área plantada com soja, de 6,5 Mha no caso da cana-de-açúcar e de 3,2 Mha das florestas comerciais, no período de 2006 a 2030, com as demais culturas no Brasil pouco afetadas pela demanda futura. De fato, os históricos de arroz, feijão, algodão, café e laranja acusaram queda na produção entre 1994 e 2009, enquanto que culturas de safra de verão, como as de soja e de cana-de-açúcar, mostraram significativa expansão. Não obstante, à exceção do cacau e do café, todas as demais expandiram seu volume de produção, conforme representado neste capítulo na Figura 3.40.

Figura 3.40: Variações da área plantada e do volume de produção em 2009 *vis-à-vis* 1994.



Fonte: IBGE (2011a).

Em 2011, o Brasil possuía aproximadamente 275 Mha de áreas desmatadas para uso agrícola, dos quais menos de 30% eram explorados por lavouras (*FAO*, 2012). Considerando-se somente atividades legais, estudo feito pelo Banco Mundial (Gouvello *et al.*, 2010) demonstrou que, para 2009, a área agrícola existente deveria ser reflorestada em aproximadamente 44 Mha para que pudesse repor aquelas definidas como de preservação permanente e de reserva legal. Mesmo que se revisem esses números em função do Novo Código Florestal, tudo indica que o aumento de área de lavouras em um cenário legal deverá ocorrer sobre pastagens, obrigando a um contínuo aumento de eficiência da pecuária, especialmente a bovinocultura.

A cultura da soja deverá se expandir no Centro e no Sul do Brasil, e em menor escala, nas outras áreas do País, o que exigirá tecnologia para torná-la cada vez mais eficiente quanto à fixação biológica de N_2 – gás nitrogênio – e tolerante à acidez dos solos da região central do País (Alves *et al.*, 2003). Políticas públicas devem controlar esse avanço, tal como a *moratória da soja*, que impede que produtores comercializem a *commodity* produzida em áreas de desmatamento no bioma amazônico a partir de 2006.

Em relação à cana-de-açúcar, o zoneamento agroecológico (Manzatto *et al.*, 2009) exclui a expansão da cultura sobre os biomas Amazônia e Pantanal, e além disso, decisões em escalas estaduais e municipais ajudam a limitar a ocupação das áreas agrícolas pela cultura (Kohlhepp, 2010).

Se por um lado são projetados aumentos em termos de área plantada com algumas culturas na região Centro-Sul do País, aquelas ocupadas por pastagens deverão diminuir, mas se expandirão na Região Norte. Tal processo resultaria em pouca variação da área total até 2030, porém ela será mais produtiva (De Gouvello *et al.*, 2010). Segundo dados do Censo Agropecuário do IBGE (2006c), a área de pastagens no País diminuiu significativamente em relação aos censos anteriores. Não obstante, o País deverá manter um crescimento médio de 2,2% ao ano na produção de carne bovina até 2021 e continuar como principal exportador (MAPA, 2011a). Isso indica que deve ocorrer maior intensificação dos sistemas de produção e pressão sobre áreas nativas para formação de novas pastagens.

A atividade florestal pode se tornar estratégica para o desenvolvimento do Brasil, tanto no setor agroindustrial, quanto no energético, seja para suprimento do mercado interno, seja para exportação. O Plano Nacional de Energia 2030 (PNE, 2007) estimou que as fontes de energia no País têm potencial para suprimento de demanda crescente, ao ritmo de 3,6% ao ano no período de 2005 a 2030, com o uso de biomassa despontando como importante alternativa em função de sua competitividade e vantagens ambientais.

As incertezas do setor florestal dificultam estimativas de longo prazo, mas estima-se que até 2020 a área plantada possa chegar a 12 milhões de ha, e havendo investimentos públicos orientados para o setor, chegaria a 16 milhões de ha (BRASIL, 2011). Em curto prazo, espera-se sua expansão com plantios e migração maior do negócio florestal para o hemisfério Sul, além de consolidação de novas fronteiras de florestas brasileiras, substituição parcial de pinus por eucalipto e desenvolvimento de novos mercados, principalmente na área energética (ABRAF, 2011).

3.6.3. EMISSÕES NO SETOR

3.6.3.1 EMISSÕES GERAIS

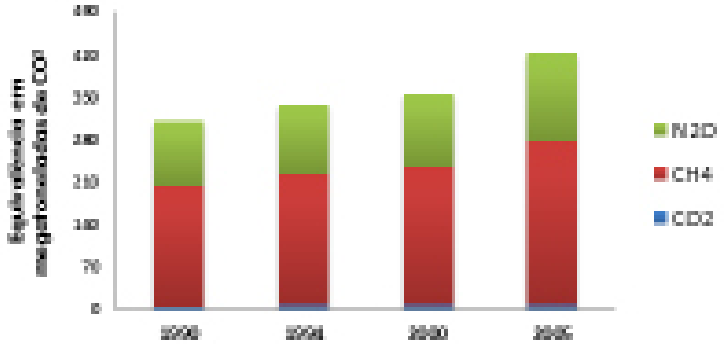
A Segunda Comunicação Nacional sobre emissões de GEE do Brasil (MCT, 2010c) informou que as emissões totais da agropecuária aumentaram 37% de 1990 para 2005 (Figura 3.41), evoluindo de volume equivalente a 309 para 423 megatoneladas de dióxido de carbono.

O uso do solo com lavouras e pastagens pode se comportar como fonte ou dreno de CO_2 da atmosfera, dependendo do uso anterior. No entanto, o Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não traz essas estimativas desagregadas por tipos de lavouras ou níveis de produtividade de pastagens, por exemplo, além de computar as emissões de CO_2 como integrantes do setor de mudança de uso e mudança de uso do solo e florestas (Brasil, 2010b).

3.6.3.2 EMISSÕES DE CH_4

As emissões de 12,8 megatoneladas de CH_4 pela agropecuária representaram 70,5% do total registrado no País em 2005, portanto, sendo a principal fonte do gás a fermentação entérica de ruminantes, equivalente a 90% do total de CH_4 emitido no setor. O manejo de dejetos de animais, o cultivo de arroz e a queima de resíduos agrícolas foram os demais contribuintes em menor participação, conforme representado neste capítulo na Figura 3.42A. Embora seja uma fonte de CH_4 relativamente pequena no Brasil, o manejo de dejetos de suínos é problemático devido ao seu potencial poluidor do meio ambiente relacionado ao sistema de estabilização e ao descarte nas lavouras

Figura 3.41 Emissões de CO_2, CH_4 e N_2O equivalentes em milhões de toneladas de CO_2 pela agropecuária brasileira em 1990, 1994, 2000 e 2005.Estimativas de equivalência de CH_4 e N_2O em CO_2 baseadas, respetivamente, em potenciais de aquecimento global (PAG) iguais a 21 e 310 (*IPCC*, 1996).



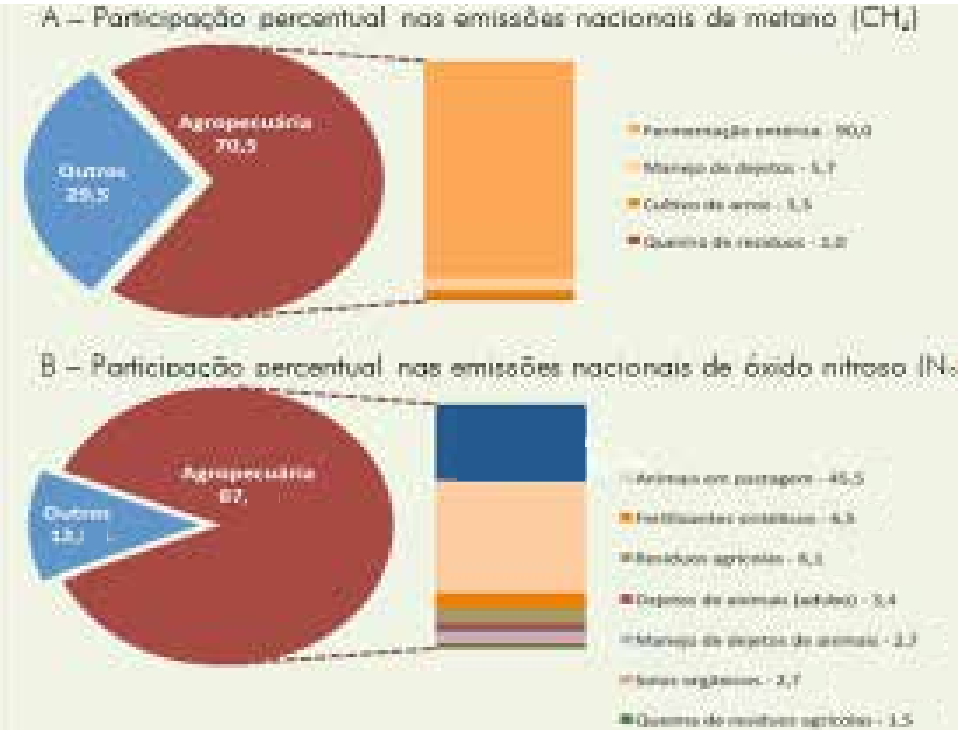
Fonte: Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de GEE (Brasil, 2010b) e *Intergovernmental Panel on Climate Change* (*IPCC*, 1996).

3.6.3.3 EMISSÕES DE N_2O

As emissões de N_2O pelo setor agropecuário representaram 87,5% das emissões totais de N_2O do País em 2005, conforme representado neste subcapítulo na Figura 3.42B, crescendo 43% em relação a 1990. Os excrementos de animais em pastagens participaram com 45,5% do volume total, seguidos pela contribuição de 6,5% dos fertilizantes sintéticos e de 6% dos resíduos agrícolas.

As chamadas *emissões indiretas* de N_2O, derivadas de frações de nitrogênio mineral no solo volatilizadas, lixiviadas ou deslocadas por escorrimento superficial, equivaleram à parcela de 31,7%. O fato de se originarem dos dejetos depositados em pastagens, fertilizantes e adubos reforça a importância da pecuária no comportamento emissor de GEEs pelo País.

Figura 3.42 Contribuição da agropecuária para o volume de emissões nacionais de CH_4 (A) e N_2O (B), e dos seus segmentos no total emitido pelo setor em 2005.



Fonte: (MCT, 2010).

Os dados apresentados mostram, de forma integrada, como lavouras e pastagens contribuem para as emissões de GEEs do setor agropecuário. Mas, as oportunidades de mitigação para cada segmento requer uma análise em separado das linhas de base dos principais sistemas de produção.

Nas lavouras, por exemplo, sistemas manejados com ou sem revolvimento de solo, como os de produção de grãos – em especial, de soja e milho –, acabam não sendo visíveis nos resultados de inventário de gases do País. O mesmo se aplica às pastagens, em função das diferenças que apresentam quanto a condições de degradação e alta produtividade.

3.6.3.4. EMISSÕES EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO

3.6.3.4.1 GRÃOS

As emissões de GEEs associadas ao cultivo anual de cereais e oleaginosas em sistemas não inundados derivam de variações nos estoques de carbono e emissão de óxido nitroso, N_2O, do solo e do uso de energia fóssil que permeia todos os sistemas de produção.

Segundo dados recentes da CONAB (2012), de um total de 36 a 37 milhões de hectares plantados com espécies anuais de primeira safra, 86% correspondem ao plantio de soja e milho. Durante o inverno na Região Sul e a *safrinha* do bioma Cerrado, são plantadas a safra de trigo e as segundas safras de milho e feijão, e também a terceira de feijão. O algodão e o arroz de terras altas são usados na safra de verão, em rotação ou não com soja e milho.

O uso do solo para produção dessas culturas anuais pode modificar os estoques de carbono no solo de forma diferenciada, uma vez que parte da lavoura é manejada em plantio convencional – referenciado pela sigla PC no jargão do setor – e outra, pelo direto, ou PD (Boddey *et al.*, 2010; Cerri *et al.*, 2010). Este último método é apontado como estimulador das emissões de N_2O pelo solo (Smith e Conen, 2004), embora tal efeito não seja expressivo em solo bem drenado (Jantalia *et al.*, 2008; Rochette, 2008).

Dados obtidos no Brasil confirmam que as emissões de N_2O aumentam com a utilização de fertilizantes nitrogenados (Zanatta *et al.*, 2007; Cruvinel *et al.*, 2011) e o conteúdo de nitrogênio nos resíduos vegetais (Jantalia *et al.*, 2008; Gomes *et al.* 2009). Em geral, tais lançamentos à atmosfera correspondem a menos que 1% do total de nitrogênio usado como fertilizantes e resíduos vegetais, como representado neste subcapítulo na Tabela 3.33, em claro contraste com o que seria superestimado pela utilização de fatores de emissão disponibilizados pelo *IPCC* (2006) – especialmente a partir do solo do Cerrado, no qual os fluxos de N_2O, em muitos momentos durante o ano, se apresentam aquém dos limites mínimos para detecção (Carvalho *et al.*, 2006; Metay *et al.*, 2007).

Embora ainda sejam poucos os estudos realizados, não têm sido mostradas diferenças marcantes na fração de nitrogênio adicionada, emitida como N_2O em lavouras com plantio direto, conforme se observa na Tabela 3.33 deste subcapítulo. Isso pode estar relacionado com a boa drenagem dos latossolos (Jantalia *et al.*, 2008), sobre os quais tratou a maioria dos estudos.

Já para a cultura do arroz inundado no Brasil, as emissões de gás metano são as mais relevantes (Linquist *et al.*, 2012), mas ainda pouco estudadas. Silva *et al.* (2011) encontraram diferenças na dinâmica de produção de CH_4 e no volume total emitido ao comparem solos distintos na Região Sul do País ocupados por arrozais. O manejo da lâmina de água pode reduzir as emissões do referido gás (Cerri *et al.* 2010). Porém, a escassez de informações não permite inferir o potencial associado a essa cultura.

Tabela 3.33 *Fração do N de resíduos e fertilizantes, emitida diretamente como N_2O, em sistemas de produção de grãos com diferentes manejos.*

Local	Tipo	Argila	Sistema	Culturas	Fração de nitrogênio no fertilizante emitida como gás	Referência
Eldorado do Sul (RS)	Argissolo	22%	PD	A+E/M+C	0,0060	Gomes *et al.* (2009)
				L+M	0,0075	
				P+M	0,0039	
				E/M	0,0056	
				A/M	0,0000	
Passo Fundo (RS)	Latossolo	63%	PD	S/T	0,0052	
				S/E	0,0059	Jantalia *et al.*, (2008)
				M/T + N	0,0041	
				Sg/T + N	0,0024	
			PC	S/T	0,0067	
				S/E	0,0060	
				M/T + N	0,0070	
				Sg/T + N	0,0029	
Santo Antônio de Goiás (GO)	Latossolo	40%	PD	Az/B + N	0,0003	Metay *et al.* (2007)
			PC	Az/B. + N	0,0003	
Média			PD		0,0041	(0,0008)
PC				0,0046	(0,0013)	

A: aveia; Az: arroz de sequeiro; B: braquiária; C: caupi; E: ervilhaca; L: feijão lab-lab; M: milho; P: soja perene; S: soja; Sg: sorgo; T: trigo. Culturas + N: gramíneas anuais existentes fertilizadas com nitrogênio. Fator de emissão direta de N_2O proposto pelo IPCC (2006).
Fonte: Elaborado a partir de informações constantes às obras citadas

3.6.3.4.2 CANA-DE-AÇÚCAR

A cultura da cana-de-açúcar tem sido colhida com e sem queima prévia da palha. A colheita com queima prévia deverá ser extinta no futuro próximo. No Estado de São Paulo, a lei 11.241/2002 a proíbe e seu fim está previsto para 2021 nas áreas mecanizáveis e, para 2031, nas demais. Acordo firmado com a União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA) reduziu esse segundo prazo para 2017. Na safra paulista de 2010 para 2011, o ritmo de redução se mostrou, porém, aquém do esperado, com o uso da queima adotado em 44% da área colhida (Aguiar *et al.*, 2011).

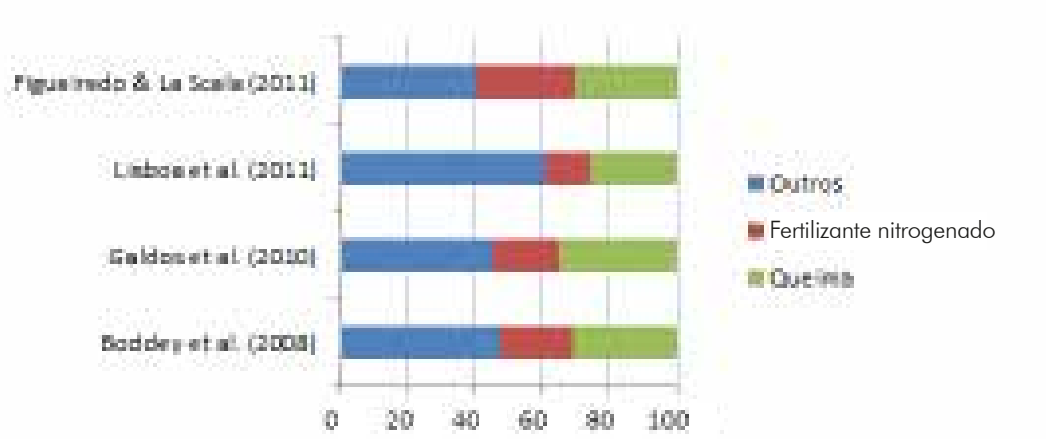
Não existem estudos feitos no Brasil que quantifiquem as emissões de CH_4 e outros gases a partir da palha queimada para facilitar colheita. Os fatores de emissão *default* – padronizados pelo *IPCC* quando o país não possui fatores de emissão estimados para as condições locais – de 2,70 quilos de CH_4 e de sete gramas de N_2O para cada tonelada de matéria seca de palha queimada (*IPCC*, 2006), foram considerados para se quantificar emissões pela cultura da cana. Assim, a partir desses dados, estima-se que o CH_4 e N_2O somados atingiram o equivalente a 0,72 a 0,96 Mg de dióxido de carbono por hectare ao ano (Boddey *et al.*, 2008; Lisboa *et al.*, 2011; Figueiredo e LaScala, 2011; Galdos *et al.*, 2009).

Além desses gases, Galdos *et al.*, (2009) destacaram a importância de se incluir a fuligem como componente de efeito estufa. Isso significaria considerar mais 5,6 Mg de dióxido de carbono por hectare ao ano derivado da queima de cultura para colheita.

Outras fontes de GEEs relativos à etapa agrícola de produção da cana-de-açúcar, tais como combustíveis, fertilizantes, resíduos de colheita e vinhaça, também foram, na maioria dos casos, contabilizados com fatores de emissão *default* do *IPCC*. Na fase de produção de cana-de-açúcar,

o volume emitido correspondeu em média ao equivalente a 2,56 Mg de dióxido de carbono por hectare. Entre 40% a 60% desse total corresponderam à queima da palha e à emissão de N_2O do solo por uso de fertilizante nitrogenado, conforme representado neste subcapítulo na Figura 3.43.

Figura 3.43: Contribuição da queima de palha, das emissões de N_2O no solo pelo uso de fertilizantes e outras fontes sobre as emissões totais de GEEs na etapa de produção da cana-de-açúcar no Brasil.



Fonte: Elaborado a partir de informações constantes às obras citadas

3.6.3.4.3 BOVINOCULTURA

Manejo de pastagens

A bovinocultura de corte e leite representa a principal fonte de GEEs na pecuária nacional, atividade majoritariamente conduzida em pastos (MCT, 2010). Devido à falta de manejo, pastagens em regime extensivo tendem a degradação com o tempo por conta, sobretudo, de carga animal inadequada e insuficiente reposição de nutrientes ao solo (Boddey *et al.*, 2004; Macedo, 2009). Esses dois fatores repercutem em redução do estoque de carbono no solo, o que não se dá com pastagens manejadas (Fearnside e Barbosa, 1998; Braz *et al.*, 2013).

Outro problema associado ao manejo é a prática das queimadas para manutenção e renovação de pastagens. Bustamante *et al.* (2012) estimaram emissões equivalentes a 0,5 Tg, meia gigatonelada, de gás carbônico por ano devidas a combustão de biomassa, majoritariamente nos biomas Cerrado e Amazônia. Além das emissões diretas da queima, efeitos de longo prazo também são observados provenientes do solo do Cerrado, especialmente quanto a dióxido de carbono e monóxido de nitrogênio, NO (Poth *et al.*, 1995). Não obstante, são necessários estudos que permitam estabelecer magnitudes e incertezas relativas a esse comportamento emissor, já que essas alterações de uso são menos previsíveis.

Emissões entéricas

As emissões entéricas ocorrem no rúmen – primeiro compartimento do estômago do ruminante – pela combinação de processos de fermentação do alimento consumido pelos ruminantes, que gera H_2, hidrogênio, com a metanogênese, que combina o H_2 com o dióxido de carbono, formando o gás metano, CH_4, eliminado predominantemente por eructação – arroto (Moss *et al.*, 2000).

Assim, entre os ruminantes, os bovinos de corte respondem por mais do que 80% das emissões de CH_4 pelo Brasil (MCT, 2010). Criado em grande parte em pastagens de braquiária (Ferraz e Felício, 2010), o rebanho zebuíno é pouco estudado em relação a produção de CH_4. Os poucos estudos realizados com zebuínos nesse tipo de pasto acusaram emissões entéricas médias de 56,4 (± 18,4) kg CH_4 cabeça^{-1} ano^{-1} (Demarchi *et al.*, 2003a e 2003b).

Bustamante *et al.* (2012) utilizaram modelo baseado na estrutura do rebanho bovino, composição de dieta e fatores de emissão definidos pelo *IPCC* e adaptados para as condições brasileiras a fim de construírem um cenário de referência para as pastagens do Brasil de 2006 a 2008. Ao estudarem rebanhos de diferentes regiões do País, esses autores encontraram emissões entéricas da ordem de 57 Tg CO_2eq ano^{-1} no bioma Amazônia, de 91 a 94 Tg CO_2eq ano^{-1} no Cerrado e de 84 a 87 Tg CO_2eq ano^{-1} nos demais. A média em todos eles ficou em 61 kg CH_4 animal^{-1} ano^{-1}, valor que não difere do medido por Demarchi e seus coautores.

Manejo de dejetos
Há carência de pesquisas sobre a emissão de GEEs durante e após o uso de dejetos de animais em sistemas agrícolas. Da mesma forma, não há resultados publicados sobre as emissões de óxido nitroso N_2O e CH_4 de excretas – resíduos nitrogenados, produzidos pelo metabolismo e eliminados pelo organismo –, depositadas em pastagens, o que faz com que a situação atual seja extrapolada a partir de números do Inventário Brasileiro de GEEs (MCT, 2010). Tal documento acusa que, em 2005, das emissões totais de CH_4 pela agropecuária, 5,7% derivaram do manejo de dejetos, prática que correspondeu a 2,7% do N_2O emitido pelo setor, com ambas as participações somando 20 Tg CO_2eq.

3.6.3.4.4 SILVICULTURA

As emissões de GEEs por plantios comerciais são oriundas de fontes fósseis associadas a operações agrícolas e ao uso de calcário e de fertilizantes. Segundo estimativas de Cerri *et al.* (2010), em 2010, as áreas de pinus e eucalipto acumularam cerca de 2,6 Tg de carbono na biomassa aérea e subterrânea, o que representou um dreno de 7,9 Tg de dióxido de carbono. O uso de fertilizante nitrogenado, calagem – adição de calcário ou outra substância alcalina, para corrigir a acidez excessiva de um solo – e fontes fósseis contribuíram com dois Tg de CO_2. Segundo esses dados, o acúmulo de carbono na biomassa equivale ao quadruplo ou sêxtuplo das emissões pelos plantios.

Os estoques de carbono na biomassa em plantações de eucalipto de sete anos de idade em cinco regiões representativas da cultura no Estado de Minas Gerais registraram média de 99 Mg por hectare, incluindo-se nesse total 64,8% no lenho, 6,9% nas cascas, 1,6% nas folhas, 13,5% nas raízes e 9,8% na manta orgânica. Isso representaria um aporte de 14 Mg hectare por ano (Gatto *et al.* 2010). Em plantios de pinus taeda com 21, 22 e 23 anos de idade, os estoques de carbono na biomassa variaram de 119 a 135 Mg por hectare, significando, em média, 128 Mg de carbono por hectare ou taxa anual de 5,8 Mg de carbono por hectare (Watzlawick *et al.*, 2005).

Sistemas agroflorestais, *silvipastoris* ou *agrossilvipastoris* são caracterizados pela presença das árvores com ao menos mais uma atividade. Neles, a magnitude das emissões relacionadas às árvores deve manter proporcionalidade ao que ocorre nos plantios comerciais, embora o armazenamento de carbono na biomassa, por exemplo, possa ser ampliado em função de melhores condições de luminosidade dado a fatores como o maior espaçamento entre plantas (Tsukamoto Filho *et al.*, 2004).

3.6.4 CENÁRIOS FUTUROS E POLÍTICAS SETORIAIS

O setor agrícola se depara com um desafio diferenciado, uma vez que suas principais contribuições em termos de emissões de GEEs não são provenientes do consumo de combustíveis fósseis, mas sim, decorrentes de fontes biogênicas intrínsecas aos processos de manejo de animais, dejetos, solos e sistemas florestais.

Conforme mencionado anteriormente, o governo brasileiro formalizou durante a *COP* 15, a adoção de ações de mitigação nacionalmente apropriadas (*NAMAs*) para redução de emissões nacionais de

GEEs, conforme representada neste subcapítulo na Tabela 3.34., cabendo ao setor agrícola reduzir o equivalente a 166 Tg de dióxido de carbono até 2020 em relação ao nível registrado em 2005.

Com o objetivo de facilitar o cumprimento de compromissos do Brasil no que toca à agricultura, foi institucionalizado o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – Plano ABC (MAPA, 2010a), uma estratégia de implementação do plano setorial consoante com o PNMC. Tal programa prevê linha de crédito própria, conforme a Resolução BACEN 3.896 de 17/08/10, e reúne investimentos e ações com vistas à sustentabilidade para a década seguinte, ou seja, até 2020. É composto por subprogramas dedicados à: recuperação de pastagens degradadas, integração entre lavoura, pecuária e floresta, adoção dp sistema de plantio direto, fixação biológica de nitrogênio, expansão das florestas plantadas e ao tratamento de resíduos animais, todos eles alinhados aos compromissos de *NAMAs*.

No âmbito do Plano Agrícola e Pecuário de 2011 para 2012 (MAPA, 2011b), R$ 3,15 bilhões foram alocados no Plano ABC, ou seja, 15,4 % do total destinado ao financiamento da safra. Com isso, se pretendeu ampliar a competitividade do setor e sua contribuição para a preservação do meio ambiente por meio do sequestro de carbono. Juros menores e prazos estendidos até quinze anos foram ofertados, com carência de até oito anos. As bases dessa linha de crédito explicitavam que sua meta era a ampliação das atividades da agropecuária e da silvicultura em áreas degradadas ou em recuperação.

Tabela 3.34 *Estratégias de mitigação propostas para o setor agrícola no âmbito do programa de agricultura de baixo carbono.*

Integração entre lavoura, pecuária e floresta (ILPF): aumentar área em quatro milhões de hectares, reduzindo as emissões de gases equivalentes entre 18 e 22 megatoneladas de CO^2.
Sistema plantio direto: ampliar sua aplicação na palha em quatro milhões de hectares, correspondendo à redução do equivalente a entre 16 e 20 megatoneladas de Tg CO_2.
Fixação biológica de nitrogênio: ampliar seu uso em 5,5 milhões de hectares, reduzindo volume de emissões equivalente a 10Tg de CO_2.
Promover ações de reflorestamento, expandindo a área total com florestas plantadas, atualmente destinadas à produção de fibras, madeira e celulose, em três milhões de hectares e alcançando nove milhões de hectares.
Ampliar o uso de tecnologias para tratamento de 4,4 milhões de metros cúbicos de dejetos de animais para geração de energia e produção de composto orgânico.
Recuperação de pastagens degradadas: em área de quinze milhões de hectares por meio do manejo adequado e adubação para redução de volume de emissões entre o equivalente a 83 e 104 Tg de CO_2.

Fonte: MAPA (2010a).

Outra iniciativa em prol do meio ambiente consiste no zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar (Manzatto *et al.*, 2009), regulamentado pelo Decreto 6.961 de 17/09/2009 (Brasil, 2009d), que determinou ao Conselho Monetário Nacional (CMN) estabelecer normas para as operações de financiamento ao setor sucroalcooleiro. A ideia contida na regulamentação é a de conter o desmatamento, identificando locais para cultivo sem agressão a áreas de floresta e restringir o apoio oficial às regiões mapeadas.

De acordo com o zoneamento, áreas que correspondem a 7,5% do território nacional, aproximadamente 64,7 milhões de hectares Mha, podem ser utilizadas para o plantio da cana-de-açúcar, desde que não estejam situados na Amazônia Legal, no bioma Pantanal e na Bacia do Alto Rio Paraguai, que guardam grande biodiversidade e ambientes ainda não explorados pela humanidade. Segundo Manzatto *et al.* (2009), do total da área do zoneamento, 41,2 Mha e 4,3

Mha possuem, respectivamente, médio e baixo potencial produtivo. Assim, é importante considerar que, no futuro, a expansão dessa cultura poderá ocorrer para ambientes que limitam a produção ou que exigem maiores investimentos em tecnologias agrícolas, elevando seu custo.

Tais programas reafirmam a convicção de que a agricultura pode contribuir de forma importante para reduzir as emissões de gases poluentes ao ter como aliados os avanços tecnológicos em matéria de genética animal e de irrigação, além do desenvolvimento de plantas resistentes a mudanças climáticas.

Em 2012, a Cúpula da Terra – Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), organizada pela ONU, no Brasil, entre 03 e 14/07/92, da qual participaram 175 países e 102 chefes de estado – celebrou seu vigésimo aniversário coordenando no Rio de Janeiro, a Rio+20, cujo objetivo principal foi discutir os passos necessários para se alcançar um novo paradigma para o modelo econômico global. A incorporação da sustentabilidade nos processos econômicos poderia ser potencializada com a difusão e a consolidação dos conceitos de uma *economia verde*[1].

Para vários setores, a *economia verde* significará por em prática processos orientados para produtividade e eficiência no consumo energético em todos os passos da cadeia produtiva, incluindo o uso de matérias-primas, a meia-vida dos produtos – indicação de tempo em que alterações físicas e químicas levam a perda de qualidade para consumo – e os processos de descarte e reciclagem. De modo geral, adotar padrões mais sustentáveis envolve extensivo inventário de emissões de GEEs e a estruturação de plano sistematizado para seu monitoramento ademais da aplicação de soluções, muitas vezes já disponíveis.

3.6.4. PRÁTICAS DE MITIGAÇÃO

Muitas possiblidades de mitigação podem ser listadas não só com base em teorias desenvolvidas sobre processos biogeoquímicos, como também em experiências de outros países. No entanto, algumas práticas são de especial relevância para o Brasil devido ao compromisso com os *NAMAs*, além do impacto que podem produzir sobre a magnitude de redução emissora de GEEs, como por exemplo, através da recuperação de pastagens. Já outras práticas são extremamente relevantes por conta de suas externalidades [48], como a eliminação da queima de canaviais para colheita.

A seguir, são apresentadas neste subcapítulo práticas de mitigação de GEEs na agropecuária, evidenciando seus respectivos potenciais, a partir do resultado de pesquisas elaboradas no País.

3.6.4.1 PLANTIO DIRETO NA PALHA

A técnica de plantio direto na palha consiste na eliminação da movimentação do solo por meio do uso de arados e grades, bem como na rotação de culturas e na manutenção da cobertura vegetal por todo o ano, sem afetar negativamente suas respectivas produtividades (Bolliger *et al.*, 2006).

Um dos efeitos dessa técnica sobre as emissões de GEEs é a redução, a cada safra, em quase 50% ou algo próximo de 90 quilos de dióxido de carbono por hectare, devido à eliminação das operações de aração e gradagem (Fernandes *et al.*, 2008). Além disso, há evidências de que a adoção do plantio direto pode promover uma recuperação da matéria orgânica de terrenos anteriormente manejados com preparo convencional [49] do solo.

[48] [1] As externalidades são atividades que têm efeitos sobre terceiros. Ou seja, na conjuntura ambiental, é fato inquestionável que qualquer atividade afeta outras atividades, de modo favorável ou desfavorável, ao longo do processo produtivo (Van den Bergh, 2010).

[49] [2] Preparo de solo para o plantio envolvendo o uso de arados e grades, e às vezes com subsoladores, provocando desagregação do solo.

Segundo estimativas de Cerri *et al.* (2004), a conversão de áreas de plantio convencional para o plantio direto acarretariam aumento médio de acumulação de carbono no solo da ordem de 0,5 Mg por hectare ao ano. Vários trabalhos foram publicados no Brasil comparando estoques de carbono na terra cultivada por sistemas de plantio convencional e direto. Esses estudos podem ser agrupados para a Região Sul e o bioma Cerrado, de climas contrastantes e que reúnem grande parte da produção nacional de grãos, como explicitado neste capítulo na Tabela 3.35.

Tabela 3.35 *Variações anuais de carbono no solo obtidas da comparação entre sistemas de plantio direto e convencional em culturas agrícolas da Região Sul e Cerrado.*

Local	Cultura	Profundida de em cm*	Tempo em anos**	Variação do estoque de carbono em Mg por hectare ao ano***	Referências
Sul					
RS	Aveia e milho	17,5	17	-0,071	Diekow *et al.* (2005)
RS	Tremoço e milho	17,5	17	0,771	Diekow *et al.* (2005)
RS	Aveia/ervilhaca e milho/caupi[1]	17,5	9	0,839	Bayer *et al.* (2002)
RS	Trigo e soja	20	19	0,163	Amado *et al.* (2006)
PR	Trigo/aveia e soja/milho	20	10	1,940	Siqueira-Neto *et al.* (2009)
SC	Vários[3]-soja/milho/feijão	20	7	0,429	Amado *et al.* (2006)
RS	Vários[3] - soja/milho	20	19	0,247	Amado *et al.* (2006)
PR	Vários[3] - soja/milho	40	5	0,052	Franchini *et al.* (2007)
PR	Trigo - soja	60	20	0,800	Babujia *et al.* (2010)
RS	Trigo - soja	100	13	0,038	Sisti *et al.* (2004)
RS	Trigo - soja	100	17	-0,224	Boddey *et al.* (2010)
RS	Trigo/ervilhaca - soja/milho	100	13	1,292	Sisti *et al.* (2004)
RS	Vários[3] - soja/milho	100	17	0,518	Boddey *et al.* (2010)
Cerrado					
MS	Pousio[2] - soja/milho	20	5	0,600	Bayer *et al.* (2006a)
GO	Pousio[2] - soja/milho	20	8	0,300	Bayer *et al.* (2006a)
GO	Mileto[1]/sorgo - soja/milho	20	12	0,830	Corbeels *et al.* (2006)
GO	Brachiaria/ Crotalária1 - arroz	30	4	0,348	Metay *et al.* (2007)
DF	Vários[3] - soja	30	13	0,210	Marchão *et al.* (2009)
GO	Feijão irrigado –milho	40	4	-0,005	Freitas *et al.* (2000)
GO	Feijão irrigado –milho	40	5	0,352	D'Andréa *et al.* (2004)
GO	Feijão/tomate -milho/arroz	40	5	2,166	D'Andréa *et al.* (2004)
PI	Vários[3] - soja	40	6	2,925	Leite *et al.* (2010)
MG	Feijão irrigado – milho	40	10	2,417	Rangel e Silva (2007)
MG	Feijão irrigado – milho	45	10	-0,300	Roscoe e Buurman (2003)
DF	Vários[3] - soja/milho	100	20	0,807	Jantalia *et al.* (2007)

*Amostragem **Tempo de adoção do PD ***Se negativa, indica estoques de carbono no solo em sistema plantio direto inferiores aos encontrados em plantio convencional. Sempre que possível, os cálculos de

estoques de carbono se referem à mesma massa de solo.
[1] Caupi, milheto e crotalária são tipos de plantas; [2]pousio, em agricultura, é nome que se dá ao descanso ou repouso proporcionado às terras cultiváveis; [3] o termo "Vários" refere-se a mais de uma espécie usada na safra de inverno de um mesmo ano (similar a mistura ou consórcio de espécies).
Fonte: Elaborado a partir de informações constantes às obras citadas

Em todos os casos, observa-se alta variabilidade entre estimativas, provavelmente em função de diferenças nos históricos de cada área, seus usos atuais e tipos de solo, no período decorrido de adoção do plantio direto e em metodologias de quantificação dos estoques de carbono no terreno, em particular, da profundidade definida para amostragem (Boddey *et al.*, 2010).

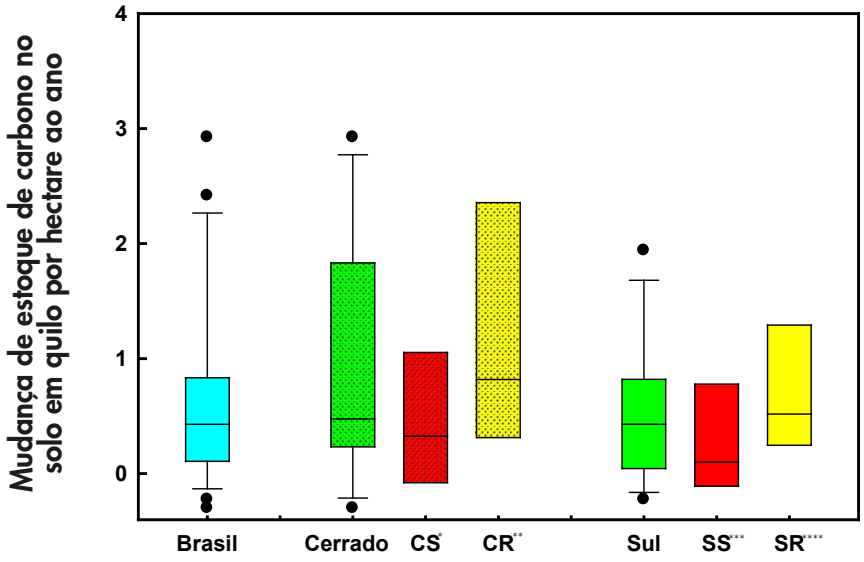
Considerando-se a variação dos estoques de carbono no solo, obtém-se mediana de +0,43 Mg C ha^{-1} ano^{-1}, dentro de um intervalo que varia de +0,14 a +0,83 Mg C ha^{-1} ano^{-1}, excluindo-se os dados discrepantes, conforme representado na Figura 3.44 deste subcapítulo.

Ao se separar a região Sul e o bioma Cerrado, encontrou-se, para a primeira, uma mediana de +0,43 Mg C ha^{-1} ano^{-1}, para intervalo de +0,05 a +0,81 Mg C ha^{-1} ano^{-1}– 25% e 75% percentil, respectivamente. Já para o segundo, essa proporção foi de +0,48 Mg C ha^{-1} ano^{-1}, para intervalo de +0,26 a +1,50 Mg C ha^{-1} ano^{-1}.

Um dos requisitos relevantes para o sucesso do PD é a rotação de culturas. No Cerrado, são comuns os plantios de soja seguido pelo de milho. Estudos feitos sobre mudanças nos estoques de carbono em solos também relataram o plantio de milho seguido pelo de feijão. Do conjunto de dados obtidos, foi possível estimar que, para a sucessão cultural nesse bioma, a taxa média de acumulação de carbono no solo seria de +0,33 Mg C ha^{-1} ano^{-1} para intervalo de -0,01 a +0,60 Mg C ha^{-1} ano^{-1}. Já para rotações que incluem os estudos com diversificação de espécies na safra e na safrinha, a mediana seria de + 0,82 Mg C ha^{-1} ano^{-1}para intervalo de +0,35 a +2,17 Mg C ha^{-1} ano^{-1}.

No Sul do Brasil, a sucessão de culturas apresentou taxa de acumulação de carbono no solo de + 0,10 Mg C ha^{-1} ano^{-1} para intervalo de -0,07 a +0,77 Mg C ha^{-1} ano^{-1}. Por sua vez, para a rotação, a mediana encontrada foi de +0,52 Mg C ha^{-1} ano^{-1}para intervalo de +0,29 a +1,18 Mg C ha^{-1} ano^{-1}, conforme representado neste capítulo na Figura 3.44.

Figura 3.44: Estoques de carbono em solos cultivados por plantio direto e convencional



* Sucessão de culturas no Cerrado ** Rotação de culturas no Cerrado *** Sucessão de culturas no Sul **** Rotação de culturas no Sul.
Fonte: dados coletados na literatura científica e inclusos na Tabela 3.35 exibida neste subcapítulo.

Apesar da variação das taxas de mudança de C no solo que foram informadas, observa-se tendência de maior potencial de acumulação de carbono nos solos cultivados por PD quando se utiliza rotação de culturas, que, por sinal, é uma das recomendações para seu uso (Bolliger *et al.*, 2006). Em complemento, pouca atenção tem sido dada à importância do nitrogênio na acumulação de carbono no solo, pois ao se considerar que a matéria orgânica apresenta caracteristicamente uma relação C/N de 10 a 12, pode-se deduzir que ela depende de haver sobra no sistema resultante das entradas e saídas de nitrogênio (Sisti *et al.*, 2004; Jantalia *et al.*, 2007; Zotarelli *et al.*, 2012).

Poucos estudos avaliaram as emissões de N_2O em solos manejados por plantio direto e convencional no Brasil. Até o momento, o que se sabe indica não haver diferenças significativas entre ambos como mostrado anteriormente neste subcapítulo na Tabela 3.34. Os resultados apurados permitiram estimar fatores médios de emissão direta inferiores à metade do fator *default* mencionado pelo *IPCC* (2006), usado, aliás, para calcular emissões desse gás no Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (Brasil, 2010b)

Tentativamente, considerando-se as taxas de acumulação de carbono no solo encontrada e a redução de emissões com a economia de combustível de duas safras, é possível se estimar um potencial de sequestro anual desse elemento por hectare de terra no Cerrado equivalente a 3,18 Mg de dióxido de carbono e, na Região Sul, de 2,09 Mg para uma perspectiva decenal. Além disso, as emissões de N_2O seriam irrelevantes em função dos resultados obtidos no País ao se comparar o plantio direto ao convencional.

No entanto, deve-se destacar que a contribuição do solo na remoção do dióxido de carbono atmosférico é temporária, durando até que as quantidades do poluente depositadas como resíduos e mineralizadas pelos microrganismos entrem em novo equilíbrio, após a mudança de manejo (Johnston *et al.*, 2009). Segundo o *IPCC* (2006), isso levaria, em média, duas décadas.

3.6.4.2 COLHEITA DE CANA-DE-AÇÚCAR SEM QUEIMA

A colheita da cana-de-açúcar por queima prévia de palhada – folha seca, ponteiro e pedaço de colmo – tem sido utilizada para tornar o corte manual mais eficiente e, também, mais seguro. No entanto, problemas relacionados à poluição derivada da combustão da cultura, com efeito na saúde das populações próximas a plantações canavieiras, motivaram mudanças na legislação para eliminar tal prática.

O desenvolvimento de máquinas viabilizou a colheita da cana-de-açúcar mecanizada, sem queima prévia, conhecida como *colheita de cana crua*, mas ainda se restringe a áreas com declividades inferiores a 12%, enquanto que o corte manual complementaria a tarefa na cultura plantada em terrenos mais inclinados.

Os resultados de diversos estudos mostram que, aproximadamente 30% das emissões de GEEs pela produção de cana-de-açúcar, se originam na queima para colheita, como representado neste subcapítulo na Figura 3.44. A partir de tais pesquisas é possível concluir que o equivalente a 0,77 Mg de dióxido de carbono por hectare são emitidos a cada ano com a prática desse processo.

Além disso, a eliminação dos resíduos de queima diminui a capacidade do solo de reter carbono. Dados da literatura científica sugerem que a eliminação de tal método implica manutenção de dez a 20 Mg por hectare de matéria seca de palha (Resende *et al.*, 2006; Boddey *et al.*, 2008; Macedo *et al.*, 2008; Figueiredo e La Scala, 2011). A permanência dos residuos faz com que os terrenos passem a acumular carbono, segundo Cerri *et al.* (2011), a uma taxa anual de 0,73 Mg por hectare naqueles arenosos e de 2,04 Mg por hectare nos argilosos ou ainda, a um ritmo médio de 1,5 Mg de carbono por hectare a cada ano.

A maioria dessas avaliações foi feita em solos de São Paulo, sem renovação de cultura. O único estudo feito no Nordeste informou não haver efeito acerca de preservação de palha em estoques de carbono no solo (Resende *et al.*, 2006), o que pode estar associado a reformas feitas no canavial. Ganho da ordem de um Mg de carbono por hectare ao ano, considerando-se camada de solo de até um metro, foi estimado por Machado-Pinheiro *et al.* (2010), após catorze anos de manejo da cana-de-açúcar sem queima na região de Linhares, no Espírito Santo. Porém, a área não foi renovada no período estudado.

Novamente, tal como mencionado para o uso de plantio direto em lavouras anuais, a acumulação de carbono após eliminação da queima, comparada a áreas queimadas, ocorrerá por período de tempo finito – talvez por 20 anos –, conforme sugerido pelo *IPCC* (2006). Assim, a perspectiva de tempo é importante para estimativas de mitigação potencial de emissões de GEEs.

3.6.4.3 RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS

O processo de perda de vigor de pastagens ou degradação ocorre com a falta de manejo, em que se destacam o superpastejo – exploração excessiva das pastagens – e a reposição insuficiente de nutrientes (Boddey *et al.*, 2004; Macedo, 2009). O uso do fogo é uma das práticas usadas pelos produtores que contribui para agravar o problema (Mistry, 1998; Jacques, 2003).

As pastagens podem ser recuperadas por reposição de nutrientes, calagem e mesmo descompactação do solo. Existem indícios de que sua degradação esteja associada à limitação de nutrientes no terreno com pasto, principalmente de nitrogênio, embora o uso de P, K, e de calagem façam com que a produção de biomassa aumente ainda mais (Oliveira *et al.*, 2001).

Produtivas, as pastagem geram elevada quantidade de resíduos aéreos e subterrâneos, da ordem de 20 a 30 Mg por hectare (Rezende *et al.*, 1999; Trujillo *et al.*, 2006), com rápida transformação no solo (Trumbore *et al.*, 1995; Fisher *et.*, 2007), o que faz com que, em teoria, este apresente um dos mais altos potenciais de acumulação de carbono.

O uso de leguminosas forrageiras em consórcio pode ser interessante para manter a produtividade da pastagem e, ao mesmo tempo, incrementar a fertilidade do solo e disponibilizar mais proteína aos animais, além de aumentar os estoques de carbono no solo (Tarré *et al.*, 2001; Silva *et al.*, 2004).

Dados obtidos no País sugerem que a recuperação de pastagens pode proporcionar ganhos de carbono para o solo entre 0,23 e 2,95 Mg por hectare ao ano, conforme citado na Tabela 3.36. deste subcapítulo.

Tabela 3.36 *Estoques de carbono no solo de áreas de pastagem produtiva e degradada e suas variações anuais entre as duas condições para diferentes localidades do Brasil.*

Local	Argila %	Profundidade em centímetros	Estoque de carbono no solo do tipo de pastagem relatado		Variação do estoque de carbono Em Mg quilo de carbono por hectare ao ano	Referências
			Produtiva	Degradada		
			em Mg quilo de carbono por hectare			
Luz (MG)	77	100	164,7	138,1	2,95	Braz *et al.* (2013)
Itaporã (MS)	46	100	95,5	84,8	1,78	Braz *et al.* (2013)
Penápolis (SP)	26	100	62	60,5	0,23	Braz *et al.* (2013)
Chapadão do Sul (MS)	11	100	62,3	53	1,06	Braz *et al.* (2013)
Goiânia (GO)	40	40	69,8	69,1	0,62	Freitas *et al.* (2000)*
Estados de Mato Grosso e Roraima	-	30	-	-	0,89	Maia *et al.* (2009)
Paragominas (PA)	-	100	100	108	1,60	Trumbore *et al.* (1995)
Itabela (BA)	-	100	-	-	0,66	Tarré *et al.* (2001)
Itabela (BA)	20	30	65,5	56,2	0,52	Costa *et al.* (2009)

*Dados corrigidos para equivalência em massa de solo apresentados em Fisher et al. (2007).

Fonte: Elaborado a partir de informações constantes às obras citadas

A partir de dados constantes nas várias fontes apresentadas na Tabela 3.36, estima-se uma taxa média próxima de 1,1 (± 0,28) Mg C ha^{-1} ano^{-1} – ou de 3,67 Mg CO_2 ha^{-1} ano^{-1} – que poderia ser válida pelo menos durante os dez primeiros anos após recuperação da pastagem degradada (Braz *et al.*, 2013). Isto porque se espera um declínio nas taxas de acumulação de carbono no solo com a aproximação do novo equilíbrio entre a entrada e a decomposição de resíduos (Trumbore *et al.* 1995; Johnston *et al.*, 2009).

Com adequado manejo, espera-se que haja eliminação da combustão por fogo e, consequentemente, menores emissões de CH_4 e N_2O, calculadas no equivalente a meia megatonelada de gás carbônico por ano para o Brasil de 2003 a 2008, ou o equivalente a 0,58 toneladas de CO_2 ha^{-1} ano^{-1}, considerando-se que uma média de 867 milhões de hectares foram queimados ao ano nesse período de cinco anos (Bustamante *et al.*, 2012).

Pastagens mais produtivas apresentam maior oferta e melhor qualidade de forragem, o que contribui para a redução do tempo para abate (Ferraz e Felício, 2010). Somente o avanço qualitativo implicaria redução de 10% nas emissões do gás metano CH_4 entérico (Demarchi *et al.* 2003a), pois permitiria maior produção de carne e de leite por animal e, portanto, atendimento de demanda com abatimento de menos animais.

Como a recuperação das pastagens implica reposição de nutrientes para o solo, com o nitrogênio como um dos mais requisitados (Oliveira *et al.*, 2001), espera-se maiores emissões de N_2O a partir do solo, embora não existam resultados para as condições de manejo adotadas no Brasil que permitam avaliar esse impacto sobre as emissões totais de GEEs.

3.6.4.4 REDUÇÃO DAS EMISSÕES ENTÉRICAS PELO BALANCEAMENTO DA DIETA, SUPLEMENTAÇÃO E ADITIVOS, E AÇÃO DIRETA NO RÚMEN

As pesquisas desenvolvidas no Brasil até a década de 2000 buscaram interferir na digestibilidade da dieta, representada neste subcapítulo na Tabela 3.37, favorecendo o consumo de alimento, o ganho de peso e a diluição das emissões por unidade de produto. Isso resultou em um fator de emissão médio de 57 quilos de gás metano por animal ao ano. Os valores default apresentados pelo *IPCC* para a América Latina são de 63 quilos de gás metano por animal ao ano para vacas leiteiras e de 56 quilos anuais do mesmo poluente por cabeça de bovinos não leiteiros, ou seja, de corte – ambos bastante próximos aos encontrados por pesquisas nacionais.

Tabela 3.37 *Estratégias para mitigação de efeitos do gás metano entérico testadas no Brasil e seus respectivos fatores de emissão avaliados pela técnica do hexafluoreto de enxofre - SF6– utilizada para medição de campo do metano ruminal em bovinos.*

Estratégia de manejo e alimentação	Modo de ação	Tecnologia utilizada	Fator de emissão em quilo de gás metano – kg CH_4 $animal^{-1}$ ano-1	Referência
Aumento da digestibilidade da dieta	Aumenta o consumo de matéria seca (CMS) e diminui a emissão de metano por quilo de matéria seca ingerida (MSI).	Pastagem exclusiva e bem manejada durante as quatro estações do ano.	56,4 ± 18,4	Demarchi *et al.* (2003a e 2003b)
		Uso de silagem, feno, cana-de-açúcar e ureia.	65,3 ± 19,8	Magalhães *et al.* (2009)
		Uso de fenos com idades de corte diferentes.	49,3 ± 0,6	Nascimento (2007)

		Média	57 ± 8	
Defaunação, ou seja, eliminação de protozoários ruminais.	Reduz protozoários e a produção de H_2.	Uso de taninos – Feno da leguminosa Leucena	50,5 ± 4,8	Possenti *et al.*(2008)
Drenos alternativos para o H_2 e aumento de crescimento microbiano.	Aumenta produção de ácido propílico e drena H_2.	Silagem e uso de alimentos concentrados	50,7 ± 4,5	Pedreira (2004)
		Silagem de sorgo – fonte de tanino + uso de alimentos concentrados e ureia	21,5 ± 4,1	Oliveira *et al.* (2007)
		Cana-de-açúcar e uso de alimentos concentrados	49,2 ± 8,5	Pedreira (2004)
		Feno de braquiária + ionóforo - molécula solúvel em lípidos	26,2 ± 6,6	Neto *et al.* (2009)
		Pastagem, suplementos minerais, protéicos e energéticos.	41,9 ± 1	Fontes *et al.* (2011)
		Pastagem e uso de ácidos graxos insaturados	35,1 ± 7	Carvalho *et al.* (2011)
		Confinamento e uso de ácidos graxos insaturados	33,1 ± 13,7	Carvalho *et al.*(2011)
Inibição de microrganismos metanogênicos	Dieta com dreno alternativo de H_2 para reduzir a produção de CH_4.	Uso de cana-de-açúcar, nitrato e alimentos concentrados	31,4 ± 5,2	Hulshof *et al.* (2012)
		Média	37,7 ± 10,2	

Fonte: Elaborado pelos autores

Por outro lado, a interferência direta no rúmen para reduzir a produção de H_2, proporcionar drenos alternativos para o H_2 já produzido e reduzir as populações de microorganismos metanogênicos, conforme mostrado á Tabela 3.37 deste subcapítulo, gerou um fator de emissão médio de 37,7 quilos de gás metano CH_4 por animal ao ano, valor 34,8% menor do que a média registrada para animais em pastos melhorados e suplementados, da ordem de 57 quilos anuais desse gás por cabeça. Tais resultados indicam que há uma ampla gama de estratégias com potencial de mitigação em condições de produção no Brasil.

Essas estimativas não levam em consideração a influência da dieta no ganho de peso animal, que se incrementado pode diminuir a idade para abate dos animais, reduzindo significativamente a emissão de gás metano por produto.

3.6.4.5 INTEGRAÇÃO ENTRE LAVOURA E PECUÁRIA

O Sistema Integração Lavoura-Pecuária (SILP) integra a atividade agrícola com a pecuária, com o objetivo de maximizar racionalmente o uso da terra e minimizar custos (Macedo, 2009). As maiores áreas de expansão dessa forma de manejo se encontram no bioma Cerrado, ainda que seja relativamente comum na Região Sul do País. Conforme a maioria dos estudos, a instalação de pastagens e sua manutenção, por método produtivo que inclua adubação química e manejo apropriado dos bovinos, promove o acúmulo de carbono no solo (Silva *et al.*, 2004; Corazza *et al.*, 1999).

Além disso, nos cerrados, a lavoura manejada com PD conserva os estoques de C no solo em comparação com PC - Figura 3.44. Assim, é lógico concluir que os estoques de C no solo sob um sistema de manejo integrando lavouras em PD e pastagem adequadamente fertilizada com nutrientes residuais das lavouras, atingiriam eventualmente altos níveis de C no solo.

Um dos raros trabalhos no Brasil que relata o impacto da introdução do sistema de integração entre lavoura e pecuária sobre os estoques de carbono no solo foi feito em cronossequências – diferentes áreas com vegetação de idades e tempo de composição e regeneração diversas – em três fazendas dos biomas Amazônia, do chamado *Cerradão* e do Cerrado propriamente dito (Carvalho *et al.*, 2010). O período de implantação dos experimentos foi inferior a oito anos. Eles indicaram que a adoção do SILP implica niveis semelhantes aos encontrados sob a vegetação nativa, provavelmente com potencial similar ao de pastos produtivos.

No Rio Grande do Sul, onde soja era cultivada por plantio direto no verão e a pastagem de aveia preta – *Avena strigosa* Schreb – e azevém – *Lolium multiflorum* Lam. – implantada após a soja em ciclo anual, encontrou-se taxas anuais de acumulação de carbono no solo por hectare variando, após seis anos, de 0,6 a 1,4 Mg, dependendo da intensidade de pastejo, e, em média, de 1,1 Mg de carbono por ha por ano (Souza *et al.*, 2009). O sistema estudado é do tipo recomendado para os produtores que praticam o SILP no Sul do Brasil (Balbino *et al.*, 2011).

No Cerrado, taxas anuais de acumulação de carbono no solo variando entre 0,15 e 0,44 Mg por hectare foram observadas por Salton *et al.* (2011), ao avaliarem diferentes combinações de tempos de lavoura e pastagens em comparação a cultivos sob plantio convencional e direto.

3.6.4.6 BIODIGESTORES PARA O MANEJO DE DEJETOS NA SUINOCULTURA

Na suinocultura, em sistemas integrados por grandes empresas do setor, os dejetos são dispensados em esterqueiras e lagoas de estabilização, grande parte das quais anaeróbicas, em que ocorrem emissões significativas de metano. A estratégia de mitigação dos efeitos desse gás, cada vez mais comum, é a utilização de biodigestores que potencializam a produção de metano para posterior combustão.

Os dados disponibilizados por Kunz e Oliveira (2006) permítem calcular um fator de produção que varia de 12 a 37 metros cúbicos de gás metano para cada metro cúbico de dejetos, com base em ensaio feito em propriedade com 400 suínos e biodigestor com capacidade para 100 metros cúbicos. Produzido nos biodigestores, o gás pode ser queimado simplesmente ou convertido em calor e eletricidade.

Dos 42 projetos registrados na *UNFCCC* (2012), no escopo agricultura, tendo o Brasil como país acolhedor, 32 se referiam ao uso de biodigestores para redução de emissões de CH_4 na suinocultura. Dependendo da metodologia e da dimensão dos projetos, 70% do total das emissões quantificadas para a linha de base seriam evitadas, podendo chegar a aproximadamente 90%. A previsão anual era evitar s emissão do equivalente a 1,89 gigatonelada de gás carbônico, aproximadamente 12% das emissões de CH_4 registradas em 2005 com manejo de dejetos.

3.6.4.7 USO DE ADITIVOS E FORMAS DE APLICAÇÃO DE DEJETOS COMO ADUBO

O uso dos dejetos como adubo é a melhor forma de dispor daqueles que são estabilizados após o manejo, embora ainda emitam CH_4 e N_2O. Algumas estratégias para mitigar os efeitos de GEEs – particularmente do último – emitido por tais fontes têm sido investigadas no Brasil, embora ainda sejam escassas as publicações sobre o assunto.

A incorporação de dejetos líquidos de suínos e sua aplicação em superfície, esta última largamente adotada no país, foram estudadas por Giacomini *et al.* (2006). Esses autores não encontraram diferenças nas emissões de N_2O, as quais se situaram em 0,20 e 0,25% do nitrogênio existente nos referidos dejetos.

A aplicação parcelada dos dejetos é outra possibilidade para se reduzir a disponibilidade de nitrogênio mineral para desnitrificação – processo microbiológico em que o nitrato e outros óxidos de nitrogênio são transformados em gás nitrogênio (N_2), embora N_2O possa surgir como produto intermediário –, com base no fato de que em duas ou três semanas após a adoção dessa medida, ocorre a completa oxidação do nitrogênio amoniacal até NO_{3-} (Aita *et al.*, 2007), e nesse momento, a demanda por nitrogênio pelas culturas ainda é pequena.

O parcelamento favoreceria a maior utilização de nitrogênio mineral por plantas. No entanto, nada pode ser confirmado a esse respeito. Outra possibilidade sob investigação é a de se reduzir a taxa de nitrificação e, por consequência, a emissão de N_2O, com o uso do inibidor de nitrificação dicianodiamida (DCD) no momento da aplicação dos dejetos no campo, tal como já foi utilizado em urina de vacas em lactação da Nova Zelândia (Giltrap *et al.*, 2010) e, em menor escala, em lavouras da Espanha com utilização de dejetos de suínos (Meijide *et al.*, 2007). No Brasil, existem experiências promissoras em andamento, embora os resultados ainda não estejam publicados. Estudos sobre a viabilidade econômica dessas práticas também são necessários.

3.6.4.8 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO NITROGÊNIO - FBN E PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO PARA REDUZIR AS DOSES DE FERTILIZANTES NITROGENADOS COM USO DE INOCULANTES MICROBIANOS

O uso de fertilizantes na agricultura produz GEEs em função de sua industrialização, distribuição – por conta do transporte – e utilização nos sistemas de produção. As emissões provenientes do produto fosfatado e potássico são relativamente pequenas em comparação com as oriundas do nitrogenado, em função da energia utilizada para cada um. De acordo com Ramirez & Worrell (2006), a produção dos dois primeiros corresponde a aproximadamente 10 a 15% da energia usada para produção de fertilizante nitrogenado.

A síntese de amônia é a etapa primária para a produção dos fertilizantes nitrogenados, onde ocorre o consumo de fontes fósseis para fornecimento de energia e hidrogênio. Esse processo corresponde a mais de 85% da energia requerida para a fabricação de qualquer dos fertilizantes nitrogenados (Gellings e Parmenter, 2004; Flynn e Smith, 2010). Segundo dados de Flynn e Smith (2010), a emissão entre 3,3 e 6,6 quilos de dióxido de carbono por quilo de nitrogênio – ou o equivalente a 4,95 quilos de CO_2 por quilo de nitrogênio, em média, está associada á energia fóssil de síntese, processamento e transporte do fertilizante. Robertson e Grace (2004) estimaram o custo fóssil da fertilização nitrogedada no equivalente a 4,5 kg CO_2eq kg^{-1} N aplicado.

Após sua aplicação em áreas agrícolas, os fertilizantes somente à base de P ou K não promovem, pelo menos diretamente, emissões de GEEs do solo, ao contrário do que ocorre com os nitrogenados, que emítem N_2O devido aos processos biológicos de nitrificação e desnitrificação (Mosier *et al.*, 2004).

A redução do uso de fertilizantes nitrogenados nas áreas agrícolas pode ser conseguida com mudanças na forma de aplicação ou fonte – procedência ou tipo de adubo que tem o nutriente nitrogênio (como ureia, nitrato de amônio ou sulfato de amônio) –, por exemplo. No caso específico da cultura da soja, que recebe em média 8 kg N ha^{-1} (*FAO*, 2004), existe potencial de mitigação apenas passando-se a utilizar o insumo formulado sem esse elemento em sua composição. Isto porque é possível produzir a *commodity* exclusivamente com as reservas de nitrogênio do solo e com a fixação biológica de N_2 por *Bradyrhizobium spp* – gênero de microrganismos de várias espécies

fixadoras de nitrogênio (Alves *et al.*, 2003).

Para os sistemas de produção que, pela grande área ocupada, consomem grande parte do fertilizante nitrogenado comercializado no País, como é o caso das lavouras de milho e cana-de-açúcar, as práticas de fertilização utilizadas estão ajustadas dentro de parâmetros de eficiência e custo, dificultando a introdução de mudanças. Mesmo assim, as perdas de nitrogênio com a aplicação da ureia, muito utilizada no Brasil, podem superar 20 a 50% do elemento aplicado através da volatilização de NH_3 (Trivelin *et al.*, 2002; Costa *et al.*, 2003a; Martha Jr. *et al.*, 2004; Hungria *et al.*, 2006). Isso confirma a possibilidade de se aumentar a eficiência no uso de N e, assim, se reduzir as doses aplicadas.

A utilização de inoculantes a base de microrganismos promotores de crescimento, que em muitos casos também exibem capacidade fixadora de N_2 atmosférico (FBN), permite que a planta se nutra do N_2 atmosférico e tenha aumentada sua capacidade de utilização do elemento do solo, fertilizado ou não, por efeitos que promovem a expansão radicular (Kennedy *et al.*, 2004). Alguns resultados obtidos no País indicam, por exemplo, a possibilidade de se reduzir as doses de fertilizante nitrogenado atualmente recomendadas em até 50%, no caso da cana-de-açúcar (Kennedy *et al.*, 2004), milho e trigo (Hungria *et al.*, 2010). A forma do fertilizante e a época em que a fertilização nitrogenada seria feita não precisariam ser alteradas – basta mudar as doses aplicadas.

Na Segunda Comunicação Nacional sobre emissões de GEE (Brasil, 2010b), considerou-se que 1% do nitrogênio aplicado como fertilizante foi emitido de forma direta como N_2O. Somado às emissões indiretas[50] de N_2O, as emissões totais equivaleriam a 6,46 kg CO_2eq kg^{-1} de N aplicado. Adicionadas ao volume lançado pelas fontes fósseis mencionadas anteriormente, chegar-se-ia a um total equivalente de 11,41 kg CO_2eq kg^{-1} N aplicado.

3.6.4.9 AUMENTOS DOS PLANTIOS COMERCIAIS E INTRODUÇÃO DE ÁRVORES EM OUTROS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

O aumento das áreas plantadas com espécies florestais, como eucalipto e pinus, é uma das estratégias de maior potencial de mitigação de GEEs. A compensação deriva da grande quantidade de carbono estocada na biomassa dessas árvores, bem superior ao emitido a partir do preparo do solo, dos insumos e dos combustíveis fósseis que fazem parte do processo para estabelecimento dos plantios (Cerri *et al.*, 2010).

No entanto, em algum momento o carbono armazenado na biomassa retorna para a atmosfera, completando um ciclo natural, e a velocidade com que esse processo ocorre é função do uso que será dado à biomassa produzida. Por outro lado, emissões de CO_2 poderão ser consideravelmente diminuídas a partir do uso da biomassa em substituição a fontes fósseis de energia, ou mesmo por evitar desmatamento. Pode-se também considerar que a biomassa utilizada para móveis e construções, por exemplo, que imobilizam C por longo prazo, signifique sumidouro do dióxido de carbono atmosférico (Hall e House, 1994).

Estimativas de drenos na biomassa de florestas plantadas da ordem de 21 e de 51 Mg CO_2 ha^{-1} ano^{-1} foram obtidos, respectivamente, a partir do plantio de pinus taeda (Watzlawick *et al.*, 2005) e eucalipto (Gatto *et al.*, 2010), levando-se em conta que essas taxas seriam válidas para sistemas com sete anos de manejo da primeira espécie e de 21 a 23 anos, no caso da segunda.

Para plantios comerciais de eucalipto – *E. grandis* – com até aproximadamente sete anos de manejo realizados no Estado de Minas Gerais, estimou-se acumulação de carbono no tronco das árvores

[50] Emissões indiretas de N2O são aquelas que se originam do N volatilizado (NH3 e NOx), lixiviado ou perdido por escoamento superficial que se depositaram em outro ponto diferente daquele onde o fertilizante foi aplicado (IPCC, 2006).

equivalente a 24,9 Mg de dióxido de carbono por hectare ao ano (Soares *et al.*, 2005). Estudo elaborado em várias regiões do Brasil, com árvores de eucalipto com 6,5 anos de idade (Santana *et al.*, 2008), estimou drenos de carbono na biomassa em 17,8 a 52,8 Mg CO_2 por hectare plantado ao ano, assumindo-se um teor de 50% do elemento na biomassa dos exemplares florestais. Para se considerar a real remoção de CO_2 atmosférico através desse processo, deve-se considerar as emissões pelo uso de insumos e operações agrícolas. Cerri *et al.* (2010) estimou emissões em equivalentes de CO_2 inferiores a 5% do total acumulado na biomassa de eucalipto e pinus no período de 2005 a 2020.

Além das florestas comerciais, as árvores podem ser utilizadas em sistemas denominados agroflorestais, silvipastoris ou agrosilvipastoris que permítem se obter produtos animais e vegetais em solos dedicados ao cultivo das mesmas para extração de madeira ou outros fins. A presença das árvores implica acumulação de carbono no longo prazo em sua biomassa, e mesmo, no solo. Por exemplo, em pastagens com plantios de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium*, numa densidade de 105 árvores por hectares, avaliou-se um estoque de 1,49 Mg de carbono por hectare ao ano na biomassa das árvores ao longo de uma década de observação (Müller *et al.*, 2009).

No Noroeste do Estado de Minas Gerais, sistemas integrados com lavoura, pecuária e floresta, com eucalipto plantado na densidade de 250 árvores por hectare durante onze anos, resultaram em um dreno de carbono na biomassa das árvores de 69,78 Mg por hectare, dos quais 81% estavam na madeira (Tsukamoto Filho *et al.*, 2004). A magnitude do sequestro de C esperado nesses sistemas dependerá da densidade de árvores utilizadas (Tsukamoto Filho *et al.*, 2004; Kruschewsky *et al.*, 2007).

3.6.5. EFETIVIDADE DA MITIGAÇÃO

3.6.5.1 POTENCIAIS TÉCNICOS DE MITIGAÇÃO

Para uma estimativa do potencial de mitigação de emissões em uma escala nacional, é importante se estabelecer um horizonte de ocupação da terra com lavouras, pastagens e florestas. Assim, foram utilizadas as expectativas do governo federal de área plantada com as principais culturas (MAPA, 2011a), e os compromissos com *NAMAs*, até o ano 2020 (MAPA, 2010b), assim como as emissões de GEE da agropecuária estimadas para 2020, segundo uma linha de base traçada no PNMC (Brasil, 2009c), onde se assumiu um crescimento do PIB de 5% ao ano, com emissão de GEEs de 729,8 Mt CO_2eq. As práticas de mitigação elencadas no presente estudo referem-se a mudanças com potencial para alterar esse quadro de emissões de GEEs. Deve-se considerar que se trata de um potencial técnico, não levando em conta questões de mercado que podem afetar sua viabilidade econômica.

As estimativas realizadas para cada prática de mitigação foram baseadas nas informações disponíveis sobre taxas de acumulação de C no solo e biomassa, e de redução de emissões de GEEs para diferentes práticas já discutidas anteriormente.

- Plantio direto

Um dos NAMAs prevê a expansão de oito milhões de hectares (Mha) da área de plantio direto até 2020. Neste sistema de produção, as taxas de acumulação de C no solo são as mais altas, quando se utiliza rotação de culturas, conforme se lê à seção 3.3 deste Relatório; 0,82 Mg C ha^{-1} ano^{-1} para os Cerrados, de 0,52 Mg C ha^{-1} ano^{-1} para o Sul do País. Provavelmente, a expansão do PD ocorrerá nas duas regiões, o que significaria para o País uma taxa média de acumulação de C no solo ponderada pelos aumentos de área nessas regiões.

Assumindo-se que as taxas de sequestro de C no solo sejam mantidas até 2020, e que a economia de energia fóssil estimada em 0,18 Mg CO_2eq ano^{-1}, se aplica às duas regiões, estimou-se um

potencial de redução de GEEs para o plantio direto, entre 16,7 e 25,4 milhões de toneladas de equivalentes de CO_2 em 2020. Isso equivale a uma redução de 2,3 a 3,5 % do total de emissões estimadas como linha de base da agropecuária nacional, conforme mostrado neste subcapítulo na Tabela 3.38.

- Redução da área queimada para colheita de cana-de-açúcar

De acordo com as previsões de safra elaboradas pelo governo federal (MAPA, 2011a), a cana-de-açúcar deverá ocupar uma área de 11,4 Mha na safra de 2020. Atualmente, a cultura é plantada em 9,4 Mha e colhida em 8,0 Mha, dos quais aproximadamente 50% são queimados. Esses dados consideram que São Paulo queima entre 40 e 50% da área (Aguiar *et al.*, 2011) e que, esta percentagem é mais alta em áreas do Nordeste e de outras regiões produtoras.

Para um cenário de potencial de mitigação pela eliminação do fogo na colheita da cana-de-açúcar, assumiu-se que a redução da queima seria linear até 2020, quando se prescindiria dessa prática para 80% da área. Em alguns estados do País, como o de São Paulo, ela deverá ser completamente eliminada nos próximos anos. Porém, em algumas regiões, deverá prosseguir mais tempo.

Dois milhões de hectares Mha de expansão de área plantada para 2020 foram considerados como áreas onde a colheita será feita sem queima e que não influenciariam os estoques de C do solo, pois a área de expansão pode ocorrer sobre pastos e lavouras, e a estimativa de mudança de estoques de C do solo disponível somente é válida para área de cana, quando o manejo de colheita é alterado de colheita com queima para colheita de cana crua.

Para as estimativas de acumulação de carbono no solo, considerou-se a taxa média proposta por Cerri *et al.* (2011) de 1,5 Mg C ha^{-1} ano^{-1}, com um erro médio de 0,24 Mg C ha^{-1} ano^{-1}, estimado dos dados apresentados pelo autor. Neste caso, o potencial de mitigação de GEEs em 2020 ficaria entre 8,21 e 11,2 milhões de toneladas de equivalentes de CO_2 em 2020 (Tabela 3.38), caso a eliminação da queima implique nos aumentos de C do solo relatados na literatura.

- FBN e promoção de crescimento com uso de inoculantes microbianos

Segundo projeções do governo federal, em 2020 serão plantadas 11 e 14 milhões de hectares de cana-de-açúcar e milho, respectivamente (MAPA, 2011a). Dados da *FAO* (2004) trazem estimativas de consumo médio anual de fertilizante nitrogenado para cana-de-açúcar de 55 kg N ha^{-1} e de 40 kg N ha^{-1} para a do milho, nas condições de produção brasileiras. Mais recentemente, Boddey *et al.* (2008) estimaram em 57 kg N $ha^{-1}ano^{-1}$ o consumo médio de N pela cultura da cana-de-açúcar, o que indica que as estimativas da *FAO* não devem estar muito defasadas.

Com base nesses números, estima-se que ambas as culturas consumirão, em 2020, 1,67 milhões de toneladas de N. Além disso, a cultura da soja recebe fertilizante nitrogenado em pequenas doses em função da disponibilidade de formulações para suprir a demanda de P e K, quantidade de N estimada pela *FAO* (2004) como sendo de 8 kg N ha^{-1}. Com a estimativa de área plantada com a cultura da soja de 30 Mha, se a fertilização for mantida nesses níveis, espera-se um consumo de 240 mil toneladas de N pela cultura.

Para o potencial de mitigação proposto, considerou-se que em 2020 será possível comercializar inoculantes microbianos com potencial de redução da fertilização nitrogenada em 50% para milho e cana-de-açúcar, e outras gramíneas (Kennedy *et al.*, 2004; Hungria *et al.*, 2010). No caso da soja, a FBN pode suprir a demanda de N da cultura (Alves *et al.*, 2003), e seria necessário somente garantir a oferta de formulados sem N em sua composição. Somadas as emissões fósseis associadas ao fertilizante e as emissões de N_2O do solo induzidas pela sua aplicação, existe um potencial de mitigação de 11,41 kg CO_2eq kg^{-1} N aplicado.

O potencial de mitigação de GEEs em 2020 seria de 9,4 milhões de toneladas de equivalentes de CO_2, havendo sucesso com o uso de inoculantes para gramíneas ou, pelo menos, uma mitigação

do equivalente a de 2,7 milhões de toneladas de CO_2 com a eliminação do uso de N na cultura da soja, conforme exibido na Tabela 3.38.

- Recuperação de pastagens e manejo da dieta

Até 2020, o governo federal espera recuperar quinze milhões de hectares de pastagens (MAPA, 2010b). Pastagens produtivas podem apresentar oferta de forragem que garantem maior lotação animal do que pastagens degradadas. Em pastagens produtivas, assume-se que o sistema de criação segue à pasto, com alguma suplementação alimentar.

Para as estimativas de potencial de mitigação com a recuperação de pastagens, foram utilizados os dados de Lilienfein *et al*. (2003), obtidos naquelas que são típicas dos cerrados, em que a degradada apresentava carga animal de 0,6 U.A.[51] ha^{-1} contra 1,0 U.A. ha^{-1} da produtiva. Números semelhantes são frequentemente divulgados para outras regiões, embora não estejam facilmente disponíveis na literatura científica.

Assim, pode-se dizer que a recuperação da pastagem implicaria em uma redução de área de um para 0,6 hectare a fim de se poder criar a mesma quantidade de animais. Porém, pela melhor qualidade de forragem, sua engorda se daria em prazo menor. O tempo médio de 48 meses para abate poderia ser reduzido para 36 meses (Ferraz e Felício, 2010), o que significaria uma redução de 25% nas emissões por unidade de produto, equivalente a 25% do fator de CH_4 emitido por cabeça – de 61 kg CH_4 $animal^{-1}$ ano^{-1} para 46 kg CH_4 $animal^{-1}$ ano^{-1}.

Considerando-se peso de 170 a 220 kg por cabeça, o número de animais a ser criado em um hectare de pastagem degradada seria de 1,2 a 1,6. Se recuperadas, permitiriam fazer o mesmo em área menor, com redução no tempo de abate que representaria uma mitigação entre 0,39 e 0,50 Mg CO_2 ha^{-1} em emissões de CH_4 por ano.

O aumento da produção de forragem elevaria os estoques de C do solo a uma taxa média de 3,67 Mg CO_2 ha^{-1} ano^{-1}, conforme exibido na Tabela 3.36 neste subcapítulo. Se bem manejada, a prática

da queimada não seria utilizada na pastagem, significando redução extra de 0,58 Mg CO_2eq ha^{-1} ano^{-1} (Bustamante *et al.*, 2012).

Para recuperação das pastagens, e manutenção da produtividade, a adoção dos sistemas integrados com lavouras é alternativa que vem sendo adotada em várias propriedades, em função de vantagens econômicas e de diversificação do sistema de produção. De acordo com os poucos estudos existentes, o potencial de sequestro de carbono no solo é menor do que o observado com uso contínuo de pastagens (Salton *et al.*, 2011). O potencial de mitigação das emissões entéricas não deve ser muito diferente do que se observa com a recuperação das pastagens, embora não existam estudos neste sentido.

Com base no mencionado, o potencial de mitigação de GEEs em 2020 estaria entre o equivalente a 59,5 a 92,1 milhões de toneladas de CO_2, representando uma redução de 8,2 a 12,6% das emissões de base, conforme representado na Tabela 3.38 deste capítulo, com a recuperação de quinze milhões de hectares de pastagens.

A utilização de aditivos e produtos de ação direta no rúmen pode reduzir ainda mais a emissão de CH_4 por animal. Os resultados sugerem uma redução média de 35%, conforme se pode observar na Tabela 3.38 deste capítulo, o que, já considerado a implícita redução no tempo para abate, resultaria em redução aritmética para 30 kg CH_4 $animal^{-1}$ ano^{-1}.

Com isso, a recuperação de pastagens acrescida de técnicas de redução de produção de CH_4 no rúmen resultaria em uma mitigação de 65,7 a 100,1 milhões de toneladas de equivalentes de CO_2,

[51]Unidade animal igual a 450 quilos de peso vivo por hectare.

totalizando um potencial de mitigação que variaria entre 8,2 e 13,9% das emissões de base do País em 2020, o que é neste subcapítulo considerado na Tabela 3.38.

- Biodigestores

De acordo com a proposta de *NAMAs* (MAPA, 2010b), o volume de dejetos agropecuários tratados deve ser ampliado em 4,4 milhões de metros cúbicos em 2020. Os biodigestores para dejetos de suínos vêm sendo cada vez mais utilizados por produtores integrados à grandes corporações e pode contribuir para redução das emissões de GEEs superior a 80%. O potencial pode ser estimado pela utilização de constantes de conversão dos efluentes em CH_4 nos biodigestores (Kunz e Oliveira, 2006), as quais podem variar de 12 a 37 m^3 CH_4 m^{-3} de dejetos. Dentro da expectativa do governo federal para 2020, as emissões evitadas pelo tratamento de dejetos foram estimadas entre 0,6 e 1,7 milhões de toneladas de equivalentes de CO_2, contribuindo para uma redução entre 0,1 a 0,2 % das emissões totais da agropecuária previstas, conforme consta na Tabela 3.38, exibida neste subcapítulo.

- Plantios comerciais de árvores

A expectativa do governo federal é a de ampliar em três milhões de hectares, as áreas plantadas com florestas comerciais (MAPA, 2009) para atender aos mercados de celulose, madeira e outros. No curto prazo, a meta deverá ser atendida, principalmente, com a expansão das áreas de eucalipto (ABRAF, 2011), que de acordo com a literatura acumulam, em média, de 30 a 40 Mg CO_2 ha^{-1} ano^{-1}. Com base nesses números, estima-se que, em 2020, a remoção de CO_2 pela expansão das florestas comerciais atinja de 75,6 a 100,7 milhões de megatoneladas, assumindo-se que as emissões decorrentes dos plantios não excederão 10% da quantidade acumulada na biomassa das árvores, em cenário conservador se comparado ao descrito no estudo de Cerri *et al.* (2010). Esse potencial de mitigação está entre os maiores estimados para as diferentes práticas e representa redução entre 10,4 e 13,8% das emissões de base projetadas para 2020 (Tabela 3.38).

Tabela 3.38 *Potencial de redução de emissões de GEEs através de práticas que estimulam o dreno de C pelo solo e planta, ou que contribuem para reduzir as emissões de GEE.*

	Variação de volume ou área	Drenos e fontes mitigadas	Total de mitigação em 2020	Redução das emissões em relação a linha de base [1]
Agricultura			Tg CO_2	%
Expansão do plantio direto	8 Mha – expansão	C – fóssil C – Solo	16,7 a 25,4	2,3 a 3,5
Redução da área queimada para colheita de cana-de-açúcar	4,7 Mha – área ainda com queima	C – Solo GEE – queima	8,2 a 11,2	1,1 a 1,5
FBN e promoção de crescimento com uso de inoculantes microbianos para reduzir a fertilização nitrogenada	823,5 mil toneladas de N– fertilizante mineral aplicado em milho, cana e soja, que deve ser evitado.	C-fóssil N_2O – fertilizante	2,7 a 9,4	0,4 a 1,3
Total			27,6 a 46,0	3,8 a 6,3
Pecuária				

Recuperação de pastagem – melhoria da oferta de pasto + efeito de redução de rebanho. **+ aditivos da dieta para redução de metanogênese**	15 Mha – expansão	C-solo/GEE – queima/ CH_4 – entérico	59,5 a 92,1 65,7 a 100,1	8,2 a 12,6 9,0 a 13,7
Biodigestores para dejetos de suínos	4,4 Mm^3 de dejetos – tratamento	CH_4 – dejetos	0,6 a 1,7	0,1 a 0,2
Total			60,1 a 101,8	8,2 a 13,9
Florestas				
Aumento de plantios comerciais	3 Mha – expansão	C – biomassa	75,6 a 100,7	10,4 a 13,8
Total Brasil			163,3 a 248,5	22,4 a 34,1

[1] As emissões de GEE que formam a linha de base para a agropecuária nacional foram estimadas em 729,8 Mt CO_2eq para o ano de 2020, segundo o PNMC, publicado em 2010.

3.6.5.2 EMISSÕES CONSOLIDADAS

O potencial de mitigação pela implementação de diferentes práticas listadas na Tabela 3.39, exibida neste subcapítulo, pode ser estimado em 163,3 a 248,5 Mt CO_2eq, sendo a expansão do plantio direto, a recuperação de áreas degradadas e o plantio de florestas as estratégias mais relevantes. Dessa forma, a redução esperada nas emissões de GEEs em 2020 variaria entre 22,4 a 34,1%, considerando-se as emissões de base estimadas em 729,8 Mt CO_2eq.

A remoção de CO_2 da atmosfera pela acumulação de C no solo e na biomassa contribui majoritariamente para o potencial total de mitigação. Neste caso, deve ser considerada a saturação do processo de remoção (Stewart *et al.*, 2007; Johnston *et al.*, 2009), que para o carbono do solo representa o momento em que ocorre equilíbrio entre a taxa de entrada de C no solo, pela matéria orgânica depositada, e a de saída, pela decomposição. O clima, a textura do solo e o manejo das culturas são fatores que afetam o processo, sendo que, nos climas mais frios, é maior o tempo para se atingir o equilíbrio. Já os solos mais argilosos apresentam maior nível de saturação de carbono (Johnston *et al.*, 2009).

A remoção de CO_2 na biomassa também atinge saturação com a tendência de máximo crescimento vegetal, que varia em função da densidade de plantas, clima, solo, espécie e outros aspectos (Hyvönen *et al.*, 2007). Ao contrário das práticas que visam mitigação de emissões de N_2O e CH_4, a saturação dos compartimentos de carbono – solo e biomassa – faz com que os benefícios com a remoção sejam finitos, especialmente para o primeiro, uma vez que a segunda pode ser utilizada para substituir fontes de energia fóssil, e assim, evitar a emissão dos gases (Schlamadinger e Marland, 1996; Sims *et al.*, 2007).

A princípio, o grau de desgaste dos estoques de carbono no solo, por ocasião da adoção de determinado manejo, e tanto a qualidade quanto a quantidade dos resíduos aportados ao solo são determinantes, pois podem afetar as taxas estimadas de *sequestro de C no solo* (Stewart *et al.*, 2007; Boddey *et al.*, 2010).

Zotarelli *et al.* (2012), por exemplo, mostraram que, após treze anos, o plantio direto apenas evitou

a perda de carbono pelo solo em comparação ao plantio convencional, o que não representa incremento dos estoques ao longo do tempo (Zotarelli *et al.*, 2012).

É importante considerar que as mudanças de estoques de carbono do solo ocorrem em maior magnitude nos primeiros anos após a modificação do sistema de produção, tendendo a se reduzir até níveis mais baixos conforme se aproxima o novo equilíbrio entre entradas de carbono no sistema e decomposição no solo (Powlson *et al.*, 2011). De acordo com o *IPCC* (2006), o equilíbrio seria atingido no prazo de 20 anos, em média.

No Brasil, resultados obtidos na Região Sul sugerem comportamentos variáveis nas mudanças de estoque carbônico do solo entre os vários sistemas de manejo, com tendências de equilíbrio para períodos superiores a vinte anos (Bayer *et a.*, 2006b; Zanatta *et al.*, 2007). No entanto, até que haja resultados apurados em volume suficiente no País, as taxas de acumulação de carbono no solo com a mudança de manejo devem seguir as perspectivas de curto prazo.

O comportamento de taxas decrescentes de acumulação de carbono no solo traz, com o tempo, incertezas associadas ao momento em que se avaliam sistemas de manejo, uma vez que nem sempre se conhece o estágio cumulativo – ou de perda –, do carbono no terreno. O conhecimento da chamada *linha de base* – ou seja, da condição de referência e, portanto, sem alteração qualquer –, é essencial para que se possa reduzir tais dúvidas (Marland *et al.*, 2001).

A estabilidade do nível de carbono acumulado no solo e na biomassa é um ponto de vulnerabilidade ao se considerar esses reservatórios nos projetos de mitigação. No caso do solo, eventuais mudanças no manejo, com redução de entrada de resíduos ou aumento de perturbação, podem resultar em perdas significativas para a atmosfera do carbono anteriormente estocado no solo (Johnston *et al.*, 2009).

Além das considerações sobre as estimativas dos estoques de carbono na biomassa e no solo, é necessário que seja feita a contabilidade de todos os GEEs (St. Louis, 2000), com vistas a se integrar possíveis efeitos negativos, como mudanças nos padrões de emissões de outros gases de efeito estufa a exemplo do N_2O (Robertson e Grace, 2004).

3.6.5.3 EXTERNALIDADES

A implementação das práticas de mitigação de GEEs proporciona efeitos socioeconômicos e sobre o meio-ambiente, positivos e negativos, conhecidos pelo termo técnico de *externalidades*. A abordagem principal, resumida neste subcapítulo na Tabela 3.39, foi voltada ao meio-ambiente, não significando que questões sociais e econômicas sejam irrelevantes.

Em geral, as práticas agrícolas consideradas mitigadoras de emissões, conforme exibido a seguir, na Tabela 3.39, estão relacionadas com aumento de eficiência de processos e encerram muitos benefícios para os sistemas de produção – isto é, *externalidades* positivas. No entanto, é importante se considerar possíveis *externalidades* negativas, de modo que sejam feitos ajustes para se obter alinhamento, cada vez maior, em relação à sustentabilidade ambiental.

Tabela 3.39 *Externalidades positivas e negativas provocadas pela utilização de práticas mitigadoras de emissões de GEE na agricultura.*

Estratégia	**Externalidades**		
	Positivas	Negativas	
		Efeito	Soluções possíveis

Expansão do plantio direto	Erosão menor e infiltração maior de água no solo (Derpsch *et al.*, 1986) Aumento da fertilidade do solo, com processos biológicos incrementados na região de desenvolvimento radicular (Machado e Silva, 2001; Alves *et al.*, 2003) Maior economia de combustíveis (Fernandes *et al.*, 2008) e mais safras possíveis por ano, a partir da eliminação das fases de aração e gradagem (Fidelis *et al.*, 2003)	Maior consumo de herbicidas nos primeiros anos de adoção (Machado e Silva, 2001; Fidelis *et al.*, 2003); - Eventual problema de compactação em solos argilosos (Stone e Silveira, 1999); Surgimento de pragas pela falta de revolvimento do solo (Silva *et al.*, 2009)	- Manejo de culturas em sistema de rotação para abundante cobertura do solo e de forma permanente, durante o ano (Bolliger *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2009).
Redução da área queimada para colheita de cana-de-açúcar	Redução da poluição do ar - Conservação de nutrientes no sistema solo-planta (Garbiate *et al.*, 2011) Redução da erosão pela cobertura do solo com resíduos (Garbiate *et al.*, 2011)	Surgimento de pragas que se proliferam nos resíduos a exemplo de cigarrinha e brocas (Souza *et al.*, 2008). - Eliminação de postos de trabalho na colheita da cana	Controle biológico e uso de variedades tolerantes (Dinardo-Miranda *et al.*, 2004; Souza *et al.*, 2008) Oferta de treinamento para reintegração na colheita mecanizada de, pelo menos, parte da mão-de-obra dispensada
FBN e promoção de crescimento com uso de inoculantes microbianos para reduzir a fertilização nitrogenada	Redução de custos de produção e riscos de poluição por conta de perdas do nitrogênio contido em fertilizantes (Bhattacharjee *et al.*, 2008)	Risco de piora no desempenho do inoculante em função do nível de fertilidade do solo (Bhattacharjee *et al.*, 2008)	Ainda sem solução.
Recuperação de pastagem – melhoria da oferta de pasto + efeito de redução de rebanho **+ aditivos da dieta para redução de metanogênese**	- Redução de erosão e aumento da fertilidade do solo; - Disponibilização de terras para expansão agrícola e reflorestamento; (Euclides *et al.*, 2010); - Conforto animal em sistemas que utilizam árvores (ILPF). (Navarini *et al.*, 2009).	- Custo de recuperação (Euclides *et al.*, 2010; Gouvello *et al.*, 2010) Maior custo de alimentação Maior excreção de nutrientes, a exemplo de N, P e K.	- Incentivos financeiros (Gouvello *et al.*, 2010); Manejo adequado de dejetos.
Biodigestores para dejetos de suínos	- Geração de energia na unidade de produção (Salomon & Lora, 2005); - Redução do potencial poluidor dos resíduos (Romero e Philippi Jr., 2011)	Custo de instalação e manutenção (Romero e Philippi Jr., 2011)	Incentivos financeiros com fiscalização e controle (Romero e Philippi Jr., 2011)

Reflorestamento comercial	Redução da pressão sobre florestas nativas (Gouvello *et al.*, 2010) Aumento da biodiversidade em áreas anteriormente degradadas (Vital, 2007) Amenização da temperatura local (Vital, 2007). Aumento da oferta de emprego relacionado ao manejo dos plantios.	Alterações de ciclo hidrológico (Vital, 2007) Ameaça a áreas nativas por espécies exóticas usadas nos plantios (Zanchetta e Diniz, 2006; Delariva e Agostinho, 1999)	Manutenção de resíduos de colheita sobre o solo e estabelecimento de corredores florestais (Vital, 2007) Avaliação quanto aos possíveis impactos da espécie florestal nos ecossistemas (Vital, 2007)

Fonte: Elaborado a partir de informações constantes dasobras citadas

3.6.5.4 BARREIRAS E CUSTOS

No Brasil, ainda são escassos os estudos voltados para o entendimento de barreiras e custos de tecnologias de mitigação de GEEs no setor agropecuário. Uma das principais referências é o estudo conduzido recentemente pelo Banco Mundial (Gouvello *et al.*, 2010), que reuniu informações sobre as principais barreiras que dificultam ou impedem a adoção de práticas mitigadoras de GEE. Tal estudo que dá suporte a algumas das posições relacionadas à seguir:

Plantio direto

Algumas barreiras ainda precisam ser vencidas para ampliar a adoção do plantio direto no Brasil. O acesso à melhor tecnologia nem sempre é fácil, o que torna frágil a perspectiva de sucesso com essa prática. Os custos iniciais de conversão e as vantagens econômicas apresentadas pela alternativa nem sempre são considerados razoáveis pelo produtor a ponto de que ele a implemente. Problemas associados ao escoamento da produção podem desmotivar a mudança, pois o mercado nem sempre é favorável para a comercialização dos produtos dos cultivos necessários à rotação com as principais *commodities* agrícolas, aspecto essencial para esse tipo de plantio.

Os resultados do estudo do Banco Mundial (Gouvello *et al.*, 2010) indicaram que as taxas de retorno geradas pelo plantio direto são sempre superiores às obtidas através do método convencional. Trata-se, portanto, de uma prática de cultivo economicamente superior, tal como também ressaltaram Fidelis *et al.* (2003). Kaneko *et al.* (2010) estimaram custos 8% menores para a produção de milho em plantio direto na região produtora de grãos em Mato Grosso, na mesma comparação. Margem igual foi estimada como vantagem pelo Banco Mundial (Gouvello *et al.*, 2010). Por outro lado, esse perfil economicamente positivo do plantio direto ocorre ao longo do tempo de adoção, ou seja, gradativamente, obedecendo-se recomendações agronômicas para as condições locais (Mattoso *et al.*, 2001).

Os incentivos financeiros, embora aparentemente desnecessários, podem ser importantes para alavancar a expansão do sistema, como forma de superar os riscos associados às barreiras tecnológicas e motivar o envolvimento do produtor nos primeiros anos de adoção.

Eliminação da queima da cana-de-açúcar
Esta prática não foi abordada no estudo do Banco Mundial (Gouvello *et al.*, 2010), uma vez que a eliminação da queima para a colheita da cana-de-açúcar está prevista em Lei.

Os custos com a colheita mecanizada da cana-de-açúcar crua se elevam pela necessidade de máquinas e combustíveis, embora haja ganho derivado do rendimento do trabalho e de produtividade. Em um estudo realizado no Norte do Paraná, Rodrigues e Saab (2007) estimaram em

R$8,90, o custo por tonelada de cana-de-açúcar colhida com o uso da queima e, de R$ 6,58, para igual volume obtido por colheita mecanizada. Uma redução nos custos de 26%, portanto.

No entanto, esta é uma operação restrita aos produtores cujas áreas superem 12% de declividade e sejam produtivas o suficiente para ultrapassarem os limites mínimos de colheita de colmos – tipo de caule encontrado nas gramíneas como: cana-de-açúcar, milho, arroz, bambu – necessária para gerar capacidade de pagamento dos investimentos (Oliveira e Nachiluk, 2011).

Redução da fertilização nitrogenada com a FBN

A fertilização nitrogenada contribui com cerca de 7 a 15% dos custos de produção das lavouras (Mattoso *et al.*, 2001; Kaneko *et al.*, 2010). O uso de inoculantes reduziria os custos ambientais, por substituírem os fertilizantes, e também econômicos, uma vez que são mais baratos do que os fertilizantes. No entanto, barreiras de ordem tecnológica persistem e podem limitar a adoção desta prática. Nem sempre os resultados são positivos, o que está relacionado à fertilidade do solo, especialmente à disponibilidade de nitrogênio (Bhattacharjee *et al.*, 2008), além de condições edafoclimáticas – características definidas através de fatores do meio, tais como clima, relevo, condições ds rochas, temperatura, umidade do ar, radiação, tipo de solo, vento, composição atmosférica e a precipitação pluvial – e efeitos varietais que ainda precisam ser estabelecidos. São aspectos que afetam por certo a aceitação do produto. O desconhecimento sobre a existência e funcionamento dos inoculantes é outra barreira a ser superada. Existem gargalos no desenvolvimento e na difusão da tecnologia de inoculantes microbianos promotores de crescimento, tanto na agricultura empresarial quanto na familiar.

A eliminação da fertilização nitrogenada da soja, aparentemente mais simples, se depara com a baixa disponibilidade de formulados somente à base de P e K, uma vez que os fosfatos amoniacais (fosfato diamônio, DAP, e fosfato monoamônio, MAP) são largamente utilizados.

O superfosfato triplo seria uma opção para o suprimento de fósforo de custo similar, ao preço FOB – praticado para exportação –, e às vezes, até menor (ANDA, 2011), o que poderia ser incentivado por políticas públicas para o setor. Além disso, o uso de inoculantes na cultura foi associado à necessidade de uma pequena dose inicial de nitrogênio, embora tenha sido demonstrado que a produtividade da cultura não requer o uso da mesma (Alves *et al.*, 2003).

Recuperação de pastagens, suplementação da dieta e uso de aditivos

O aproveitamento ideal da prática de mitigação depende não somente da dieta de alta qualidade, mas da genética dos bovinos. O estudo feito pelo Banco Mundial (Gouvello *et al.*, 2010), ao tomar como referência o sistema extensivo de pastagens de baixa produtividade – as consideradas degradadas - calculou que seria necessário aumentar os custos em 57% para se obter maior produtividade no regime extensivo. Ou ainda, praticamente dobrá-los para se evoluir a um sistema mais intensivo e, mesmo, sextuplicá-los para se alcançar um sistema de integração lavoura-pecuária. Somente as despesas de manutenção dos sistemas melhorados, que representam bem mais da metade dos custos totais entendidos como a soma desses gastos com investimento, aumentariam 1,5 a cinco vezes (Gouvello *et al.*, 2010).

A disponibilidade de crédito nem sempre cobre todos esses custos. Com isso, o investimento na melhoria da pastagem não traz os benefícios econômicos esperados de uma renda obtida para pagar o financiamento e garantir lucro ao produtor. Trata-se de uma atividade de baixa taxa de retorno relativa, que exigiria empréstimos a taxas de juros muito exíguas para que o negócio se viabilizasse. Essas conclusões foram reforçadas por Euclides *et al.* (2010). Esses autores destacaram que a recuperação de pastagens enfrenta barreiras relacionadas ao custo e à baixa remuneração e, ainda, a questões culturais voltadas para o conhecimento tradicional.

Biodigestores para a suinocultura

Os custos de investimento estão entre as maiores barreiras para a implantação de biodigestores. Segundo estimativas da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (Embrapa), discutidas por Angonese *et al.* (2007), o custo médio de implementação de um sistema com biodigestor é dez vezes maior do que o de uma lagoa anaeróbica-padrão. Além disso, barreiras relacionadas à complexidade do sistema, como é o caso de dificuldades operacionais, e intermitência no fluxo do recurso podem alimentar processo de desmotivação, com abandono ou rejeição da tecnologia (Walter, 2000).

Reflorestamento comercial

O novo paradigma da intensificação da produção sustentável reconhece a necessidade de um setor agrícola/florestal produtivo e remunerado que, ao mesmo tempo, conserve os recursos naturais e contribua positivamente para a melhoria dos serviços ambientais. Os custos com os plantios de florestas comerciais decorrem de vários fatores, entre eles, condições de terreno e fertilidade do local e o manejo aplicado ao sistema. Segundo estudo detalhado de Soares *et al.* (2010), que avaliaram quatro cenários com níveis de produtividade e potencial de mecanização variados, os custos de produção dentro de um horizonte temporal de sete anos se aproximavam de US$ 700 por hectare, valor semelhante ao encontrado por Paixão *et al.* (2006), de US$ 825 por hectare.

A venda da madeira garante uma receita 40 a 60% superior aos custos de produção (Soares *et al.*, 2010). O destino da produção para carvão apresenta menor receita, mas ainda suficiente para garantir lucratividade, mesmo em sistema de baixa tecnologia (Paixão *et al.*, 2006).

As barreiras associadas ao uso de florestas visando créditos de carbono estão na dependência dos pagamentos pela tonelada de carbono, que podem não ser suficientes para garantir lucros ao produtor (Paixão *et al.* 2006). Soma-se a isso, os custos de transação elevados de carvão de florestas comerciais em comparação ao oriundo do extrativismo ou ao coque de carvão mineral. E, ainda, as limitações técnicas e logísticas para o uso de carvão vegetal em grandes altos-fornos, o acesso ao crédito e riscos em relação ao marco regulatório que implica morosidade para obtenção de licenças ambientais, além da complexidade do processo e a insegurança quanto ao suprimento de produtos de origem florestal em função do déficit de área plantada (Gouvello *et al.*, 2010).

3.6.6 LACUNAS DE CONHECIMENTO

A pesquisa sobre GEEs é relativamente recente no Brasil e os resultados disponíveis até o momento ainda são insuficientes para permitirem uma caracterização segura das emissões produzidas pelos sistemas de produção agrícolas e da silvicultura, dada a grande diversidade de ambientes no território nacional. Neste sentido, embora existam informações internacionais que podem ser generalizadas para o Brasil, há grande incerteza sobre as estimativas de potencial de mitigação que foram levantadas neste documento.

Esta situação se torna crítica em função dos compromissos internacionais que foram assumidos para 2020, os quais caracterizam o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura - Plano ABC (MAPA, 2010a). Vários processos que tornam o solo um sumidouro de CO_2 atmosférico na agricultura são ações de mitigação que ocorreriam a partir da acumulação de matéria orgânica.

São consideradas lacunas de conhecimento para as condições brasileiras, questões relacionadas à capacidade de acumulação e a estabilidade do carbono no solo, tempo para que ocorra saturação em função do manejo e os impactos de mudanças nas condições de produção sobre a permanência desse elemento químico no solo. No entanto, não basta apenas o conhecimento desses processos,

sendo fundamental as suas quantificação e simulação para avaliação de cenários, tarefa que demanda esforços para o desenvolvimento da modelagem matemática na pesquisa brasileira.

Se existem grandes lacunas na pesquisa sobre o carbono, a situação ainda é mais crítica para os gases CH_4 e N_2O. Muito pouco foi adequadamente divulgado em periódicos conceituados internacionalmente, criando-se assim, uma barreira para que as ações nacionais de mitigação na agricultura sejam adequadamente orientadas e recebam o devido reconhecimento no meio científico. Além disso, deve existir um esforço dos cientistas para combinar os objetivos de caracterização da emissão desses gases com os de opções de mitigação, sendo importante focalizar os esforços nos sistemas mais relevantes em uma visão de curto prazo. Os fatores de emissão devem ser abordados com maior intensidade, juntamente com o aprimoramento dos modelos de simulação, assim como é preciso melhorar a base de informações de atividades do setor. É ainda, recomendável, orientar-se a pesquisa segundo os critérios requeridos pelo *IPCC*, que, até o momento, representa a principal massa crítica de cientistas a estudar os efeitos naturais e antrópicos sobre as emissões de GEEs.

Embora as pesquisas tenham avançado nos últimos anos, ainda há muito a fazer em uma escala de tempo relativamente pequena, tornando urgente um envolvimento maior das instituições de pesquisa nesse desafio do conhecimento, de forma organizada e com os devidos critérios, para que se atinja resultados de forma eficaz.

3.7 MUDANÇA NA COBERTURA E NO USO DA TERRA

O objetivo deste subcapítulo é o de analisar as alterações na cobertura e no uso da terra em face das mudanças do clima. Em suma, trata-se aqui dos efeitos de primeira ordem – embora seja consensual o fato de que, para a mitigação das mudanças climáticas globais, exige-se maior incorporação de fontes renováveis de energia à matriz energética, que alteram a dinâmica de uso da terra, por sua vez um efeito de segunda ordem.

Com seis partes, a primeira delas, Introdução, apresenta uma breve descrição e histórico do uso e modificações na cobertura da terra para cada um dos seis biomas brasileiros. A segunda parte descreve os impactos esperados das mudanças climáticas sobre os mesmos, enquanto que, na terceira seção, os estoques e fluxos de carbono entre os biomas são comparados.
Já na quarta seção, o tema é a relação de medidas e políticas de mitigação que abordam o monitoramento e a prevenção do desmatamento, as queimadas e o combate à desertificação, além da questão do ordenamento territorial. Com base em artigos científicos e relatórios oficiais de acesso público, as principais fontes de emissão de GEEs para cada bioma foram identificadas, definindo-se as correspondentes medidas mitigatórias. A partir de uma descrição das projeções do clima e de gases GEEs para estes ecossistemas, o texto aborda os mecanismos de mitigação em vetores que atuam em diferentes escalas, embasados por avaliação de fatores físicos, infraestrutura e aspectos socioeconômicos.

Ao final, são apresentadas as lacunas no conhecimento relativas a cada um desses temas, indicando inclusive aqueles que não são tratados ou são pouco abordados, devido à inexistência de literatura científica – parcial ou total. Há ainda a indicação de leitura complementar a respeito de tecnologias e práticas atuais de mitigação, a eficácia e as implicações de cada uma delas no desenvolvimento sustentável.

INTRODUÇÃO

O conceito de florestas é bastante amplo, sendo definido de diversas formas pelos organismos internacionais. Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – *Food and Agriculture Organization* – (FAO, 2010), floresta é uma área medindo mais de 0,5 hectare ocupada por árvores de mais de cinco metros de altura e cobertura de copa superior a 10% ou com árvores capazes de alcançar estes parâmetros *in situ* e excluindo terras predominantemente sob uso agrícola ou urbano.

De acordo com a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (*United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC*, 2001), floresta é uma área de, no mínimo, 0,05 (500 m^2) a um hectare (10 mil m^2), com cobertura de copa acima 10 a 30%, com árvores com o potencial de atingir a altura mínima de dois a cinco metros na maturidade.

Para florestamento e reflorestamento, o Brasil adotou os seguintes princípios diante da *UNFCCC*: porcentagem mínima de cobertura de copa em 30%, área mínima de um hectare e cinco metros de altura mínima das árvores. Uma floresta pode consistir de formações densas, onde árvores de vários estratos, ou camadas, cobrem alta proporção do solo, ou das chamadas florestas abertas. Povoamentos naturais jovens e todas as plantações que ainda podem atingir densidade de 10 a 30%, ou altura de dois a cinco metros, são também considerados florestas, assim como áreas que, embora normalmente façam parte de formação florestal, estejam temporariamente desflorestadas por conta da intervenção humana – como a da colheita, por exemplo – ou de causas naturais e cuja reversão florestal é esperada.

No Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é o órgão responsável pelo desenvolvimento do Sistema Brasileiro de Classificação da Vegetação. Este instrumento adota o conceito de bioma como sendo um conjunto de vida constituído de tipos de vegetação contíguos e identificáveis em escala regional, com condições geoclimáticas e histórico de mudanças similares, e agrupando, assim, os conjuntos de diversidade.

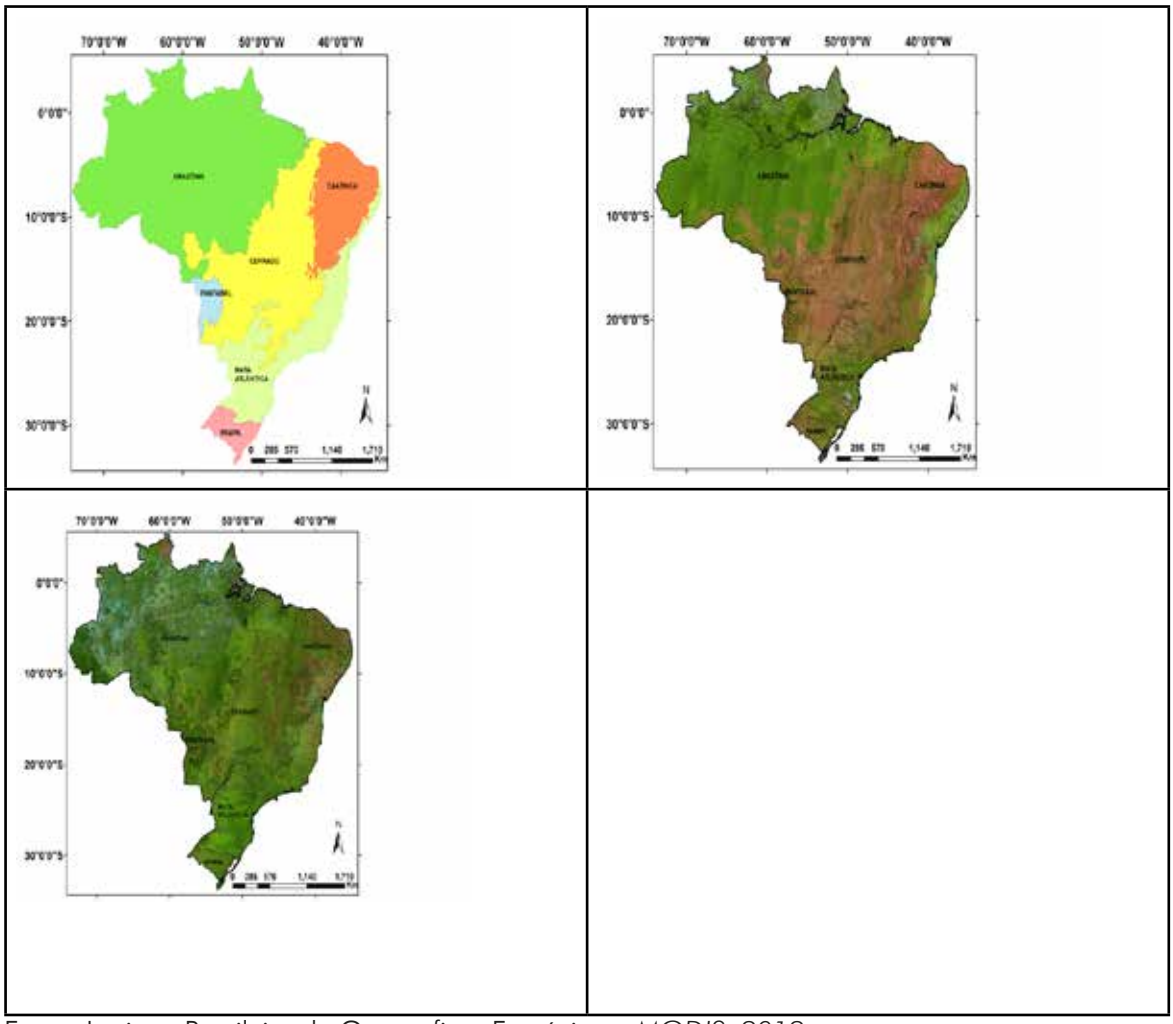
Para que esse relatório seja homogêneo com dados oficiais, produzidos pelo IBGE, pelo Ministério do Meio Ambiente e pelo relatório oficial do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, intitulado *Segundo Inventario Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa* (MCT, 2010a), as análises do setor de floresta foram organizadas por biomas.

Os nomes adotados para os biomas seguem a classificação do IBGE. Estão associados ao tipo de vegetação predominante ou relevo em cada um deles, como no caso do bioma Pantanal, que constitui a maior superfície inundável interiorana do mundo. O bioma Amazônia é definido por sua unidade de clima, fisionomia florestal e localização geográfica. O bioma Mata Atlântica ocupa toda a faixa continental atlântica Leste do Brasil, com uma vegetação florestal predominante e relevo diversificado.

Por sua vez, o bioma Pampa se localiza no Rio Grande do Sul e apresenta vegetação predominantemente campestre, mas também com presença de matas e relevo que varia de plano a ondulado. O bioma Cerrado é o segundo mais extenso do Brasil, recobrindo desde o Centro-Oeste até o litoral maranhense, com um complexo de fitofisionomias incluindo desde o estrato herbáceo-graminoso até o arbóreo denso. O bioma Caatinga, típico do clima semiárido, ocupa o sertão nordestino.

Apesar de não ser identificado como bioma pelo IBGE, este relatório apresenta também um sexto bioma, os manguezais, devido à sua importância ecológica, às pressões antrópicas que vêm sofrendo e ao seu importante papel nos ciclos biogeoquímicos. A Figura 3.45. representa, neste subcapítulo, a localização dos biomas brasileiros, seguida pelos mosaicos de imagens de satélite do ano de 2012 durante as épocas seca e chuvosa.

Figura 3.45 O painel da esquerda superior exibe a localização dos biomas brasileiros – de acordo com a classificação do IBGE. Os painéis ao centro e à direita mostram um mosaico de imagens de satélite adquiridas em 2012 – geradas pelo sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (*MODIS*), correspondentes a fevereiro – mês da estação chuvosa – e julho – mês da estação seca –, respectivamente. Observa-se no mosaico central, vegetação mais vigorosa – em graduação de tons de verde –, devido à época das chuvas; enquanto que no mosaico à direita, representando a estação seca, se pode perceber vegetação menos vigorosa e solo exposto, ambos mais evidentes no Cerrado e nas áreas de lavoura do Centro-Oeste e do Sul do Brasil.



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e *MODIS, 2012*

3.7.1. BIOMAS BRASILEIROS A SEGUIR, SÃO APRESENTADOS A CARACTERIZAÇÃO E O HISTÓRICO DE USO DA TERRA EM CADA BIOMA.

3.7.1.1. AMAZÔNIA

3.7.1.1.1. CARACTERIZAÇÃO DE COBERTURA DA TERRA

A floresta amazônica se desenvolveu durante o período Cretáceo e é uma feição permanente na América do Sul há, pelo menos, 55 milhões de anos (Maslin *et al.,* 2005). Devido às alterações antrópicas no uso da terra, estima-se que cubra entre 80 e 85% de sua extensão original – cerca de 5,3 milhões de quilômetros quadrados (km^2) –, podendo ser reduzida a 3,2 milhões de km^2 – ou seja, em 53% – até 2050, caso as taxas de desmatamento permaneçam como aquelas observadas no período de 1997 a 2002. Esta comparação é fruto de simulações de cenários de desmatamento considerados habituais e realizadas por Soares-Filho *et al.,* em 2006, como representado neste subcapítulo na Figura 3.46.

A floresta amazônica é considerada uma das maiores reservas biológicas do planeta e um componente-chave dos sistemas terrestres. É a floresta que possui a maior riqueza de espécies (Myers *et al.,* 2000) e tem acumulado, na biomassa de suas florestas, o correspondente a uma década e meia de emissões de carbono antropogênico em escala global (Nepstad *et al.,* 2006, Saatchi *et al.,* 2007). A Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas cobre mais de sete milhões de quilômetros quadrados. É a maior bacia hidrográfica no mundo e responde por um sexto do total de água doce dos rios descarregada em todos os oceanos do mundo (Junk *et al.,* 2007).

Especificamente quanto ao ciclo global de carbono, esse bioma tem um papel ainda pouco compreendido. A estocagem de carbono em sua área florestal é estimada em 120 a 130 Pg – petagramas ou teratoneladas – (Malhi *et al.,* 2006), com uma distribuição espacial da biomassa viva acima do solo variando entre 300 toneladas por hectare (Mg ha^{-1}) na área central do bioma Amazônia e nas porções Leste e Norte, até de 100 a 200 toneladas por hectare em florestas de transição e sazonais nas porções sul e noroeste da Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas (Saatchi *et al.,* 2007). Além disso, contribui com cerca de aproximadamente 10% – de quatro a seis petagramas de carbono (Pg carbono, bilhões de toneladas) – da produtividade primária global anual (Malhi e Grace, 2000).

Figura 3.46 A Amazônia em três dimensões: limites internacionais da Amazônia Legal e da floresta remanescente em 2010.

Fonte: Eva e Huber, 2005 e INPE, 2012

3.7.1.1.2. HISTÓRICO DE USO E MUDANÇAS NA COBERTURA DO BIOMA AMAZÔNIA

O processo de conversão do bioma Amazônia segue uma complexa e dinâmica interação com fatores socioeconômicos, como é próprio de processos de desmatamentos (Geist e Lambin, 2002). No caso da Amazônia Legal, é marcante a influência de fatores externos à região, de origem nacional e internacional, públicos e privados. Até a década de 1970, o impacto de atividades humanas sobre os ecossistemas naturais da região foi limitado. Incursões em busca das *drogas do sertão* – especiarias – e povoamentos de expansão do território português nos séculos XVII e XVIII envolveram uma população local de 123 mil habitantes em 1827. O ciclo da borracha, na virada do século XIX para o XX, levou a um expressivo crescimento populacional em termos relativos, mas em 1920 a população de toda a região não chegava a 1,5 milhão, número que permaneceu praticamente inalterado até 1960.

As políticas de *povoar para não entregar*, *vazio demográfico* e *terras livres* do período militar transformaram a realidade regional (Ferreira e Salati, 2005). Políticas de migração em massa (Andersen e Reis, 1997; Laurance, 1999), associadas a fortes incentivos econômicos para conversão de terras por parte do Estado (Moran, 1993; Andersen e Reis, 1997; Margulis, 2003), elevaram a população local de 2,6 milhões em 1960 para 16,6 milhões em 1991. Tais iniciativas foram em grande parte desenvolvidas como paliativo para problemas sociais em outras regiões do País (Skole *et al.,* 1994; Ferreira e Salati, 2005).

O primeiro grande vetor para o desmatamento na região, portanto, foi externo, estatal e nacional. Ao mesmo tempo em que se configurava como grande força indutora do desmatamento, o Estado

em larga medida se ausentava de suas obrigações relativas ao estabelecimento da ordem jurídico-institucional. Como consequência, o processo de conversão na região é caracterizado por uma ótica imediatista e predatória, gerando pouco ou nenhum benefício permanente à população local (Rodrigues *et al.,* 2009). Desta forma, à natural instabilidade de regiões de fronteiras de colonização, soma-se a instabilidade resultante de ocupações temporárias e predatórias (Ferreira e Salati, 2005).

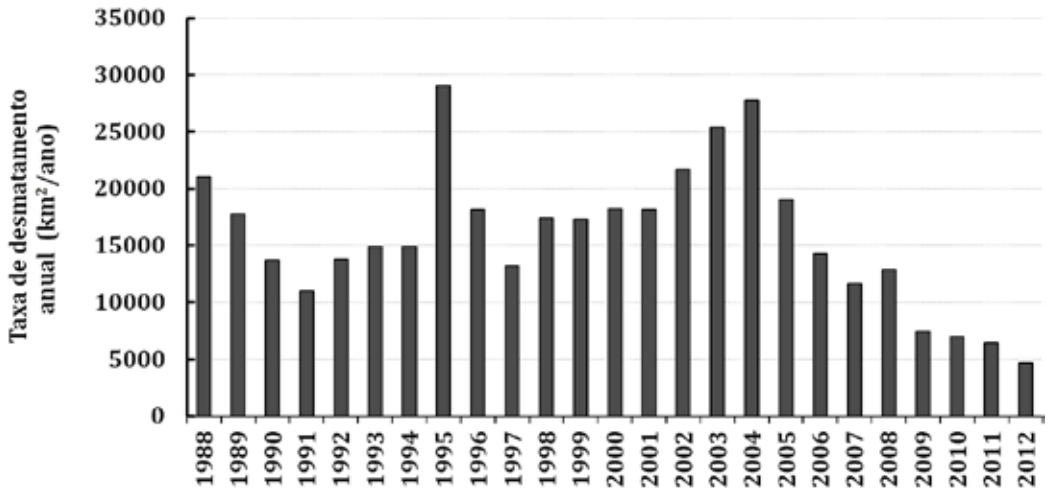
A partir do início da década de 1990 ocorre uma gradual mudança de paradigma no processo de conversão da região. Migrações em larga escala para a região cessam, e são substituídas por migrações intrarregionais, e o crescimento vegetativo passa a responder pelo aumento da população. A mobilidade da população é caracterizada tanto por um acompanhamento da fronteira de expansão, como por uma migração para os centros urbanos. As políticas estatais de incentivo ao desmatamento são, em larga medida, eliminadas, mas permanece baixa a capacidade do Estado de garantir a segurança jurídica e o ordenamento territorial.

A força motriz para o desmatamento torna-se a ótica privada de lucros advindos da combinação de exploração madeireira, grilagem de terras e pecuária (Margulis, 2003). Com a estabilização da economia nacional, em 1995, a expansão de lavouras permanentes na região torna-se também um importante fator (Alencar *et al.,* 2004; Morton *et al.,* 2006). O desmatamento continua em níveis elevados, atingindo o recorde histórico de 2,9 milhões de hectares em 1995 (INPE, 2012).

No início do século XXI, pressões internacionais e nacionais levam o Governo Federal a buscar uma maior capacidade de garantir o ordenamento territorial local (Ferreira e Salati, 2005). Essa iniciativa, associada às pressões de mercado por um aumento da sustentabilidade da cadeia produtiva (Rudorff *et al.*, 2011) e à crise no preço das *commodities* agrícolas (Soares-Filho *et al.,* 2010) levam a uma redução expressiva do desmatamento a partir de 2005 (Nepstad *et al.,* 2009; INPE, 2012). O Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), anunciado em dezembro de 2008 durante a COP 14, na Polônia – definiu como meta nacional a redução de emissões por desmatamento em 80% até 2020. Considerando-se a linha de base de 19.500 quilômetros quadrados, a redução deve alcançar a meta de desmatamento de 3.900 quilômetros quadrados até o prazo estabelecido.

Entre os anos de 2008 e 2012 houve uma redução de desmatamento de 12.911 para 4.656 quilômetros quadrados, e caso essa tendência e taxa de diminuição do desmatamento sejam observadas nos próximos anos, será possível o cumprimento das metas do PNMC. A evolução do desmatamento na Amazônia Legal, baseada nos dados do Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), é apresentada na Figura 3.47.

Figura 3.47 Taxas anuais de desmatamento para a Amazônia Legal entre 1988 e 2012.



Fonte: INPE (2012).

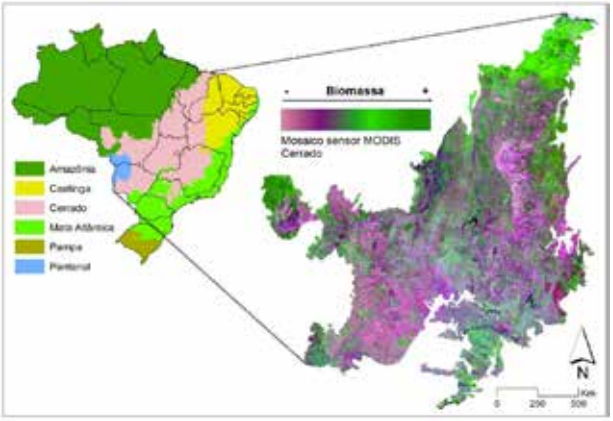
3.7.1.2. CERRADO

3.7.1.2.1. CARACTERIZAÇÃO DE COBERTURA DA TERRA

No Brasil, o bioma Cerrado se distribui de forma contínua pela região do Planalto Central, em altitudes que variam, em média, de 300 a 600 metros – extremos de 1600 metros na Chapada dos Veadeiros –, cortando dez Unidades da Federação (IBGE, 2004): Goiás – e Distrito Federal –, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Maranhão, Piauí, Bahia, Minas Gerais, São Paulo e Paraná. O estado com a maior presença de Cerrado é Goiás – 97% do território –, seguido por Tocantins (92%) e o Maranhão (65%). Sua presença é verificada também, em menor extensão, em áreas disjuntas em Rondônia, Norte do Amazonas, Amapá e Roraima, conforme Figura 3.48.

Trata-se de um sistema vegetacional complexo, caracterizado pela interação de espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas, com maior ou menor representação em função de características naturais, como o solo, o relevo e o clima sazonal – chuvas concentradas entre outubro e março –, além da elevada frequência de queimadas de origem natural ou antrópica (Pivello e Coutinho, 1996; Ribeiro e Walter, 1998). A vegetação gramíneo-lenhosa, de estrutura e densidade variadas, alterna-se com florestas estacionais em solos mais férteis e em matas de galeria / ciliares ao longo dos rios, como mostra a Figura 3.49.

Figura 3.48 Localização do Cerrado no Brasil, com respectiva representação do gradiente vegetacional (mosaico de imagens do sensor *MODIS* referente a julho de 2012, composição R/G/B, utilizando as bandas Infravermelho (IV) médio/ IV próximo/ Vermelho), com uma equivalência ao gradiente de biomassa aérea na estação seca.

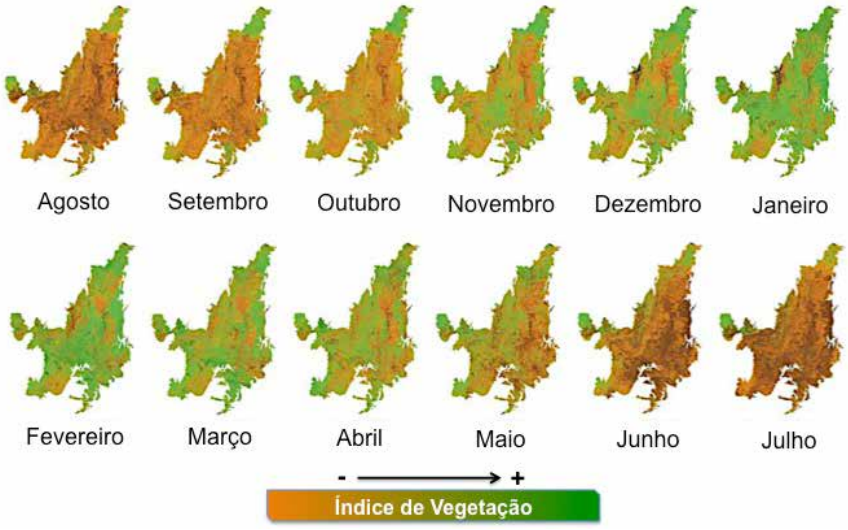


Fonte: Elaboração do próprio autor

Em contrapartida às peculiaridades físicas e bióticas do Cerrado, deste a década de 1970 essa região vem sendo intensamente ocupada por atividades agropecuárias, motivadas pela presença de terras mais baratas e com topografia adequada à mecanização (Almeida, 2003). Num curto espaço de tempo, aproximadamente 50% da área original do bioma foi transformada numa paisagem composta em sua maior parte por pastagens cultivadas e *commodities* agrícolas (Sano *et al.,* 2010; MMA, 2009 e 2010).

Com diferentes níveis de degradação, o Cerrado sofre com diversos impactos ambientais (Klink e Machado, 2005), tais como a fragmentação do *habitat* natural, a perda de biodiversidade, a invasão de espécies exóticas, a erosão dos solos, a poluição de rios e aquíferos, os desequilíbrios no ciclo biogeoquímico do carbono e, possivelmente, as modificações nos regimes de precipitação em escala local e regional. Frente a estas alterações, é alta a probabilidade de mudanças climáticas no bioma ainda neste século (Malhi *et al.,* 2008).

Figura 3.49 Variação sazonal do Cerrado, com equivalente índice de vegetação, durante um ciclo anual de precipitação (mosaicos de imagens do sensor *MODIS* referentes ao período 2011/2012)



Fonte: Elaboração do próprio autor

3.7.1.2.2. HISTÓRICO DE USO E MUDANÇAS NA COBERTURA DA TERRA NO BIOMA CERRADO

As mudanças no uso da terra no bioma Cerrado estão, num primeiro momento, fortemente atreladas às características do relevo, tais como uma topografia mais suave – ou plana –, em conjunto com solos antigos e profundos – em geral, com baixa fertilidade e maior estabilidade física – (Miziara e Ferreira, 2008; Silveira e Silva, 2010).

A classe de uso da terra predominante é a pastagem – nativa e cultivada –, seguida pela agricultura especializada – *commodities* –, urbanização e atividades extrativistas. As atividades agropecuárias respondem por grande parte da produção de grãos e carne no País (Sano *et al.,* 2001), e concentram-se preferencialmente em áreas planas, ideais para a mecanização da agricultura (Jasinski *et al.,* 2005; Silveira e Silva, 2010). Cerca de 93% desta ocupação, ou o equivalente a 80 milhões de hectares – registrada até o ano 2002 – (Sano *et al.,* 2008), situam-se em terrenos com até 10° de declividade, predominantes no bioma (Ferreira, 2009); o que indica que as áreas de menor declividade continuam a atrair um maior número de desmatamentos, destinados à expansão da agricultura e da pastagem (Ferreira *et al.,* 2007a; Rocha *et al.,* 2011).

A fertilidade do solo, por sua vez, tem sido uma variável importante para a ocupação no bioma Cerrado (Rezende, 2003), ainda que não essencial, com uma demanda significativa por terras mais férteis – cada vez mais escassas. Em geral, os solos na região apresentam um teor de fertilidade reduzido, devido ao elevado grau de intemperismo, principalmente em solos do tipo Latossolos, predominantes na região (Reatto e Martins, 2005).

As terras com cobertura vegetal mais densa, de fisionomia florestal – ex. Cerradão e Mata seca –, mesmo em menor quantidade, foram originalmente as mais procuradas por agricultores, por oferecerem um solo com maior suporte nutricional aos plantios. Entretanto, nas últimas décadas, a fertilidade vem deixando de ser um fator limitante à ocupação do Cerrado, devido à incorporação de novas técnicas de plantio e adubação. Atualmente, os desmatamentos vêm se concentrando em áreas com solos pouco férteis, mas facilmente corrigidos com técnicas e investimentos agronômicos (Ferreira, 2009).

A ocupação do Cerrado parece estar vinculada também às condições climáticas da região,

conforme destacam Diniz-Filho *et al.* (2008), indicando a relevância da média mensal anual de precipitação como uma variável importante nesse processo. Segundo esses autores, o clima estaria correlacionado em até 65% com a atual estrutura espacial do bioma. Outros estudos apontam que a extensa e irrigada malha hidrográfica do Cerrado, com um elevado número de nascentes e rios, compensa o efeito sazonal das chuvas na região. De fato, nascentes de três das maiores bacias hidrográficas da América do Sul – São Francisco, Araguaia/Tocantins e Paraná/Paraguai – são encontradas nos limites deste bioma (Eiten, 1994; Ratter *et al.,* 1996).

Vários estudos, inclusive, já confirmam a transformação dessas paisagens fluviais, sobretudo pela perda da cobertura vegetal nativa ao longo de suas margens (Latrubesse *et al.,* 2005), com significativas mudanças nos sistemas hidrológicos, geomorfológicos e biogeoquímicos (Costa *et al.,* 2003; Neill *et al.,* 2006; Coe *et al.,* 2011).

Além dos fatores físicos, outros estudos indicam que grande parte da conversão antrópica no Cerrado se deveu às políticas de expansão agropecuária, intensificadas a partir da década de 1970 (Pires, 2000; Miziara e Ferreira, 2008), quando a precária infraestrutura da região e a distância dos principais mercados consumidores passam a ser compensadas por atrativos econômicos e tecnológicos, entre os quais incentivos fiscais, baixo preço de terras e o desenvolvimento de novos insumos e práticas agrícolas – variedades de sementes, adubos e maquinários –, adaptados ao clima sazonal e ao relevo plano do Cerrado. Dentre esses fatores políticos e socioeconômicos, o baixo[50] preço da terra foi um elemento crucial na ocupação do Cerrado, com baixa dependência à presença de cobertura vegetal nativa – isto é, desprezando-se os serviços ambientais vinculados a uma

paisagem mais conservada (Ferreira *et al.,* 2009). Ou seja, são áreas que necessitam de preparo para a agricultura, como o gasto de desmatamento e a correção da acidez/fertilidade do solo.

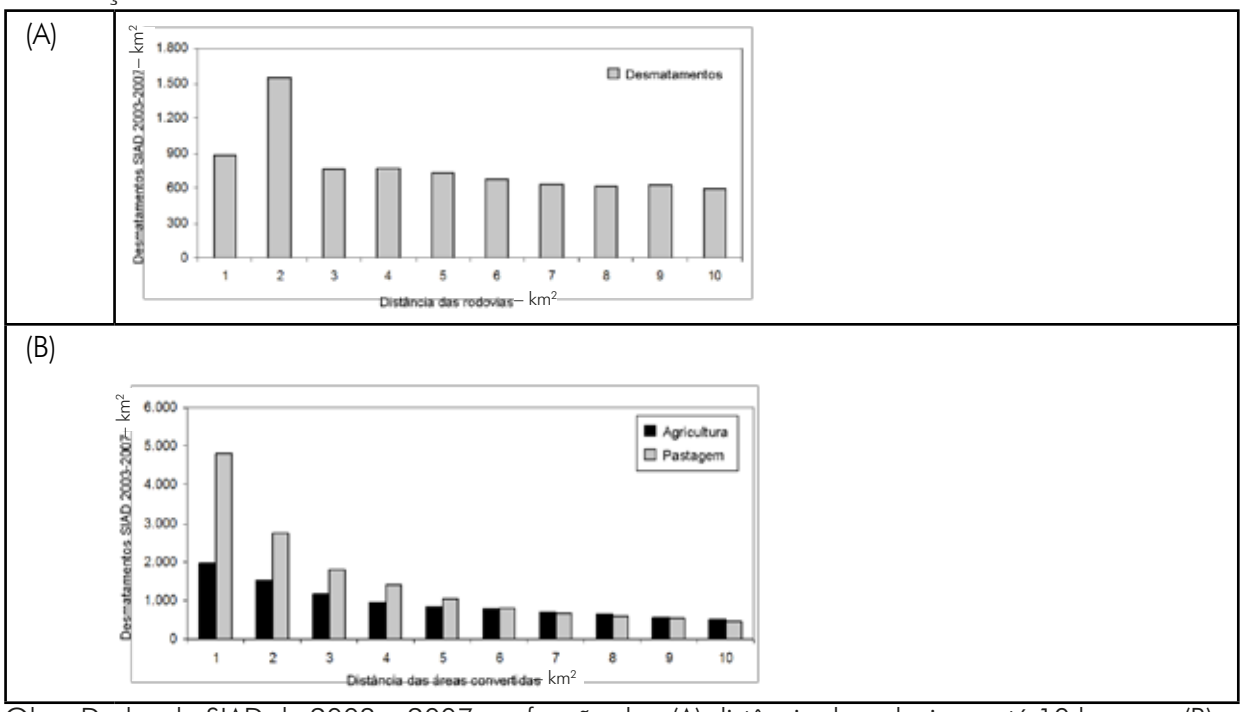
Dentre as variáveis antrópicas, a infraestrutura viária é a que oferece a maior atração para a conversão da cobertura vegetal nativa (Soares-Filho, *et al.,* 2004; Fearnside, 2006; Ferreira *et al.,* 2007b), sobretudo nas áreas de extração madeireira e produção de carvão vegetal – caso da Amazônia e do Cerrado – ou para a agricultura de larga escala – caso do Cerrado. Tal fato se deve pela facilidade de acesso e escoamento de produção, influenciando o surgimento de outras ocupações e atividades – ex. urbanização, rotas de comércio e indústrias. A Figura 3.50 ilustra esta relação, onde se observa que a maioria dos desmatamentos está concentrada em até dois quilômetros das rodovias, estabilizando-se na faixa de oito a dez quilômetros.

De forma similar à estrutura rodoviária, a variável antrópica *localidade*, referente à proximidade de centros consumidores mais desenvolvidos, também atua como um polo de atração para a ocupação do Cerrado (Miziara e Ferreira, 2008; Rodrigues e Miziara, 2008), em conjunto com outras variáveis socioeconômicas, tais como o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e o PIB das sedes municipais (Ferreira *et al.,* 2007b; Ferreira *et al.*, 2009).

O fator *localidade* também atua sobre a distribuição dos desmatamentos em função, por exemplo, da proximidade de áreas já convertidas. Verifica-se, assim, uma maior concentração dos desmatamentos nos primeiros cinco quilômetros dessas áreas, com um volume significativamente maior de mudanças com a proximidade de pastagens, indicando a prevalência desta atividade no processo de expansão e/ou intensificação do uso do solo no Cerrado, como apresenta a Figura 3.50

[50] Para se ter ideia do preço médio da terra em Goiás – estado totalmente inserido no bioma Cerrado –, o hectare da categoria Cerrado Agrícola – áreas com remanescentes de Cerrado – custava em média, em 2006, R$ 2.079,00 – mínimo R$ 442,00 e máximo R$ 6.198,00 –, enquanto o hectare da categoria Agricultura de Alta Produtividade custava em média R$ 5.328,00 – mínimo R$ 1.118,00 e máximo R$ 10.992,00. Mais informações em Ferreira et al. (2009).

Figura 3.50
Distribuição dos alertas de desmatamentos no Cerrado.

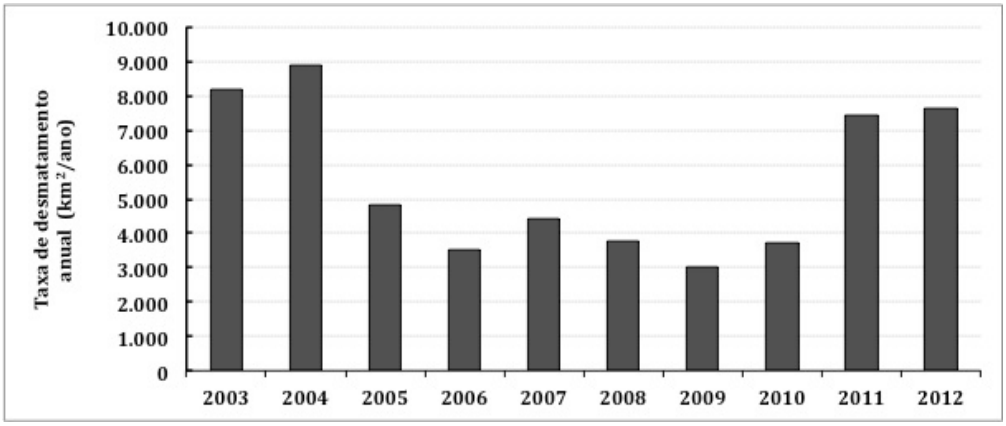


Obs.: Dados do SIAD de 2003 a 2007 em função de: (A) distância de rodovias – até 10 km – e, (B) distância de áreas previamente convertidas – até 10 km.

Fonte: Ferreira (2009)

A evolução do desmatamento no Cerrado, entre os períodos 2002/2003 e 2011/2012, pode ser observada na Figura 3.51, baseada nos dados gerados anualmente pelo Sistema Integrado de Alerta de Desmatamentos (SIAD), mais informações em Rocha *et al.* (2011) e no portal do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG, 2012). Em geral, se comparados às altas taxas nas décadas de 1980 e 1990, houve grande redução nos desmatamentos no Cerrado. Nos últimos anos, porém, esses eventos voltaram a aumentar – sobretudo de 2010 em diante, conforme Figura 3.51 –, muito provavelmente como um reflexo das mudanças no Código Florestal Brasileiro e no reaquecimento da economia brasileira materializada, por exemplo, na evolução das receitas de exportação de *commodities* agrícolas, como é o caso da soja que, entre 2010 e 2011, aumentou 47%, segundo a Associação de Comércio Exterior do Brasil (AEB, 2012).

Figura 3.51 Evolução dos desmatamentos no bioma Cerrado, entre os anos 2003 e 2012.



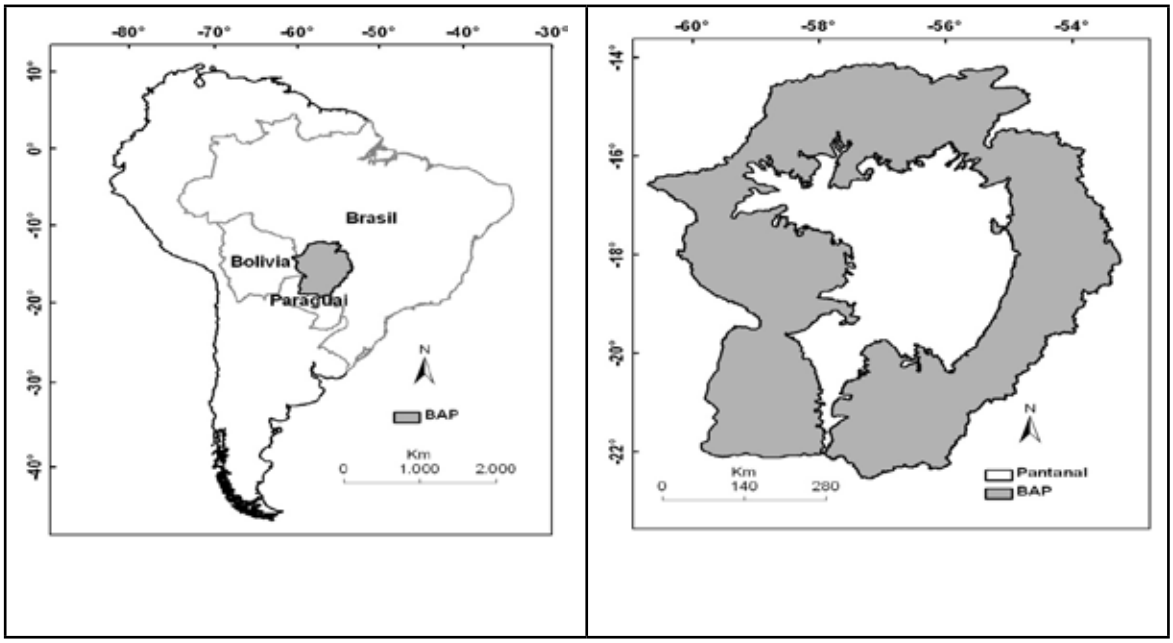
Fonte: Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG), Universidade Federal de Goiás (UFG). Disponível em <www.lapig.iesa.ufg.br>. Acesso em 19 de novembro de 2012.

3.7.1.3. PANTANAL

3.7.1.3.1. CARACTERIZAÇÃO DE COBERTURA DA TERRA

A Bacia do Alto Paraguai (BAP) é uma área aproximada de 600.000 quilômetros quadrados, dos quais cerca de 360.000 quilômetros quadrados, pertencem ao Brasil, conforme Figura 3.52. Na BAP há o encontro de cinco grandes biomas: Amazônia, Cerrado e Pantanal, no lado brasileiro, e Chaco e Floresta Chiquitano no lado boliviano e paraguaio. Do ponto de vista físico, a BAP ainda se divide em duas grandes unidades fisionômicas: a planície, com altitudes de até 200 metros e onde predomina o Pantanal, e o planalto adjacente, com altitudes de até 1.400 metros, onde predomina o Cerrado.

Figura 3.52 Localização da Bacia do Alto Rio Paraguai (BAP) no Brasil, Bolívia e Paraguai, na América do Sul e o limite do Pantanal.



Fonte: Elaboração do próprio autor

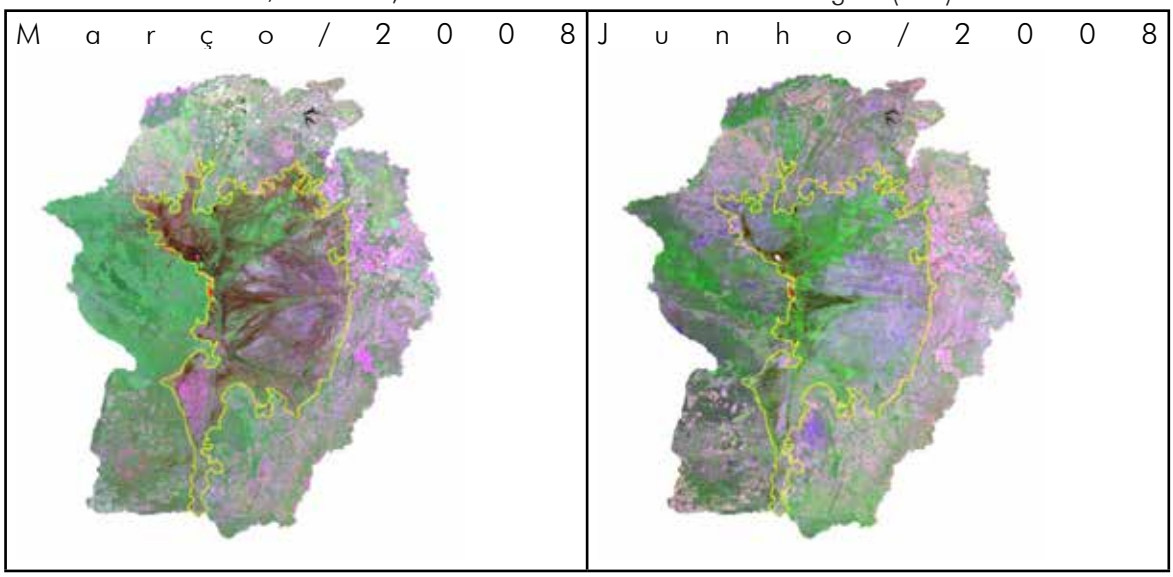
Segundo os mapas de biomas brasileiros e das sub-bacias de nível três, da Agência Nacional de Águas (ANA), o Pantanal é uma das maiores planícies de sedimentação do mundo (Silva, 2003), ocupando uma área de 151.000 quilômetros quadrados (IBGE, 2004) no território brasileiro, dos quais 65% no estado de Mato Grosso do Sul e 35% no Mato Grosso (Castelnou *et al.*, 2003). Essa região é formada por um conjunto de grandes planícies deprimidas e leques aluviais na Bacia do Rio Paraguai (Adámoli, 1982), para onde convergem quatro das mais importantes províncias fitogeográficas do Continente: Floresta Amazônica, Cerrado, Chaco e Floresta Atlântica (Amador, 2006).

Essa heterogeneidade determina, conforme Corsini e Guarim Neto (2000), a existência de diversos pantanais, que possuem características próprias, com diversidade ecológica e florística. No total, onze sub-regiões formam o Pantanal: Cáceres, Poconé, Barão de Melgaço, Paraguai, Paiaguás, Nhecolândia, Abobral, Aquidauana, Miranda, Nabileque e Porto Murtinho (Silva e Abdon, 1998).

A inundação é o fenômeno ecológico mais importante, que o caracteriza como macro ecossistema ecológico peculiar (Adámoli, 1982). O pulso de inundação anual (Junk e Nunes da Cunha, 2005) é considerado a força motriz do ecossistema e ainda ocorrem flutuações plurianuais, responsáveis

pela intensificação da seca e dos períodos de cheia, apresentadas na Figura 3.53. A proporção de ocorrência de certas comunidades vegetais depende das características ecológicas, especialmente da frequência, extensão, altura e duração das inundações e das peculiaridades do solo (Corsini e Guarim Neto, 2000), sendo inversa a relação entre a altura da inundação e a diversidade das espécies (Nascimento e Nunes da Cunha, 1989; Arieira e Nunes da Cunha, 2006). Nos ambientes hidromórficos tropicais, o acúmulo de matéria orgânica tende a ser maior onde o lençol freático flutua menos e, por alguma razão, a água livre é menos oxigenada.

Figura 3.53 Imagens de satélite do sensor *MODIS*, composição em cores RGB Infravermelho Médio/ Infravermelho Próximo/Vermelho, ilustrando a Sub-Bacia do Alto Paraguai (BAP).



Obs.: A linha amarela denota o limite do bioma Pantanal em dois momentos: março de 2008, período de inundação, e junho de 2008, período de seca.

Fonte: Padovani *et al.*, 2011

No Pantanal, a variação do nível de água é muito acentuada, com alternância pronunciada entre excesso e deficiência. As águas são mais arejadas e mais ricas em nutrientes, não havendo grande acúmulo de matéria orgânica. Nos solos mais ricos pode ocorrer transferência de material do horizonte A para o horizonte B. O horizonte A é a camada mais superficial, sob forte interferência do clima e da biomassa. Esta é a camada de maior mistura mineral com húmus. O horizonte B caracteriza-se pela maior concentração de argilas, minerais oriundos do horizonte A, com coloração forte. Os depósitos aluviais, ou aluviões, são formados por sedimentos transportados pelo rio, de forma que, a cada ano, ou no intervalo de alguns anos, novas camadas de sedimentos cobrem as anteriores, às vezes enterrando algumas plantas pioneiras, quando esse intervalo entre as deposições permite; a distribuição de matéria orgânica em profundidade é irregular, registrando esses eventos (Resende *et al.,* 1997).

O Pantanal compõe um domínio de transição do clima, solo e tipos vegetacionais, constituindo uma unidade à parte, no qual o período de grande umidade – outubro a março – alterna-se com seca pronunciada – abril a setembro –, e à vegetação dos campos com pastagens nativas adicionam-se paisagens diferentes, identificadas por nomes relacionados às plantas dominantes ou expressivas, tais como cambarazal, carandazal, paratudal, piuval, buritizal, acurizal, pindaibal, pirizal, pajonal, etc. (Pereira, 1966; Resende *et al.,* 1997). Com isso, há formação de um complexo mosaico ecológico, contendo extensas áreas com vegetação lenhosa sujeitas a inundações periódicas, incluindo acurizal (*Attalea phaleratta Mart. ex spreng*), cambarazal (*Vochysia divergens Pohl*), carandazal (*Copernicia alba Morong*) (Damasceno-Júnior *et al.,* 2005; Junk e Nunes da Cunha, 2005), grandes arbustos invasivos de pombeiro (*Combretumlaxum Jacq*) e canjiqueiro (*Bryrsonima orbignyana Adr. Juss.*) (Haase e Haase, 1995).

Muitas espécies arbóreas de várzea do bioma Amazônia, que toleram altas e prolongadas inundações, têm capacidade de suportar condições potencialmente estressantes (Parolin e Wittmann, 2010). A inundação afeta diretamente a troca de material entre os rios e a planície de inundação, e grandes eventos de inundação cobrem grandes planícies, eventualmente com inundações mais profundas, com potencial para aumentar o intercâmbio biosfera-atmosfera.

A falta de dados sobre interações biosfera-atmosfera é particularmente grave para as zonas úmidas tropicais, que são importantes reservatórios de biodiversidade, fontes de rastreamento de gases como o metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), sumidouros de CO_2 e nutrientes e energia (Fung *et al.,* 1991; Ehhalt *et al.,* 2001; Borma *et al.,* 2009; Sha *et al.,* 2010).

3.7.1.3.2. HISTÓRICO DE USO E MUDANÇAS NA COBERTURA DA TERRA NO BIOMA PANTANAL

No Pantanal, as principais atividades econômicas são a agricultura, a pecuária, a indústria agroalimentar – abate, embutidos, etc. –, o turismo e a piscicultura. Nas proximidades da cidade de Corumbá encontram-se também polos de mineração de manganês e ferro e siderurgia (Wantzen et. al. 2008, Lima 2008). Várias carvoarias operam também neste bioma, além da silvicultura de eucalipto.

Boa parte da população pantaneira transita entre o planalto e a planície (Borges, 1991; Earthwatch, 2004; Silva e Girard, 2004; Junk e Nunes da Cunha, 2005; Girarde e Vargas, 2008). A sociedade se estabeleceu no planalto a partir da década de 1970. A população da Bacia do Alto Paraguai, incluindo Campo Grande, é de aproximadamente 2,5 milhões de pessoas (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003; IBGE, 2011f); a grande maioria vive em zonas urbanas – mais de 70%. Somente em Campo Grande – capital de Mato Grosso do Sul – e Cuiabá – capital de Mato Grosso –, as duas maiores cidades da BAP, vivem mais de 1,3 milhões de pessoas, a quase totalidade – 98% – em zona urbana (Silva e Romero, 2011).

A agricultura no planalto é caracterizada por extensas áreas contínuas nos chapadões remanescentes de grandes fazendas, com culturas de soja, milho e sorgo, sendo os dois últimos mais comuns na entressafra da soja. Em algumas áreas ocorre o cultivo da cana-de-açúcar, que faz uso da queima da palha, liberando uma grande quantidade de gases e fuligem para a atmosfera. De uma forma geral, a área de agricultura é menor que as de pastagens e localiza-se em solos menos susceptíveis à erosão. Em 2008, a agricultura ocupava 10% desta área de planalto (Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2010). A agricultura familiar ocorre também no planalto, em pequenas propriedades ou assentamentos rurais. A área total da agricultura familiar no planalto é ainda desconhecida; porém, assim como as grandes fazendas, também impactam as matas ciliares e nascentes.

A manutenção das matas ciliares, nascentes e reservas legais são mais exequíveis que na pecuária, pois não exige isolamento com cercas. No entanto, há plantios até nas margens dos rios e nascentes – exceto quando o grau de umidade do solo impede o acesso das máquinas. Não há levantamentos sistemáticos, mas se estima que várias propriedades estejam sem reserva legal, em especial as pequenas propriedades rurais, ou com reserva menor que a prevista no Código Florestal, atualmente em 20% (Informação pessoal dos autores, não publicada). Assim, a soma das pequenas propriedades rurais pode ter um impacto considerável na cobertura vegetal e nos corpos d'água.

O desmatamento no Pantanal e no planalto adjacente não é um fato recente, sendo o mesmo tema de publicações desde os anos 1970: 1976 (Silva *et al.,* 2001a), 1984 (Silva *et al.,* 2001b), 1994 (Silva *et al.,* 1997), 2000 (Padovani *et al.,* 2004), 2002 (Silva, 2007; Abdon *et al.,* 2007; *WWF*-Brasil, 2009) e 2008 (MMA, 2009 e 2010).

Até 2008, as pastagens ocupavam 43% das áreas de planalto adjacentes ao Pantanal (*WWF*-Brasil, 2009), a maior parte sobre solos arenosos, com relevo acidentado, naturalmente susceptível à

erosão. Cabe ressaltar que a disponibilidade das pastagens nativas varia consideravelmente entre as épocas de inundação e seca (Potter *et al.,* 1998), com grande variabilidade espacial na oferta de pastagens em quantidade e qualidade. Além dessas condições naturais adversas, a falta de práticas de manejo adequado do solo resultou em aumento dos processos erosivos – em muitos casos chegando ao estágio de voçorocas –, assoreamento dos rios e exportação de sedimentos para o Pantanal.

Nas áreas de Cerrado da BAP é comum a ocorrência das veredas, que formam uma área tampão entre o Cerrado e a mata ciliar. São áreas baixas, úmidas e de vegetação característica que deveriam estar incluídas como Áreas de Preservação Permanentes (APPs), com um necessário isolamento com cercas, evitando o pisoteio pelo gado. Porém, dependendo do número de riachos, nascentes e do tamanho da reserva legal, os gastos com a instalação e manutenção de cercas seria elevado.

A ingestão de água pelo gado é feita tradicionalmente nos córregos, fazendo com que os animais se habituem a trilhar os mesmos caminhos das áreas mais altas até as mais baixas, onde estão tais cursos hidrográficos. Assim, o pisoteio dos animais e as enxurradas provocadas pelas chuvas levam à formação das erosões em sulcos, que por sua vez levam uma grande quantidade de sedimentos aos córregos, assoreando-os. Na atividade pecuária, vale ressaltar, o manejo com curvas de nível é muito pouco utilizado, potencializando o processo erosivo.

Por esses motivos, a pecuária na região de planalto tem sido apontada como a principal responsável pela exportação de sedimentos para o Pantanal. Na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari, uma área de aproximadamente 5.000 km^2, tem sido inundada permanentemente, em grande parte pelo assoreamento desse rio no seu baixo curso, decorrente dos processos erosivos nas áreas mais altas.

Já em outras áreas do Pantanal, o desmatamento tem aumentado em função dos custos reduzidos para essa prática, uma vez que as carvoarias se encarregam de desmatar para a produção de carvão vegetal, vendido para siderúrgicas de outros estados, como Minas Gerais e Goiás; outro fator é o preço da terra, mais baixo no Pantanal do que nas áreas de planalto – Informação dos autores, não publicada. Seja pela expansão das áreas de pastagens e desmatamentos ou de áreas alagadas na época de cheias, a ocupação antrópica vigente contribui para o aumento das emissões de gases de efeito estufa, como o carbono – advindo da substituição da vegetação nativa – e o metano – originado da decomposição da matéria orgânica em ambiente aquático, ou da digestão em bovinos.

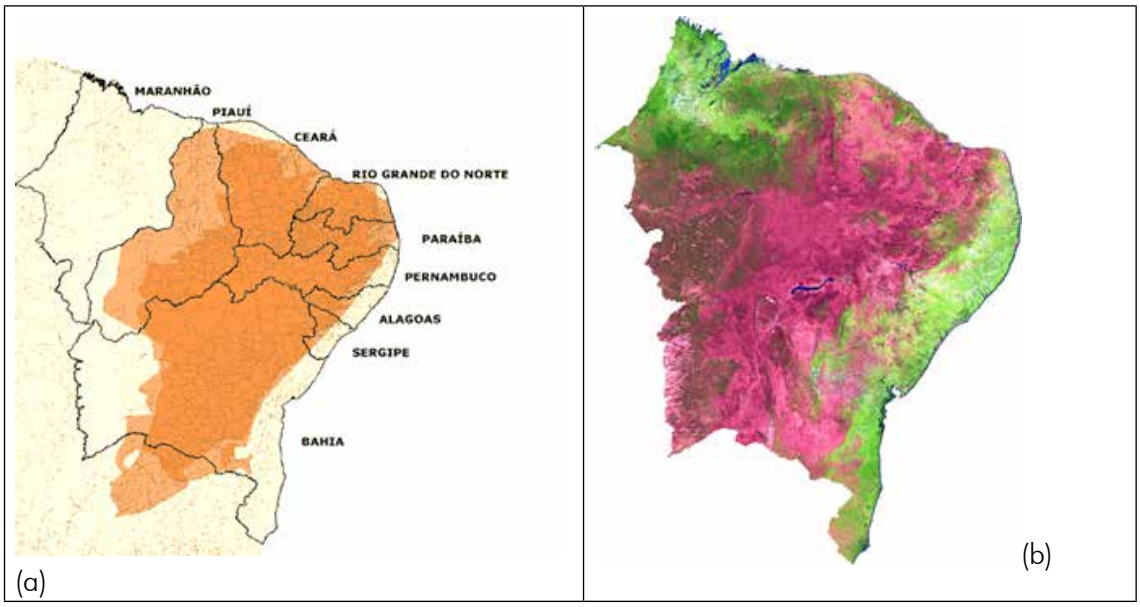
3.7.1.4. CAATINGA

3.7.1.4.1. CARACTERIZAÇÃO DE COBERTURA DA TERRA

O bioma Caatinga é o principal complexo de vegetação existente na região semiárida do Nordeste do Brasil (NEB) e o único bioma totalmente incluído nos limites políticos do País. Em 2005, a região, classificada oficialmente como semiárida nordestina, aumentou de 892.309 para 969.589 quilômetros quadrados, um acréscimo de 8,66%. A região engloba 1.133 municípios dos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Norte de Minas Gerais, totalizando uma população de 20.858.264 pessoas, 44% destas residindo na zona rural (Ministério da Integração Nacional, MIN, 2005). Os critérios da nova classificação consistiram na inclusão de municípios com precipitação média anual igual ou inferior a 800 milímetros (mm), com índice de aridez situado entre os limites de 0,21 a 0,50 e com *déficits* hídricos diários iguais ou superiores a 60% (MIN, 2005). O déficit hídrico refere-se a relação entre a precipitação e a evapotranspiração, que é o processo combinado da evaporação da superfície da Terra e da transpiração da vegetação (MIN, 2005). Com essa atualização, foi abolida a utilização do termo *Polígono das Secas* como instrumento legal de delimitação das áreas do NEB sujeito às secas, conforme Figura 3.54.

Figura 3.54 (a) Nova delimitação do semiárido Brasileiro, e (b) Imagem de satélite com composição

colorida equivalente à cobertura da vegetação mais densa –tons de verde – à mais rala –tons de magenta.



Fonte: ANA (2006) e Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites. Disponível em: <www.lapismet.com>. Acessado em: novembro de 2012.

A designação Caatinga é resultante da junção de duas palavras de origem tupi: *caa* – mata – e *tinga* – branca –, e significa mata branca – ou seca. Em termos botânicos e ecológicos, essa formação é de elevada importância, pois apresenta fisionomia e florística próprias, bem distintas das demais formações florestais dos biomas de regiões semiáridas. Para Melo (2001), a consagração do termo Caatinga se deve a Gabriel Soares de Souza, em sua obra *Tratado Descritivo do Brasil,* publicada em 1587. De acordo com esse trabalho, caatinga é um termo fitogeográfico genérico que designa o conjunto de todos os tipos de vegetação que recobrem o NEB, caracterizado pela caducidade das folhas durante a estação seca e a presença frequente ou abundante de arbustos espinhentos e de grandes cactáceas. No entanto, o glossário de Ecologia diferencia esse termo baseado na fisionomia da vegetação.

Segundo essa fonte (ACIESP, 1997), a fisionomia desse bioma é cálida e espinhosa, com estratos compostos por gramíneas, arbustos e árvores de porte baixo ou médio – três a sete metros de altura –, caducifólias – folhas que caem –, com grande quantidade de plantas espinhosas – leguminosas –, entremeadas de outras espécies como as cactáceas e as bromeliáceas, no qual as condições climáticas e edáficas definem a ocorrência desse complexo fitofisionômico, ou seja, a fisionomia da vegetação, denominado de Caatinga. No entanto, o trabalho de Andrade-Lima (1981) considera a Caatinga pelo determinismo dos fatores climáticos, edáficos e antrópicos. As informações sobre a estrutura e o funcionamento desse ecossistema ainda são escassas. É um dos biomas mais vulneráveis às alterações climáticas globais, associadas aos efeitos de aquecimento global induzido pelo acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera (IPCC, 2007). Em paralelo, 70% de sua área foram alteradas por ações antrópicas (Araújo *et al.,* 2005).

As espécies observadas nessas condições apresentam adaptações fisiológicas e morfológicas, capacitando-as para resistirem à deficiência hídrica estacional, como armazenamento de água em partes da planta, caducifólia, órgãos para absorção da umidade atmosférica proveniente de chuvas e outras fontes. Até o momento, estima-se que a vegetação da Caatinga é composta por cerca de 930 espécies, sendo 380 endêmicas. A fisionomia dessa formação é caracterizada pela abundância de *Cereus* – mandacaru e facheiro –, *Pilocereus* – xiquexique –, leguminosas – mimosa, acácia, emburana. A retirada de madeira dessa formação foi muito intensa nas últimas décadas,

principalmente de espécies de grande porte de mandacaru – *Cereus hildmanianus Schum*.

A morfologia, fisiologia e ecologia dos tipos de vegetação da Caatinga determinam as características xerofíticas do bioma. Entende-se por características xerofíticas a vegetação arbustiva, com adaptações de folhas por espinhos para reduzir ao máximo a perda de líquido pela transpiração. As espécies possuem caráter comportamental e fisiológico em relação às características físicas e socioambientais do meio, determinando, dessa forma, o conhecimento das características funcionais desse ecossistema e, por conseguinte, de sua resistência a diversos fatores de tensão decorrentes, sobretudo, da atividade antrópica.

São reconhecidos doze tipos diferentes de caatingas, que chamam atenção especial pelos exemplos de adaptações aos hábitos semiáridos. De acordo com Alves *et al.* (1998), as caatingas constituem um mosaico de fitofisionomias onde densidade, altura e porcentagem de cobertura de espécies variam continuamente, desde parque até arbóreo-arbustiva. Para o autor, esses gradientes fisionômicos de caatingas contrastam com as áreas florestadas, compostas por espécies medindo em torno de cinco a sete metros de altura, mais ou menos densas, com grossos troncos.

Em contraposição, a caatinga parque é composta, principalmente, pelas espécies *Mimosa acustipula*, *Auxema oncolalyx* e *Aspidosperma pyrifolium*. Essa área recebe esse nome por recobrir pequenas depressões capeadas que, à época das chuvas, são alagadas, e também por ter seus indivíduos pseudo-ordenados sobre denso tapete gramíneo-lenhoso.

No que se refere à caracterização fisionômica – visual –, a Caatinga apresenta três estratos: arbóreo – oito a doze metros –, arbustivo – dois a cinco metros – e o herbáceo – abaixo de dois metros. Algumas poucas espécies não perdem as folhas na época seca, entre essas se destaca o juazeiro – *Zizyphus joazeiro* –, uma das plantas mais típicas desse ecossistema.

As espécies vegetais que habitam esse ecossistema são em geral dotadas de folhas pequenas, uma adaptação para reduzir a transpiração. Essas espécies sofrem constantes perturbações antrópicas de diferentes naturezas, como extrativismo seletivo e outros. Tais atividades, que continuam até hoje em intensidades variadas, tornam complexa a discussão sobre a sucessão ecológica desse bioma – que ocorre tanto naturalmente ou quando uma área é degradada e depois abandonada –, já que praticamente inexistem áreas remanescentes não degradadas na maior parte do NEB (Alves, 2007). A Figura 3.55 retrata a diferença das formações caatinga arbórea aberta e caatinga arbustiva-arbórea fechada

Figura 3.55 Fisionomias da Caatinga.

(a)

(b)

(c)

(d)

Obs.: (a) caatinga arbórea aberta, (b) caatinga arbórea fechada, (c) caatinga arbustiva- arbórea aberta, (d) caatinga arbustiva- arbórea fechada.

Fonte: Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites (LAPIS, www.lapismet.com, acessado em 10 de maio de 2013). Fotografias de Humberto Barbosa.

É necessário enfatizar a vulnerabilidade a que está exposta a maior parte do bioma Caatinga em decorrência da instabilidade climática, dramatizada pelas secas que ocorrem, em média, a cada cinco anos. Rebouças (1997) aponta que os valores médios anuais das chuvas podem ocorrer em apenas um mês, ou se distribuir de forma irregular nos três a cinco meses do período chuvoso, com coeficiente de variação superior a 45%. Nos últimos anos, ainda segundo Rebouças (1997), as secas foram responsáveis por redução da ordem de 9% no produto da agropecuária regional, e de 4,5% no PIB nacional. A população atingida chegou a quase doze milhões, e o número de trabalhadores inscritos nas frentes emergenciais de trabalho, a dois milhões.

A grande dificuldade dos agricultores é lidar com a elevada variação dos fatores climáticos, que oscilam fortemente entre um ano e outro. A sazonalidade climática se expressa claramente na estrutura e no funcionamento da Caatinga, que apresenta diferentes fases fenológicas – ou seja, fases de crescimento, floração, antese e fenecimento. A condição de solo raso – litólico –, com elevada acidez e baixa capacidade de retenção hídrica na estação seca, atua como fator edáfico seletivo para a ocorrência de espécies. Tal formação geológica limita a capacidade de infiltração da água no solo, propiciando maior escoamento superficial que, por sua vez, dificulta o armazenamento de água subterrânea.

O relevo da região da Caatinga, por sua vez, constitui-se num importante fator para a compreensão do clima semiárido de seu interior (Suassuna, 2009). As serras e planaltos formam grandes barreiras geológicas para a ação do vento e de outros fatores, impedindo as chuvas nas regiões mais altas do lado oriental e setentrional das serras e planaltos. A partir desses condicionantes meteorológicos e geomorfológicos, a precipitação média anual varia de 250 a 600 mm.

De acordo com Duarte (2002b), o clima predominante na Caatinga é o tropical semiárido. A temperatura média anual é de 25 °C, podendo alcançar até 40 °C no verão. As mínimas registradas podem chegar a valores próximos de 20 °C, ou até menos, nos meses de maio e junho, os mais chuvosos. As chuvas se concentram na chamada *estação chuvosa*, com duração de três a quatro meses e com distribuição irregular.

As perdas devido à evaporação, depois das chuvas, são maiores do que aquelas causadas pelo escoamento superficial e infiltração subterrânea. Devido à reduzida presença de nuvens, a região apresenta mais de 3.000 horas de sol durante o ano, favorecendo o elevado potencial de perda de água por evapotranspiração, que atinge 2.500 mm ao ano. Com isso, 91,8% da precipitação pluviométrica na região da Caatinga evaporam, 8% contribuem para o escoamento superficial e 0,2% percola no subsolo – movimento e filtragem de fluídos por materiais porosos (Carvalho *et al.*,

2003). Esses elementos climáticos adversos produzem uma aridez quase generalizada.

A principal manifestação da variabilidade climática desse bioma é a seca. Historicamente, a região da Caatinga sempre foi afetada por grandes secas (Guerra, 1981). Entre as principais, mencionam-se especialmente aquelas ocorridas em: 1915; 1919/20; 1931/32; 1942; 1951/53; 1958; 1966; 1970; 1972; 1976; 1979/80; 1982/83; 1993; 1998/99.

O fenômeno meteorológico mais associado à ocorrência das secas no bioma Caatinga é o *El Niño* - Oscilação Sul (*ENOS*). Durante a fase positiva do *ENOS*, a região da Caatinga experimenta uma diminuição sazonal das chuvas e, por conseguinte, um aumento de intensidade das secas. É fácil verificar que, de modo geral, os anos de secas sucedem os anos de ocorrência do fenômeno *El Niño*. Isto aconteceu nos anos 1914, 1918, 1930, 1941, 1951, 1953, 1957, 1965, 1969, 1971, 1982, 1992 e 1997. O ano posterior a um ano de *El Niño*, entretanto, nem sempre é seco, como se pode ver em 1912, 1924 e 1926.

Há também anos secos que não foram antecedidos por anos de *El Niño*, como por exemplo, 1936 e 1979. Entretanto, relatos de secas podem ser encontrados desde o século XVII, quando os portugueses chegaram à região. Na grande seca de 1877 a 1979, por exemplo, teriam morrido mais de 500 mil pessoas na Província do Ceará e vizinhanças, vitimadas pela fome, sede, epidemias, falta de condições sanitárias, e ausência de infraestrutura, embora haja, por parte dos historiadores, certa divergência em relação a esse número.

A seca, portanto, se diferencia da aridez, já que esta se restringe a regiões de baixa precipitação e é uma característica permanente do clima. O caráter da seca é nitidamente regional, refletindo peculiaridades meteorológicas, hidrológicas e socioeconômicas. Segundo Aceituno (1988), durante episódios de *ENOS* há o deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) para uma posição ao Norte, dificultando a formação de chuvas na região. A ZCIT é o principal sistema atmosférico atuante no bioma Caatinga, e responsável direto pelas chuvas nesse bioma no período de fevereiro a maio. A ZCIT recebe influência dos padrões de Temperatura da Superfície do Mar (TSM). Anomalias positivas de TSM no Atlântico Norte e negativas no Atlântico Sul, próximo da costa africana, configuram um padrão de dipolo de TSM desfavorável às chuvas na Caatinga, influenciando a ZCIT para a posição mais no norte do Equador.

3.7.1.4.2. HISTÓRICO DE USO E MUDANÇAS NA COBERTURA DA TERRA NO BIOMA CAATINGA

Na Caatinga, o desenvolvimento de políticas de enfrentamentos dos efeitos das secas iniciou-se a partir da seca de 1877 a 1979. A sinergia e complementaridade das políticas sobre a gravidade da seca e ações para mitigá-la tornaram-se mais sistemáticas no início do século passado. Planos de preparação para o combate aos seus efeitos propiciaram uma maior coordenação dentro dos diversos níveis de governo. Avaliações pós-seca mostraram os esforços nos procedimentos para o monitoramento, resposta e mitigação de graves deficiências hídricas.

Durante as secas no Nordeste em meados dos anos 1950, mais especificamente em 1958, houve uma redução de 40% na safra agrícola dessa área, com prejuízo de US$ 132 milhões à cotação de 1957, com a agricultura contabilizando um prejuízo da ordem de US$ 106 milhões e a pecuária de US$ 26 milhões (Duarte, 2002a). Entre 1970 e 1984, a vulnerabilidade à seca aumentou em alguns contextos devido à expectativa dos destinatários das ações quanto à obtenção de assistência por parte dos governos ou doadores.

Como resultado das secas de 1978 a 1980, as culturas de subsistência de milho e feijão tiveram uma redução de 82% e 72%, respectivamente. A principal cultura comercial na época, o algodão, teve um declínio de produção de 69%. Na primeira década do século XXI, apesar da ocorrência de anos com *déficit* de precipitação pluviométrica, como de 2001 a 2005, não foi observada a

ocorrência de uma grande seca na região. Secas severas de longos períodos podem levar a uma excessiva pressão sobre os recursos naturais pelo uso da terra, cujas causas imediatas são a perda gradativa da cobertura vegetal, degradação do solo, mudança do efeito de albedo – quantidade de radiação solar refletida de um objeto ou superfície. Ciclos de fortes secas costumam atingir a Caatinga em intervalos que variam de poucos anos a, até mesmo, décadas.

Os principais fatores antrópicos que afetam a dinâmica de fragmentação desse ecossistema são: grandes latifúndios, prospecção e exploração de lençóis d'água subterrâneos e de combustíveis fósseis – petróleo e gás natural –, formação de pastagens, irrigação e drenagem, siderúrgicas, olarias e outras indústrias. Esses fatores provocam, além da perda de diversidade biológica, perdas profundas nos ganhos de carbono, acarretando redução da qualidade do solo (Araújo *et al.,* 2005).

As chamadas áreas com ocorrência de desertificação totalizam aproximadamente 40 mil quilômetros quadrados (MMA, 2000). Nas últimas décadas observa-se um cenário extremamente modificado pela intensa ação antrópica, manifestada principalmente pelo surgimento e intensificação dos processos biofísicos, tais como erosão dos solos, aumento do *déficit* hídrico do solo, contribuindo para expansão da desertificação.

Para tentar reverter os efeitos da desertificação, o Ministério do Meio Ambiente lançou, em 2004, o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação (PAN-Brasil, 2005). O programa relaciona políticas voltadas ao meio rural, como Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar, Bolsa Família e ações de convivência com a seca, à agenda de combate à desertificação.

3.7.1.5. MATA ATLÂNTICA

3.7.1.5.1. CARACTERIZAÇÃO DE COBERTURA DA TERRA

A Mata Atlântica é a segunda maior floresta tropical do continente sul-americano. Originalmente cobria uma área de 1,5 milhão de quilômetros quadrados, ao longo da costa brasileira, se estendendo ao Oeste em menor profundidade em sua porção nordeste – desde a Paraíba até Minas Gerais. O bioma cobria todo o estado do Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e também a porção norte do Rio Grande do Sul, alcançando o Sul do Mato Grosso do Sul, e a face leste do Paraguai e Argentina (Galindo-Leal e Câmara, 2003; Ribeiro *et al.,* 2009), conforme pode ser visto na Figura 3.56a. A Mata Atlântica se estende latitudinalmente de 3° S a 30° S, longitudinalmente de 35° W a 60° W, com altitudes variando entre 0 a 2.900 metros acima do nível do mar, e gradientes de precipitação anual no interior do continente, chegando a 4.000 mm na zona costeira (Câmara, 2003).

A Mata Atlântica é extremamente heterogênea, compreendendo extensos maciços florestais de ombrófila densa – costa Leste – a florestas semideciduais conforme se adentra no interior do continente. Também é composta por ambientes especiais, como formações pioneiras – áreas alagáveis ou várzeas –, restingas – florestas e vegetação herbáceo-arbustiva em conduções de solos arenosos na zona costeira –, mangue – vegetação típica de ambientes lodosos –, campos rupestres e de altitude, além da floresta ombrófila mista com araucária (Scarano 2002; Câmara 2003).

Este mosaico de *habitats* resultou em uma expressiva biodiversidade, com mais de 20.000 espécies de plantas, 263 mamíferos, 936 aves, 306 répteis e 475 anfíbios (Mittermeier *et al.,* 2005). Além da grande biodiversidade, o bioma Mata Atlântica apresenta distintas regiões biogeográficas – Bahia, Brejos Nordestinos, Diamantina, Pernambuco, Serra do Mar e São Francisco – e zonas de transição, como a floresta de interior e floresta de araucária (Silva e Casteleti, 2003; Ribeiro *et al.,* 2009).

O elevado grau de endemismo – 30% das aves, 44% das plantas – e alta biodiversidade, combinado

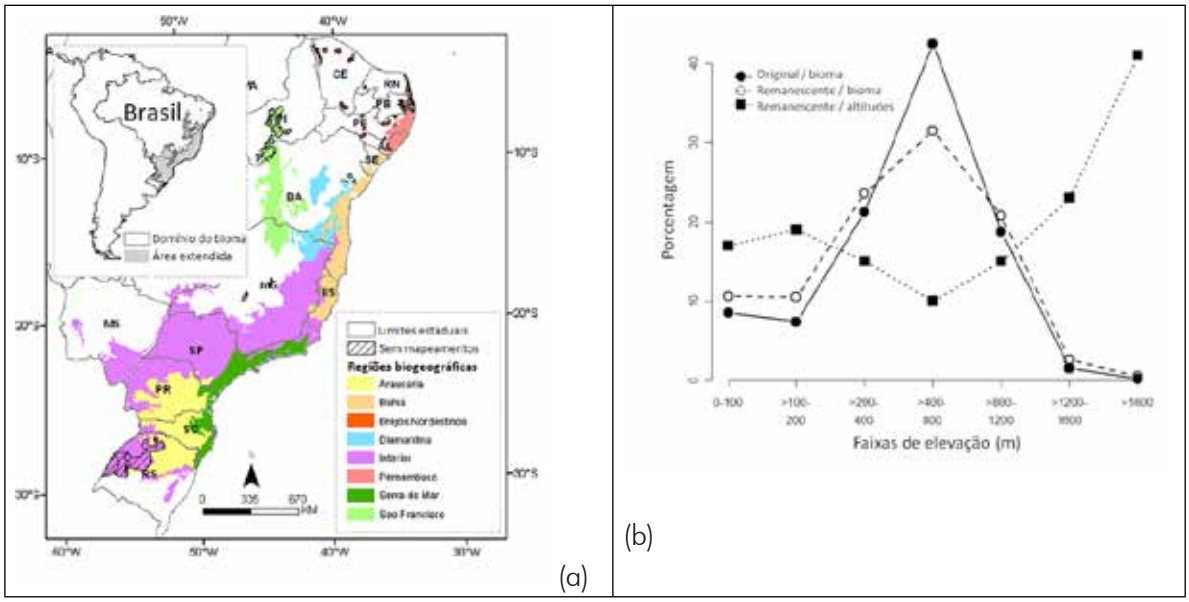
com avançado estágio de perda de *habitat*, fragmentação e degradação florestal atribui ao bioma a quinta posição no ranking de *hotspots* de biodiversidade (Mittermeier *et al.,* 2005). Adicionalmente ao elevado nível de endemismo, combinado ao gradiente de heterogeneidade ambiental, a Mata Atlântica apresenta níveis extremamente elevados de diversidade alfa – escalas locais – e beta – escalas regionais – para diversos grupos taxonômicos, como plantas, mamíferos e borboletas (Brown e Freitas, 2000; Costa *et al.,* 2000; Oliveira-Filho e Fontes, 2000).

A distribuição do bioma no gradiente de elevação está concentrada principalmente entre os 200 e 1.200 metros – 80% –, com maior expressão na faixa de 400 a 800 metros (Tabarelli *et al.,* 2010; Ribeiro *et al.,* 2011). Por conta da elevada perda de *habitat* e fragmentação, a vegetação remanescente sofreu drástica modificação em relação à elevação, sendo em termos relativos mais concentrados nas altas altitudes (Figura 3.56b). Ribeiro *et al.* (2011) analisaram a distribuição da Mata Atlânticada em relação à posição do relevo, para as seguintes categorias:

(a) áreas de várzeas ou sob influência da hidrografia,
(b) relevos planos – <12 % de inclinação,
(c) declividade moderada – >12% – e
(d) encostas – cristas, topos de morros e áreas com elevada inclinação.

Os resultados indicam que, em termos gerais, relevos com declividade moderada predominam – 60% do domínio –, seguidos por áreas planas – 19% – e áreas de várzeas – 16%. Após o processo de perda de *habitat*, apenas 7,6% de vegetação remanescente foi encontrada nas áreas mais planas, enquanto nas áreas de inclinação moderada este valor sobe para 10,6%. Em contraste, áreas com maior declividade estão entre as mais preservadas, com 33% da cobertura original (Ribeiro *et al.,* 2011). Este tipo de resultado favorece, em parte, fisionomias como campos rupestres e campos de altitudes, mais encontrados em regiões como o quadrilátero ferrífero – Minas Gerais –, encosta Devoniana – Paraná –, ou campos de altitude comuns em Santa Catarina (Ribeiro *et al.,* 2011).

Figura 3.56 (a) Regiões biogeográficas da Mata Atlântica, proposta por Silva e Casteleti (2003) com base em registros de endemismo de aves, borboletas e primatas, bem como aspectos de relevo e clima.



Abreviação para os estados brasileiros: Alagoas – AL, Bahia – BA, Ceará – CE, Espírito Santo – ES, Goiás – GO, Maranhão – MA, Minas Gerais – MG, Mato Grosso do Sul – MS, Pernambuco – PE, Paraíba – PB, Piauí – PI, Paraná – PR, Rio Grande do Norte – RN, Rio Grande do Sul – RS, Santa Catarina – SC, Sergipe – SE, São Paulo – SP, Tocantins – TO. (b) Os círculos representam as porcentagens de vegetação original e remanescente para todas as faixas de elevação. Quadrados indicam a porcentagem de vegetação remanescente em relação à vegetação original dentro de cada faixa de altitude.

Fonte: Adaptado de Ribeiro *et al.,* 2011

3.7.1.5.2. HISTÓRICO DE USO E MUDANÇAS NA COBERTURA DA TERRA NO BIOMA MATA ATLÂNTICA

A perda de *habitat* e fragmentação é um dos principais fatores que afetam a biodiversidade (Fahrig, 2003). Estudos recentes (Ribeiro *et al.,* 2009 e 2011; Tabarelli *et al.,* 2010) estimam que a Mata Atlântica brasileira apresenta em torno de 12% de vegetação remanescente, conforme apresentado na Figura 3.57, podendo chegar a 16% se considerados remanescentes pequenos – <3 hectares – ou matas ripárias e ciliares. A porção paraguaia do bioma Mata Atlântica ainda mantém 25% de seus 11.620 quilômetros quadrados, (Cartes e Yanosky, 2003; Huang *et al.,* 2007 e 2009), enquanto o Nordeste da Argentina preserva ~39% dos 9.950 quilômetros quadrados (Chebez e Hilgert, 2003; De Angelo, 2009). Algumas regiões brasileiras apresentam mais de 90% de perda de *habitat* (Ribeiro *et al.,* 2009), como é o caso das florestas de interior – 7,1% de remanescentes –, São Francisco – 4,7% –, conforme Figura 3.57.

As áreas convertidas da Mata Atlântica por ações antrópicas formam mosaicos com atividades de agricultura, silvicultura e agropecuária em paisagens dinâmicas, combinando remanescentes florestais em complexos que incluem formações pioneiras, além de florestas em estágios iniciais, médios e avançados de sucessão (Ribeiro *et al.,* 2009, Teixeira *et al.,* 2009).

Além da perda de *habitat* em si, a Mata Atlântica ainda apresenta preocupantes aspectos em relação à estrutura da paisagem resultante do processo de degradação, onde os fragmentos apresentam tamanhos bastante reduzidos – 84% são <50 hectares –, elevado grau de isolamento – distância média 1.440 m entre remanescentes – e expressivo efeito de borda – metade dos remanescentes está a, no máximo, 100 metros de qualquer borda – ver Ribeiro *et al*. (2009).

Os desmatamentos florestais estão sempre associados com outras atividades de perturbação antrópica, como caça furtiva, exploração seletiva de madeira, coleta de produtos não florestais, o que compromete ainda mais a biodiversidade da Mata Atlântica (Tabarelli *et al.,* 2005 e 2010; Galetti *et al.,* 2009). Segundo Laurance (2009), poucas florestas tropicais estão em estado mais crítico do que a Mata Atlântica, face ao elevado nível de ameaças e alto valor para a conservação da biodiversidade. Em termos de áreas protegidas, de suas 700 unidades de conservação (UC) (Galindo-Leal e Câmara, 2003), apenas 1,62% da cobertura original do bioma encontram-se efetivamente protegidas por UC de proteção integral (Ribeiro *et al.,* 2009).

Processos de degradação, como perda de *habitat* e desmatamento, não acontecem ao acaso, sendo em geral influenciados por aspectos associados ao relevo e fertilidade do solo. Segundo a literatura, para o hemisfério Sul existe uma preferência por explorar com agricultura, silvicultura ou agropecuária as faces voltadas ao norte dos relevos. Isto se deve à maior incidência de energia solar, que potencializa a produtividade primária nessas condições, aumentando, em decorrência, a produção agropecuária dessas áreas (Lu *et al.,* 2002).

A própria biodiversidade apresenta maior taxa relativa em condições de relevos voltadas às faces onde a produtividade primária é superior (Silva *et al.,* 2008a; Silva, 2010). Ribeiro *et al*. (2011) quantificaram pela primeira vez a distribuição original – pré-colinização –, e observaram que, considerando as oito direções cardeais, a porcentagem média por orientação variou de 11% a 16%, o que sugere que, originalmente, não existia uma distribuição predominante – teste de Rayleigh, $t=0{,}0076$; $p<0{,}1$, conforme Figura 3.58. Entretanto, ao considerar o histórico do desmatamento, Ribeiro *et al*. (2011) relatam que foram detectados 20% menos de desmatamentos na orientação Sul – teste de Rayleigh, $t=0{,}5842$; $p<0{,}005$ –, o que confirma a preferência por manter a face Sul preservada em detrimento das demais, conforme Figura 3.58.

A cana-de-açúcar foi a primeira atividade agrícola extensivamente plantada nos domínios da Mata Atlântica do Nordeste, a partir do início do século XVI, o que iniciou um amplo processo de conversão florestal. Mais tarde, e em outras regiões, o café ocupou o cenário, principalmente

nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná, o que impulsionou o avanço da fronteira do desmatamento. Atualmente a cana-de-açúcar, a agropecuária e os plantios de *Eucalyptus spp*. e de *Pinus spp*. ocupam espaço significativo no cenário do bioma Mata Atlântica, formando paisagens compostas tanto por pequenas propriedades e vegetações esparsas – pequenas em tamanho, mal conectadas, alto grau de isolamento e elevado efeito de borda –, como por atividades extremamente extensivas (Ribeiro *et al.,* 2011).

Desde o princípio, o padrão geral da agricultura na Mata Atlântica é representado por propriedades de monoculturas em latifúndios (IBGE, 2006). As propriedades em pequena escala ou a agricultura familiar estão concentradas principalmente em relevos mais acidentados (Altieri, 2009a, b) e, embora ocupem menos de 25% do território nacional, são responsáveis por porção significativa da base alimentar brasileira, produzindo 87% da mandioca, 70% do feijão, 46% do milho, 38% do café, 34% do arroz, 58% do leite, 59% da suinocultura, 50% da avicultura, 30% da carne bovina e 21% do trigo, mas somente 16% da soja (IBGE, 2006). Entretanto, em áreas de relevo mais plano, onde a mecanização é possível, a cana-de-açúcar ocupa áreas extensas, e a atividade se expande para diversas regiões do bioma em virtude dos subsídios que por muitos anos foram dedicados à produção de biocombustível (Lapola *et al.,* 2010) ou agrocombustível (Altieri, 2009a, b).

A mecanização da colheita de cana-de-açúcar, embora tenha reduzido os impactos anteriores relacionados – condições sub-humanas de trabalho, com elevado risco de saúde e de vida para os trabalhadores rurais –, também é responsável pela redução no grau de conectividade dos fragmentos florestais, uma vez que árvores isoladas, previamente distribuídas em plantios de cana, são removidas para dar espaço à colheita mecanizada (Informação dos autores, não publicada). Segundo Harvey *et al*. (2004 e 2010), as árvores isoladas são elementos importantes para aumento da conectividade em paisagens fragmentadas, por aumentarem a porosidade da matriz e facilitarem a movimentação de espécies de fauna, em especial aves frugívoras e mamíferos dispersores de sementes.

Figura 3.57 Porcentagem de *habitat* remanescente para diferentes sub-bacias estimadas para a Mata Atlântica Brasileira

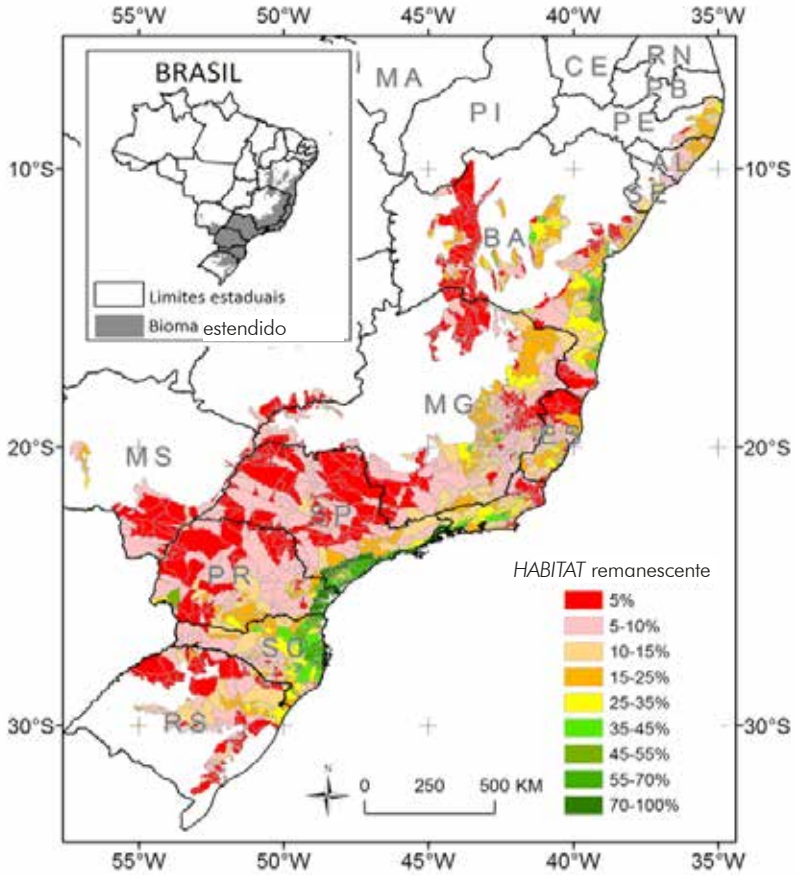
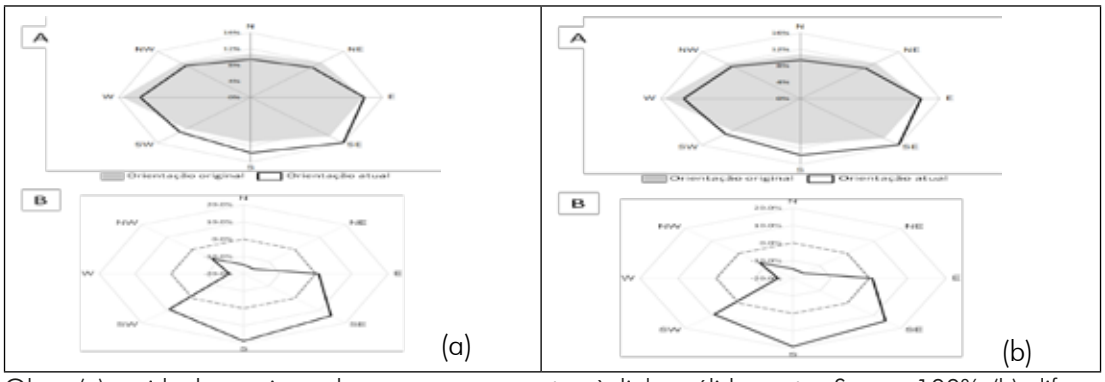


Figura 3.58 Gráficos indicando orientação de relevo em porcentagem da distribuição original e remanescente do bioma Mata Atlântica.



Obs.: (a) residual em cinza claro e, remanescente à linha sólida preta. Soma: 100% (b) diferença em %, exibida pela linha sólida preta, entre a distribuição original e remanescente da vegetação em relação à orientação do relevo, onde valores positivos indicam menor desmatamento ou maior área remanescente em relação à distribuição original, e valores negativos indicam condições preferenciais para desmatamento.
As linhas tracejadas em (B) destacam diferenças relativas entre distribuição original e atual igual a zero. Nos gráficos de radar (A e B), as legendas representam as direções: – Norte – N, – Nordeste – NE; – Leste – E; – Sudeste – SE; – Sul – S; – Sudoeste – SO; – Oeste – W e – Noroeste – NW.

Fonte: Adaptado de Ribeiro *et al.*, 2011.

3.7.1.6. PAMPA

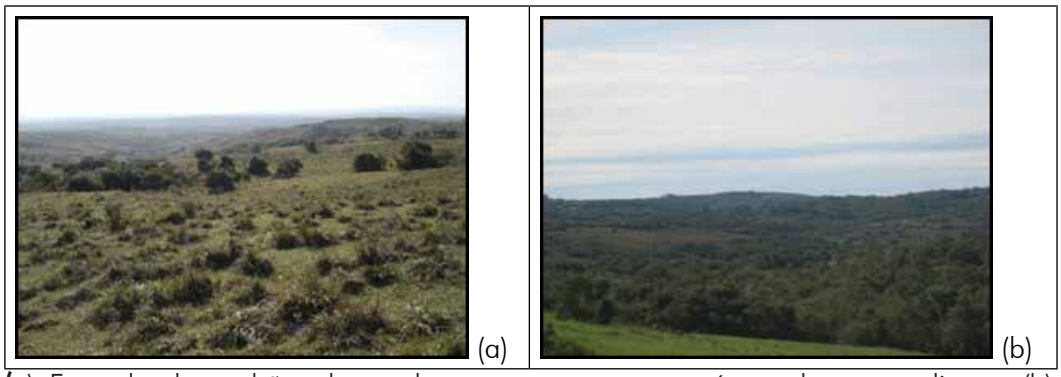
3.7.1.6.1. CARACTERIZAÇÃO DE COBERTURA DA TERRA

O bioma Pampa ocupa uma área de 178.243 quilômetros quadrados, que, historicamente, não foi tratada como de interesse de preservação (Overbeck *et al.*, 2007). O relevo plano a ondulado propicia que a paisagem seja dominada por uma forma reconhecida regionalmente como coxilha, resultante do efeito mamelonizador – com morros de feições arredondadas côncavas e convexas–, decorrente da umidificação do clima atual (Suertegaray e Silva, 2009).

O Sul do Rio Grande do Sul possui uma temperatura média anual de aproximadamente 17,5 °C, com alto contraste de temperatura entre inverno e verão – médias de 12,5 °C e 23 °C, respectivamente –, e estações de transição com temperaturas semelhantes, porém mais quente em abril – 18,5 °C – do que em outubro – 17 °C. A distribuição de chuvas é uniforme ao longo do ano, com alguma tendência de chuvas mais fortes no inverno. A média mensal no verão é de 120 mm, enquanto que no inverno chega a 145 mm, com a quantidade de chuva anual total para a região ficando próxima de 1.400 mm (Grimm, 2009).

A vegetação natural do bioma Pampa possui diferentes fitofisionomias, com um predomínio de vegetação campestre em associação com formações de matas ciliares e de encosta (Overbeck *et al.*, 2007). Segundo Boldrini *et al.* (2010), existem cerca de 2.200 espécies de plantas nesse bioma, sendo a maioria pertencentes à família das gramíneas. Na classificação proposta por Veloso *et al.* (1991), o bioma Pampa apresenta duas formações com destaque. Na chamada formação de campo limpo, apresentada na Figura 3.59, a característica da vegetação é a coloração acinzentada nos períodos de inverno, apresentando um estrato herbáceo com espécies adaptadas a ambientes relativamente secos, além da compactação superficial do solo, pela ação das queimadas e do pisoteamento do gado. Na formação campo sujo – Figura 3.59 –, a característica diferenciadora é a ocorrência em maior quantidade de espécies arbustivas, além de espécies arbóreas bastante dispersas.

Figura 3.59: Fisionomias do bioma Pampa.



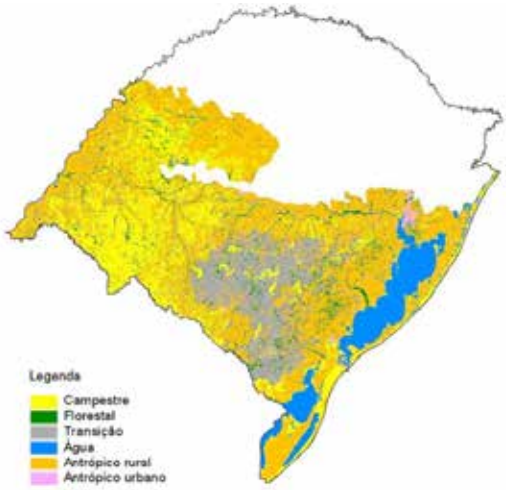
(a) Exemplo do padrão observado em campo para as áreas de campo limpo, (b) Exemplo da presença de substrato arbóreo na formação campo sujo.

Fonte: Fotografias de E. L. Fonseca.

A vegetação campestre natural do bioma Pampa cresce nas estações mais quentes do ano, diminuindo potencialmente no inverno. Já os cultivos exóticos possuem diferentes períodos de crescimento, como as culturas de inverno, pastagens para a pecuária e plantações de cereais, como o trigo, que crescem nas estações mais frias. Nas estações quentes, os cultivos mais disseminados são o arroz, a soja e o milho, estes dois últimos também influenciados pela precipitação pluvial regular, pois são cultivados sem a utilização de irrigação (Berlato e Fontana, 2003). Já os cultivos na silvicultura, as espécies de acácias – *Pinus spp, Eucaliptus spp* – se comportam de forma diferenciada, por terem um ciclo de cultivo maior. As espécies cultivadas na silvicultura são perenifólias, com maior resistência contra as oscilações intra-anuais do clima. Além disso, este tipo de cultivo é altamente competitivo em relação às outras espécies presentes, especialmente quando se considera a sua capacidade de dispersão.

Segundo o mapeamento realizado por Hasenack *et al.* (2007), conforme Figura 3.60, o bioma Pampa possui 58,68% – 85.788,713 km^2 – de sua área terrestre ocupados com algum tipo de atividade antrópica, majoritariamente rurais. Isso quer dizer que 41,32% – 73.649,746 km^2 – da área do bioma ainda possuem cobertura vegetal original. Porém, cabe salientar que, devido às características da pecuária extensiva, as áreas de campo nativo, que foram classificadas como vegetação natural, também são utilizadas nas atividades de pecuária. Sem essa classificação, a porcentagem de área preservada cairia para 11,7% do bioma – 20.855,66 km^2.

Figura 3.60 Limites do bioma Pampa e sua caracterização de uso e cobertura da terra.



Fonte: Hasenack *et al.* (2007).

3.7.1.6.2. HISTÓRICO DE USO E MUDANÇAS NA COBERTURA DA TERRA DO BIOMA PAMPA

A infraestrutura da região de ocorrência do bioma Pampa – considerando cidades e estradas – já está consolidada (Théry e Mello, 2008). Nela existem poucas indústrias em função do pequeno mercado consumidor e da distância em relação aos grandes centros consumidores (Bairros *et al.,* 2007).

A estrutura fundiária reflete a realidade local em termos do histórico de ocupação e concentração de renda (Bairros *et al.,* 2007). As propriedades rurais são extensas, quando comparadas com o de outras regiões dentro do próprio estado do Rio Grande do Sul (IBGE, 2011f). A divisão de terras, em função de pressões econômicas, transferência de propriedade ou heranças, tem levado à fragmentação das áreas de campos, o que pode afetar a diversidade de espécies (Fidelis *et al.,* 2007).

A evolução da interferência socioeconômica no bioma Pampa pode ser diferenciada em três estágios. O primeiro se inicia no século XVII, quando missionários jesuítas introduziram cavalos e gado na região, originando a pecuária extensiva, se estendendo até a implantação das primeiras sesmarias e a consolidação política do território, atualmente formador do estado do Rio Grande do Sul (Suertegaray e Silva, 2009). O segundo estágio traz a estabilização e o desenvolvimento, ao longo de três séculos da exploração econômica pelo pastoreio extensivo para os animais, principalmente gado bovino de corte e ovino, tornando esta atividade a mais importante e tradicional forma de uso da terra na região (Overbeck *et al.,* 2007). A implantação desse sistema de produção, de baixo impacto ambiental das pastagens, permitiu que a preservação do bioma e seu uso econômico coexistissem por um longo período.

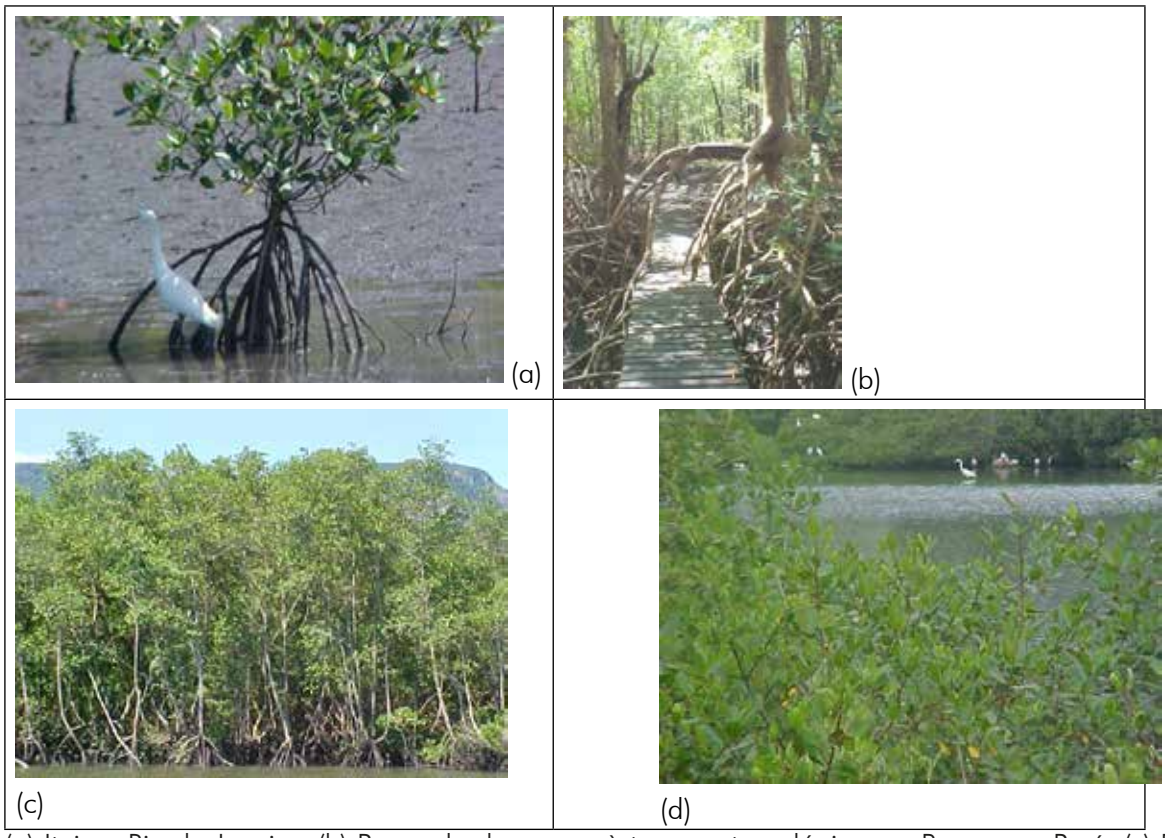
O terceiro estágio corresponde à atualidade, em que as grandes porções de terra ocupadas pela pecuária extensiva, em processo de enfraquecimento, adquirem valor financeiro significativo. Isto induziu ao desenvolvimento e intensificação das atividades agropecuárias na região, levando a transformações e à substituição da vegetação nativa por espécies vegetais exóticas, lavouras temporárias, como o arroz e soja, bem como de espécies arbóreas com o advento da silvicultura (Suertegaray e Silva, 2009).

3.7.1.7. MANGUEZAIS

3.7.1.7.1. CARACTERIZAÇÃO DE COBERTURA DA TERRA

Os manguezais são ecossistemas costeiros, tropicais e subtropicais, geralmente associados às margens de baías, enseadas, barras, desembocaduras de rios e lagunas, ou diretamente expostos à linha da costa, ligados por um sistema de marés em áreas estuarinas abrigadas, onde ocorre a mistura das águas de ambientes *dulce*-aquícolas – continentais – e salgados – mares. O seu sistema ecológico é dominado por espécies vegetais típicas, que ocorrem em substratos de vasa – formação recente, de pequena declividade, sob a ação diária das marés de água salgada ou, pelo menos, salobra –, periodicamente inundados pelas marés, com grandes variações de salinidade; seus limites verticais, no médio litoral, são estabelecidos por diferentes padrões de longo prazo das marés, conforme Figura 3.61.

Figura 3.61 Fisionomias de manguezais.



(a) Itaipu, Rio de Janeiro, (b) Passarela de acesso à torre meteorológica em Bragança, Pará, (c) Baia de Paranaguá, Paraná, (d) Aves do manguezal de Itaipu, Distrito de Niterói, Rio de Janeiro.

Fonte: Fotografias de S. M. Fonseca.

A distribuição dos manguezais também é determinada por barreiras geográficas, como massas de terra e de águas muito frias. Movimentos tectônicos foram as primeiras barreiras para o desenvolvimento dos manguezais, de suas características regionais e de espécies endêmicas, em determinadas áreas do globo. Todos os manguezais da América Tropical estão reconhecidos como *ecossistema-chave* – funcionalmente complexos, além de altamente resilientes, e, portanto, estáveis –, cuja preservação é essencial para a manutenção de outros ecossistemas, muito além da floresta de mangues.

Os manguezais são ecossistemas dinâmicos, em vista das diversas mudanças geomorfológicas – escala de milênios –, evoluções fisiológicas – eventos ocasionais/evolutivos – e, principalmente, alterações antropogênicas – escala de décadas. Há que se ressaltar que, a cada perturbação antropogênica há uma perda de elementos do sistema, tornando os manguezais menos aptos à ação de novos tensores e, por consequência, mais vulneráveis e com menor capacidade de suporte. A partir da década de 1950, as áreas estuarinas e de mangue começaram a ter uma intensa ocupação urbana, para implantação industrial e expansão imobiliária.

A eficiência para o armazenamento do carbono em florestas de mangue, assim como a sua valoração econômico-ecológica, necessita de parametrização para modelagem de cenários futuros. Estudos sobre o ciclo de carbono florestal indicam que entre os sumidouros de carbono estariam as florestas em expansão e o acúmulo de matéria orgânica no solo (Houghton *et al.,* 1983). No momento, já são conhecidas algumas funções do ecossistema manguezal, tais como:

- prover e manter a biodiversidade;
- manter as bacias flúvio-marinhas;
- sustentar inúmeras e importantes atividades econômicas; e

- atuar como sumidouro de carbono, contribuindo para amenizar as emissões de gases antrópicos, bem como para a geração de créditos de carbono, como atividades de projeto no âmbito do MDL (Mattos-Fonseca, 2010).

A Tabela 3.40 sumariza as principais funções dos manguezais.

Tabela 3.40 *Principais funções e usos do ecossistema de manguezais.*

ÁREAS	CATEGORIA DE RECURSOS	TIPOS
Biogeoquímica	Funções e serviços	Retenção de sedimentos carreados pelos rios, estabilização e aumento da linha da costa pela propagação da área ocupada pela vegetação. Armazenamento de carbono e outros elementos. Filtragem de metais pesados.
	Uso indireto	Responsável pela produção, reciclagem e exportação de nutrientes que são depositados no seu solo.
Ecológica	Funções e serviços	Habitat, reprodução e alimentação de espécies.
	Uso indireto	Concentração de nutrientes; zona de berçário natural para as espécies características desses ambientes, bem como para peixes anádromos – crescem no mar e se reproduzem em água doce – e catádromos – peixes que vivem em água doce, mas se reproduzem no mar –, e outros animais que migram para as áreas costeiras durante, pelo menos, uma fase do ciclo biológico. Renovação do estoque pesqueiro de interesse econômico das áreas marinhas costeiras. Áreas de nidificação e alimentação para aves, locais de descanso e nutrição das espécies migratórias de outros países.
Antropocêntrica	Funções e serviços	Habitação. Áreas de conforto visual, recreação e lazer.
	Uso direto	Extração de madeira, tanino, óleos, açúcares, álcool, plantas medicinais. Captura de peixes, crustáceos e moluscos – estoques de expressiva biomassa –, constituindo fontes de proteína animal de alto valor nutricional e importante fonte de divisas para o País.
	Uso indireto	Proteção da linha de costa: barreira mecânica à ação erosiva das ondas, marés e ventos. Regulação do microclima. Sequestro de carbono.
	Não uso	Valor de existência.

Fonte: Adaptado de Mattos-Fonseca *et al.* (2000).

3.7.1.7.2. HISTÓRICO DE USO E MUDANÇAS NA COBERTURA DA TERRA EM MANGUEZAIS

As áreas com florestas de mangue no Brasil – ecossistema de manguezal – são distribuídas como retalhos ao longo dos mais de 6.800 quilômetros da costa brasileira. Ao Norte, essas áreas podem formar faixas contínuas, de até 40 quilômetros de extensão continente adentro, ao longo de

estuários e rios, com árvores que alcançam 40 metros de altura e um metro de diâmetro. Essas faixas são favorecidas pela grande amplitude de marés combinadas com altos índices pluviométricos, principalmente nos estados do Amapá, Pará e Maranhão. Com a diminuição da amplitude de marés e dos níveis de precipitação pluviométrica na direção do seu limite austral – 28° 56′ Sul, Santa Catarina –, os manguezais tornam-se mais esparsos, ciliares ao interior de baías, estuários, lagunas costeiras e deltas de rios.

Análises de tendência (FAO, 2007) indicam que a área mundial coberta por este ecossistema – cerca de 18,8 milhões de hectares em 1980 – diminuiu 20% nas últimas décadas, situando-se em torno de 15,2 milhões de hectares em 2005 – ressalta-se aqui uma certa imprecisão nestes números, entre os próprios levantamentos da FAO. Esta perda de área, em grande parte relacionada às alterações antrópicas neste frágil *habitat*, tem levando muitos países a adotar legislações protecionistas, incluindo medidas para o manejo dos manguezais por meio de replantio ou recuperação natural (Mattos-Fonseca, 2010).

Diversos fatores abióticos – influências derivadas de aspectos físicos, químicos ou físico-químicos do meio ambiente – são identificados na estruturação dos manguezais, como substratos aluvionais, costas de baixa energia de ondas, salinidade e aporte de água doce, assim como outros que são pouco estudados e que se relacionam com a razão entre precipitação (P) e evapotranspiração potencial (ET) – P/ET – (Schaeffer-Novelli e Cintrón, 1986). A temperatura também é considerada um fator limitante para a extensão dos ecossistemas manguezais, que proliferam em regiões com médias superiores a 20 °C. Por isso, os seus limites latitudinais são geralmente relacionados à intolerância da maioria das espécies a condições frias. Através do equilíbrio térmico, os ecossistemas mantêm as suas características, possibilitando o desenvolvimento da vida nas suas mais diversas formas.

Estudo publicado pela FAO, com apoio da *International Tropical Timber Organization* (*ITTO*), apresenta a situação dos ecossistemas de manguezal no período de 1980 a 2005 em 124 países e em áreas onde esse ecossistema ocorre. Tal estudo reúne as informações mais atualizadas sobre os manguezais, ressaltando a importância deste ambiente no equilíbrio ecológico do planeta. Estudos pretéritos sobre a extensão dos manguezais são resumidos na Tabela 3.41.

Tabela 3.41 *Publicações sobre a área mundial de manguezais.*

REFERÊNCIA	ANO	Nº DE PAÍSES	ÁREA TOTAL ESTIMADA – Hectares*
FAO/UNEP (1981)	1980	51	15.642.673
Saenger et al. (1983)	1983	65	16.221.000
FAO (1994)	1980-1985	56	16.500.000
Groombridge (1992)	1992	87	19.847.861
Itto e Isme (1993)	1993	54	12.429.115
Fischer e Spalding (1993)	1993	91	19.881.800
Spalding et al. (1997)	1997	112	18.100.077
Aizpuru et al. (2000)	2000	112	17.075.600

*1 hectare = 0,01 quilômetro quadrado; e 1 quilômetro quadrado = 100 hectares.

Fonte: Adaptado de FAO (2007b).

Atualmente, na América do Sul, cerca de dois milhões de hectares são cobertos pelas florestas de mangue, com mais da metade desta área localizada em território brasileiro, conforme FAO (2007b), conforme Tabela 3.42.

Tabela 3.42 *Evolução das áreas de manguezais no Brasil, 1980-2005.*

Estimativa confiável mais recente – hectares para o ano de referência 1991	1980 - hectares	1990 – hectares	Perdas anuais 1980-1990		2000 – hectares	Perdas anuais 1990-2000		2005 – hectares	Perdas anuais 2000-2005	
			Ha	%		Ha	%		Ha	%
1.012.376	1.050.000	1.015.000	35.000	3,3	1.000.000	5.000	1,5	1.000.000	0	0

Fonte: Adaptado de FAO (2007b)

3.7.2. IMPACTO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE OS BIOMAS BRASILEIROS

O aumento de publicações técnicas abordando a temática de mudanças climáticas evidencia que cresce a preocupação entre especialistas sobre os seus impactos na cobertura vegetal nativa, solos, recursos hídricos e, sobretudo, no aumento da emissão de gases de efeito estufa para os ecossistemas em geral. Segundo Pijanowski *et al.* (2007), para se compreender a ação integrada das interações entre o sistema humano-ambiente e as alterações climáticas é necessária uma avaliação de diversos fatores do sistema climático, tais como a temperatura, padrões de precipitação, o impacto sobre o comportamento humano e sistemas socioeconômicos.

A perturbação dos biomas naturais pode acarretar perda de biodiversidade (Wilson, 1989), alterações climáticas (Gash *et al.*, 1996) e hidrológicas (Bruijnzeel, 1990). Esses estudos confirmam a necessidade de conhecimento e compreensão das inter-relações das variáveis na relação causa-efeito das alterações climáticas. Contudo, existe uma falta de padronização dos procedimentos e métodos para executar essas escalas de forma operacional. Essa construção requer uma base de dados temporal consistente, composta por informações geradas por sensores orbitais – a bordo de satélites –, e terrestres – oriundos de estações de campo.

Devido à forte conexão entre o clima, a cobertura vegetal e as ações antrópicas, não é possível isolar cada um destes componentes sem considerar o processo de retroalimentação positivo ou negativo que coexiste entre eles. Por exemplo, o desmatamento causa a emissão de CO_2 para a atmosfera e atua diretamente sobre o clima local – aumento de temperatura e diminuição de chuvas – com grandes impactos para a cobertura vegetal, podendo estas tornarem-se emissoras de GEEs devido ao aumento de mortalidade de árvores e de queimadas descontroladas de origem antrópica (Davidson *et al.*, 2012, Spracklen *et al.*, 2012).

De uma forma geral, os maiores impactos das mudanças climáticas para os biomas brasileiros, além do aumento da temperatura, estão relacionados às mudanças na quantidade e distribuição de chuvas intra e interanual. Enquanto que para os biomas Amazônia, Cerrado e Caatinga a previsão é de diminuição de chuvas, para os biomas Mata Atlântica e Pampa espera-se um aumento na precipitação. De uma forma geral, estima-se que eventos extremos, como secas e enchentes, devem aumentar em número de ocorrências.

Para o bioma Amazônia, os impactos mais prováveis são em relação ao aumento na frequência de eventos extremos – chuvas e secas – e o aumento da temperatura. Nos últimos 16 anos, três grandes secas atingiram a Amazônia, em 1998, 2005 e 2010, e duas grandes enchentes, em 2009 e 2014. Análises recentes apontam para uma maior probabilidade de frequências de secas na Amazônia nos próximos 100 anos, devido às mudanças no clima, desmatamentos e queimadas (Cox *et al.*, 2008;

Harris *et al.,* 2008; Malhi *et al.,* 2008). Além disso, o aquecimento global pode também aumentar a intensidade de eventos de *El Niño* (Hansen *et al.,* 2006), que em 1997/98 resultou em uma redução de chuvas de aproximadamente 50% em relação à média da série temporal (Uppala *et al.,* 2005), atingindo principalmente a porção ocidental da Amazônia Legal (Nepstad *et al.,* 1999).

As secas podem potencialmente reduzir o estoque de biomassa acima do solo (Rolim *et al.,* 2005, Phillips *et al.,* 2009, Lewis *et al.,* 2011), assim como, a longo prazo, alterar a composição e diversidade de espécies (Engelbrecht *et al.,* 2007, Nepstad *et al.,* 2007, Fonty *et al.,* 2009, Phillips *et al.,* 2010, Ter Steege *et al.,* 2003, Butt *et al.,* 2008). Espera-se que a resposta a eventos de secas entre ecossistemas da Amazônia ocorram de forma dissimilar, dada a grande diversidade de tipos e composição de solos e vegetação (Sombroek, 1966).

Entre 1960 e 1998, a variabilidade de temperatura em regiões tropicais foi maior do que qualquer tendência prevista (Malhi e Wright, 2004). Segundo estes autores, a variação na temperatura exibe uma forte correlação com os eventos de *El Niño* e *La Niña* – Oscilação Sul (*ENOS*) –, sendo que as temperaturas durante *El Niño* são cerca de 1°C mais altas do que as dos eventos *La Niña*. Malhi e Wright (2004) também estimaram uma tendência significativa de aumento de temperatura de 0,08 ± 0,03 °C por década, ou seja, um aumento líquido de 0,31 °C entre 1960 e 1998 para a região de florestas tropicais. Particularmente para a Amazônia, estes pesquisadores estimaram um aumento de cerca de 0,25 °C por década. Sem levar em consideração os efeitos do *ENOS* na mudança de temperatura na Amazônia, uma pesquisa realizada com base em dados de campo apontou um aumento de 0,57 °C entre 1913 e 1995 (Victoria *et al.,* 1998).

Portanto, as combinações dos efeitos de diminuição de chuvas com o aumento de secas extremas e de temperatura têm potencial para aumentar as emissões de gases de efeito estufa, cujo volume emissor pode ainda ser amplificado se forem incluídos os efeitos de queimadas, posto que tais mudanças climatológicas as favorecem. Outros fatores associados com a perda de florestas são o aumento de insolação e a diminuição de nuvens, o aumento na refletância – proporção entre o fluxo de radiação eletromagnética incidente numa superfície e o fluxo que é refletido – de superfície e do albedo, a alteração nos aerossóis e na rugosidade da superfície, mudando a velocidade e o padrão de ventos (Andreae *et al.,* 2004). Estes processos têm a potencialidade de influenciar padrões locais e globais de circulação atmosférica, com implicações para ciclos biogeoquímicos.

No bioma Cerrado, ainda são poucos os estudos que avaliam os cenários de mudanças climáticas, acompanhadas dos respectivos impactos sobre a biodiversidade, recursos hídricos e emissão de GEEs. No entanto, algumas pesquisas já indicam uma tendência de alteração na temperatura, nos regimes de precipitação, e no próprio equilíbrio biogeoquímico entre o Cerrado e a Amazônia, descrita nos parágrafos seguintes.

Em um dos cenários publicados no relatório do *IPCC* (2007a), descreve-se um aumento na temperatura de, aproximadamente, 3 °C na Amazônia, seguido por uma redução na precipitação em torno de 20% na região de fronteira entre a Amazônia e o Cerrado. Somadas a estas mudanças na atmosfera regional e global, as mudanças climáticas podem ser causadas também pelos impactos do desmatamento sobre a interação de vegetação com atmosfera (Malhado *et al.,* 2010). Estes processos podem agir mutuamente, de forma a induzir uma mudança mais rápida nesse sistema (Costa e Foley, 2000, Laurance e Williamson, 2001). Em pesquisa realizada na Bacia Hidrográfica dos rios Araguaia-Tocantins, Coe *et al.* (2011) demonstraram que a redução na cobertura vegetal nativa tem influenciado na redução da evapotranspiração, causando um aumento na descarga hídrica dos rios, o que pode vir a causar uma redução das chuvas naquelas bacias ou em outras bacias vizinhas.

Mudanças no clima do bioma Cerrado, em função do aumento da emissão de gases de efeito estufa e/ou desmatamentos, podem induzir ao que os ambientalistas denominam de *tipping point* (Lenton *et al.,* 2008; Nobre e Borma, 2009; Nepstad *et al.,* 2008), ou seja, ultrapassar um limiar

crítico, no qual uma perturbação relativamente pequena pode alterar qualitativamente o estado ou o desenvolvimento de um sistema, e deflagrar uma redução das chuvas e um prolongamento da estação seca. Tal fenômeno pode ser um dos fatores para o processo de *savanização* da floresta amazônica, já desencadeado em algumas áreas de fronteira entre os biomas Amazônia e Cerrado – no chamado *Arco do Desflorestamento* –, conforme explicitam Costa e Pires (2009) e Malhado *et al*. (2010).

Malhi *et al.* (2009), por meio de modelos ecofisiológicos – que indicam a demanda de precipitação para os biomas –, acoplados a modelos climáticos globais, demonstraram a possibilidade de se representar as áreas mais críticas e suscetíveis a ultrapassarem este limite ecológico (de resiliência e resistência). Este limiar, consequentemente, indica o alcance potencial das mudanças climáticas – induzidas antropicamente – para as áreas de transição entre o ecossistema amazônico (Malhado *et al.,* 2010) e o Cerrado, baseados em medições de precipitação anual e no valor mais negativo do Déficit Hídrico Climatológico Máximo (DHCM).

Enquanto que, na região do Cerrado, o DHCM se mantém entre -800 e -300 mm – com precipitação anual < 1500 mm –, nas áreas de floresta tropical este varia de -300 a 0 mm – com precipitação anual > 1500 mm. Com as mudanças climáticas em curso, há uma tendência de que estes valores de DHCM – que mantêm as características fisionômicas da savana, por exemplo – venham a ocorrer cada vez mais ao Norte do País, *adentrando* em áreas de floresta perenes e estacionais.

Com base numa modelagem climática realizada por Malhi *et al.* (2008), a região do Cerrado é evidenciada em três cenários que apontam uma probabilidade de redução de chuvas maior que 50% no período da seca, ainda neste século, conforme Figura 3.62. As implicações de tais cenários não são boas para este bioma – e ecossistemas limítrofes –, que poderá passar à condição de emissor de CO_2 durante uma severa seca (Phillips *et al.,* 2009), absorvendo uma quantidade menor deste gás do que de fato poderia em condições normais (Scurlock e Hall, 1998).

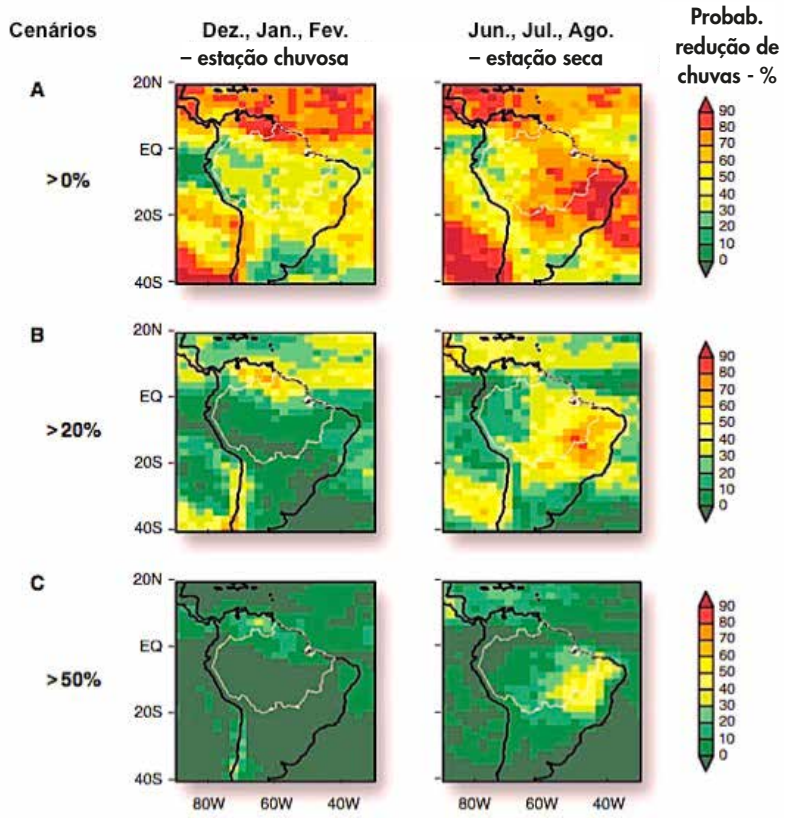
Outra consequência seria um aumento considerável na ocorrência de incêndios em áreas de Cerrado, devido a um maior acúmulo de biomassa seca ao longo do ano – como a de serapilheira –, implicando num aumento da mortandade de espécies da fauna e flora, bem como numa maior poluição atmosférica (Bowman *et al.,* 2009), além de impactos na composição e estrutura da vegetação, dada a maior sensibilidade de várias espécies ao fogo. Por fim, um impacto significativo na produção agropecuária da região (em termos de custo e produtividade) não poderia ser descartado, devido à possível redução de chuvas e variação da temperatura (*IPCC*, 2007b; Nobre *et al.,* 2005).

Algumas *commodities* agrícolas, que hoje representam um importante pilar nas exportações brasileiras – ex., soja e café, vide AEB (2012) –, poderão sofrer com uma redução significativa de área e/ou produtividade, mesmo com o avanço de cultivares, adaptados a estas possíveis mudanças no clima, conforme destacam Assad e Silveira Pinto (2008) e Assad *et al*. (2007 e 2004). De forma semelhante, a produção de carne bovina também poderá ser afetada nestes cenários de alteração climática, já que as grandes áreas de pastagem – sobretudo de pasto nativo – teriam sua capacidade de lotação reduzida durante uma condição de seca mais severa e prolongada.

Outras projeções para a América do Sul, realizadas por Marengo *et al*. (2009) com base no cenário A2 do *IPCC* (*IPCC*, 2000), indicam uma possibilidade de mudanças na temperatura e precipitação pluviométrica para a região de Cerrado por volta do ano 2100. Este cenário considerou uma concentração de gases de efeito estufa na atmosfera a partir de um crescimento significativo da população mundial – cerca de 15 bilhões de pessoas em 2100, contra os atuais sete bilhões –, além de um desenvolvimento mais lento quanto ao uso de fontes alternativas de energia. As previsões mais severas indicam uma mudança de temperatura em cerca de 4 °C, exceto para as áreas de transição com a Amazônia Legal – estados de Tocantins e Maranhão –, cujo aumento poderá ser de 6 °C.

Em relação à precipitação, os piores cenários indicam uma redução de 20% a 50% dos valores atuais nas regiões central e Sul do Cerrado, chegando a 70% no Nordeste do bioma (em direção à Caatinga). No cenário menos severo, é esperada uma redução de 30% nas regiões central e Sul do Cerrado, e de 50% na sua porção nordeste.

Figura 3.62 Probabilidade de redução das chuvas para a América do Sul – em especial para os biomas Amazônia, Cerrado e Caatinga –, baseada em séries climáticas de 1980 a 1999 e em modelos climáticos para 2080 a 2099.



Obs.: A análise se divide em três cenários de mudanças: A) probabilidade > 0%, B) probabilidade > 20%, e C) probabilidade > 50%.

Fonte: Adaptada de Malhi *et al*. (2008).

Mudanças na distribuição de chuvas ao longo do ano também são esperadas para o bioma Cerrado (Marengo *et al.,* 2010). Para o Norte em direção ao nordeste no Cerrado, é previsto um aumento de 20 a 30 dias na duração da estação seca – número máximo de dias consecutivos sem chuva. Da mesma forma, uma diminuição no número de dias com chuva por ano é esperado para o Tocantins, Norte de Goiás, Nordeste do Mato Grosso e na região central de Minas Gerais, com um aumento na intensidade de chuvas – tempestades – no Centro-Sul deste bioma.

Tais cenários de mudanças no regime de chuvas também são confirmados por Costa *et al*. (2003) e Costa e Pires (2010) na escala de bacias hidrográficas – Bacia Araguaia-Tocantins –, devido às mudanças no uso do solo ocorridas nas últimas décadas no Cerrado e na fronteira com a Amazônia – o *Arco do Desflorestamento* –, marcadas pela substituição da vegetação nativa por culturas de grãos e pastagem.

No bioma Pantanal, a contínua conversão da vegetação natural, em conjunto com eventos chuvosos mais intensos, favorece o aumento das taxas de erosão nas áreas de planalto (Favis-Mortlocka e Guerra, 1999; Wagener e Franks 2005), resultando em perdas de produtividade agrícola (Pimentel *et al.,* 1995). Provocam também assoreamento, por vezes catastrófico, como já aconteceu na Bacia

Hidrográfica do Rio Taquari (Querner *et al,*. 2005). Chuvas mais intensas aumentam também os riscos e custos operacionais de centrais hidrelétricas, provocando um assoreamento mais rápido, especialmente considerando a conversão da vegetação nativa em pastagens e lavouras, como já é o caso no aproveitamento hidrelétrico de Itiquira (Carvalho *et al.,* 2000).

Em Cuiabá e Campo Grande, durante o período de intensas chuvas, as redes pluviais transbordam com frequência (Diniz *et al.,* 2008; Gutierrez *et al.,* 2011). Durante a seca, que se estende de maio a outubro, a morbidade respiratória é elevada devido à quantidade de partículas no ar (Botelho *et al.,* 2003).

Neste sentido, uma possível mudança climática irá interferir diretamente na região, com previsão de chuvas mais intensas e período de secas prolongadas, aumentando tanto os problemas com inundações urbanas (Diniz *et al.,* 2008; Gutierrez *et al.,* 2011) quanto a morbidade respiratória (Botelho *et al.,* 2003), em especial nas capitais Cuiabá e Campo Grande. Outras atividades antrópicas também podem afetar o clima no Pantanal. Destaca-se a conversão da vegetação nativa em pastagem e culturas anuais, causando alterações em variáveis biofísicas, como o albedo da superfície e a evapotranspiração. O desmatamento e assoreamento das nascentes, córregos e rios – com uma possível diminuição nos fluxos de água –, bem como a degradação dos solos, podem diminuir o fluxo de água para a atmosfera, via evaporação.

O bioma Caatinga é dotado de diversos recursos renováveis. No entanto, fenômenos naturais – tais como as alterações climáticas e sua variabilidade, e fatores humanos, como a degradação ambiental – cada vez mais ameaçam a sustentabilidade dos recursos naturais dessa região e, portanto, a própria sobrevivência humana. Devido à sua extensão, esta região é considerada uma das maiores áreas do mundo susceptíveis ao processo de desertificação (PAN-Brasil, 2005). A elevada variabilidade temporal e espacial da precipitação também tem repetidamente levado a eventos climáticos extremos – secas e inundações –, afetando o ecossistema e representando um risco contínuo para as pessoas e os seus meios de subsistência na região semiárida.

O *IPCC* e muitas outras avaliações recentes têm mostrado que a região do bioma Caatinga é uma das mais vulneráveis aos impactos negativos de qualquer variabilidade ou mudança climática, presentes ou futuras. Por exemplo, as projeções climáticas ilustradas na Figura 3.62 –, com base numa modelagem climática realizada por Malhi *et al.* (2008), aponta para uma maior pressão sobre a disponibilidade de água para a Caatinga, uma vez que estimou-se a probabilidade de redução das chuvas ainda neste século – com base em séries climáticas de 1980 a 1999, e estimativas para 2080 a 2099.

Seu primeiro cenário considerou qualquer declínio na precipitação – probabilidade de mudança > 0% –; o segundo, um declínio substancial – probabilidade de mudança > 20% –; e o terceiro, um declínio severo – probabilidade de mudança > 50%. Dentre as análises realizadas, foi observado que apenas a região da Caatinga surge nos três cenários de mudanças simulados para os meses de chuva e de seca, com probabilidade maior que 60% de ter o regime de chuvas alterado no período de seca (ainda mais severo do que no Cerrado).

Barbosa (1998) e Barbosa *et al.* (2006) demonstraram a diminuição absoluta de cobertura vegetal no período 1991-1999, devido, sobretudo, às secas meteorológicas, sob o impacto da variabilidade térmica do fenômeno *El Niño*. Os processos de degradação ambiental e desertificação, por sua vez, têm desdobramentos na agropecuária, pois a transformação da paisagem, de ordem tanto natural quanto socioeconômica, acaba por atingir de maneira direta ou indireta os pequenos produtores rurais. A degradação ocorre, principalmente, devido à adoção de práticas antigas de agricultura de subsistência e manejo de pastos (Sá *et al.,* 1994). As práticas agrícolas de desmatamentos e queima da cobertura vegetal, além de retirar os nutrientes do solo, deixam-no exposto aos agentes erosivos, principalmente os hídricos e eólicos.

O aumento da variabilidade climática e/ou diminuição da precipitação pluviométrica poderá afetar as áreas de caatinga e as atividades agropecuárias. Disso decorre em maior exposição as ações dos agentes do intemperismo, especialmente o físico – erosão, que dificultam a permanência da vegetação. Consequentemente, nos períodos prolongados de seca, o fenômeno da desertificação se potencializa (PAN-Brasil, 2005). Superficialmente, os solos são recobertos por pedregulhos e cascalhos, apresentando uma erosão acelerada e ocupação pela criação extensiva de caprinos e de bovinos. Este contexto regional resulta na forte vulnerabilidade à degradação ambiental, na qual o uso e manejo da terra e as tradicionais práticas agrícolas estão elaborando uma paisagem desértica.

Os efeitos previstos da diminuição de chuvas também impactarão a produção agrícola, que é reduzida nos anos de seca. Variações da oferta hídrica levam à perda de safra. E o peso da agricultura de subsistência explica, por sua vez, as consequências sociais das estiagens periódicas (Sá *et al.,* 1994). O desenvolvimento da economia semiárida nordestina, por seu lado, encontra um obstáculo na agricultura de subsistência, cujos rendimentos, sendo mais baixos que os da agricultura da zona da mata nordestina, tendem a elevar mais os preços relativos dos alimentos no semiárido (Dubeux Jr. e Santos, 2005). Dada a baixa intensidade em trabalho da agricultura de subsistência, não há a formação dos condicionantes para uma fonte local de demanda, o que resulta na fragilidade da economia do semiárido ao impacto das secas. Além dessas dificuldades, os açudes do semiárido não conseguem oferecer, em média, mais do que 25% da água que armazenam (MMA, 2006).

Os processos hidrológicos na região da Caatinga também são influenciados pelas mudanças na cobertura vegetal nativa que, quase sempre, se iniciam com o desmatamento e com a substituição da vegetação nativa por outra cultivada e de porte e/ou ciclo de vida diferentes. A vegetação arbustiva e arbórea predominante no semiárido é substituída por pastos herbáceos ou culturas de ciclo curto. O descobrimento do solo favorece o processo de erosão; o cultivo permanente, com a retirada de produtos agrícolas e sem reposição dos nutrientes, leva à perda da fertilidade (Pérez-Marin *et al.,* 2006). Isso tem provocado, ao longo dos anos, redução da área utilizável pela agricultura, baixo rendimento das culturas e assoreamento de rios e reservatórios, com graves prejuízos à produtividade do solo, à integridade do meio ambiente e à rentabilidade do agricultor.

A preservação deste reduzido ativo ambiental é uma das condições básicas para a manutenção dos regimes climáticos, ciclos hidrológicos e mitigação de efeitos de poluição do ar e das águas na região da Mata Atlântica (Ribeiro *et al*. 2009). Atualmente, além dos desmatamentos, os principais impactos neste bioma são a alta concentração populacional – 70% da população brasileira –, em geral residente em áreas urbanas (Tabarelli *et al.,* 2010), e a emissão de gases de efeito estufa, oriundas do alto grau de desenvolvimento tecnológico e da produção industrial, com a queima de combustíveis fósseis – em particular por veículos automotivos. Somada a estas questões, a expansão da fronteira agrícola, em especial a da cana-de-açúcar, é bastante preocupante, uma vez que 50% dessa cultura é anualmente manejada com auxílio da queima dos canaviais que precedem ao corte (Rudorff e Sugawara, 2007; Fargione *et al.,* 2010; Lapola *et al.,* 2010), podendo haver queima não intencional de áreas de florestas no entorno das plantações.

A região dos campos sulinos – que envolve tanto o bioma Pampa quanto os campos da Mata Atlântica – apresenta poucos estudos avaliando os impactos das mudanças do clima. Especificamente para a região do bioma Pampa, que está localizado na porção Norte de uma das mais importantes regiões de campos temperados do mundo – a dos chamados campos do Rio da Prata –, os poucos estudos publicados com foco no entendimento das mudanças climáticas foram realizados mais ao Sul dessa formação, onde o clima é diferente do que ocorre na porção brasileira, que está sob a influência do regime de chuva subtropical.

As projeções nos padrões de mudança da precipitação pluvial nos relatórios do *IPCC* (2007a) indicam um aumento tanto na quantidade de precipitação como de temperatura para essa região. Sabe-se que o clima, principalmente a temperatura do ar e a precipitação pluvial na Região Sul do

Brasil, é fortemente influenciado pelo fenômeno *ENOS*. Na região dos Campos Sulinos ocorrem, com frequência, eventos de seca durante o verão, associados à fase de *La Niña*, enquanto que na fase de *El Niño* observa-se uma intensificação da ocorrência de eventos extremos de precipitação pluvial, associados aos complexos convectivos de mesoescala (Reboita *et al.,* 2006), bem como aumentos nos totais de precipitação pluvial acumulada (Puchalski *et al.,* 2001).

Em um contexto de mudanças ambientais globais, é possível que ocorra uma intensificação desses eventos do fenômeno *ENOS*, causando impactos semelhantes aos atualmente observados sobre a vegetação, solos e recursos hídricos, os quais estão parcialmente monitorados e documentados.

A temperatura média do ar, a precipitação pluvial e a radiação solar incidente são os fatores que definem o crescimento e a produção de biomassa vegetal para essas formações vegetais (Mota *et al.,* 1981). Machado (1999), ao analisar a vegetação campestre natural do Rio Grande do Sul, destacou que na estação quente, a produção de biomassa é maior, sendo diretamente influenciada pela precipitação pluvial acumulada. Na estação fria, as baixas temperaturas e a ocorrência de geadas reduzem o crescimento da vegetação, bem como o acúmulo de biomassa.

Fonseca *et al*. (2006) sugerem a dependência de alocação de biomassa aérea da vegetação campestre natural do bioma Pampa com o tipo de solo e com a disponibilidade de nutrientes e água, sendo diferenciada de acordo com as épocas do ano. Existem estudos demonstrando que em solos sob a vegetação natural do bioma Pampa, o balanço entre as adições e perdas de carbono orgânico leva a um estado de equilíbrio dinâmico, no qual praticamente não existe variação com o tempo (Bayer e Mielniczuck, 1999). Dessa forma, entende-se que o atual manejo das áreas de vegetação campestre natural, que inclui o pastoreio com animais – bovinos e ovinos – feito de forma extensiva, como modo de exploração econômica, é sustentável e evita os possíveis impactos decorrentes de um contexto de mudanças climáticas, uma vez que o balanço entre as adições e perdas de carbono está estabilizado.

Nos manguezais, a atual perda de área e/ou a sua descaracterização podem estar relacionadas com algumas mudanças climáticas em curso ou ocasionadas por alterações antrópicas diretas a este frágil *habitat* – a hipótese mais provável. Porém, por ser um bioma ainda pouco estudado, tais informações são incompletas e imprecisas e, por isso, tidas como lacunas no conhecimento.

3.7.3. ESTOQUES DE CARBONO E FLUXOS DE CO_2 E OUTROS GASES DE EFEITO ESTUFA

Mais de 50% das emissões de GEEs emitidos pelo Brasil são devido a alterações na cobertura e uso da terra. Uma avaliação recente, realizada para o setor de alterações do uso e cobertura da terra em florestas, no período entre 2000 e 2005, mostrou que a conversão de florestas e outras formações vegetais primárias foram responsáveis por 93,7% e 94% das emissões brutas de CO_2 em 2000 e 2005, respectivamente, enquanto que as emissões dos solos representaram apenas 6,3% e 6%, respectivamente, em 2000 e 2005. Em termos de emissões líquidas – excluindo a remoção de CO_2 –, estima-se que foram liberados para a atmosfera cerca de 0,85 Pg CO_2 e 0,86 Pg CO_2 em 2000 e 2005, respectivamente (Cerri *et al.,* 2009).

O estoque de carbono alocado na vegetação brasileira nativa é de 115,7 ± 33,8 Pg de carbono, dentro os quais 68,4 Pg carbono são reportados para o bioma Amazônia, 21,3 Pg carbono para o Cerrado, 17,6 Pg carbono para a Mata Atlântica, 6,5 Pg C para a Caatinga, 0,65 Pg C para o Pantanal, 1,3 Pg carbono para o Pampa (Leite *et al.,* 2012) e de 0,76 a 1,9 Pg C para os manguezais, considerando-se o valor de estoque médio de 76 t C ha^{-1} e uma área total desta formação entre 10.000 a 25.000 quilômetros quadrados.

As emissões líquidas devidas às mudanças na cobertura da vegetação nativa no Brasil, até a década de 1940, era de, aproximadamente, 3,8 ± 2,1 Pg carbono, enquanto que, para o período de 1940

a 1995, somam-se 17,2 ± 9,0 Pg C. Desse total, 43% devem-se a conversões na Mata Atlântica, 28% oriundos do Cerrado e 25% da Amazônia (Leite *et al.*, 2012). Um sumário com dados da literatura é apresentado na Tabela 3.43 e na Figura 3.63.

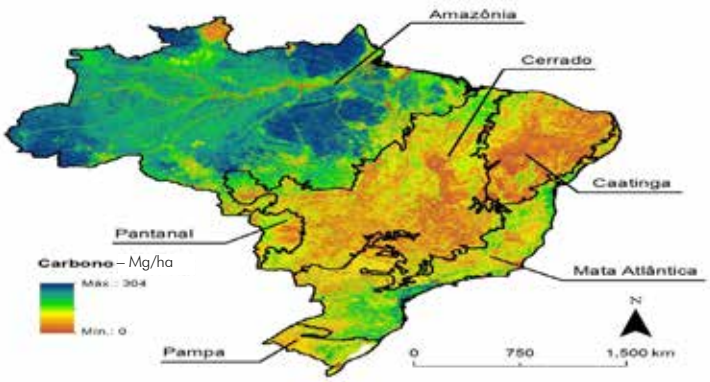
Tabela 3.43 *Estoque e emissão de CO_2 por biomas devido a alterações na cobertura da terra.*

Biomas	Área original – em hectare	Estoque de C no bioma original – Pg C ***	% do bioma alterado entre 1994 e 2002*	Emissão líquida – Pg CO_2 – entre 1940 e 1995*	Emissão líquida – Pg CO_2 – entre 1994 e 2002*	Emissão líquida – Pg CO_2 – total do bioma entre 1940 e 2002
Amazônia	419.763.073	68,4	19,2	15,76±6,9	6,8	22,56±6,9
Cerrado	203.953.330	21,3	12,9	17,96±9,9	2,4	20,36±9,9
Pantanal	15.131.022	0,65	7	0,88±0,47	0,12	1±0,47
Caatinga	82.789.139	6,5	9,7	0,77±0,44	0,30	1,07±0,44
Mata Atlântica	111.789.930	17,6	41	27,13 ±15	0,63	27,76±15
Pampa	16.571.297	1,3	1,8%	0,44±0,25	-0,0016	0,438±0,25

*Intervalo de confiança de 90%

Fonte: Brasil, 2010b; Leite *et al*. (2012).

Figura 3.63 Estoques de carbono nos biomas brasileiros, ano 2000.



Fonte: Adaptado de Saatchi *et al*. (2011).

Os estoques de carbono no bioma Amazônia apresentam uma grande variação espacial. Existem diversas evidências que a floresta primária amazônica funciona como um reservatório e sumidouro de carbono, e poderia, em parte, auxiliar a diminuição do dióxido de carbono de origem antropogênica na atmosfera. O bioma estoca 120 ± 30 Pg carbono em biomassa (Malhi *et al.*, 2006, Saatchi *et al.*, 2007 e 2011). Uma comparação de estimativas de biomassa – incluindo morta, viva acima e abaixo do solo – para a Amazônia Legal aponta para uma variação entre 39 a 93 Pg carbono (Houghton *et al.*, 2001).

O padrão espacial da biomassa no bioma Amazônia varia entre 300 Mg ha^{-1} na região Central e Nordeste a 100-200 Mg ha^{-1} nas florestas transicionais e nos limites ao Sul da floresta (Saatchi *et al.*,

2007). Estima-se que os solos amazônicos estoquem cerca de 66,9 Pg carbono e 6,9 Pg carbono na camada de até um metro de profundidade (Batjes e Dijkshoorn, 1999) e quantidades iguais, ou superiores, no solo.

Dados apontam para um crescimento maior e mais rápido de biomassa, provavelmente devido à *fertilização* por CO_2 atmosférico e aumento nos depósitos de nitrogênio (Grace *et al.,* 1994, Phillips *et al.,* 2002). Estudos micrometeorológicos em florestas intactas na parte Sul e Central da Amazônia Legal sugerem que estas florestas absorvem cerca de 1,0 e 5,8 toneladas de carbono por hectare por ano, respectivamente (Grace *et al.,* 1994, Malhi *et al.,* 1998), e dados mais recentes sugerem valores mais baixos, de cerca de ~ 0,70 toneladas por hectare por ano (Wright *et al.,* 2006, Phillips *et al.,* 2009).

Entre 1988 e 2011, cerca de 392,200 km^2 foram desmatados somente na Amazônia Legal (INPE, 2012), que corresponde a aproximadamente 18% da cobertura de floresta original. Entre 1940 e 1995, estima-se ter havido emissões por desmatamentos a partir do bioma Amazônia em 15,76 ± 6,9 CO_2eq (Leite *et al.,* 2012); para o período de 1994 a 2002, as emissões líquidas são estimadas em 6,8 Pg CO_2eq (MCT, 2010b) e, finalmente, para o período entre 2000 e 2009, 0,87±0,18 Pg CO_2eq por ano, totalizando para estes últimos dez anos 8,7±1,8 Pg CO_2eq (Aguiar *et al.,* 2012).

No Cerrado, de acordo com o Inventário de Emissões e Reduções de Gases de Efeito Estufa Brasileiro (Brasil, 2010b), do total de emissões de CO_2 decorrentes de desmatamentos e queimadas no Brasil – 76,3% –, 24,1% partiram desse bioma no ano de 2005. Considerando apenas o período de 2002 a 2008, a emissão média anual no Cerrado ficou em torno de 64 milhões de toneladas de carbono (0,06 Pg carbono ano^{-1}) – o equivalente a 235 milhões de toneladas de CO_2 –, aproximando-se da emissão estimada para a Amazônia em 2009 – 253 milhões de toneladas de CO_2 – (Brasil, 2010b). Até o ano de 2002 o Cerrado já havia perdido cerca de 40% de sua cobertura vegetal nativa (Sano *et al.,* 2008) ou aproximadamente 800 mil quilômetros quadrados. Atualmente, a taxa de desmatamento é de aproximadamente 0,4% ano^{-1} (Rocha *et al.,* 2011; Ferreira *et al.,* 2012).

Conforme dados da Tabela 3.43, entre 1940 e 1994, estima-se que as emissões por desmatamentos no Cerrado foram de 17,96 ± 9,9 Pg CO_2eq (Leite *et al.,* 2012); para o período de 1994 a 2002, as emissões líquidas são estimadas em 2,4 Pg CO_2eq (MCT, 2010b), totalizando 20,36 ± 9,9 Pg CO_2eq para o período de 1940 a 2002.

Em relação ao sequestro natural de dióxido de carbono (CO_2) no Cerrado, este é de aproximadamente duas toneladas por hectare ao ano, ou 200 toneladas por quilômetro quadrado ao ano (Sawyer, 2009). Os estoques de carbono no solo, sob diferentes coberturas vegetais e uso da terra – no caso, pastagens cultivadas –, para até um metro de profundidade, variam de 99 até 209 Mg C ha^{-1} (Bustamante *et al.,* 2006). Para Abdala (1993), considerando a cobertura vegetal e o primeiro metro de solo, o estoque total é de 265 Mg C ha^{-1}, sendo que 70% deste valor faz parte da matéria orgânica do solo – 185 Mg C ha^{-1}. Já próximo à superfície do solo, com profundidade entre 0 – 20 centímetros, os estoques de carbono são de aproximadamente 45 Mg C ha^{-1}, devido à remoção da vegetação nativa com uma posterior utilização da área (Bustamante *et al.,* 2006). Ambos os resultados enfatizam o solo como um importante reservatório de carbono nos ecossistemas de savana, com vários estudos demonstrando este potencial de absorção do carbono subterrâneo em área de Cerrado nativo – Cerrado típico, Cerradão e Mata ciliar –, o qual cresce significativamente com o aumento da profundidade, chegando a duplicar a absorção em profundidades próximas a dois metros (Bayer *et al.,* 2006a; Zinn *et al.,* 2002; Lilienfein *et al.,* 2001). Em comparação com os demais biomas – Tabela 3.43 –, o estoque de carbono aéreo no Cerrado é inferior apenas ao da Amazônia – cerca de duas vezes menor –, sendo 32 vezes maior que o do Pantanal, cuja vegetação apresenta menor biomassa (Leite *et al.,* 2012).

Por fim, e não menos importante, a emissão de gás metano – CH_4 – também é apontada como

um fator para as mudanças climáticas, e um sério problema no setor agropecuário – que engloba pecuária, cultivo de arroz, queima de resíduos agrícolas –, no qual o bioma Cerrado participa com 70,5% da emissão deste gás no País (Brasil, 2010b). Essa informação serve, portanto, como um alerta, visto que a região concentra os maiores produtores de gado leiteiro e de corte do país, com um setor ainda em expansão.

Sobre o fluxo de carbono em manguezais, o projeto CARBOPARA, desenvolvido no contexto do Experimento de Larga Escala da Biosfera-Atmosfera da Amazônia (LBA) – em sítio experimental no município de Bragança, Pará – constatou o intenso fluxo deste gás em diferentes períodos do dia, conforme destaca a Tabela 3.44 (Oliveira *et al.,* 2004b). Os instrumentos foram instalados em área de floresta – dossel com até 25 metros de altura –, com uma torre de 27 metros de altura, para a captação de dados micrometeorológicos.

Tabela 3.44 *Fluxo total de carbono em área de manguezal**.

Total – kg C ha^{-1} dia^{-1}			
Períodos	Diurno 06:00 – 18:30	Noturno 19:00 – 05:30	24 horas 18:30 – 19:00
Chuvoso	-30,54	15,97	-14,57
Seco	-26,71	18,88	-7,82
Diferença	3,83	2,91	6,75
Diferença (%)	-12,55	18,24	-46,30

* Dados obtidos nos meses de janeiro de 2001 e novembro de 2002, correspondendo aos períodos chuvoso e seco na região, respectivamente.

Fonte: Adaptada de Oliveira *et al*. (2004b).

Cogliatti-Carvalho e Mattos-Fonseca (2004) indicam que a quantidade de carbono armazenado no manguezal da laguna de Itaipu – Niterói, Rio de Janeiro –, ainda que com um balanço positivo – 76,09 t C ha^{-1} –, é menor do que a encontrada por Rezende *et al*. (2001) para áreas de floresta de terra firme – 111,65 t C ha^{-1} – e de floresta alagável – 98,58 t C ha^{-1} –, embora nestes dois últimos valores estejam incluídos também o carbono estocado nas raízes. Entretanto, o estoque de carbono no mangue de Itaipu é maior do que o encontrado por aqueles mesmos autores para o Cerrado – 31,46 t C ha^{-1} – e para campos de várzea – 6,84 t C ha^{-1}.

3.7.4. MEDIDAS E POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO

3.7.4.1. MONITORAMENTO E PREVENÇÃO DO DESMATAMENTO

Posto que mais de 50% das emissões de gases de efeito estufa no Brasil são provenientes das alterações em áreas de vegetação nativa, com fisionomias florestais, savânicas e campestres – em 2005 este valor chegou a 95% das emissões brutas de CO_2 no país –, monitorar e prevenir o desmatamento é uma medida mitigatória fundamental frente às mudanças climáticas. Para o bioma Amazônia, alguns sistemas já estão em operação, enquanto que para os demais, caso do Cerrado, os sistemas de monitoramento extensivo e sistemático estão ainda em fase de desenvolvimento.

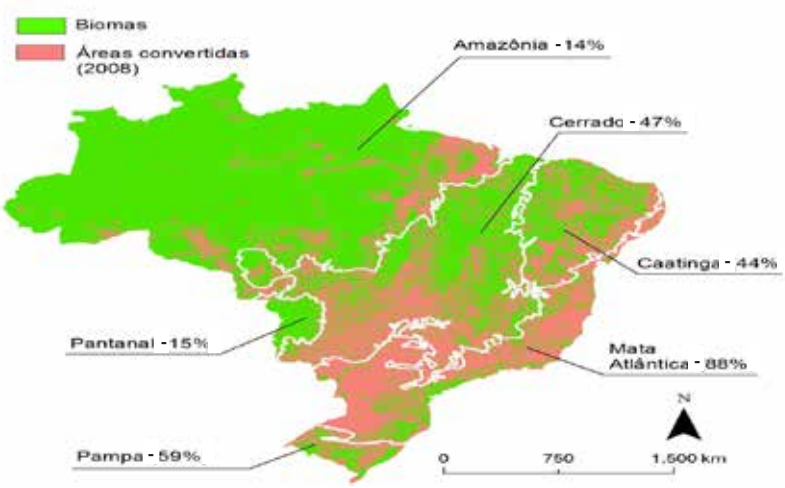
A Secretaria de Biodiversidade e Florestas do Ministério do Meio Ambiente (SBF/MMA), com apoio financeiro do Projeto PNUD/BRA/08/011, assinado entre a Agência Brasileira de Cooperação (ABC) e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e o MMA, visam a elaboração e execução do Sistema de Monitoramento por Satélite do Desmatamento nos biomas Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal. Caso esse programa seja concretizado, o

Centro de Sensoriamento Remoto do Ibama ou o INPE deverão ser os responsáveis pela detecção sistemática de desmatamentos, devendo o Ibama aplicar medidas cabíveis pela lei para combater os desmatamentos ilegais.

A Figura 3.64 ilustra a distribuição dos desmatamentos pelos biomas brasileiros, com a respectiva porcentagem de áreas alteradas (base MMA/IBAMA, 2008). Depois da Mata Atlântica, com 88% da cobertura vegetal nativa convertida para uso antrópico, o Pampa é o segundo bioma no estágio de conversão – 59% –, seguido pelo Cerrado – 47% –, Caatinga – 44% –, Pantanal – 15% – e a Amazônia – 14%.

Estima-se que a diminuição das taxas de desmatamento entre 2010 e 2020, segundo o planejamento do Governo Federal, poderia evitar a emissão entre $8{,}2 \times 10^{-3}$ Pg CO_2 e $1{,}8 \times 10^{-2}$ Pg CO_2 devidos a conversões de florestas e vegetações primárias nos biomas brasileiros (Cerri *et al.,* 2010). As diferenças nas estimativas referem-se a cenários com diferentes taxas de redução de desmatamento, aliados a consideração apenas de emissões devido à biomassa acima do solo – valor mínimo – e biomassa total e liteira – valor máximo.

Figura 3.64 Área convertida por ação antropogênica por tipo de bioma



Fonte: MMA/IBAMA, 2008 (Disponível em: <http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/>. Acessado em dezembro de 2012.

No bioma Amazônia, projeções baseadas em séries históricas de desmatamento entre os anos de 1997 e 2002, indicam que sua dimensão pode variar entre 625 mil e 2,8 milhões de hectares por ano até 2030 (Soares-Filho *et al.,* 2008), essencialmente os recordes históricos superior – 2,9 milhões de hectares em 1995 – e inferior – 642 mil hectares em 2011. No entanto, estimativas de desmatamentos recentes para o ano de 2008/09 apontam para uma redução de 42% em relação ao mesmo período em 2007/08, enquanto que a menor taxa anual quantificada desde 1988 é de 4,65 km^2 – 465 hectares – em 2012 (INPE, 2012).

Apesar das divergências entre os cenários futuros de desmatamentos e as quantificações das taxas atuais, pode-se considerar que o futuro do processo de conversão na Amazônia é incerto. Em 2007 o Governo Federal adotou um decreto que estabelece um comitê interministerial para mudanças climáticas e a elaboração de um plano nacional sobre mudança do clima (Brasil, 2008). Neste documento propõe-se um cenário a ser alcançado para a redução do desmatamento do bioma

Amazônia, em relação às taxas de 1996 a 2005: entre 2006 e 2009 deveria ocorrer uma redução de 40% – equivalente a uma taxa media anual de 11.700 km^2 por ano –; entre 2010 e 2013 e entre 2014 e 2017 deverá haver uma redução de 30% – equivalente a uma taxa média anual de 8.200 km^2 ano para o primeiro período e 5.700 km^2 ano para o segundo período.

Em 2009, a Lei Federal nº 12.187/2009 (Brasil, 2009c) estabeleceu que o Brasil reduzirá o desmatamento na Amazônia em 80%, em relação à taxa histórica de 19.500 quilômetros quadrados até 2020, ou seja, o máximo a ser desmatado anualmente será 3.900 km^2 – menos da metade observada nos anos de 2009 a 2011, segundo os dados de desmatamento do INPE (PRODES) (INPE, 2012).

Para diminuir a pressão sobre as florestas primárias, o monitoramento e entendimento das forçantes do desmatamento são fundamentais. Um sistema de monitoramento eficiente é importante não só como instrumento político, mas também como elemento-chave para reforçar a legislação, identificar áreas e os responsáveis por desmatamentos ilegais e aplicar penalidades cabíveis pela lei.

Para o monitoramento do desmatamento na Amazônia, existem duas instituições com programas independentes nacionais: o INPE, que coordena o PRODES, o Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER) e o Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Legal (DEGRAD); o Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), que coordena o Sistema de Alerta do Desmatamento (SAD), o Mapeamento de Áreas Desmatadas, a Detecção de Riscos Ambientais e o Mapeamento de Exploração Madeireira.

Internacionalmente existe a avaliação do estado das florestas realizado pela FAO (2010). Em relação às forçantes do desmatamento, apesar dos fatores relacionados à infraestrutura serem considerados ímpares, a maior parte da diferença entre os cenários de altas e baixas taxas de desmatamento são explicados pelos fatores socioeconômicos. Tais fatores podem ser agrupados em demanda por terras e instrumentos econômicos.

Em relação à demanda por terra, considera-se que a busca por novas terras agrícolas é o motor central do desmatamento no bioma Amazônia. Estima-se que 44% da recente – 2004-2006 – redução no ritmo do desmatamento tenha ocorrido por influência da retração na expansão agrícola (Soares-Filho *et al.,* 2010). O ritmo de crescimento da atividade agrícola domina outros treze fatores – como expansão de áreas protegidas, da infraestrutura – correlacionados com o nível de desmatamento (Soares-Filho *et al.,* 2008).

Entre 1985 e 2006, a área de lavouras e pastagens cultivadas no Brasil passou de 126 milhões de hectares para 161 milhões de hectares (IBGE, 2011f). Deste incremento de 35 milhões de hectares, 30,3 milhões ocorreram nos nove estados da Amazônia Legal, enquanto que no resto do País a área agrícola cresceu apenas 4,3 milhões de hectares (IBGE, 2011f). O desmatamento na Amazônia Legal entre 1988 e 2006 foi de 33 milhões de hectares (INPE, 2012). Entre 1985 e 2006, as lavouras avançaram oito milhões de hectares e as pastagens cultivadas, outros 27 milhões de hectares. Após a estabilização da economia, entretanto, percebe-se uma mudança de paradigma na expansão agrícola. Lavouras – que perderam área entre 1985 e 1995 – expandiram-se em 18 milhões de hectares entre 1995 e 2006, enquanto que as áreas de pastagens cultivadas ampliaram em apenas dois milhões de hectares.

A dinâmica regional no período mais recente ilustra a especificidade da região amazônica. Entre 1995 e 2006, no resto do País, a área de lavouras cresceu onze milhões de hectares, enquanto que as pastagens retraíram-se em oito milhões de hectares. No mesmo período, nos estados da Amazônia Legal, lavouras expandiram-se em sete milhões de hectares e as pastagens plantadas cresceram nove milhões de hectares (IBGE, 2011f).

Portanto, a dinâmica entre as regiões é marcada pela progressiva substituição de pastagens por

lavouras de maior valor econômico no Centro-Sul e em áreas consolidadas na Região Norte, e pelo deslocamento da pecuária para áreas de fronteira – notadamente na Amazônia (Morton *et al.,* 2006; Nepstad *et al.,* 2006).

De acordo com projeções da FAO, o Brasil será responsável pela maior expansão global na produção agrícola até 2030 (FAO, 2003). O Ministério da Agricultura projeta que a maior parte do aumento de produção entre 2010 e 2020 advirá de ganho de produtividade. Conforme suas projeções, a produção das lavouras crescerá a uma taxa média de 2,69% ao ano, enquanto que a área plantada terá um ritmo de 0,45% ao ano (MAPA, 2010). Este crescimento da área de lavouras, entretanto, equivalerá a 9,6 milhões de hectares em dez anos. As projeções apontam que a produção de carne crescerá 8,4 milhões de toneladas, um aumento de 37,8% em relação à produção de 2009 (MAPA, 2010). As projeções acima são influenciadas por fatores socioeconômicos locais e globais.

Aproximadamente 40% do crescimento da cultura de maior taxa de crescimento projetado, a cana-de-açúcar, estará relacionada ao aumento de demanda externa (MAPA, 2010). Fatores que afetem esta demanda, como mudanças nas metas de biocombustíveis da União Europeia, por exemplo, terão impacto importante na procura por terras no Brasil. No entanto, cabe salientar que o zoneamento da cana-de-açúcar não permite a expansão do setor sobre o bioma Amazônia.

Mudanças nos padrões de consumo global, como o uso crescente de proteína animal em países em desenvolvimento, também terão impacto significativo na demanda por terras (FAO, 2003). Assim como a globalização do mercado agrícola, crises em outras partes do globo – ex. surto de encefalopatia espongiforme bovina na Europa – e aspectos puramente econômicos, como a velocidade de expansão da economia mundial e a cotação internacional do Real, também têm impacto direto sobre a demanda por terras (Nepstad *et al.,* 2006, Ferreira e Salati, 2005).

Outro aspecto socioeconômico com influência sobre a demanda por terras adicionais são as pressões de mercado por um aumento da sustentabilidade da cadeia produtiva (Nepstad *et al.,* 2006). O exemplo mais conhecido é o da bem sucedida moratória da soja (Rudorff *et al.,* 2011), que baniu a comercialização de soja plantada em áreas desmatadas após julho de 2006. Ações focadas em um único produto podem ter sua eficácia reduzida pelo deslocamento de outras culturas para a fronteira, mas o sucesso da moratória da soja indica que a expansão de ações semelhantes poderia ter grande efeito inibidor na expansão da área agrícola. Por outro lado, o governo tem incentivado a exportação do biodiesel de soja, numa política pública dicotômica, que tem no biodiesel um produto *sustentável* a partir de sua mistura ao diesel no limite de 5%.

Duas variáveis definirão o impacto que esta expressiva expansão agrícola terá sobre os ecossistemas naturais do bioma Amazônia. A primeira, que dará a dimensão total da demanda por terras, é em que medida o aumento de produção de carne será atendido pelo aumento da área de pastagens ou de produtividade. A segunda é em que medida a demanda por terras será absorvida por um melhor aproveitamento de áreas já convertidas ou pela conversão de novas áreas.

Um aumento de produtividade das culturas agrícolas que seja maior do que o previsto reduziria a área necessária para expansão da produção. A produtividade da cana-de-açúcar e da soja, que responderão por 94% da expansão de terras entre 2010 e 2020 (MAPA, 2010), entretanto, já é considerada alta em comparações internacionais (Martinelli *et al.,* 2010). O grande escopo para o aumento da produtividade é na pecuária, tanto em função da área ocupada – 63% do total –, como pela baixa produtividade atual (Valentim e Andrade, 2009).

Projeções recentes indicam que um aumento da produtividade na pecuária – um dos objetivos do Plano Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2009) – poderia absorver grande parte da expansão agrícola necessária até 2030 e, em conjunto com outras medidas, reduzir o desmatamento no bioma Amazônia em 68% (Banco Mundial, 2010). É importante notar, entretanto, que o aumento

de produtividade por si só não é garantia de redução de demanda por terras (Phalan *et al.,* 2011), sendo necessário complementar tal ganho com outras medidas que incentivem o uso mais eficiente de terras já convertidas.

Portanto, como o desmatamento representa a maior fonte de emissão de gases de efeito estufa pelo bioma Amazônia, o fator mais pertinente para a região para mitigar tais emissões é a própria conservação da floresta. Além disso, para evitar perda nos estoques de carbono, e mesmo aumentá-lo, sugere-se o manejo sustentável de florestas (inclusive de florestas primárias), a implementação de agro-florestas e a fertilização dos solos com carvão, que aumenta a capacidade de estoque de carbono em solos florestais (Batjes, 1998, Mutuo *et al.,* 2005). Estudos de modelagem para a Amazônia Legal apontam para uma diminuição do carbono orgânico do solo sob florestas, devido à diminuição da área das mesmas, sendo que as estimativas para 2030 indicam a liberação para a atmosfera de cerca de 4.200 Tg C (1 Tg = 10^{12}g; 1 ton ou Mg = 10^{6}g) (Cerri *et al.,* 2007).

Na floresta amazônica, estima-se que entre 25 e 50% da chuva é originada por processos de evapotranspiração (Salati *et al.,* 1984, Eltahir *et al.,* 1994, Lean *et al.,* 1996), com maior importância em escalas locais devido ao predomínio de processos de convecção, enquanto que em escalas maiores prevalecem os fatores de circulação atmosférica (Roy *et al.,* 2002). A diminuição da cobertura florestal pode também alterar eventos de convergência de umidade atmosférica em larga escala, limitando a ocorrência de chuvas (Betts *et al.,* 2004). Também foi sugerido que parte do vapor de água da região Amazônica seja transportado para outras regiões, como, por exemplo, o Noroeste da Colômbia, o Sul do Brasil, Uruguai, Paraguai, Argentina, além de Europa e África. Assim, a diminuição da camada de florestas e, portanto, alterações no ciclo hidrológico regional, teriam impactos nestas outras regiões.

Vários são os grupos e estudos que defendem este controle dos desmatamentos – muitas vezes associados aos eventos de queimadas – para os demais biomas brasileiros, como a forma mais eficiente de se mitigar as causas e efeitos das mudanças climáticas em nosso território (Fearnside, 2009 e 2010), considerando que a preservação da vegetação nativa favorece, a custo proporcionalmente baixo, a manutenção e ciclagem do estoque de carbono equivalente com cada ecossistema.

No bioma Cerrado, este tema foi recentemente encampado pelo Governo Federal, por meio do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado), com metas de redução do desmatamento e consequente redução das emissões de CO_2 (MMA, 2011). Outro projeto com objetivos semelhantes foi conduzido pela Embaixada Britânica do Brasil em 2011, denominado Monitoramento das Emissões de Carbono no Cerrado Brasileiro (Ferreira e Bustamante, 2011), visando a criação de um sistema de monitoramento de desmatamentos e emissões de gases de efeito estufa para o Cerrado, como uma forma de acompanhar as emissões de carbono nesta região, bem como subsidiar outras iniciativas de controle e preservação do bioma.

Até o momento – última consulta em maio de 2013 –, o monitoramento dos desmatamentos no Cerrado vem sendo realizado por meio de projetos vinculados às universidades federais, redes de pesquisas e organizações não governamentais, a citar o Sistema Integrado de Alerta de Desmatamentos (SIAD), desenvolvido e mantido pelo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG), da Universidade Federal de Goiás (UFG). O SIAD é um projeto permanente, voltado para a detecção e análise dos desmatamentos no Cerrado, a partir do emprego de bases de dados gratuitas, como imagens de satélite – sensor *MODIS* – índices de vegetação *Enhanced Vegetation Index* (*EVI*) – e demais informações geográficas (Rocha *et al.,* 2011; Ferreira *et al.,* 2007c). Em tais iniciativas, vale ressaltar o atual envolvimento de ONGs – ex. *World Wild Fund for Nature* (*WWF*), e Conservação Internacional – e de redes de pesquisa governamentais – por exemplo, a ComCerrado/MCTI –, que buscam otimizar a geração e o uso de produtos cartográficos para o monitoramento dos biomas.

No bioma Pantanal, a contribuição à emissão de GEEs pela pecuária, agricultura, siderurgia e carvoarias provocaram, nos últimos anos, desmatamentos e modificação do uso do solo (Harris *et al.,* 2005, CI-Brasil *et al.,* 2010). A queima da vegetação desmatada, em parte para alimentar carvoarias locais (LIMA, 2008), provoca aumento dos gases de efeito estufa (Uhlig *et al.,* 2008). Cenário de emissões produzidos por Galford *et al.* (2010), para até o ano de 2050 no estado de Mato Grosso, indica que na ausência de desmatamento, agricultura e pecuária serão os principais emissores de GEEs, sendo que a emissão de metano pelo gado responderá por ~35%. A redução destas emissões requer o manejo do desmatamento no Pantanal, o que exige uma lei específica e a sua fiscalização na planície, já que nesse bioma, segundo o Código Florestal, não deveria haver desmatamentos (Irigaray *et al.,* 2008).

Levantamentos sobre o desmatamento no Pantanal e no planalto adjacente que compõe a Bacia do Alto Paraguai foram publicados nos anos de 1976 (Silva *et al.,* 2001a), 1984 (Silva *et al.,* 2001b), 1994 (Silva e Abdom, 1997), 2000 (Padovani *et al.,* 2004), 2002 (WWF-Brasil, 2009) e 2008 (MMA, 2010; WWF-Brasil, 2009). Esse monitoramento tem sido feito em base anual apenas para o estado de Mato Grosso, desde 1992, pela Secretaria de Meio Ambiente do estado de Mato Grosso (SEMA) [53] . Para a porção do bioma Pantanal no estado de Mato Grosso do Sul, o monitoramento anual está sendo planejado pelo Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL: http://www.imasul.ms.gov.br/Geo/geo.php).

Uma iniciativa recente, por parte de um conjunto de ONGs, pretende realizar o monitoramento bianual do uso da terra para toda a Bacia do Alto Paraguai e Pantanal, incluindo os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, além da porção de Pantanal existente na Bolívia e no Paraguai. O primeiro levantamento pode ser encontrado no site da WWF Brasil[54] (WWF-Brasil, 2009).

Ainda no quesito prevenção, é desejável que o Código Florestal brasileiro – vigente desde 1965, e atualizado em 2012 – mantenha um rígido teor acerca da recuperação de APPs, em conjunto com pesquisas para a adequação do mesmo às peculiaridades locais e regionais no Pantanal.

Nos Campos Sulinos, por serem eles formados predominantemente por vegetação campestre, se faz necessário um sistema de monitoramento mais complexo, uma vez que a vegetação natural não é predominantemente composta por espécies florestais. Dessa forma, para uma análise da degradação dos campos, são consideradas as substituições de áreas naturais de vegetação campestre por outros usos do solo, tais como agricultura ou silvicultura, e também a degradação genética, quando o pastoreio é praticado de forma não sustentável, reduzindo o número de espécies vegetais que compõem as diferentes formações.

Os dados divulgados em 2010 pelo MMA mostram que o bioma Pampa já perdeu quase 54% da vegetação original. Esses dados também indicam que entre 2003 e 2008, 2.183 km^2 de cobertura nativa foram convertidos em outros usos. Os campos do bioma Mata Atlântica estão rapidamente sendo substituídos pela monocultura de espécies arbóreas para extração vegetal, tais como *Pinus spp. e Eucaliptus spp*. Segundo o mapeamento realizado por Hasenack *et al.* (2007), o bioma Pampa possui 58,68% – 85.788,713 km^2 – de sua área ocupada com algum tipo de atividade antrópica, majoritariamente por atividades rurais; ou 41,32% – 73.649,746 km^2 – da área original preservados.

Em áreas do bioma Pampa é comum a superlotação de animais se alimentando em pasto nos meses

[53] Mais informações em: http://www.sema.mt.gov.br/index.php?option=com_content&view= article&id=86&Ítemid=146

[54] Mais informações em: http://m.wwf.org.br/natureza_brasileira/areas_prioritarias/pantanal/ pantanal_pub/?25181/Monitoramento-das-alteracoes-da-cobertura-vegetal-e-uso-do-solo-na-Bacia-do-Alto-Paraguai

de inverno, quando a produção de biomassa é menor, levando à degradação genética do mesmo,

sendo motivo do desaparecimento das espécies de maior valor forrageiro (Boldrini, 1997).

Essa superlotação visa apenas o rendimento econômico da produção animal, não considerando a carga animal adequada para a manutenção da diversidade botânica das áreas naturais (Maraschin, 2009). O estabelecimento da carga animal em pasto para cada tipo de fisionomia do bioma Pampa, considerando também a época do ano, é a melhor forma de se mitigar esse efeito de *superpastoreio*. A pesquisa tem trabalhado nesse sentido, mas muitas vezes o baixo número de animais em pasto por área é entendida como uma subutilização da propriedade agrícola, tornando-a, dessa forma, passível de desapropriação para fins de reforma agrária (Ramos, 2005).

Estudos demonstram que a atual fisionomia do bioma Pampa depende essencialmente do pastoreio, que é uma atividade sustentável, embora necessite de intervenções da pesquisa no sentido de otimizar a atividade econômica sem degradar o ambiente. Nesse ponto, o bioma Pampa se apresenta com uma condição ímpar em termos de exploração econômica em harmonia com a sustentabilidade, a qual já vem sendo praticada pelas comunidades tradicionais que habitam essa região – os gaúchos –, tanto no Brasil como no Uruguai e Argentina, por onde esse bioma se estende.

Em relação às mudanças no uso e cobertura do solo, há a pressão econômica potencializando as transformações no ambiente, sobretudo pela substituição de áreas de vegetação natural por áreas de monocultura (Evangelista *et al.*, 2011). Atualmente, a taxa de conversão dos campos para áreas agrícolas tem sido da ordem de 1.000 km^2 por ano (Cordeiro e Hasenack, 2009). Nos últimos anos, os campos têm sido substituídos pela silvicultura, com introdução de Pinus e Eucalipto, incentivado por indústrias privadas e por órgãos públicos (Overbeck *et al*. 2007), fato este observado nas áreas do bioma Pampa sobre o Uruguai e Argentina, e também no Rio Grande do Sul (Suertegaray e Silva, 2009).

Essas mudanças de uso e cobertura do solo terão grandes impactos no que se refere ao ciclo hidrológico, uma vez que as espécies arbóreas apresentam valores de índice de área foliar maiores que as espécies herbáceas – predominantes na região – e, em consequência, os valores de evapotranspiração serão também maiores. Da mesma forma, esperam-se impactos no que se refere aos estoques de carbono no solo, os quais se encontram em equilíbrio quando em áreas do bioma Pampa exploradas com pecuária extensiva de forma sustentável, como mencionado.

3.7.4.2. MONITORAMENTO E REDUÇÃO DE QUEIMADAS

A redução de queimadas é um tema central para diminuir as emissões de gases de efeito estufa pelo Brasil. Todos os biomas brasileiros sofrem fortemente pela degradação pelo fogo, com grandes prejuízos socioeconômicos, para a diversidade e funcionamento dos diferentes ecossistemas. Diferentes estratégias são necessárias para reduzir as queimadas nas diferentes regiões e ecossistemas do País, conforme mostra a Figura 3.65.

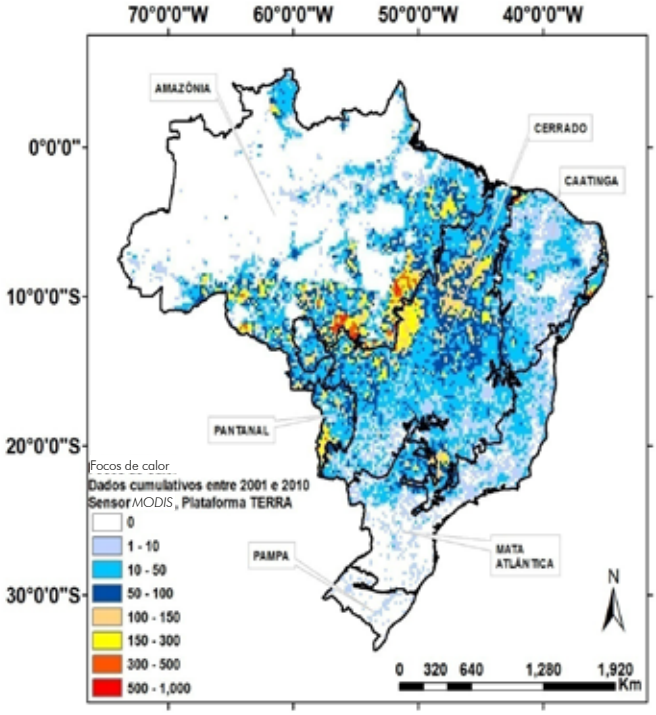
Em relação ao monitoramento, existem diferentes órgãos que fazem a avaliação de queimadas no território nacional. Por exemplo, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do INPE tem o programa Monitoramento de Queimadas e Incêndios por satélite em tempo quase real, além do programa Risco de Fogo; enquanto que a EMBRAPA tem o programa Monitoramento Orbital de Queimadas. Esses programas disponibilizam dados espacializados, indicando a localização dos focos de calor (geralmente uma queimada) em qualquer parte do País.

O IBAMA possui o Centro Nacional de Combate a Incêndios Florestais (PrevFogo), responsável pela política de prevenção e combate aos incêndios florestais em todo território nacional, com

atividades que incluem o atendimento de pedidos de informação sobre o uso do fogo em atividades *agrosilvipastoris*, campanhas educativas, treinamento e capacitação de produtores rurais e brigadistas, monitoramento e manejo do fogo em unidades de conservação.

Este monitoramento vem sendo aprimorado graças aos novos – e mais precisos – produtos desenvolvidos a partir de dados de satélites , tais como o sensor *MODIS* (Roy *et al.,* 2008; Boschetti *et al.,* 2009; Araújo *et al.,* 2012). Os dados de localização e frequência das queimadas são essenciais para a implementação de políticas para seu controle e redução, como é o caso das de medidas socioambientais, ações de fiscalização e orientação agrícola. Alguns estudos já ressaltam tais ações e seus resultados positivos para a redução das emissões de CO_2 (Borja *et al.,* 2011).

Figura 3.65 Focos de calor acumulados com confiabilidade maior que 80%, derivados do sensor *MODIS* – plataforma Terra – entre 2001 e 2010 nos biomas brasileiros.



Fonte: L. O. Anderson, não publicado.

No bioma Amazônia, as queimadas representam uma grande fonte de emissão de CO_2 e outros gases de efeito estufa pelas florestas primárias, potencializadas em anos de secas extremas (*El Niño, La Niña e ENOS*-AMO). Por exemplo, foi estimado que no grande incêndio de Roraima em 1998 – ano de *El Niño* – foram liberados cerca de 12 a 12,3 $\times$ 10^6 toneladas de C para a atmosfera devido à queima de florestas primárias (Barbosa e Fearnside, 1999). Para esse mesmo ano, foram estimados cerca de 26.000 km^2 de incêndios em florestas primárias na Amazônia, em comparação com somente 1.800 km^2 em 1995 – ano sem influência de *El NIño* – (Mendonça *et al.,* 2004). Aragão e Shimabukuro (2010) analisaram uma série temporal de focos de calor – 1998 a 2006 – detectados pelo sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)*, a bordo do satélite *National Oceanic and Atmospheric Administration* (*NOAA*-12), e quantificaram uma tendência de aumento de queimadas em 42% na Amazônia Legal.

Durante a época pré-colombiana, estima-se que a recorrência de queimadas nas florestas da Amazônia ocorriam com cerca de 400 a 700 anos de intervalo, provavelmente associados a secas severas (Meggers, 1994). Atualmente, estima-se que o intervalo de recorrência desses eventos tenha se reduzido para cinco a 15 anos, como consequência do crescimento econômico e populacional ocorrido na região amazônica desde o final de 1960 (Cochrane *et al.,* 1999; Alencar *et al.,* 2006).
Na Amazônia Legal, muitos estados desenvolveram seus próprios sistemas de monitoramento

de queimadas para atender às necessidades locais como, por exemplo, o Estado do Acre, com a Comissão Estadual de Gestão de Riscos Ambientais (CEGdRA), e a Unidade de Situação de Eventos Extremos e o estado do Amazonas, com o Centro Integrado Multiagências do Amazonas (Ciman - AM).

Entre os biomas brasileiros, o Cerrado, uma savana úmida com precipitação média anual variando de 800 a 2000 mm (Ratter *et al.,* 1997; Silva *et al.,* 2008), é o que apresenta a melhor adaptação para queimadas naturais. De fato, a germinação e o florescimento de muitas espécies endêmicas, bem como a reciclagem de nutrientes do solo, dependem da ocorrência destes eventos (França e Setzer, 2001; Coutinho, 2006). No entanto, as práticas contínuas de corte e queima, através de repetidos incêndios – alta temperatura –, a fim de abrir novas áreas para agricultura e pastagens, acabam causando a perda de nutrientes, seguida pela compactação e erosão do solo, além de perda de flora e fauna (Klinke Machado, 2005; Certini, 2005).

Araújo *et al.* (2012), utilizando dados do sensor *MODIS* investigaram os padrões gerais de distribuição temporal e espacial das queimadas no Cerrado, no período 2002 – 2010, e constataram que, aproximadamente, 73% das áreas queimadas ocorreram no bioma Cerrado, seguido por 15% na Amazônia, 6% no Pantanal, 4% na Mata Atlântica, 2% na Caatinga e 0,4% no Pampa; quanto às anomalias de focos de calor – *hotspots* – neste período, 49% e 33% foram detectados na Amazônia e Cerrado, respectivamente. Tais dados comprovam a elevada incidência de queimadas de origem antrópica no Cerrado, bem como a necessidade de monitoramento e controle sistemáticos destes eventos.

Em decorrência desses eventos de queimadas – incluindo a atividade de desmatamento e manutenção de pastagens, bem como a fermentação entérica bovina –, Bustamante *et al.* (2012) calcularam, para o período de 2003 a 2008, uma emissão na Amazônia da ordem de 499 a 775 Mt CO_2eq. No Cerrado, este valor ficou entre 229 e 231 Mt CO_2eq, enquanto que no resto do País o valor variou entre 84 e 87 Mt CO_2eq.

Os cálculos de emissões de CO_2eq provenientes de queimadas deverão ser gerados a partir de novos mapas de desmatamentos e biomassa do Cerrado, a fim de fornecer indicativos mais precisos, não apenas para as áreas de pastagens, mas para todas as classes de cobertura e uso da terra.

Atualmente, o monitoramento de queimadas no bioma Pantanal vem sendo realizado de forma sistemática no estado de Mato Grosso, com o uso de dados de focos de calor disponibilizados pelo INPE[55] . Faz-se necessário que esforço similar seja empregado para a área do Pantanal no estado de Mato Grosso do Sul. Nos últimos anos, iniciaram-se algumas pesquisas para compreender as formas de mitigação (Embrapa, 2000) e as influências das variáveis meteorológicas sobre as queimadas no Pantanal.

As queimadas conduzidas no planalto adjacente ao Pantanal estão mais relacionadas com a expansão de áreas agrícolas, limpeza de pasto e com a colheita de cana-de-açúcar, principalmente no município de Sonora, Mato Grosso do Sul. Pelo fato destas queimadas ocorrerem em áreas de vegetação graminosa, de rápida regeneração, o saldo total de gases efetivamente liberados para a atmosfera é bem menor que na Amazônia.

O manejo das áreas do bioma Pampa utilizadas para a criação extensiva de bovinos e ovinos é baseado no conhecimento tradicional dos produtores rurais da região; faz parte deste manejo o uso de fogo para a limpeza de biomassa morta no final do inverno, visando a rebrotação da vegetação com o início da estação quente (Heringer e Jacques, 2002). O pastoreio e fogo são responsáveis pelas características fisionômicas da vegetação campestre, tal como se conhece nos dias atuais (Overbeck *et al.,* 2007). Entretanto, a atual legislação proíbe usar o fogo como uma prática de

[55] Mais informações em: http://www.sema.mt.gov.br/index.php?option=com_content&view= article&id=74&Itemid=131

manejo. Impõe-se, assim, a necessidade de reduzir esta prática, seguida pela adoção de outras

equivalentes, como a de se roçar as áreas no final do inverno, realizar práticas de queimada fria – que ocorre no ínicio da estação seca, além de uma intensificação da fiscalização.

3.7.4.3. MONITORAMENTO E COMBATE À DESERTIFICAÇÃO

Ainda existe um descompasso grande entre o monitoramento e as ações efetivas de mitigação dos efeitos da degradação do semiárido brasileiro. Atualmente, são 200 mil km^2 de terras degradadas e, em muitos locais, imprestáveis para a agricultura. Somando-se a área onde a desertificação ocorre ainda de forma moderada, a área total atingida pelo fenômeno sobe para aproximadamente 600 mil km^2 (PAN-Brasil, 2005). Embora os sinais de degradação nessas áreas sejam evidentes, sua organização em um sistema de indicadores quantitativos do avanço do processo ainda é muito incipiente e não fornece resultados consistentes com as observações. É necessário, pois, que se desenvolvam ferramentas de uso fácil, a partir de utilização de tecnologia da informação, a fim de conjugar os conhecimentos na busca de diagnósticos mais precisos e de estratégias eficazes para tratar da degradação e dos problemas a ela associada.

Um indicador ambiental confiável é a redução da cobertura vegetal, sinalizando o início do processo de degradação. Nesse sentido, combater a desertificação implica em desenvolver ações para se controlar e prevenir o avanço do processo e, quando possível, recuperar áreas degradadas para uso produtivo. Combater a desertificação não é essencialmente combater a erosão, salinização, assoreamento ou tantas outras consequências, mas, sim, eliminar as causas que a provoquem, e, considerando-se o fenômeno em curto prazo, essas causas necessariamente estarão relacionadas com as atividades humanas. Sendo assim, combater a desertificação, mais que tudo, implica influir no comportamento social, econômico e político da sociedade.

Mais recentemente, Barbosa *et al.* (2006) e Barbosa e Lakshmi Kumar (2011) identificaram a diminuição da cobertura vegetal de caatinga nas duas últimas décadas do século XX. Essa condição alarmante de perda da cobertura vegetal nativa reflete a crescente degradação e escassez de recursos naturais desse bioma. Com isso, tem-se perda de biodiversidade, contribuindo também para o aumento da vulnerabilidade desse ecossistema. Dentre os importantes estudos para se ampliar o conhecimento do bioma Caatinga, destacam-se as pesquisas da EMBRAPA e do MMA por meio do Programa Nacional da Biodiversidade (PROBIO), direcionadas a tentar minimizar ou reverter seu processo de degradação (MMA, 2007).

Uma parte significativa tem focado em escalas locais, sendo poucos os estudos que elegem a escala regional (Araújo *et al.,* 2005). Para esses autores, a falta de conhecimento relativo à capacidade que algumas espécies apresentam para se adaptarem a novas condições ecológicas seria um dos principais aspectos responsáveis pela perda da biodiversidade e fragmentação da vegetação.

Uma maneira alternativa de se avaliar os impactos na vegetação, decorrentes de alterações climáticas, é por meio dos modelos climáticos regionais ou globais. Neste âmbito, e apoiados nos resultados de experiências de modelagem de vegetação associadas aos cenários de alterações de clima por elevadas emissões de GEEs, os trabalhos de Oyama e Nobre (2003) e Salazar *et al.* (2007) sugeriram que, no semiárido, a caatinga pode dar lugar a uma vegetação mais típica de zonas áridas, com predominância de cactáceas, até o final do século XXI.

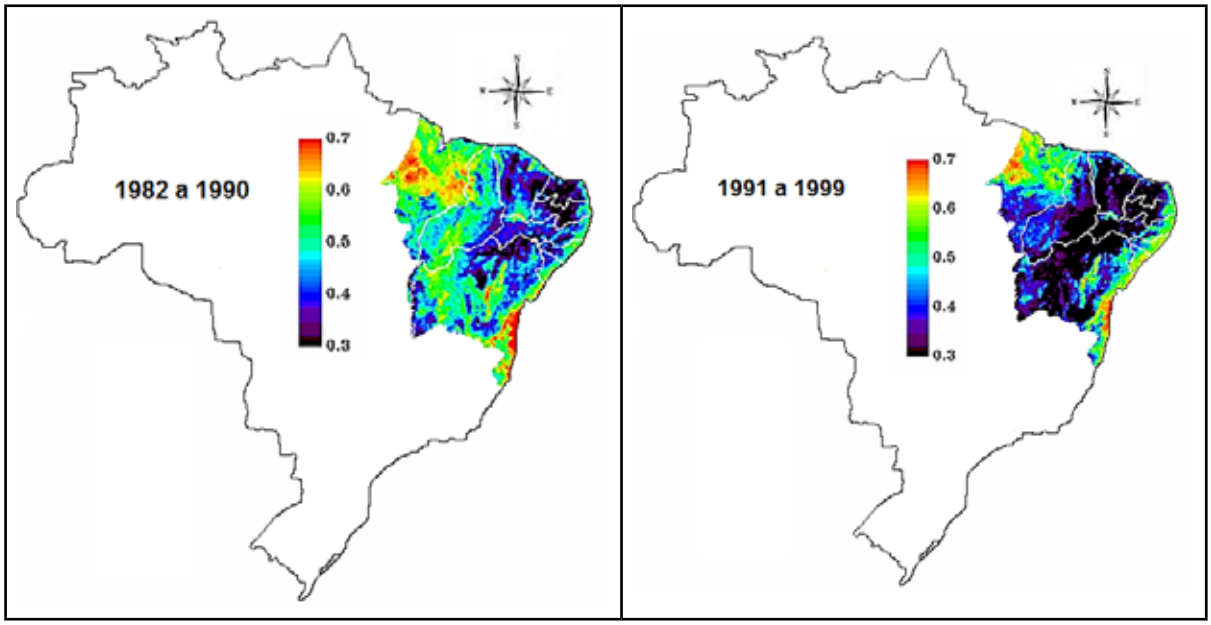
Esses trabalhos deixam patente a sensibilidade do NEB às variações climáticas; eles apontam para a desertificação do semiárido nordestino até o fim deste século.

Índices de vegetação como, por exemplo, o *Normalized Difference Vegetation Index* (*NDVI*), fruto de combinações de duas ou mais bandas espectrais selecionadas para realçar alguma propriedade da

vegetação, são comumente utilizados para monitorar padrões espaciais da atividade fotossintética em estudos regionais, conforme Figura 3.66 (Barbosa *et al.,* 2006). No caso, os valores de *NDVI* oscilam entre -1 e +1, expressando desde as características relacionadas ao suprimento hídrico até as informações relativas ao estado da vegetação.

A água apresenta valores negativos de *NDVI*, pois possui reflectância maior – embora, ainda assim, baixa – na faixa do visível do que no infravermelho. As nuvens refletem de forma semelhante no visível e no infravermelho próximo, portanto espera-se que o valor do *pixel* seja em torno de zero. O solo nu, ou com vegetação rala, apresenta valores positivos, mas não muito elevados. Vegetação densa, sem estresse hídrico e bem desenvolvida – com elevada atividade fotossintética – apresenta os maiores valores de *NDVI*.

Figura 3.66 Mapas de *NDVI* médio sobre o NEB para as décadas de 1980 e 1990.



Obs.: Em azul escuro (0,3 a 0,7) áreas desnudo-degradadas.

Fonte: Barbosa *et al*. (2006).

Dentre as variáveis importantes para se realizar esse acompanhamento estão: os dados ambientais, incluindo o cenário A2 *(IPCC)* para uso e cobertura de solo, as queimadas e poluição atmosférica; dados climáticos, como precipitação, vento e umidade; dados socioeconômicos, como condições de habitação, educação e renda, entre outros; e dados de saúde.

No Brasil, existe um conjunto desses dados fornecido pelo sistema *EUMETCast* da *European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites* (*EUMETSAT*). O sistema tem o objetivo de distribuir dados observados da superfície, da atmosfera, *metadados* e produtos para diversos tipos de usuários, sobretudo imagens METEOSAT Segunda Geração (MSG), em tempo real, para tomada de decisões conscientes em várias áreas, incluindo saúde pública, energia, agricultura, tempo, água, clima, desastres naturais e ecossistemas.

A tecnologia de recepção *EUMETCast* é baseada no uso de componentes comuns e disponíveis no mercado, o que permite uma ampla adoção do serviço por um custo baixo. Uma estação de recepção completa pode ser comprada e instalada por US$ 6.780 a US$ 9.040 (Barbosa e Erturk, 2009). Esses sistemas de observação remota produzem imagens das condições atmosféricas em termos de nuvens e vapor d'água presentes na atmosfera, que são indicativos dos sistemas atmosféricos atuantes, com uma elevada frequência temporal – quinze minutos. Por exemplo, a temperatura de topo de nuvem – *CTT* – são utilizadas para a identificação e o monitoramento do

deslocamento e da severidade dos sistemas meteorológicos.

A temperatura da superfície terrestre (*LST*) e o índice de vegetação da diferença normalizada (*NDVI*) são utilizados para o monitoramento de áreas agrícolas, dos biomas nativos – matas e savanas – e para o monitoramento climático de secas e estiagens.

3.7.4.4. ORDENAMENTO TERRITORIAL E CENÁRIOS FUTUROS

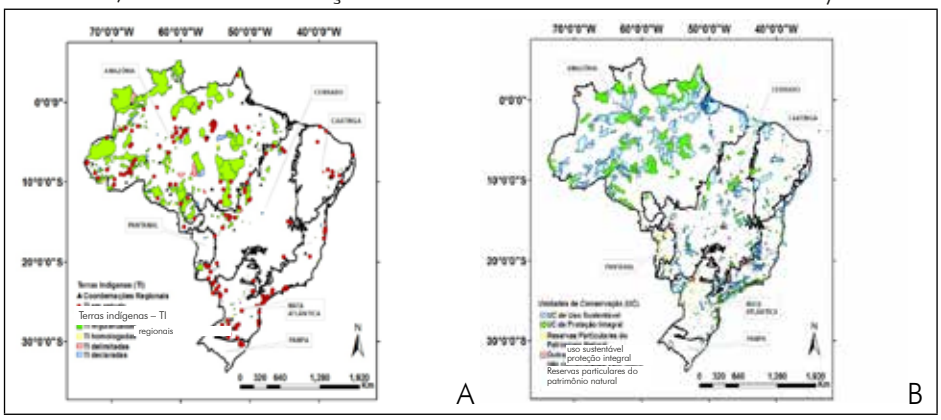
Projetos de ordenamento territorial são reconhecidos como uma forma de mitigar as ações de desmatamentos e emissões de CO_2 (Alves *et al.,* 2011). Esse ordenamento envolve a criação de novas unidades de conservação e/ou áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade (Novaes *et al.,* 2003; MMA, 2007; Couto *et al.,* 2010), as quais podem resultar em áreas efetivamente monitoradas e preservadas, como pode ser visto na Figura 3.67. O mesmo pode ocorrer com o mapeamento das Áreas de Preservação Permanente (APPs), voltadas para a manutenção da qualidade dos recursos hídricos e de corredores ecológicos naturais (Mascarenhas *et al.,* 2009).

Outra ação complementar, visando tal redução das emissões de gases de efeito estufa, passa por um entendimento dos processos que acarretam a antropização da paisagem, como forma de planejamento e governança. Nesse sentido, algumas pesquisas demonstram a possibilidade de se modelar a ocupação humana sobre uma paisagem natural, assim como os impactos decorrentes, seja em ambiente urbano ou rural (Baker, 1989; Almeida *et al.,* 2003).

De fato, a partir do entendimento e integração de variáveis orientadoras para essa ocupação, tais como os aspectos do relevo e a infraestrutura, torna-se possível a construção de cenários futuros para uma dada paisagem, indicando a probabilidade de transição no uso da terra, ao longo do tempo e do espaço (Soares-Filho *et al.,* 2002 e 2006). Devido ao fato de alguns desses modelos incorporarem variáveis socioeconômicas, biofísicas e climáticas, já é possível estimar, por exemplo, custos ambientais e sociais, ou perdas na biodiversidade para um dado cenário futuro (Münier *et al.,* 2004; Levy *et al.,* 2004; Thomas *et al.,* 2004).

No Brasil, a modelagem de cenários relativos aos desmatamentos em extensas áreas naturais vem sendo realizada, principalmente, para o bioma Amazônia, devido ao seu maior destaque na manutenção da biosfera e atmosfera global (Evans *et al.,* 2001; Soares-Filho *et al.,* 2006; Ximenes *et al.,* 2008).

Figura 3.67 Localização e status das terras indígenas (adaptada por L.O. Anderson, fonte: Fundação Nacional do Índio FUNAI); b) Localização das Unidades de Conservação (adaptada por L.O. Anderson, fonte: Coordenação de Zoneamento Ambiental do IBAMA).



Fonte: IBAMA, adaptada por L.O. Anderson.

As áreas protegidas – unidades de conservação (UCs) e terras indígenas –, que cobrem por volta de 43% do bioma Amazônia, têm um papel importante na redução do desmatamento. Soares *et al*. (2007) demostrou que somente a criação de treze unidades nesse território no período de 2003 a 2007 evitará, até 2050, a emissão de 0,43 bilhões de toneladas de carbono na atmosfera.

O Programa Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA), do governo federal, tem o objetivo de expandir, consolidar e manter 60 milhões de hectares de uma parcela significativa do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) localizado no bioma Amazônia (MMA/ARPA/UCP, 2009). Com esse programa, poderá ser evitada a emissão de até oito bilhões de toneladas de carbono até 2050, equivalente a 16% das emissões globais anuais – em 2009 – ou 70% da meta comprometida para o primeiro período do Protocolo de Quioto.

Segundo o Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (MMA, 2012), atualmente, 26,5% – ou cerca de 118 milhões de hectares – do bioma Amazônia estão protegidos em UCs – federais e estaduais. Embora ainda existam outros desafios, além da criação dessas unidades, que implicam a manutenção dos objetivos de sua criação, a gestão adequada ou a implementação efetiva destas áreas garante a manutenção de suas funções ecossistêmicas. Segundo o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio, 2011), o bioma Amazônia apresentou os melhores índices de avanço de efetividade em uma comparação entre as UCs federais, feita através do método Avaliação Rápida e Priorização do Manejo de Unidades de Conservação (RAPPAM), ao longo dos ciclos de gestão de 2005 a 2006 e de 2010.

No bioma Cerrado, segundo o Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (MMA, 2012), apenas 8,21% – ou 168.194 km^2 – estão protegidos em UCs federais e estaduais. Dessa parcela, 3,1% foram classificadas na categoria de proteção integral e, 5,1%, como de uso sustentável. Outros 4,9% residem em áreas de proteção ambiental (APAs).

Ao se considerar apenas as UCs federais, os números se dividem em 2% de proteção integral e 0,9% de uso sustentável, com predominância para as APAs, em 0,81% do bioma (MMA, 2010).

Ao comparar as aplicações do método RAPPAM nas unidades de conservação federais, nos ciclos 2005 a 2006 e 2010 para as UCs do bioma Cerrado, o ICMBio (2011) observou avanço em suas gestões, de 35,8% para 46,8% de efetividade máxima possível. Isso representou uma melhoria de 11%, e compôs, junto com as UCs do bioma Amazônia, os melhores índices.

O Mapa de Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade e Utilização Sustentável dos Recursos Naturais (MMA, 2007), que orienta a implementação das políticas de conservação brasileira – em fase de atualização –, identificou, em 2006, 120 novas áreas para criação de UCs no Cerrado, cuja demanda e expectativa chegavam a 416.502 km^2. Desde então, foram criadas onze UCs no bioma, totalizando 552,66 quilômetros quadrados. No entanto, a ausência de bases cartográficas atualizadas sobre o uso das terras no bioma traz implicações para as ações de planejamento e recuperação de áreas em estágio de degradação ambiental, tanto em propriedade privada quanto em bacia hidrográfica.

O conjunto destas informações geográficas, dispostas em bases de dados públicas – algo já realizado em alguns estados situados no bioma Cerrado – tende a facilitar a orientação de atividades agrícolas para áreas já convertidas e/ou abandonadas – como pastagens de baixa produtividade –, ou mesmo, destinar políticas públicas específicas para a conservação da biodiversidade (Ferreira *et al.*, 2012).

Sobre as modelagens de cenários futuros no bioma Cerrado, pode-se citar os estudos de Ferreira *et al*. (2012) e Ribeiro *et al*. (2010), os quais, respectivamente, indicam cenários de desmatamentos e análises sobre a expansão de *commodities* agrícolas, em nível estadual e de bacias hidrográficas. Ferreira *et al*. (2012) indicam possíveis avanços dos desmatamentos para o Norte e Nordeste do

bioma, principalmente nos estados da Bahia, Maranhão e Piauí, com possibilidade de conversão do Cerrado em até 40.000 km^2 por década, até o ano 2050, com comprometimento intenso das bacias hidrográficas mais preservadas neste bioma – superior a 30% das Ottobacias nível 3.

Em consenso com tais cenários de desmatamentos, encontra-se a modelagem para a expansão da cana-de-açúcar (Ribeiro *et al.,* 2010) no Cerrado, onde é previsto um aumento da área plantada em cerca de nove milhões de hectares – área três vezes superior ao plantio de cana neste bioma até 2007 –, com 66% da expansão prevista para áreas de pastagem – outros 34% ainda são indefinidos, podendo se expandir sobre áreas agrícolas e/ou de cerrado nativo. Mantendo-se os cenários atuais, são previstas também expansões de cultivos de soja (Dros, 2004) e reflorestamento (Lopes *et al.,* 2013), sendo este último com maior restrição, já que as fases de plantio e manejo exigem mais investimentos.

Já no Pantanal, o ordenamento territorial tem sido realizado por meio de um Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) nos estados de Mato Grosso do Sul e Mato Grosso – mais informações em: http://www.semac.ms.gov.br/zeems/ e http://www.zsee.seplan.mt.gov.br/zsee/.

Tal ação de governança deve influir em melhor manejo dos solos e pastagens, como uma forma de mitigar a degradação ambiental, através do controle do processo erosivo (Stefens, 2008).

A adoção de curvas de nível e o isolamento das áreas de preservação permanente podem resultar, em longo prazo, na conservação do sistema produtivo e da água. Esses cuidados podem trazer também um maior acúmulo de biomassa e a manutenção das nascentes e cursos d'água, restaurando os processos de evapotranspiração e evaporação. Atualmente, apenas 4,4% – ou 6.000 km^2 – do bioma Pantanal estão protegidos em UCs federais e estaduais, sendo 2,9% na categoria de proteção integral e 1,5% na categoria uso sustentável.

Os planos diretores das capitais dos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul[56] preveem melhoria da infraestrutura de esgoto, sem fazer menção específica a episódios com chuvas mais intensas. Outra medida de mitigação comumente adotada para diminuir a emissão de GEEs devido ao espalhamento urbano, reduzir enchentes urbanas e diminuir a morbidade respiratória é o aumento de áreas verdes urbanas (Gill *et al.,* 2007, Dwyer *et al.,* 1992, Bolund e Hunhammar, 1999).

Cenários futuros sobre a dinâmica de uso da terra podem ser uma forma de gerir a ocupação antrópica no Pantanal e prever os possíveis impactos ambientais decorrentes desta. Por outro lado, poucos estudos foram realizados até o momento, sendo um destes conduzido por Harris *et al.* (2006). O Laboratório de Geoprocessamento da Embrapa Pantanal e o Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG) da Universidade Federal de Goiás estão iniciando uma parceria para a modelagem de cenários futuros para o referido bioma.

O bioma Caatinga tem UCs que cobrem cerca de 7% de sua área, enquanto que menos de 1% são unidades de conservação de proteção integral – parques, reservas biológicas e estações ecológicas –, que são as mais restritivas à intervenção humana. A conservação da Caatinga está intimamente associada ao combate da desertificação, um processo de degradação ambiental, sendo fundamental a criação de novas UCs, além de melhorar a gestão das já implementadas, para se assegurar uma maior área protegida desse bioma exclusivamente brasileiro. O Departamento de Áreas Protegidas do Ministério do Meio Ambiente, junto com o ICMBio, tem uma agenda para a criação de novas UCs nesse bioma, sendo que, recentemente, foi instituído o Monumento Natural do São Francisco, que ocupa 30.000 hectares nos estados da Bahia, Alagoas e Sergipe.

[56]Mais informações em: http://www.sema.mt.gov.br/index.php?option=com_content&view= article&id=26&Ítemid=45

Nos últimos anos ocorreram avanços significativos no monitoramento de alterações ambientais e climáticas na região do bioma Caatinga. A disponibilidade de projeções climáticas e informações de satélites meteorológicos e ambientais complementam o conhecimento e a capacidade de previsão dessas mudanças. Um dos serviços importantes para a realização desse acompanhamento é a previsão de ocorrência de secas – pois nos períodos prolongados, o fenômeno da desertificação se potencializa –, realizada pelo CPTEC do INPE, com a participação dos Centros de Meteorologia Estaduais do Nordeste.

O monitoramento das secas, embora ainda em estágio inicial, tem contribuído para minimizar seus efeitos, oferecendo produtos para pesquisadores, produtores, gestores governamentais e público em geral. Uma visão mais abrangente dessa temática foi apresentada no Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos de Seca (PAN-Brasil, 2005), implantado em

2004, com a colaboração de instituições governamentais e não governamentais. É nesse contexto que o Sistema Brasileiro de Alerta Precoce de Secas e Desertificação, coordenado pelo MMA e pelo MCTI, focado nas áreas susceptíveis a um processo de desertificação desencadeado por alterações climáticas, pretende prever e avaliar os impactos que as grandes secas episódicas poderão ter no semiárido brasileiro.

Essa vulnerabilidade foi confirmada, em 2007, durante a quarta avaliação do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas. Os efeitos das alterações climáticas são evidentes no bioma Caatinga (*IPCC*, 2007). Para mitigá-los se faz necessária uma ação coerente e coordenada, que articule os meios e os conhecimentos práticos de todos. Este esforço inclui compromissos nos três níveis governamentais, específicos para uma ação concreta nas escalas local, regional e nacional.

O investimento no desenvolvimento de modelos que relacionem a circulação global, o fenômeno *ENOS* e chuvas pode ser uma alternativa viável para melhorar as estimativas interanuais de chuva e previsões de secas, e assim auxiliar o planejamento regional e mitigar impactos na região da Caatinga. A chuva nesse bioma é diretamente controlada pela variabilidade da atividade convectiva e associada diretamente às anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre os oceanos Atlântico e Pacífico tropicais (Moura e Shukla, 1981; Philander, 1990). As correlações entre os índices do *ENOS* e a precipitação interanual nessa região permitem uma estimativa da previsão sazonal de chuva, e possibilita ações de mitigação dos efeitos das secas no gerenciamento e a otimização da operação de reservatórios na região.

A ocorrência de *déficits* hídricos no bioma Pampa, principalmente durante o verão (Berlato e Fontana, 2003), tem impulsionado a construção de um grande número de barragens, visando o fornecimento de água para o consumo humano e irrigação de lavouras, com apoio dos governos estadual – Rio Grande do Sul – e Federal (Siuma, 2011). Quanto à emissão de gases de efeito estufa nas áreas do bioma Pampa – exploradas economicamente com pecuária extensiva –, ainda não existem dados absolutos sobre as emissões de gás metano. Entretanto, devido à baixa lotação de animais por área, praticada na maioria das propriedades – mesmo durante o período de maior produção de biomassa vegetal, que são as estações quentes do ano –, estima-se que a emissão de metano seja menor que nas áreas cultivadas com arroz irrigado.

Não existem na literatura dados que relacionem os impactos dos fatores socioeconômicos no bioma Pampa às mudanças do clima; no entanto, devido à implementação de silvicultura – pinus e eucalipto – em grandes extensões desse bioma nos últimos anos, sugere-se, como medida de mitigação, uma limitação nas áreas disponíveis para exploração com essa cultura, através de zoneamentos elaborados com critérios científicos, e não apenas econômicos, que considerem também a manutenção da biodiversidade e os efeitos nos ciclos biogeoquímicos na delimitação das áreas permitidas para tal.
Na Mata Atlântica, segundo o Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (MMA, 2012), cerca de 8,7% – ou 107.246 km^2 – estão protegidos em UCs federais e estaduais. Dessa parcela, 2,3%

foram classificados na categoria de proteção integral e 7,3% como de uso sustentável. Outros 7,1% residem em APAs.

O fortalecimento das UCs, sobretudo as de proteção integral, privilegiando as regiões com maior proporção de mata preservada – como na Serra do Paranapiacaba em São Paulo, e no Sul da Bahia – pode ser uma forma de compensação para a baixa porcentagem de áreas protegidas pelo governo, oferecendo maior potencial como sumidouros de CO_2.

Entretanto, o cumprimento da atual legislação ambiental já seria uma forma eficiente para mitigação dos efeitos negativos de atividades antrópicas extensivas, como plantios de cana-de-açúcar, da pecuária em larga escala e da silvicultura. Apesar de o Código Florestal estabelecer que, nos domínios da Mata Atlântica devem ser mantidas as APPs – cerca de 10% da área para regiões planas, e 15% para relevos mais acidentados –, e também as reservas legais – 20% do território para a região da Mata Atlântica, excluídas APPs e unidades de conservação –, a pequena parcela de remanescentes de vegetação – 12% – sugere, pelo menos, um *déficit* de 18% de vegetação nativa[57] – cerca de 27 milhões de hectares (Ribeiro *et al.,* 2009; Ribeiro *et al.,* 2011).

Para solucionar esse *déficit*, o estímulo à restauração florestal poderia aumentar, de forma significativa, o tamanho dos remanescentes e a conectividade entre estes. Considerando que 84% dos remanescentes da Mata Atlântica têm área inferior a 50 hectares (Ribeiro *et al.,* 2009), o desenvolvimento de projetos de restauração florestal seria fundamental, em especial se priorizarem o aumento de tamanho dos fragmentos com maior potencial de manutenção da biodiversidade – tamanhos intermediários e melhor conectados. Esses últimos são favorecidos no processo de restauração, por contarem a seu favor com a resiliência do sistema, onde a vegetação atual serve como fonte de propágulos – estruturas constituídas basicamente por células meristemáticas que se desprendem de uma planta adulta para dar origem a uma nova planta, geneticamente idêntica à de origem – por meio de dispersão de sementes por vento, água, ou fauna, colonizando áreas adjacentes a um menor custo e com maiores chances de se manterem no longo prazo. Dessa forma, paisagens com quantidade expressiva de remanescentes – > 20% – poderiam servir como áreas prioritárias para receber projetos de restauração.

3.7.4.5. INSTRUMENTOS ECONÔMICOS

Os instrumentos econômicos são peças-chave na determinação dos padrões de desmatamento nas próximas décadas. O PNMC objetiva a recuperação de áreas degradadas, uma iniciativa com grande potencial de redução da demanda por terras adicionais. O Programa Agricultura de Baixo Carbono pretende recuperar cerca de quinze milhões de hectares de áreas degradadas (MAPA, 2010), reincorporando-os à parcela produtiva de terras e, consequentemente, reduzindo a demanda por terras adicionais. As iniciativas de integração de usos múltiplos da terra também apresentam potencial de redução da demanda por terras adicionais (Godfray *et al.,* 2010; Herrero *et al.,* 2010). Considerando-se o cenário mais conservador, em que as emissões evitadas devido ao desmatamento da biomassa acima do solo nos biomas brasileiros são estimadas em 0,0082 Pg CO_2, (Cerri *et al.,* 2010) para o período de 2010 a 2020, e o valor médio de US$ 5,00 por tonelada de carbono, uma receita de US$ 11,20 x 10^6 milhões poderia ser gerada no mercado voluntário.

Para o bioma Amazônia, foi criado como parte do PNMC, em 2008, o Fundo da Amazônia. Esse plano objetiva captar doações internacionais para serem investidas em reduções quantificadas de emissões ocasionadas pela diminuição de desmatamentos. Baseando-se em quedas nas taxas de desmatamento, os recursos captados são direcionados a projetos de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento, áreas protegidas, atividades produtivas sustentáveis, pesquisa e desenvolvimento.

[57] Mais informações em: http://www.pactomataatlantica.org.br

Até setembro de 2012, apenas duas ações de Redução de Emissões provenientes de Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+) foram cadastradas no MMA: a *Capacitação em REDD*, desenvolvida pela Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental e pelo Serviço Florestal; e o programa Bolsa Floresta, desenvolvido pela Fundação Amazonas Sustentável. Em relação a projetos cadastrados, há atualmente 23 no portal REDD+ Brasil, criado pelo MMA e o Serviço Florestal Brasileiro. No setor do mercado voluntário de créditos de carbono, há três projetos certificados, no programa *Verified Carbon Standard*, que visam à diminuição de emissões de gases de efeito estufa devido ao desmatamento e à degradação florestal, ou acúmulo de CO_2 através de plantações florestais na Amazônia.

No bioma Cerrado, juntamente com os sistemas de monitoramento e fiscalização da cobertura

vegetal nativa, crescem também as iniciativas voltadas para o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), atreladas à ideia do custo de oportunidade em áreas com a vegetação preservada; trata-se de um mercado para a negociação de fragmentos florestais conservados, ainda bastante reduzido no País, sobretudo para este bioma (Nepstad *et al.,* 2009; Ferreira *et al.,* 2009).

Algumas pesquisas apontam os PSAs como um caminho viável para redução e controle dos desmatamentos (Chomitz *et al.,* 1999; Chomitz, 2004 e 2006), bem como das emissões de GEEs (Harvey *et al.,* 2010), mantendo os estoques de carbono em áreas de floresta tropical ou savana. Outras contribuições seriam a redução dos impactos no ciclo hidrológico e a conservação de nascentes, bem como a manutenção da biodiversidade e dos solos. Baseado nesse sistema de pagamento por áreas preservadas, ideias como o REDD vêm sendo bastante entoadas nos últimos anos, como uma alternativa para a conservação dos biomas brasileiros, sobretudo para a Amazônia e o Cerrado (Yanai *et al.,* 2011).

Outros estudos, ainda que enumerem as vantagens desse tipo de instrumento econômico (Angelsen, 2008), também fazem ressalvas à sua adoção (Sawyer, 2009; Aragão e Shimabukuro, 2010), devido a uma questão de escala – a dimensão da área necessária para efeito de redução de emissões –; gerência dos fundos financeiros – público ou privado; municipal, estadual ou federal –; pela difícil tarefa de monitoração ao longo prazo, de forma hábil e sistemática, as áreas elencadas por tais mecanismos de compensação, incluindo o próprio controle de queimadas – de origem natural ou antrópica – e de desmatamentos inlegais.

O número de projetos beneficiados pelo REDD no Brasil ainda é pouco expressivo. Até 2011 eram apenas 20, sendo 17 na Amazônia, dois na Mata Atlântica e apenas um no Cerrado (Viana, 2009; Moutinho *et al.,* 2011).

O PSA tem sido planejado para o Pantanal e, em alguns casos, implantado por ONGs ambientais e secretarias de meio ambiente em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Uma dessas iniciativas é o ICMS ecológico. No Mato Grosso tramita um anteprojeto de lei para criar o Sistema Estadual de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal, Conservação, Manejo Florestal Sustentável (REDD+), que poderá ser uma alternativa ao uso da terra tradicional na região, por meio do pagamento por serviços ambientais, materializados com a manutenção da cobertura vegetal nativa e conservação de nascentes[58].

Para os ecossistemas de manguezais, a literatura sobre projetos de reflorestamento, taxas de crescimento e quantificação da biomassa são escassas, apesar de ocuparem aproximadamente 25.000 km^2 no Brasil (Mattos-Fonseca e Drummond, 2003). A eficiência para o sequestro do carbono atmosférico das espécies de sua flora, entretanto, precisa ser comparada com a das espécies da mata atlântica ou de outras florestas, assim como a valoração econômica e ecológica desses esforços. Field (1997) organizou uma coletânea de artigos que descreve as principais

[58]Mais informações em: http://www.sema.mt.gov.br/index.php?option=comcontent&view= article&id=727%3Aminuta-de-anteprojeto-d

experiências de restauração de ecossistemas manguezais entre os trópicos, com dados que aguardam sistematização para a correlação da biometria com o sequestro do carbono atmosférico. Não se trata de uma tarefa simples, porém é factível, como ressalta Carson (1998).

Um dos poucos projetos desenvolvidos no Brasil, até esse momento, estudou os ecossistemas manguezais na Laguna de Itaipu, em Niterói, Rio de Janeiro, no contexto das restrições e de elegibilidade do MDL/Protocolo de Quioto. O projeto *Reflorestamento de Manguezais e o Valor de Resgate do Sequestro do Carbono Atmosférico* – Edital 09/2001 do Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA) – foi apoiado pela Embaixada dos Países Baixos e pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), desenvolvido por pesquisadores da Associação de Proteção a Ecossistemas Costeiros (APREC), em parceria com o Centro de Estudos Avançados em Economia

Aplicada da Universidade de São Paulo (CEPEA/ESALQ/USP) e com o Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília (CDS/UnB) (Mattos-Fonseca e Drummond, 2003).

Resultados preliminares desse projeto estimam um total de 152,19 t ha^{-1} de biomassa – peso seco – armazenando 76,09 t ha^{-1} de carbono no manguezal de Itaipu (Cogliatti-Carvalho e Mattos-Fonseca, 2004). Os resultados dos experimentos realizados em Bragança, Pará (Mattos-Fonseca, 2010), apontam para um ganho líquido de 16,6 t ha^{-1} ano^{-1} e a possibilidade de geração em torno de 60 certificados de emissões reduzidas por cada hectare de manguezal recuperado ou plantado ao ano.

Os valores de densidade, biomassa e carbono armazenados nas três espécies estudadas encontram-se na Tabela 3.46.

Tabela 3.46 *Valores de densidade, biomassa e carbono armazenados em* Avicennia shaueriana, Laguncularia racemosa e Rhizophora mangle *no manguezal de Itaipu - Niterói, Rio de Janeiro*

ESPÉCIE	DENSIDADE – INDIVÍDUOS POR HECTARE	BIOMASSA – – T HA^{-1} – PESO SECO*	CARBONO – – T HA^{-1}
Avicennia shaueriana	2971	119,58	59,79
Laguncularia racemosa	3271	31,43	15,72
Rhizophora mangle	57	1,18	0,59
Total		152,19	76,09

*Peso seco: medição da massa de planta após secar por 48 horas para eliminar a água do material.

Fonte: adaptada de Cogliatti-Carvalho e Mattos-Fonseca, 2004.

Grasso (1994) destaca a importância econômica e social dos manguezais do Parque Nacional de Caroni – Trinidad-Tobago –, estabelecendo um valor de US$ 8.000,00 por hectare de área úmida. Mattos-Fonseca (2001) encontrou US$ 2.105,00 por hectare, expressando o valor de existência pela disposição a pagar, e o valor indiretamente eliciado através do trabalho voluntário de US$ 7.560,00 por hectare da Laguna de Itaipu.

3.7.5. LACUNAS NO CONHECIMENTO

Existe pouca documentação que relacione as variações na produção de biomassa aérea e subterrânea com as variações dos elementos do clima para os biomas brasileiros, assim como são escassas as medições contínuas para o entendimento das taxas de crescimento, de mortalidade, de decomposição e de acúmulo de biomassa. As dinâmicas desses ecossistemas ainda não estão quantificadas em escala compatível com sua variabilidade espacial; e variações do solo, composições florísticas e clima em diferentes escalas impossibilitam uma extrapolação de medições

para áreas extensas. Muitos dos dados de medições de variáveis biofísicas dos biomas estão apresentados apenas em eventos científicos e em dissertações e teses, o que dificulta o acesso aos mesmos – dado que, muitas universidades e eventos ainda não oferecem os arquivos em formato digital na internet.

Essas lacunas no conhecimento se tornam mais críticas quando se considera a grande pressão que tais biomas enfrentarão em relação às mudanças no clima. Isso também impacta fortemente a efetividade da criação e viabilização de políticas públicas nacionais e internacionais, como o mercado de carbono (BVRio, 2012), tornando mais frágil a valoração e a implementação de tais medidas.

Estudos a respeito da incorporação de terras, sobretudo no bioma Cerrado, para a produção de culturas bioenergéticas – como cana-de-açúcar e soja –, e seu possível impacto no clima – e vice-versa –, ainda são embrionários no Brasil. Algumas iniciativas governamentais, como o Núcleo de Inteligência Territorial[59] (NIT), ligado à Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE) e projetos como o Metodologia para o Monitoramento da Atividade Agrícola Brasileira (MAPAGRI[60]) – vinculado à Embrapa Informática, devem agregar novas ferramentas e metodologias para análises de produtividade agrícola, visando oferecer bases de dados geográficas essenciais para o aprofundamento dos temas suscitados neste subcapítulo.

Soma-se às lacunas no conhecimento a falta de propostas e soluções para a mitigação das alterações antrópicas e mudanças climáticas nos biomas Pantanal, Mata Atlântica, Pampa e Mangue. Isso se deve, em grande parte, ao fato de que é bastante recente a preocupação com o tema. As iniciativas existentes ainda não passam de propostas ou planos, baseados principalmente em documentos oficiais, como o relatório do *IPCC*. Da mesma forma, há pouca interação entre os órgãos tomadores de decisão e a comunidade científica local.

No bioma Caatinga, embora haja muitas evidências de alterações climáticas, ainda não é possível apontar de forma quantitativa a dimensão e a velocidade dos processos de degradação e desertificação. A infraestrutura para previsão de riscos é precária, assim como são limitados os sistemas de alerta. Seria necessária uma melhor compreensão dos efeitos das alterações e variabilidade climáticas, para que então se possa prever os riscos relacionados. As propriedades de uso e cobertura do solo, aliadas aos fatores biofísicos, combinam-se com as tendências atmosféricas, como as concentrações de GEEs, com efeito de realimentação nas dinâmicas de alterações regional e global do clima.

Para os biomas em geral, com exceção da Amazônia, nenhum sistema de monitoramento, mapeamento e coleta de dados oficial – na esfera do Governo Federal – está em funcionamento de forma sistemática. A coleta de dados em nível local e regional não está totalmente coordenada, e se os dados são coletados para uma determinada finalidade, podem não estar disponíveis para outras partes interessadas e outros fins. O monitoramento por satélite é complementar, e não uma alternativa a observações *in situ*, mas oferece uma boa base para a integração espaço-temporal de ambos os tipos de dados, sendo que o conhecimento contextual adquirido no campo pode ser usado para orientar e calibrar a análise de dados via satélite. No entanto, essas alternativas devem ser combinadas com séries de longo prazo, através de abordagens inovadoras. As análises de impactos das alterações climáticas necessitam integrar melhor os aspectos do clima para fornecer uma maior compreensão da relação causa-efeito, visando identificar as áreas potenciais para gestão de adaptação e orientação política.

---

[59] Mais informações em: http://www.sae.gov.br/site/?tag=nit http://www.sae.gov.br/site/?p=13702

[60] Mais informações em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/954536/1/101.pdf

LEITURA COMPLEMENTAR

1. Tecnologias e práticas de mitigação em florestas

Mudanças no uso da terra alteram profundamente os processos biogeoquímicos do solo, com reflexos no estoque de carbono e no fluxo de gases entre o solo e a atmosfera (Feigl *et al.,* 2001).

No Brasil, aproximadamente 61% do território é coberto por florestas naturais e plantios florestais, representando a segunda maior área de florestas do mundo, atrás apenas da Rússia. Desse total, 98,7% são florestas naturais e 1,3% são plantios, totalizando mais de 516 milhões de hectares.

As florestas representam papel importante na mitigação das mudanças climáticas, podendo as práticas de mitigação estar relacionadas à redução do desmatamento e incentivo ao reflorestamento,

conforme previsto no Protocolo de Quioto, sob o nome de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Atualmente, uma das principais alternativas é reduzir as emissões evitando o desmatamento e a degradação florestal, conforme acordado na Convenção das Nações Unidas para Mudanças Climáticas (*UNFCCC*).

Ações preventivas acerca do desmatamento e da degradação florestal são mais eficazes e custo-efetivas do que ações reparatórias dos danos causados; esse foi o sentido do acordo firmado na conferência do *UNFCCC*, realizada em dezembro de 2010, e atualmente do REDD, que é um mecanismo criado para evitar a emissão de carbono por desmatamento e degradação florestal, e que tem se destacado nas diversas discussões governamentais ao redor do mundo, apresentando grande potencial para uma implementação global.

Há necessidade urgente de introdução de incentivos para cooperação mútua (Motta *et al.,* 2001). Ainda com relação ao REDD, esse pode ser considerado uma alternativa rentável para reduzir o desmatamento. Como em outros mercados, um poluidor poderá compensar suas emissões comprando créditos de quem ainda tem o que conservar. Isso vai além do Protocolo de Quioto, pois compensa financeiramente os proprietários de matas naturais que se prontificam a mantê-las em pé. Com isso, o mecanismo REDD assegura os serviços ambientais que as florestas oferecem e representa um investimento sustentável, pois protege, de maneira integral, o patrimônio natural da terra.

No entanto, essas práticas mitigadoras são ainda incertas quanto aos seus resultados, pois os custos do aquecimento global são difíceis de serem estimados, e também por dependerem de ações multilaterais, ou seja, nenhum país sozinho poderá reverter o aquecimento global através de uma ação unilateral. Por essa razão, a ação multilateral torna-se um jogo no qual os países atuam de uma forma estratégica, esperando o movimento de outros países para então reagirem.

1.1. REFLORESTAMENTO

Dentre as formas de redução na emissão de GEEs para a atmosfera, pode-se citar a captura do carbono atmosférico por meio da fotossíntese, através de plantios de espécies florestais, armazenando-o temporariamente, e remunerando esse serviço ambiental aos produtores de florestas que estejam com atividades de reflorestamento no âmbito do MDL (Moreira e Mozzer, 2009).

As atividades de Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Florestas – *Land Use, Land-Use Change and Forestry* (*LULUCF*) – elegíveis para geração de Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), por meio do MDL, no primeiro período de compromisso do Protocolo de Quioto – 2008 a 2012 –, ficaram restritas às atividades de florestamento/reflorestamento (Neeff e Henders, 2007), não sendo elegíveis o manejo florestal e o desmatamento evitado neste período de compromisso.

Nas exigências para que uma área seja elegível para a implantação de um projeto de reflorestamento, deve-se considerar que ela não teve cobertura florestal nos últimos 50 anos; e, para ser passível de um projeto de reflorestamento, no âmbito do MDL, não pode ter sido ocupada com cobertura florestal desde 31 de dezembro de 1989. A comprovação do uso não florestal do solo desde essa data pode ser feita por meio de fotografias aéreas ou imagens de satélite, complementadas por dados terrestres de referência; por pesquisas baseadas *in locu* – cadastros e registros de uso do solo –; ou por informações sobre o uso da terra advindas de mapas ou dados espaciais (Frondizi, 2009).

De acordo com Frondizi (2009), projetos de reflorestamento são criados com o objetivo de remover CO_2 da atmosfera, por meio do processo de fotossíntese. Entretanto, não há como garantir que o carbono armazenado nas florestas não retorne à atmosfera, seja por meio de eventos naturais – fogo, pragas, doenças – ou por intervenção humana – fogo induzido, colheita da floresta para diferentes usos ou desmatamento –, de modo que os créditos de carbono gerados pelas atividades de florestamento/reflorestamento são temporários, ou seja, apresentam prazo de validade definido. Essa característica é denominada de não permanência, e constitui a principal diferença entre os créditos de carbono florestais e aqueles oriundos de atividades de redução de emissões que, por sua vez, podem ser permanentes.

Projetos de reflorestamento também são diversificados, comparando-se com projetos tradicionais de MDL, no que diz respeito ao período de obtenção dos créditos. Uma atividade de reflorestamento pode ter um período de obtenção dos créditos de 20 anos, renovável por até dois períodos de 20 anos, chegando a 60 anos de duração, ou até um único período de 30 anos, sem direito a renovação. Salienta-se que, a cada renovação, a linha de base proposta deve ser atualizada.

Apesar de o desmatamento ser uma das principais fontes de emissões de gases de efeito estufa, medidas para lidar com essa questão só começaram a ser discutidas oficialmente nas negociações internacionais no âmbito da Convenção de Clima da ONU, a partir de 2005. A proposta de criação de um mecanismo para lidar com emissões resultantes do desmatamento tropical deu origem ao atual conceito de REDD. Na Conferência das Partes da Convenção de Clima da ONU (COP16), realizada em dezembro de 2010, no México, foram definidas as premissas básicas para a implantação de um regime de REDD. O chamado Acordo de Cancun definiu:

- *as abordagens relacionadas à redução das emissões por desmatamento e degradação florestal, e*
- *o papel da conservação, manejo sustentável de florestas e aumento dos estoques de carbono florestal*

O reconhecimento destas atividades adicionais nas negociações deu origem ao conhecido REDD+ nos países em desenvolvimento (*UNFCCC*, 2010a).

Para o Brasil, a criação de um mecanismo de REDD é especialmente importante, devido à contribuição significativa do desmatamento nas emissões de CO_2 do País. Tal mecanismo torna-se, portanto, no contexto brasileiro, uma oportunidade de compensar esforços para a redução de emissões causadas com desmatamento e, ao mesmo tempo, reverter a tendência histórica de crescimento econômico que tem levado a uma grande pressão sobre as áreas de floresta em pé.

O esforço voltado para a redução e/ou prevenção das emissões de carbono resultantes do desmatamento é, ainda, considerado como o de maior e mais rápido impacto para a mitigação das mudanças climáticas, segundo relatório do *IPCC* (*UNFCCC*, 2009). A realização de projetos ligados ao mercado de créditos de carbono também vem sendo discutida, considerando-se a viabilidade para o financiamento de reflorestamento em regiões biologicamente importantes.

Dentre as formas de redução de custos desses projetos, de modo a torná-los mais atrativos e financiáveis, Rambaldi *et al.* (2003) citam:

- diminuição dos custos de reflorestamento através de doação de mudas e trabalho voluntário;

- redução dos custos de gerenciamento local e manejo, graças a ganhos de escala;
- doações de recursos para o projeto de ONGs interessadas na preservação da biodiversidade;
- doações de empresas ou entidades que querem tornar suas operações neutras em carbono; e
- promoção de campanhas de adoção de corredores ecológicos junto a empresas privadas.

Em projetos de reflorestamento na Mata Atlântica, a venda de créditos de carbono não tem sido suficiente para compensar integralmente o investimento necessário para os proprietários de terra da região, sendo que os ganhos de receitas por outros serviços ambientais devem ser considerados para todas as comunidades. Sabendo-se que a qualidade da água, do ar e do solo traz benefícios tanto para os fazendeiros quanto para os moradores das cidades próximas, uma forma de estimular a realização de tais projetos poderá ser a definição dos direitos de propriedade dos serviços ambientais – como água, biodiversidade e ecoturismo – em favor dos proprietários de terra (Young, 2005).

Historicamente, os projetos florestais são considerados como de *segunda linha* dentro da Convenção do Clima. Isso fica evidente quando se observa que dentro do principal mercado de créditos de carbono do mundo, o Sistema de Comércio de Carbono Europeu (*ETS*), os créditos florestais via REDD ou MDL não podem ser comercializados. Usando os projetos de MDL como exemplo, tecnicamente estes funcionam da mesma maneira que os do *ETS*. As emissões evitadas devido à substituição de combustíveis fósseis por renováveis, o aumento da eficiência energética de um processo, entre outras, são calculadas, medidas e monitoradas. Assim, a emissão evitada decorrente da substituição, por exemplo, de um litro de óleo diesel por uma fonte renovável de energia é irreversível, o mesmo não acontecendo nos projetos florestais.

Até o ano de 2010, dos mais de 4.200 projetos em processo de avaliação pelo Comitê Executivo do MDL na ONU, 2.326 estavam registrados e 71 solicitaram o registro. Dos já registrados, somente quinze eram projetos de florestamento/reflorestamento, dos quais apenas dois brasileiros, o que mostra o fraco desempenho do setor. Contribuíram para isso, entre outros fatores, as limitações na regulamentação de projetos florestais e a mensuração dos créditos de carbono temporários. No entanto, existem 17 metodologias aprovadas pela ONU para projetos de florestamento e reflorestamento no âmbito do MDL (*UNFCCC*, 2010b).

Em relação ao crédito florestal, especificamente, o Serviço Florestal Brasileiro elaborou, em 2010, o Guia de Financiamento Florestal (GFF), buscando atender a uma grande demanda de informações sobre como financiar as diversas atividades florestais, desde o reflorestamento de áreas de reservas legais e áreas de preservação permanente, o plantio de essências nativas e de sistemas agroflorestais, *silvipastoris* e de florestas industriais, visando o abastecimento, principalmente, das demandas por carvão, energia e celulose (SFB, 2010b).

Nesse escopo, o GFF/2010 apresenta as principais informações sobre as linhas de crédito, seus beneficiários, limites de valores, taxas de juros, prazos de reembolso e carência, as garantias estipuladas e os agentes financeiros que as operam.

Considerando a quantidade de projetos na área de florestamento/reflorestamento e os incentivos de financiamentos florestais advindos do setor público, o Brasil apresentava, até 2009, cerca de 6,8 milhões de hectares de florestas plantadas, conforme Tabela 3.47, principalmente com espécies dos gêneros Eucalipto e Pinus, que representam 93% do total. Isso corresponde a apenas 0,8% da área do País e 1,3% do total das florestas (ABRAF, 2010).

Tabela 3.47: *Composição da área de florestas plantadas no Brasil até 2009*.

Espécie	Nome científico	Área – em hectares	%
Eucalipto	*Eucalyptus spp*	4.515.730	66,58
Pinus	*Pinus spp*	1.794.720	26,46
Acácia	*Acaciameamsii/A. mangium*	174.150	2,57
Seringueira	*Hevea brasiliensis*	128.460	1,89
Paricá	*Schizolobiumamazonicum*	85.320	1,26
Teca	*Tectonagrandis*	65.240	0,96
Araucária	*Araucaria angustifólia*	1.2110	0,18
Populus	*Populus spp*	4.030	0,06
Outras		2.740	0,04
Total		6.782.500	100

Fonte: Adaptada de ABRAF (2010).

O setor brasileiro de florestas plantadas vem apresentando aumento de produtividade, conforme mostra a Figura 3.68. Além dos fatores ambientais favoráveis para a *silvicultura*, novas tecnologias são utilizadas para aumentar a produtividade, tais como melhoramento genético de sementes e clonagem de espécies florestais. Com isso, o Brasil se destaca na produtividade florestal tanto de coníferas como de folhosas (SFB, 2010b).

Tendo em vista as restrições à aquisição de terras por empresas brasileiras de capital estrangeiro, determinadas pelo Parecer AGU no. 1/2008, qualquer novo plantio de florestas, por parte das associadas da ABRAF, destinado a ampliações de projetos já existentes ou novos, e o estabelecimento de novos projetos de empresas com maioria de capital estrangeiro interessadas em investir neste setor no País, estão impedidos. Em 2011, a área de plantio de Eucalipto totalizou 4.873.952 hectares, representando crescimento de 2,5% – 119.617 hectares – frente ao indicador de 2010, como mostra a Figura 3.68. O principal fator que alavancou esse crescimento foi o estabelecimento de novos plantios para fazer frente à demanda futura dos projetos industriais do segmento de papel e celulose. A área de plantios de Pinus totalizou 1.641.892 hectares em 2011, valor 6,5% inferior ao registrado em 2010, conforme Figura 3.68. Esse resultado corrobora a tendência de redução da área plantada de Pinus em prol da substituição por plantios de Eucalipto. Analisando o período de 2005 a 2011, a redução da área ocupada por Pinus foi de 189.593 hectares – -1,8% a.a. (ABRAF, 2012).

Figura 3.68 Histórico da área de plantios florestais no Brasil, 2005 a 2011.

Fonte: Anuário ABRAF (2011).

Considerando que novas plantações florestais estejam localizadas em áreas de pastagens degradadas, e que o Governo Federal propôs implementar outros 5,5 milhões de hectares até 2020, o potencial mitigador dessa medida seria de aproximadamente 0,70 Pg $CO_{2\ eq}$, já descontadas as emissões associadas à produção madeireira (Cerri *et al.,* 2010), sendo esse valor considerado modesto, dada a potencialidade de expandir a *silvicultura* no País.

Cerri *et al.* (2010) estimaram o potencial de sequestro e estoque de carbono para um cenário de aumento na área de plantações florestais, considerando que em 2020 a área de florestas atingiria 16,5 milhões de hectares – o triplo da área em 2005. Nesse caso, o potencial mitigador seria de quase 1 Pg CO_2eq acima do estimado no cenário das medidas governamentais.

1.2. MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL

Nas discussões atuais sobre as mudanças climáticas, em diferentes fóruns mundiais, tem sido considerado o uso da terra e das florestas como mecanismo para mitigar as mudanças climáticas causadas pelo efeito estufa. No entanto, por causa de incertezas científicas sobre as emissões de CO_2 decorrentes das atividades de desmatamento e sobre as taxas de desmatamento em todo o mundo, esse assunto gera, ainda, muita polêmica. Somente a partir do estabelecimento dos mecanismos de flexibilização no Protocolo de Quioto, em 1997, na terceira Convenção das Partes (COP-3), o foco da discussão migrou para o sequestro de carbono pelas florestas, como uma das alternativas de compensação das emissões dos países industrializados (Yu, 2002).

Diante da possibilidade da utilização das florestas como mitigador de problemas ambientais – climáticos –, é necessário utilizar um manejo florestal moderno, que requeira a integração entre floresta, indústria e mercado, a fim de maximizar o retorno financeiro e, ao mesmo tempo, garantir uma base sustentável do estoque de crescimento das florestas. Para isso, é importante que sejam desenvolvidas e utilizadas técnicas que visem identificar as oportunidades, as alternativas de uso e as estimativas de diferentes produtos que as florestas podem oferecer (Leite, 1994).

A exploração das florestas nativas nos biomas Amazônia, Caatinga e Cerrado tem sido historicamente realizada de forma largamente predatória. No caso do Cerrado, a pressão para a produção de lenha e carvão, aliada ao avanço da fronteira agrícola, tem ocasionado uma redução drástica da vegetação nativa. As práticas de manejo florestal com viabilidade econômica ainda são incipientes nesse bioma. Na Caatinga, as práticas de manejo são ainda restritas, ocasionadas por múltiplos fatores, incluindo baixa capacitação dos atores e deficiência na produção, escassez de sistematização e divulgação em larga escala de informação sobre como manejar esse ecossistema (Veríssimo, 2006).

Silva (2000) explica que a grande diversidade de espécies florestais, principalmente na floresta amazônica, aliada à grande pressão exercida pela sua exploração desordenada e predatória, torna imperativo que estudos sejam realizados, buscando esclarecer melhor, dentro dos aspectos formadores da estrutura florestal, aqueles que possam vir a subsidiar e garantir o seu manejo adequado. Os sistemas *silviculturais* propostos para o manejo das florestas naturais só serão eficientes na manutenção da produtividade da floresta se a extração das espécies for feita de modo responsável e houver um compromisso efetivo com a sustentabilidade dos recursos.

O manejo florestal destinado à produção madeireira em uma base sustentável ainda representa um grande desafio, dada a complexidade do ecossistema da floresta tropical. Para que as florestas naturais possam ser utilizadas em bases sustentáveis, com a adoção da técnica do manejo florestal preconizada pela legislação brasileira, é fundamental que se quantifique a capacidade de reposição dos estoques extraídos das espécies com mercado atual e daquelas com mercado potencial (Jardim e Soares, 2010).

No setor florestal, o prognóstico do estoque e rendimento da matéria-prima, com rapidez e confiabilidade, é de interesse de todo administrador. Ele possibilita que decisões sobre desempenho industrial, conjuntura organizacional e uso correto da matéria-prima sejam tomadas antecipadamente às situações adversas, reduzindo gastos e evitando perdas no processo produtivo. Portanto, como os inventários florestais são de grande importância para o planejamento de uma empresa florestal, o conhecimento confiável de seu consumo de matéria-prima e aproveitamento é imprescindível, pois permite ajustar para a indústria a quantidade ideal de madeira a ser consumida, resultando em sua sustentabilidade (Valério *et al.,* 2008).

Segundo a legislação brasileira que define as práticas de exploração madeireira em florestas naturais no bioma Amazônia (MMA, 2006), o diâmetro mínimo de corte (DMC) de cada espécie deve ser definido com base em estudos técnicos e, na ausência destes, poderão ser cortadas árvores com diâmetro à altura do peito igual ou superior a 50 cm. Entre outras práticas, a instrução normativa determina ainda que podem ser explorados até 90% dos indivíduos acima do DMC de uma espécie na área destinada ao manejo em um dado ano, podendo essa porcentagem ser reduzida, ou aumentada, de acordo com a distribuição *diamétrica* e outras características ecológicas da espécie em questão. Tais informações, contudo, não estão disponíveis para as espécies madeireiras da Amazônia Legal, com raras exceções (Grogan e Galvão, 2006; Grogan *et al.,* 2006; Lacerda, 2007).

Os mecanismos de sustentação dos ecossistemas manejados ainda não são adequadamente abordados pelos manejadores e nem pela legislação florestal brasileira em vigor, visto que vários aspectos ecológicos fundamentais são desconsiderados nos planos de manejo. A Instrução Normativa N° 4 (Diário Oficial da União, N°45 - Seção 1, 7 de março de 2002) estabelece critérios para manutenção da capacidade produtiva das florestas em longo prazo, tais como o controle do volume de madeira extraído por hectare, o ciclo de corte e algumas medidas *silviculturais* baseadas nas áreas das unidades de produção anual (UPA) e não em áreas com condições ambientais uniformes, que corresponderiam a comunidades ecológicas, com suas propriedades coletivas e emergentes estabelecidas dentro dos padrões e processos ecológicos conhecidos para as florestas tropicais (Alves e Miranda, 2008).

Os aspectos ecológicos têm ganhado importância dentro do manejo de florestas naturais. A atividade de manejo tem procurado estabelecer práticas *silviculturais* mais adequadas aos processos ecológicos (Buschbacher, 1990; Veríssimo *et al.,* 1999; Uhl e Vieira, 1989), especialmente aquelas que podem afetar o crescimento ou a viabilidade das populações (Noris e McCulloch, 2003).

Em estudo realizado por Francez *et al.* (2009), cujo objetivo era avaliar o impacto da exploração florestal na estrutura de uma floresta de terra firme na região de Paragominas, Pará, foi possível concluir que a estrutura da floresta, mesmo com pequenas alterações, não mostrou diferença significativa entre os três tratamentos aplicados – floresta não explorada, floresta onde houve colheita de fustes comerciais, e floresta com colheita dos fustes comerciais e dos resíduos lenhosos –, sugerindo que, com manejo adequado, mesmo com a retirada adicional dos resíduos, após a colheita de madeira, aplicando técnicas de exploração de impacto reduzido, a floresta deve continuar com suas características bem semelhantes à floresta original, embora em processo de recuperação do estoque volumétrico.

Em março de 2006, o Congresso Nacional aprovou a Lei n° 11.284, de Gestão de Florestas Públicas, que dispõe e estabelece três modelos de gestão para a produção sustentável:

- criação de Unidades de Conservação – florestas nacionais, estaduais e municipais,
- destinação não onerosa para uso comunitário, e
- concessão florestal.

A concessão florestal permite à pessoa jurídica, por meio de processo licitatório, praticar manejo

florestal sustentável para exploração de produtos e serviços em uma unidade de manejo florestal (UMF), sendo vedados:

- a titularidade imobiliária,
- o acesso ao patrimônio genético,
- o uso significativo dos recursos hídricos,
- a exploração mineral e da fauna, e
- a comercialização de crédito de carbono.

Para a gestão eficiente dos contratos de concessão florestal, é necessário que haja o monitoramento das atividades propostas e obrigações contratuais assumidas pelo concessionário e pelo Serviço Florestal Brasileiro (SFB), de forma a garantir a sustentabilidade das florestas, gerando benefícios sociais, econômicos e ambientais (SFB, 2010a).

O monitoramento dos contratos de concessão das florestas públicas federais considera (SFB, 2010b), dentre outros aspectos:

- a implementação do Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS),
- a proteção de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção,
- a proteção dos corpos d´água,
- a proteção da floresta contra incêndios,
- o desmatamento e explorações ilegais,
- a dinâmica de desenvolvimento da floresta,
- as condições de trabalho,
- a existência de conflitos socioambientais, e
- a qualidade da indústria de beneficiamento, como previsto no Decreto nº 6.063, de 20 de março de 2007.

O Serviço Florestal Brasileiro possui até este momento (em 2014), 480.000 hectares de área sob concessão florestal. São dez contratos de concessão distribuídos pelas seguintes Florestas Nacionais (Flonas): Jamari e Jacundá no estado de Rondônia, Saracá-Taquera e Crepori no estado do Pará. Além disso, a licitação para concessão da Floresta Nacional de Altamira/PA está em fase avançada e as quatro Unidades de Manejo Florestal desta Flona, que totalizam 362.000 hectares, devem ser concedidas até o final deste ano. Por fim, foi lançada em julho de 2014 a minuta do edital da licitação para concessão florestal de 180.000 hectares na Flona de Caxiuanã/PA (SFB, 2014).

1.3. Pagamento por serviços ambientais

O Brasil apresenta um grande potencial para a implantação de pagamento por serviços ambientais (PSA), com ofertas de serviços relacionados à biodiversidade – flora e fauna –, recursos hídricos e captura/retenção de carbono em suas áreas de vegetação nativa (Wunder *et al.,* 2009). Como são ações voluntárias, o PSA torna-se uma ferramenta que assegura uma renda mínima ao proprietário rural, em prol do benefício de manter áreas de floresta ou de savanas intactas. Do ponto de vista conceitual, os PSAs são mais apropriados para proprietários privados de terras e para moradores em terras públicas com direitos, de fato, ao uso sobre as terras que ocupam. Todavia, manter a conservação dos biomas nacionais torna-se um desafio tanto do ponto de vista ambiental como do econômico, haja vista o alto custo de oportunidade proveniente da expansão do agronegócio e de outras atividades antrópicas – como extrativismo, mineração e projetos hidrelétricos.

Nesse sentido, e como já mencionado, uma nova modalidade de PSA está sendo discutida como medida para o desmatamento evitado, REDD, que poderá, se regulamentado, financiar diretamente pequenos produtores locais, bem como fortalecer outras políticas ambientais.

Apesar da discussão do PSA, por enquanto incipiente, áreas de terras indígenas e unidades de conservação de uso sustentável também estão ameaçadas pelo contínuo processo de desmatamento (Garcia e Ferreira, 2009; Ferreira *et al.,* 2008), ainda que possuam uma situação fundiária

relativamente bem definida, tanto quanto os atuais projetos de assentamento do INCRA e outros mais antigos de colonização. Portanto, com uma política pública que privilegie a recompensa de pequenos agricultores e povos tradicionais (Wunder *et al.,* 2009), os PSAs nessas categorias fundiárias poderiam ser factíveis para reforçar ações de governança, tais como controle, fiscalização, bem como para cobrir os custos de oportunidade dos produtores rurais, extrativistas e agricultores familiares – visando à manutenção original dessas áreas (Richetts *et al.,* 2010; Nepstad *et al.,* 2009). Um levantamento feito pelo Serviço Florestal Brasileiro apontou 21 projetos de REDD no Brasil e uma iniciativa nacional, o Fundo Amazônia (SFB, 2010a). Os projetos de proteção e conservação da floresta, com base no REDD, abrangem, no País, cerca de 33,5 milhões de hectares. A maioria desses projetos está em fase de elaboração – 64% –, enquanto 27% estão em fase de implementação, e apenas dois em plena atividade. Majoritariamente, esses projetos ainda se localizam na área da Amazônia Legal, nos estados do Amazonas, Pará, Mato Grosso, Rondônia e Acre. Nesse grupo, o estado do Amazonas é o único que possui uma legislação específica sobre REDD+ em unidades de conservação. Fora desse bioma, existem dois projetos no Paraná – Mata Atlântica – e outro no Tocantins – Cerrado. Por fim, no Brasil já tramita no Congresso Nacional um projeto de Lei Federal de No 5.586/2009 que prevê a criação de um sistema nacional de REDD+ (CGEE, 2011).

1.4. BIOENERGIA

Buscando atender a tendência mundial por desenvolvimento de fontes de energia renováveis, e em consonância com a sua privilegiada localização geográfica, o Brasil estabeleceu o Plano de Agroenergia, que beneficia a expansão na participação do álcool-etanol e do biodiesel na Matriz Energética Nacional (Embrapa, 2005). Mesmo já possuindo um elevado percentual de energia renovável – 45% – em sua matriz energética, o governo brasileiro busca favorecer a comercialização desses produtos, induzindo a queima mais limpa e fortificando as bases energéticas de uma forma mais sustentável e menos emissora de GEEs (Borja, 2007).

Nessa nova fase, o setor sucroalcooleiro – etanol –, por exemplo, se expandiu significativamente, ampliando também alguns impactos ambientais, tais como alterações no clima local (Loarie *et al.,* 2011), desmatamentos/fragmentação de *habitats* – com redução imediata da biodiversidade –, além da prática de queimadas (Borja, 2007). Com uma produção praticamente consolidada na Região Sudeste do País, o setor vem avançando sobre áreas do Cerrado, mais especificamente na Região Centro-Oeste, entre estes o estado de Goiás – área *core* do bioma (Ribeiro *et al.,* 2009).

Devido a essa expansão canavieira para áreas do Cerrado, já se direcionando a outros biomas, como o Pantanal e a Amazônia, torna-se essencial o monitoramento ambiental e econômico dessa atividade (Alves e Wander, 2010; Ribeiro *et al.,* 2009). No caso específico de Goiás, a produção de etanol da cana-de-açúcar se intensificou a partir da primeira década de 2000, passando a coexistir com a produção já estabelecida de grãos – soja, milho e feijão –, algodão, arroz e pecuária – leiteira e corte – (Castro *et al.,* 2010). Entretanto, o crescimento desorganizado do cultivo da cana-de-açúcar neste estado, baseado na ampliação da área plantada e não no aumento de ganhos de produtividade, é apontado como um problema ambiental, principalmente pela ocupação de áreas com vegetação nativa – sobre fisionomias florestais e savânicas – e pela persistência no manejo com queimada na fase de pré-colheita dessa cultura (Ometto *et al.,* 2005; Borja, 2007).

Ainda que a região do Cerrado seja a principal área a ser explorada pela bioenergia nos próximos anos, essa é uma proposta ainda recente no País, devendo, progressivamente, estender-se até meados deste século para outras regiões, inclusive com a incorporação efetiva de outras tecnologias (Faleiro e Farias Neto, 2008).

2. EFETIVIDADE DE MITIGAÇÃO

2.1. ESTIMATIVAS DE POTENCIAL POR ÁREA E POR PRODUTO

A Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança no Clima (MCT, 2010b) apresenta a mudança do uso do solo e florestas como o setor de maiores emissões de GEEs no Brasil, com um total de 1,323 Tg de CO_2eq. A agricultura e pecuária estão incluídas em outro componente do inventário, e apresentaram um total de 438 Tg de CO_2eq de emissões anuais. Isso coloca o setor como o quarto maior emissor no País. Dessa forma, entende-se esses como setores com oportunidades particularmente importantes para mitigação das emissões nacionais.

Durante a 15ª COP, em Copenhague, no final de 2009, o Brasil anunciou metas voluntárias para redução das suas emissões de gases de efeito estufa, em 36,1 a 38,9% em relação às emissões projetadas em um cenário de manutenção da tendência para 2020. Para alcançar tais metas, o governo considera um corte de 20,9% nas emissões a partir da redução na taxa de desmatamento anual no bioma Amazônia em 80%, e um corte de 3,9% nas emissões de CO_2 no Cerrado, o que resultaria numa redução da taxa anual de desmatamento em 40%. Dessa forma, o componente de *mudança no uso do solo* do inventário nacional contribuiria com um corte de 24,8% – ou seja, cerca de 70% do total a ser reduzido (SFB, 2010a). Em termos de massa de carbono, essa redução representaria algo em torno de 105 e 560 Mt CO_2eq, respectivamente para a Amazônia e o Cerrado. Os setores agricultura e pecuária devem contribuir reduzindo a emissão em 133 a 166 Mt CO_2eq. De acordo com Cerri *et al* (2010), as opções para mitigação no setor agrícola no País, até 2020, estão entre 178,3 e 445 Mt CO_2eq.

Nos anos recentes, a efetividade em ações de mitigação têm produzido resultados mais consistentes na redução do desmatamento. Essa redução foi observada a partir da Comunicação Nacional, em 2005, até a estimativa do INPE em 2010 para a Amazônia (PRODES), e pelo IBAMA (SFB, 2010b) em relação ao desmatamento histórico do Cerrado (SFB, 2010b). De acordo com o IBAMA, a taxa de desmatamento no Cerrado para o período de 2003 a 2008 foi de 14.179 quilômetros quadrados. O exame dos dados publicados pelo mesmo órgão, referentes ao período de 2008 a 2009, mostra que esse valor foi reduzido para 7.636 quilômetros quadrados, com efeito substancial na redução das emissões de GEEs. Para a Amazônia, considerando um valor médio de desmatamento entre 2003 e 2005 – adotado pela Comunicação Nacional (MCT, 2010a) –, houve uma redução de 20.126 quilômetros quadrados, para 6.451 km^2 em 2010.

A mitigação do setor agrícola pode ser setorizada de algumas formas. A proposta aqui é que seja

- descrita nas seguintes ações:
- recuperação de pastos degradados,
- plantio direto na palha,
- integração lavoura-pecuária-floresta,
- colheita de cana-de-açúcar sem queima,
- fixação biológica de nitrogênio, e
- tratamento de resíduos animais.

O Ministério da Agricultura lançou o programa Agricultura de Baixo Carbono (Agricultura ABC), no qual a expectativa de redução nas emissões de gases de efeito estufa pelo setor são de 16 a 20 Mt de CO_2eq através do plantio direto na palha; 83 a 104 Mt de CO_2eq pela recuperação de pastagens degradadas; 18 a 22 Mt de CO_2eq pela implantação de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta; 10 Mt de CO_2eq pelo avanço tecnológico da fixação biológica de nitrogênio com o desenvolvimento genético de plantas e microrganismos; e 6,9 Mt de CO_2eq através do tratamento de 4.4 mm^3 de resíduos de suinocultura e outros resíduos animais (MAPA, 2010).

O Ministério da Agricultura indica que a área de plantio direto no Brasil é de aproximadamente

25,5 milhões de hectares, sendo cerca de 45% das áreas localizadas na Região Sul do Brasil (MAPA, 2010). As práticas agrícolas convencionais em regiões tropicais, que envolvam aração e gradagem, podem levar à degradação da qualidade do solo, que passa a requisitar aumento no uso de insumos, irrigação e pesticidas e, em geral, depreciam-no em sua concentração original de carbono. As técnicas de plantio direto, sem revolvimento anual do solo, têm o potencial de reverter esse processo, visando, além da mitigação das emissões de gases de efeito estufa à atmosfera, aumentar o conteúdo de C no solo.

Os princípios que pautam a adoção da produção por plantio direto são, de acordo com Bernoux *et al*. (2006):

- prevenção da impermeabilização superficial do solo causada pelo impacto direto da chuva na sua superfície,
- manutenção de uma estrutura aberta do solo, e
- redução do volume e velocidade do escoamento superficial.

No Brasil, a experiência de plantio direto tem cerca de 40 anos; entretanto, é recente a perspectiva de se considerar o aumento do teor de carbono no solo nesse sistema, como medida mitigatória.

De acordo com Lal (2004), o potencial de sequestro de carbono em solos brasileiros por plantio direto está em torno de 0,5 t C ha^{-1} ano^{-1}, nos primeiros 10 centímetros. Esta informação corrobora a de Six *et al.* (2002) que, em uma revisão de literatura sobre a dinâmica da matéria orgânica em solos temperados e tropicais no mundo, indicam um aumento relativo nos teores de carbono nos primeiros 40 centímetros de solo em áreas de agricultura sob plantio direto, em comparação ao plantio utilizando revolvimento do solo.

Vários estudos avaliando a variação no teor de matéria orgânica e carbono no solo em diversas regiões brasileiras são encontrados na literatura científica. Recentemente Bollinger *et al.* (2006) revisaram 40 trabalhos científicos publicados sobre o sistema de plantio direto no Brasil e variações no estoque de matéria orgânica no solo. No geral, a conclusão foi que, em sua grande maioria, os trabalhos indicam que no Brasil há um acúmulo de matéria orgânica no solo sob o sistema de plantio direto em comparação ao sistema convencional de agricultura, e que os agricultores podem influenciar o teor de matéria orgânica no solo a partir de rotação adequada de culturas, além de correção e fertilização apropriadas. No entanto, pela complexidade dos dados sobre os estoques e acúmulo de matéria orgânica, a taxa de acúmulo de carbono não é uniformemente representada (Bollinger *et al.,* 2006).

A variabilidade de situações, como tipos de solo, clima, situações topográficas, diferentes culturas, práticas agrícolas anteriores à implantação do sistema de plantio direto, período de agricultura convencional, entre outros, são fatores de variabilidade na determinação das taxas de acúmulo de carbono no solo. Outro aspecto importante a ser considerado na comparação entre estoques de carbono entre áreas de plantio convencional e de plantio direto, é que a camada a ser analisada deva ser de 0 a 20 centímetros de solo, já que as práticas de revolvimento na agricultura convencional envolvem no mínimo esse perfil no solo.

A forma de expressão dos resultados também varia na literatura, especialmente quando os autores consideram outros componentes do sistema, além do estoque de carbono no solo *per se*, e sua alteração ao longo do tempo. Bernoux *et al.* (2006) utilizam sequestro de carbono no solo em sistemas de plantio direto – por eles denominado *direct seeding multi-based cropping system* (*DMC*) –, comparado com sistema convencional de plantio, como o resultado do balanço líquido de todos os gases de efeito estufa, expresso como $CO_{2\ eq}$, computando as emissões de todas as fontes na interface solo-planta-atmosfera e todos os fluxos indiretos. Esses autores, a partir da revisão de 25 artigos publicados até então, encontraram valores para o acúmulo de carbono na camada de 0 a 40 centímetros em solos sob plantio direto, em comparação com áreas de agricultura convencional, entre 0,4-1,7 t C ha^{-1} ano^{-1} para áreas do Cerrado e 0.5-0.9 t C ha^{-1} ano^{-1} para a Região Sul.

Nesse mesmo trabalho, obtiveram os valores de 0.6-0.7 t C ha^{-1} ano^{-1} para a camada de 0 a 20 centímetros para todas as áreas contempladas nos trabalhos revisados. Por sua vez, Amado e Bayer (2008) mostraram que os valores médios para acúmulo de carbono em áreas de plantio direto para a região tropical – Mato Grosso do Sul – e subtropical no Brasil são de 0.08 t C ha^{-1} ano^{-1} e 0,17 t C ha^{-1} ano^{-1}.
Diante da enorme variabilidade divulgada nas revisões por Bernoux *et al*. (2006) e Bayer *et al*. (2006a), optou-se por apresentar alguns trabalhos ressaltando a especificidade das variáveis relevantes na determinação do balanço e acúmulo de carbono em sistemas agrícolas tropicais e subtropicais. Corbeels *et al*. (2006), trabalhando com 45 sítios amostrais no Cerrado, em uma *cronosequência* de áreas que estiveram sob monocultura de soja e sob cultivo direto na palhada de 0 a doze anos, identificaram um valor médio de acúmulo de carbono no solo – Geri-GibbsicFerralsol, Classificação da FAO – de 0,83 t C ha^{-1} ano^{-1}.

Por outro lado, Bayer *et al*. (2006a) apresentam um valor médio para o acúmulo de carbono em solos do Cerrado da ordem de 0,35 t C ha^{-1} ano^{-1}, e referem-se a valores de acúmulo para regiões de solos subtropicais brasileiros de 0,48 t C ha^{-1} ano^{-1}. Em outra análise, os autores encontram acúmulo de carbono entre 0,30 a 0,60 t C ha^{-1} ano^{-1} para latossolos vermelho de textura média e argilosa, respectivamente.

Na Região Sul do Brasil, Costa *et al* (2008) apresentam a avaliação do comportamento do estoque de carbono no solo em experimentos de produção agrícola de longa duração – 18 anos – no Rio Grande do Sul. Nesse caso, os plantios direto e convencional foram avaliados em sucessões agrícolas de aveia (*Avena strigosaSchreb*) / milho (*Zeamays L.)* e ervilhaca comum (*Vicia sativa L.*) / milho. Os resultados, comparados ao estoque de C no solo no início do experimento – 33,4 t ha^{-1} –, apresentaram balanço negativo de carbono sob plantio convencional – -0,31 t ha^{-1} ano-1 e -0,10 t ha^{-1} ano^{-1}, na primeira e segunda sucessões, respectivamente – e positivo – 0,15 t ha^{-1} ano^{-1} – sob plantio direto quando associado à sucessão o sistema *Vicia sativa L./Zeamays L.*

Amado *et al*. (2006) não identificaram variações no acúmulo de carbono em relação à textura do solo em sistemas de plantio direto, sendo que as taxas de acúmulo ficaram entre 0,12 a 0,59 t C ha^{-1} ano^{-1}. As maiores taxas estiveram associadas à rotação de cultura de milho com leguminosas – *Cajanuscajan* [L.] e *Stizolobiumcinereum* –, e ficaram entre 0,38–0,59 t C ha^{-1} ano^{-1}. Sistemas intensivos de produção também foram efetivos no acúmulo de carbono, com valores entre 0,25 e 0,34 t C ha^{-1} ano^{-1}.

3. IMPLICAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O termo *win-win* vem sendo muito utilizando nos últimos anos, por traduzir a ideia da combinação dos ganhos socioeconômicos e ambientais (Sachs, 1994). Em sua ação política ambiental, esse modelo estimula a eficiência produtiva na relação insumo-produto, bem como a utilização de tecnologias limpas que geram menos resíduos e menor consumo de matérias-primas (Neumann e Loch, 2002).

Um exemplo é o sequestro de carbono florestal – nativa ou por reflorestamento –, que tem como argumento favorável a eficiência econômica e inúmeros benefícios ambientais – como proteção do solo, manutenção de nascentes/ciclo da água e do clima local, proteção da biodiversidade, etc. No âmbito internacional, todos ganhariam com a implementação da gestão *win-win*: de um lado os países industrializados, com compromissos de redução das emissões de gases de efeito estufa por parte de suas grandes empresas – normalmente emissoras de CO_2 –, e de outro, os países hospedeiros dos projetos para o sequestro de carbono (Chang, 2002). Se seguir com essa vertente, que valoriza projetos de atividades com sinergias, o Brasil poderá se destacar com a oferta de investimentos ambientais na área florestal, com possíveis avanços na geração de renda e emprego para as populações locais, melhoria qualitativa em seu meio ambiente, além de contribuir para a

mitigação do aquecimento global.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abal, 2008: Anuário estatístico. Associação Brasileira de Alumínio (Abal). Disponível em http://www.abal.org.br/. Acessado em 23/09/2008. (Para este e outros anuários que não o do ano da consulta, solicitar informações à Abal)

Abdala, G.C., 1993:Análise energética de um cerrado e sua exploração por atividade de carvoejamento rústico. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, DF.

Abdon, M.M. *et al.*, 2007: Desmatamento no bioma Pantanal até o ano 2002: relações com a fitofisionomia e limites municipais. *Revista Brasileira de Cartografia*, **59**(1), 17-24.

Abipecs, 2011: Estatísticas do setor. Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suín (Abipecs). Disponível em http://www.abipecs.org.br/pt/estatisticas/mercado-interno.html. Acessado em 1°/03/2012.

Abividro, 2008: Reciclagem de vidro no Brasil. Disponível em http://www.abividro.org.br/. Acessado em 10/08/2008.

ABNT, 2005: NBR 15.220: Desempenho térmico de edificações. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro, RJ.

ABNT, 2008: NBR 15.575: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro, RJ.

Abraf, 2010: Anuário estatístico da Abraf 2010, ano base 2009. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (Abraf).Brasília, DF. 140 pp. Disponível em http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp

Abraf, 2011: Anuário Estatístico da Abraf 2011, ano base 2010.Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (Abraf). Disponível em http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp. Acessado em 26/09/2012.

Abraf, 2012: Anuário Estatístico da Abraf 2012, ano base 2011. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (Abraf). Brasilia, DF, 150 pp. Disponível em http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp

Abrava, 2011: Dados de mercado 2010. Associação Brasileira de Ar-Condicionado, Refrigeração, Ventilação (Abrava) e Departamento Nacional de Aquecimento Solar (Dasol), São Paulo, SP. Disponível em http://www.dasolabrava.org.br/informacoes/dados-de-mercado/dados-de-2010/

Abreu, F.V., 2011: *Biogás de lixo em aterros sanitários. Uma análise de viabilidade técnica e econômica do seu aproveitamento energético*. São Paulo, SP: Editora Blucher.

Aceituno, P., 1988:On the functioning of the Southern Oscillation in the South-American sector.1. surface climate. *Monthly Weather Review*, **116**(3), 505-524.

Aciesp, 1997: *Glossário de ecologia*. 2ª ed. São Paulo, SP: Academia de Ciência do Estado de São Paulo (Aciesp). 352 pp.

Adámoli, J., 1982: O Pantanal e suas relações fitogeográficas com os cerrados: discussão sobre o conceito de complexo do Pantanal. pp.109-119. In:*Anais do 32° CNB-SBB*. 32°Congresso Nacional

da Sociedade Botânica do Brasil, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 1981, PI.

AEB, 2012: Radiografia do comércio exterior brasileiro: passado, presente e futuro. Associação de Comércio Exterior do Brasil (AEB). Rio de Janeiro, RJ, 45 pp. Disponível em http://www.aeb.org.br/userfiles/file/AEB%20-%20Radiografia%20Com%C3%A9rcio%20Exterior%20Brasil.pdf. Acessado em 2/05/2013.

Aguiar, A.P.D. *et al*., 2012:Modeling the spatial and temporal heterogeneity of deforestation-driven carbon emissions: the INPE-EM framework applied to the Brazilian Amazon.*Global Change Biology*, **18**(11), 3346-3366.

Aguiar, D.A. *et al*., 2011: Remote sensing images in support of environmental protocol: monitoring the sugarcane harvest in São Paulo state, Brazil. *Remote Sensing*, **3**, 2682-2703.

Aita, C.*et al*., 2006: Dinâmica do nitrogênio no solo e produção de fitomassa por plantas de cobertura no outono/inverno com o uso de dejetos de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **30**, 901-910.

Aita, C. *et al*., 2007: Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema de plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **42**, 95-102.

Aizpuru, M. *et al*., 2000: Global assessment of cover change of the mangrove using satellite technology at medium to high resolution. In EEC Research Project n° 15017-1999-05 FIED ISP FR. Joint Research Center, Ispra, Italy.120 pp.

Alencar, A. *et al*.,2006: Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO and non-ENSO years: area burned and committed carbon emissions. *Earth Interact.*, 10, 1-17. Disponível em *http://dx.doi.org/doi:10.1175/EI150.1*.

Alencar, A., 2004: O desenvolvimento que queremos: ordenamento territorial da BR-163, Baixo Amazonas, Transamazônica e Xingu. In: Relatório do Encontro.Maio, 29-31.[IPAM, ISA, FVPP, Fetagri BAM, FORMAD, FVPP, CEFTBAM, Fórum BR-163, GTA (Orgs.)], Santarém, PA.

Almeida, C.M. *et al*., 2003:Stochastic cellular automata modeling of urban land use dynamics: empirical development and estimation. *Computers,Environment and Urban Systems*, **27**, 481-509.

Almeida, M.G., 2003: Cultura ecológica e biodiversidade. *Mercator*, **2**(3), 71-82.

Alsema, E., 2001: ICARUS-4 Sector Study for the Refineries. The Netherlands: Department of Science, Technology and Society. Utrecht University. Report nr NWS-E-2001-26. Disponível em http://copernicus.geog.uu.nl/uce-uu/downloads/Icarus/Refineries.pdf.Acessado em 15/06 2009.

Altieri, M.A., 2009a: Agroecology, small farms, and food sovereignty. *Monthly Review*. **6**1(3), 102-113.

Altieri, M.A., 2009b: The ecological impacts of large-scale agrofuel monoculture production systems in the Americas. *Bulletin of Science, Technology & Society*, **29**, 236-244.

Alves, B.J.R. *et al*., 2003: The success of BNF in soybean in Brazil. *Plant and Soil*, **252**(1), 1-9.

Alves, D.S., 2007: Science and technology and sustainable development in Brazilian Amazon. pp 491-510. In: *Stability of Tropical Rainforest Margins* [Tscharntke, T. *et al* (Eds.)]. Environmental Science and Engineering. Disponível em http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-30290-2_23.

Alves, H.Q. *et al*., 2011: Geoprocessamento como ferramenta para averiguar o Cadastro Ambiental Rural realizado no estado de Mato Grosso. pp. 4225-4232. In: *Anais do XV SBSR*.XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 30 de abril a 5 de maio,Curitiba, PR.

Alves, J.C.Z.O e I.S. Miranda, 2008: Análise da estrutura de comunidades arbóreas de uma floresta amazônica de Terra Firme aplicada ao manejo florestal. *Acta Amazonica,* **38**(4), 657-666.

Alves, J.M.B. *et al*., 1998:Produção agrícola de subsistência no estado do Ceará com ênfase aos anos de ocorrência de El Niño e La Niña. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, **6**(2), 249-256.

Alves, N.C.G.F. e A.E. Wander, 2010:*Competitividade da produção de cana-de-açúcar no cerrado goiano*. Mestrado Profissional em Desenvolvimento Regional. Faculdades Alves Farias (Alfa), Goiânia, GO, 150 pp. Disponível em http://www.alfa.br/biblioteca/artigos/artigo_20091123d.pdf.

Alvim, C.F. e J.I. Vargas, 2009: Metas brasileiras para o clima.*Economia & Energia*. **75**. Disponível em http://ecen.com/eee75/eee75p/metas_brasil.htm.

Amado, T.J.C. *et al*., 2006: Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in Southern Brazil. *Journal of Environmental Quality*, **35**, 1599-1607.

Amador, G.A., 2006:*Composição florística e caracterização estrutural de duas áreas de Carandazais nas subregiões do Miranda e Nabileque, Pantanal Sul mato-grossense*. Dissertação de Mestrado em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 55 pp.

Amaral, P. *et al*., 1998: *Floresta para sempre. Um manual para produção de madeira na Amazônia*. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon). Belém, PA.

Amarante O.A.C. *et al*., 2007: Atlas do Potencial Eólico do Estado do Paraná, 47 pp. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Latec), Companhia Paranaense de Eenergia (Copel) e Camargo Schubert Engenharia Eólica. Curitiba, 55 pp. Disponível em http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas_do_Potencial_Eolico_do_Estado_do_Parana.pdf

Amarante O.A.C. *et al*., 2008: Estado de Alagoas: Atlas Eólico, 67 pp. Universidade Federal de Alagoas,Maceió (AL), Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Latec), e Camargo Schubert Engenharia Eólica. Eletrobrás, Programa de Desenvolvimento Tecnológico e Industrial. Centrais Elétricas Brasileiras (Eletrobras).

Amarante, O.A.C. e F.J.L. Silva, 2001: Atlas do Potencial Eólico do Estado da Bahia, 61 pp.Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (Coelba), Salvador, BA, Iberdrola Empreendimentos do Brasil e Camargo Schubert Engenharia Eólica. Disponível em http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_eolico_BA.pdf.

Amarante, O.A.C. e F.J.L. Silva, 2002: Atlas Eólico: Rio Grande do Sul, 70 pp.. Secretaria de Energia Minas e Comunicações (SEMC) do Estado do Rio Grande do Sul,Porto Alegre, RS, e Camargo Schubert Engenharia Eólica, Disponível em http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_eolico_RGS.pdf.

Amarante, O.A.C. e F.J.L. Silva, 2010: Atlas Eólico: Minas Gerais, 84 pp. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico, Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig),Belo Horizonte, MG, e Camargo Schubert Engenharia Eólica. Disponível emhttp://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_eolico_MG.pdf.

Amarante, O.A.C. *et al*., 2001a: Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, 45 pp. Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (Cepel), MME, Brasília, TrueWind Solutions e Camargo Schubert Engenharia Eólica.

Disponível em http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf.

Amarante, O.A.C. *et al.*, 2001b: Atlas do Potencial Eólico do Estado do Ceará. Secretaria de Infraestrutura do Estado do Ceará (Seinfra), MME, Brasília, TrueWind Solutions e Camargo Schubert Engenharia Eólica.

Amarante, O.A.C. *et al.*, 2002: Atlas eólico do Estado do Rio de Janeiro, 83 pp. Secretaria de Estado de Energia, da Indústria Naval e do Petróleo (Seinpe),Rio de Janeiro, RJ, Sociedade Fluminense de Energia (SFE)e Camargo Schubert Engenharia Eólica. Disponível em http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/AtlasEolicoRJ.pdf.

Amarante, O.A.C. *et al.*, 2003: Potencial Eólico do Estado do Rio Grande do Norte. Companhia Energética do Rio Grande do Norte(Cosern), Natal, RN, Iberdrola Empreendimentos do Brasil e Camargo Schubert Engenharia Eólica. Disponível em http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_eolico_rgn.pdf

ANA, 2006: Atlas Nordeste: abastecimento urbano de água.Alternativas de oferta de água para as sedes municpais da Região Nordeste do Brasil e do norte de Minas Gerais, 80 pp.Ministério do Meio Ambiente (MMA), Agência Nacional de Águas (ANA), Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Consórcio Engecorp/Projete/Geoambiente/Riverside Technology. ANA/SPR, Brasília, DF.

ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003: Diagnóstico Analítico do Pantanal e Bacia do Alto Paraguai (Projeto GEF Pantanal/Alto Paraguai) . Resumo Executivo. Subprojeto 9.4A – Elaboração do Diagnóstico Analítico do Pantanal e Bacia do Alto Paraguai (DAB). Implementação de Práticas de Gerenciamento integrado de Bacia Hidrográfica para o Pantanal e Bacia do Alto Paraguai.

Anac, 2009: Anuário do Transporte Aéreo. Dados Estatísticos e Econômicos. 2ª ed. Agência Nacional de Aviação Civil (Anac), Rio de Janeiro, RJ.

Anda,2011: Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes. Associação Nacional para Difusão de Adubos (Anda),São Paulo, SP. 176 pp.

Andersen, L.E. e E.J. Reis, 1997:Deforestation, development and government policy in the Brazilian Amazon: an econometric analysis.Texto para Discussão 513, 24 pp. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), Rio de Janeiro, RJ.

Andrade-Lima, D.A., 1981: The Caatinga dominium. *Revista Brasileira de Botânica*. **4**(1), 149-153.

Andreae, M.O. *et al.*, 2004: Smoking rain clouds over the Amazon. *Science*, **303**(5662),1337-1342. doi:10.1126/science.1092779.

Aneel , 2012c: Banco de Informações de Geração (BIG) . Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), Brasília, DF.Disponível emhttp://www.aneel.gov.br. Acessado em 1°/11/2012.

Aneel, 1998: Resolução Normativa nº 394/1988, de 4 de dezembro de 1998. Estabelece os critérios para o enquadramento de empreendimentos hidrelétricos na condição de pequenas centrais hidrelétricas.

Aneel, 1999: Resolução Normativa nº 371/1999, de 29 de dezembro de 1999. Regulamenta a contratação e comercialização de reserva de capacidade por autoprodutor ou produtor independente, para atendimento a unidade consumidora diretamente conectada às suas instalações de geração. Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), Brasília, DF. Disponível em http://www.aneel.gov.br. Acessado em 1°/11/2011.

Aneel, 2003: Resolução Normativa nº 652/2003, de 9 de dezembro de 2003. Estabelece os critérios para o enquadramento de aproveitamento hidrelétrico na condição de Pequena Central Hidrelétrica (PCH). Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), Brasília, DF. Disponível em http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003652.pdf.

Aneel, 2004: Resolução Normativa nº 83/2004, de 20 de setembro de 2004. Estabelece Estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por intermédio de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes, SIGFI. Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), Brasília, DF. Disponível em http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003652.pdf. [Revogada pela REN ANEEL 493, de 5/06/2012].

Aneel, 2006: Resolução Normativa nº 235/2006. Estabelece os requisitos para a qualificação de centrais termelétricas cogeradoras de energia e dá outras providências. Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), Brasília, DF. Disponível em http://www.aneel.gov.br. Acessado em 1º/11/2011.

Aneel, 2008: Resolução Normativa nº 304/2008. Altera dispositivos da Resolução nº 371, de 29 de dezembro de 1999, que regulamenta a contratação e comercialização de reserva de capacidade por autoprodutor ou produtor independente para atendimento a unidade consumidora diretamente conectada às suas instalações de geração, e dá outras providências. Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), Brasília, DF. Disponível em http://www.aneel.gov.br. Acessado em 1º/11/2011.

Aneel, 2009: Resolução Normativa nº 389/2009. Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), Brasília, DF. Disponível em http://www.aneel.gov.br. Acessado em 1º/11/2011.

Aneel, 2010a: Resolução Normativa nº 399/2010. Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), Brasília, DF. Disponível em http://www.aneel.gov.br. Acessado em 1º/11/2011.

Aneel, 2010b: Nota Técnica nº 0043/2010.Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel),Brasília, DF. Disponível em http://www.aneel.gov.br.

Aneel, 2011a: Banco de Informações de Geração (BIG). Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), Brasília, DF.Disponível em:http://www.aneel.gov.br. Acessado em 1º/07/2011.

Aneel, 2011b: Banco de Informações e Geração (BIG). Capacidade Instalada por Estado. Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), Brasília, DF.Disponível em http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual/ResumoEstadual.asp.Acessado em 1º/06/2011.

Aneel, 2011c: Chamada nº 013/2011. Projeto de Pesquisa & Desenvolvimento Estratégico "Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira". Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), Brasília, DF.

Aneel, 2012a: Chamada nº 014/2012. Projeto Estratégico: "Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração de Energia Elétrica a partir de Biogás Oriundo de Resíduos e Efluentes Líquidos na Matriz Energética Brasileira". Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), Brasília, DF.

Aneel, 2012b: Resolução.Normativa nº 482 de 17/04/2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), Brasília, DF. Disponível em http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf. Acessado em 20/04/2012.

Aneel, 2013: Banco de Informações de Geração (BIG).Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), Brasília, DF.Disponível em:http://www.aneel.gov.br. Acessado em1º/05/2013.

Angelsen, A. (Ed.), 2008:*Moving ahead with REDD: Issues, options and implications*. Center for International Forestry Research (Cifor), 156 pp. Bogor: Indonesia. Disponível em http://www.cifor.cgiar.org/publications/pdf_files/Books/Bangelsen0801.pdf.

Angonese, A.R. *et al*., 2007: Potencial de redução de emissão de equivalente de carbono de uma unidade suinícola com biodigestor. *Engenharia Agrícola*, **27**(3), 648-657

Angulo, S.C. *et al*., 2001: Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. In: *Anais IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: Materiais Reciclados e suas Aplicações*.43-56pp. Comitê Técnico Meio Ambiente do Instituto Brasileiro do Concreto (Ibracon), São Paulo, SP. Disponível em http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/AnaisComiteCT206IV-seminario.pdf. Acessado em 1°/03/2010.

Antaq, 2009: Anuário Estatístico Portuário 2009. Agência Nacional de Transportes Aquaviários (Antaq). Disponível em www.antaq.gov.br/portal/anuarios/portuario2009/index.htm. Acessado em 2/05/2011.

ANTP, 2011: Relatório Comparativo 2003-2011. Sistema de Informações da Mobilidade Urbana. Associação Nacional dos Transportes Públicos (ANTP), São Paulo, SP.

ANTT, 2009: Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres (AETT). Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). Disponível em http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/10868/Ano_2009.html. Acessado em 1°/04/2011.

Aragão, L.E.O.C. eY.E. Shimabukuro, 2010:The incidence of fire in Amazonian forests with implications for REDD. *Science*, **328**(5983), 1275-1278. doi:10.1126/science.1186925.

Araújo, F.M. e L.G. Ferreira Jr., 2011: Validação do produto MODIS MCD45 A1 área queimada utilizando imagens Landsat-TM para o bioma Cerrado,pp. 6410-6417. In: *Anais do:XV SBSR*.XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 30 de abril a 5 de maio, Curitiba, PR.

Araújo, F.M.A. *et al*., 2012. Distribution patterns of burned areas in the Brazilian biomes: an analysis based on satellite data for the 2002-2010 period. *Remote Sens*., **4**, 1929-1946. doi:10.3390/rs4071929.

Araújo, F.S. *et al*., 2005: Análise das variações da biodiversidade do bioma Caatinga. Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF.

Araújo, V.M.D., 1996: *Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro*. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 179 pp.

Arieira, J. eC. Nunes da Cunha, 2006: Fitossociologia de uma floresta inundável monodominante de *Vochysia divergens* Pohl (Vochysiaceae) no Pantanal Norte, MT, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, **20**(3), 569-580.
ASHRAE,2004: Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE),Atlanta, GA.

Assad, E.D. e H. Silveira Pinto, 2008: Aquecimento global e cenários futuros da agricultura brasileira. São Paulo: Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (Cepagri) / Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Disponível (nova versão) em http://www.agritempo.gov.br/climaeagricultura/CLIMA_E_AGRICULTURA_BRASIL_300908_FINAL.pdf.

Assad, E.D. *et al*., 2004: Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. *Pesq. agropec. bras.*, **39**(11), 1057-1064.

Assad, E.D., 2007: Mudanças climáticas e agricultura: uma abordagem agroclimatológica. *Ciência & Ambiente*, **34**, 169-182.

Ault, G.W. eJ.R. Macdonald, 2000: Planning for distributed generation within distributed networks in restructured electricity markets. *IEEE Power Engineering Review,* **20**(2), 2-54.

Avisssar, R. *et al*., 2002:The large-scale biosphere-atmosphere experiment in Amazonia (LBA): insights and future research needs. *Journal of Geophysical Research*, **107**(D20), LBA 54-1 a LBA 54-6.

Babujia, L.C. *et al*., 2010: Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian Oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. *Soil Biology and Biochemistry*, **42**, 2174-2181.

Bairros, A. *et al*., 2007: Uso da terra na região Metade Sul - RS. Resumos do II Congresso Brasileiro de Agroecologia.*Revista Brasileira de Agroecologia*, **2**(1),1430-1433.

Baitelo, R.*et al*., 2009: Perspectivas de políticas públicas para energias renováveis no Brasil. In: The 8th Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission (CLAGTEE), 18-22 dezembro, Ubatuba, SP.

Baker, W.L., 1989:A review of models of landscape change. *Landscape Ecology*, **2**(2), 111-133.

Balbino, L.C. *et al*., 2011: Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **46**(10), 1-21.

Banco do Brasil, 2010: Project Finance contratados em 2010. Disponível em http://www.bb.com.br/docs/pub/inst/dwn/PrinciEquador2010.pdf. Acessado em 1°/07/2011.

Banister, D., 2008: The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, **15**(2), 73-80.

Barbosa, H.A. e A.G. Erturk, 2009: Using multispectral SEVIRI radiances at the top of deep convective storm as a powerful tool for short prediction in Brazil. In: *Proceedings of the5th ECSS 2009*. 5th European Conference on Severe Storms, Landshut, Germany, 12-16 October. Disponível em http://www.essl.org/ECSS/2009/preprints/O07-7-barbosa.pdf.

Barbosa, H.A. e L. Kumar, 2011. Strengthening regional capacities for providing remote sensing decision support in drylands in the context of climate variability & change. Chapter 20. In: *International Perspectives on Global Environmental change* [Young, S.S. e S.E. Silvern (Eds.)],. Rijeka, Croatia: Intech

Barbosa, H.A. *et al*., 2006:A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. *Journal of Arid Environ*., **67**(2), 288-307.

Barbosa, H.A., 1998:*Análise espaço temporal de índice de vegetação AVHRR/NOAA e precipitação na região Nordeste do Brasil em 1982-85*. Dissertação de Mestrado. Divisão de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), São José dos Campos,SP.

Barbosa, R.I. eP.M. Fearnside, 1999:Incêndios na Amazônia brasileira: estimativa da emissão de gases do efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na passagem do evento "El Niño" (1997/98). *Acta Amazonica,* **29**(4), 513-534.

Barona, E. *et al.*, 2010: The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, **5**(2), 024002, 9 pp.

Barros Filho, A.M. 2007: *Consumo desagregado de energia elétrica por uso final em shopping centers na cidade de São Paulo, estudo de casos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 90 pp.

Barros, R.P. *et al.*, 2011: Portas de saída, inclusão produtiva e erradicação da extrema pobreza no Brasil. Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE), Série Chamada para Debate, Texto para Discussão. Brasília, DF, 11 pp. Disponível em http://www.sae.gov.br/site/?p=7196. Acessado em 1°/09/2011.

Batista, N.N. *et al.*, 2011: Energy efficiency labeling of buildings: an assessment of the Brazilian case. *Energy and Buildings*, **43**, 1179-1188.

Batjes, N.H. e J.A. Dijkshoorn, 1999: Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon Region, *Geoderma,***89**(3-4), 273-286.

Batjes, N.H., (1998). Mitigation of atmospheric CO_2 concentrations by increased carbon sequestration in the soil. *Biology and Fertility of Soils*, **27**(3), 230-235.

Bayer, C. e J. Mielniczuck, 1999: Dinâmica e função da matéria orgânica. Cap. 2, pp. 9-26. In: *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. [Santos, G.A. e F.A.O. Camargo (Eds.).].Porto Alegre, RS: Editora Gênesis.

Bayer, C. *et al.*, 2006a: Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil & Tillage Research*, **86**(2), 237-245.

Bayer, C. *et al.*, 2006b: A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. *Soil & Tillage Research*, **91**(1-2), 217-226.

Bayer, C.,2002: Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. *Plant and Soil*, **238**(1), 133-140.

Belo Horizonte, 2007: Projeto de Lei Municipal n° 1.390/2007. Dispõe sobre a instalação de sistema de aquecimento de água por energia solar nas novas edificações que menciona. Disponível em http://www.cidadessolares.org.br/downloads/leis/PI13900001_BeloHorizonte.pdf.

Berchielli, T.T. *et al.*, 2011: Effects of lipid sources in steers performance and methane emission finished in feedlot.*Advances in Animal Biosciences*, **2**(2), 405-570. doi:10.1017/S2040470011002809.

Berchielli, T.T., 2003: Determinação da produção de metano e pH ruminal em bovinos de corte alimentados com diferentes relações volumoso:concentrado. In: *Anais da Reunião da SBZ-40*. 40ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, , Santa Maria, RS.

Berlato, M.A. e D.C. Fontana, 2003: *El Niño e La Niña. Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul*. Aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 110 pp.

Bernoux, M., 2006: Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil, a review. *Agronomy for Sustainable Development*, **26**(1), 1-8.

Bettolli, M.L. *et al*., 2010: Pastura natural de salto (Uruguay): relación con la variabilidad climática y análisis de contextos futuros de cambio climático. *Revista Brasileira de Meteorologia*, **25**(2), 248-259.

Betts, A. K. *et al*., 2004b: Coupling between CO_2, water vapor, temperature and radon and their fluxes in an idealized equilibrium boundary layerover land. *Journal of Geophysical Research*, **109** (D18103).doi:10.1029/2003JD00442.

Betts, A.K. *et al*., 2004a: The role of ecosystem-atmosphere interactions in simulated Amazonian precipitation decrease and forest dieback under global climate warming. *Theor. Appl. Climatol*., **78**, 157-175. doi 10.1007/s00704-004-0050-y

Bhattacharjee, R.B. *et al*., 2008: Use of nitrogen-fixing bacteria as biofertilizer for non-legumes: prospects and challenges. *Applied Microbiology and Biotechnology*, **80**, 199-209.

BID, 2008: "O capital privado impulsiona a energia 'verde'". Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), Washington, DC. *BID América*, a revista do Banco Interamericano de Desenvolvimento, entrevista publicada *online* em abril de 2008. Disponível em http://www.iadb.org/idbamerica/index.cfm?thisid=4575. Acessado em 1°/07/2011.

Bittencourt, L. *et al*., 2007: Estudo do desempenho do peitoril ventilado para aumentar a ventilação natural em escolas de Maceió, AL. *Ambiente Construído*, 7(3), 59-69.

Blomen *et al*; 2009: Capture technologies: Improvements and promising developments. Energy Procedia, 1 (1), 1505-1512. Greenhouse Gas Control Technologies 9. Proceedings of the 9th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-9), 16-20 November 2008, Washington DC, USA.

BNDES, 1999: Transporte hidroviário urbano de passageiros. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Área de Projetos de Infraestrutura Urbana, Rio de Janeiro, RJ, *Cadernos de Infraestrutura*, n°13, Setembro.

BNDES, 2011: "BNDES aprova crédito de R$ 1,8 bilhão para 26 parques eólicos no Nordeste. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)". Disponível em http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Sala_de_Imprensa/Noticias/2011/todas/20111213_Energia_eolica_RN.html. Acessado em 1°/07/2011.

Boddey, R.M. *et al*., 2004: Nitrogen cycling in *Brachiaria* pastures: the key to understanding the process of pasture decline. *Agriculture,Ecosystems and Environment*, **103**, 389-403.

Boddey, R.M. *et al*., 2008: Bio-ethanol production in Brazil. pp. 321-355. In: *Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems. Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems* [Pimentel, D. (Org.)]. Berkeley, CA: Springer.

Boddey, R.M. *et al*., 2010: Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. *Global Change Biology*, **16**, 784-795.

Bogo, A.J. *et al*., 2009: Método para caracterização do comportamento luminoso de aberturas com elementos de controle solar. *Ambiente Construído*, **9**(3), 109-124.

Boisen, P. 2009: Worldwide NGV shares in total vehicle. Worldwide NGV Statistics, Natural and bio Gas Vehicle Association (NGVA) Europe, Madri, ES, Bruxelas, BE.

Boldrini, I.I. *et al*., 2010:*Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica*. Porto Alegre, RS: Editora Pallotti, 64 pp.

Boldrini, I.I., 1997:Campos do Rio Grande do Sul, caracterização fisionômica e problemática ocupacional. *Boletim do Instituto de Biociências*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 39 pp.

Bolliger, A. *et al*., 2006: Taking stock of the Brazilian "Zero-Till Revolution": a review of landmark research and farmers' practice. *Advances in Agronomy*, **91**, 47-64.

Bolund, P. e S. Hunhammar, 1999: Ecosystem services in urban area. *Ecological Economics*, **29**, 293-301.

Bonelli, R. e R. Gonçalves, 1999: Patterns of Industrial development in Brazil 1980-95 and beyond. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) Working Papers Series 68.Rio de Janeiro, RJ:

Borba, B.S.M.C. *et al*., 2012: Energy-related climate change mitigation in Brazil: Potential, abatement costs and associated policies. *Energy Policy*, **49**, 430-441.

Borges, E. *et al*., 2007: Sistemas fotovoltaicos domiciliares: teste em campo de um modelo sustentável de eletrificação rural. In: *Anais do II CBEE*.II Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, da Associação Brasileira de Engenheiros Eletricistas(ABEE), 7 pp.

Borges, F.T.M., 1991: *Do extrativismo à pecuária: algumas observações sobre a história econômica de Mato Grosso (1870 a 1930)*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Economia, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

Borja, A.G.B., 2007. *Potencialidade do canavial brasileiro em mitigar os gases de efeito estufa*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Agronegócios**.** Disponível em http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp049792.pdf.

Borja, A.G.B.,2011:Quantification of greenhouse gases emission from sugarcane burnings: a study case in savanna areas of Brazil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, **22**, 60-65.

Boschetti, L. *et al*., 2009:MODIS Collection 5 Burned Area Product (MCD45) User's Guide version 2.0, 30 pp. U.S. National Aeronautics and Space Administration (Nasa). Disponível em https://earthdata.nasa.gov/sites/default/files/field/document/MODIS_Burned_Area_User_Guide_2.0.pdf

Botelho C. *et al*., 2003: Fatores ambientais e hospitalizações em crianças menores de cinco anos com infecção respiratória aguda. *Cad. Saúde Públ.*, **19**(6), 1771-1780.

Bowman, D.M.J.S. *et al*., 2009:Fire in the Earth System. *Science*,**324**(5926), 481-484.

Bracelpa, 2008: Dados Estatísticos sobre o segmento (reciclagem). Associação Brasileira de Celulose e Papel (Bracelpa). Disponível em http://www.bracelpa.org.br. Acessado em 11/09/2008.

Bracelpa, 2011: Dados estatísticos sob o segmento (reciclagem). Associação Brasileira de Celulose e Papel.. Disponível em: http://www.bracelpa.org.br. Acessado em e 1°/11/2011.

Braga, C.C. *et al*., 2003:Tempo de resposta da vegetação às variabilidades sazonais da precipitação no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, **11**(1), 149-157.

Brando, P., 2006: Effects of partial throughfall exclusion on the phenology of *Coussarea racemosa* (Rubiaceae) in an East-Central Amazon rainforest.*Oecologia*, **150**(2), 181-189.

Brando, P.M. *et al*., 2008: Drought effects on litterfall, wood production and belowground carbon cycling in an Amazon forest: results of a throughfall reduction experiment.Philosophical Transactions of

the Royal Society B: Biological Sciences, 363(1498), 1839-1848.

Brasil, 2010e: Decreto nº 7.382/2010. Brasília. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7382.htm.

Brasil, 1981: Lei nº 6.938/1981, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências. Disponível em http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=313.

Brasil, 1988: Constituição da República Federativa do Brasil, de 5 de outubro de 1988. Presidëncia da República, Brasília. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm.

Brasil, 1993: Lei nº 8.631/1993. Brasília. Disponível em www.planalto.gov.br.

Brasil, 1995a: Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995. Presidência da República, Brasília.

Brasil, 1995b: Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995. Presidência da República, Brasília.

Brasil, 1996a: Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996. Presidência da República. Brasília.

Brasil, 1996b: Decreto nº 2.003/1996. Brasília. Disponível em www.planalto.gov.br.

Brasil, 1998: Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998. Presidência da República, Brasília.

Brasil, 2000: Lei nº 9.991/2000. Brasília. Disponível em www.planalto.gov.br.

Brasil, 2001a: Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Brasília, DF. Disponível em http://www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf. Acessado em 17/03/2003.

Brasil, 2001b: Decreto nº4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília, DF. Disponível em http://www.mme.gov.br/ministerio/legislacao/decretos/Decretonº4.059-2001.html. Acessado em 17/03/2003.

Brasil, 2001c: Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001.Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Estatuto das Cidades. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm#art58.

Brasil, 2002: Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica etc. Presidência da República. Brasília.

Brasil, 2004a: Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica etc. Presidência da República, Brasília.

Brasil, 2004b: Decreto nº 5.163/2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica e dá outras providências. Presidência da República, Brasília. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5163.HTM.

Brasil, 2005: Decreto nº 5.445/2005, de 12 de maio de 2005. Presidência da República, Brasília. Promulga o Protocolo de Quioto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, aberto a assinaturas na cidade de Quioto, Japão, em 11 de dezembro de 1997, por ocasião da Terceira Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Decreto/D5445.htm.

Brasil, 2006: Decreto nº 5.995 de 19 de dezembro de 2006. Institui o Sistema de Gestão do Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional e dá outras providências.

Brasil, 2007a: Lei nº 11.488 de 15 de junho de 2007. Cria o Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura, Reidi. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11488.htm

Brasil, 2007b: Decreto nº 6.063, de 20 de março de 2007. Regulamenta, no âmbito federal, dispositivos da Lei nº 11.284, de 2 de março de 2006, que dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável, e dá outras providências. Presidência da República, Brasília, DF.

Brasil, 2009a: Cenários para *Oferta Brasileira* de Mitigação de Emissões. Emissões Brasileiras e Ações para Mitigação de Emissões até 2020.*MMA,* MAPA, *MME*, MF, MDIC, *MCTI, MRE,* Casa Civil, Brasília, DF.Disponível em http://www.mma.gov.br/estruturas/182/_arquivos/cenarioemissoes_182.pdf.Acessado em julho de 2009.

Brasil, 2009b: Mensagem nº 1.123, de 29 de dezembro de 2009 que dispõe sobre o veto parcial, por contrariedade ao interesse público e inconstitucionalidade, do Projeto de Lei nº18, de 2007 (nº283/09 no Senado Federal). Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e dá outras providências. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/Msg/VEP-1123-09.html. Acessadoem 13/02/2013.

Brasil, 2009c: Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima, PNMC e dá outras providências. Presidência da República, Brasília.Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm.

Brasil, 2009d: Decreto nº 6.961 de 17 de setembro de 2009. Aprova o zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar. Presidência da República, Brasília, DF.

Brasil, 2009e: Lei nº 12.114/2009 de 9 de dezembro de 2009. Cria o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, altera os arts. 6º e 50 da Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, e dá outras providências. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L12114.htm

Brasil, 2010a: Lei nº 12.351, de 22 de dezembro de 2010. Dispõe sobre a exploração e a produção de petróleo, de gás natural e de outros hidrocarbonetos fluidos, sob o regime de partilha de produção, em áreas do pré-sal e em áreas estratégicas; cria o Fundo Social - FS e dispõe sobre sua estrutura e fontes de recursos; altera dispositivos da Lei nº9.478, de 6 de agosto de 1997 e dá outras providências. Presidência da República, Brasília, DF.

Brasil, 2010b: Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal . Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, In: Segunda Comunicação Nacional Brasileira à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - Parte II. Disponível em http://www.MCTI.gov.

br/index.php/content/view/310922.html. Acessado em 20/12/2011 MCTI, Brasília. 520 pp.
Brasil, 2010c: Instrução Normativa nº1, de 19 de janeiro de 2010. Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Dispõe sobre os critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional e dá outras providências. Brasília, DF.Disponível em http://www.planejamento.gov.br. Acessado em 28/06/2010.

Brasil, 2010d: Decreto nº 5.025/2004. Regulamenta o inciso I e os §§ 1º, 2º, 3º, 4º e 5º do art. 3º da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, no que dispõem sobre o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, Proinfa, primeira etapa, e dá outras providências. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5025.htm

Brasil, 2010e: Decreto nº 7.390 de 9 de dezembro de 2010. Regulamenta os arts. 6º, 11 e 12 da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Presidência da República, Brasília, DF. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm.

Braz, S.P., 2013: Soil carbon stocks under productive and degraded *Brachiaria* pastures in the Brazilian Cerrados. *Soil Science Society of America Journal*,**77**, 914-928.

Brown, A., 2002: The Privatization of Brazil's Electricity Industry: Sector Reform or Restatement of the Government's Balance Sheet?Inter-AmericanDevelopment Bank. Disponível em http://www.hks.harvard.edu/hepg/brown_papers/a.brown_hepg_privatization.of.brazilselectricity. industry.pdf.

Brown, K.S. e A.V.L. Freitas, 2000:Atlantic Forest butterflies: indicators for landscape conservation. Biotropica, 32, 934-956.

Bruijnzeel, L.A., 1990:*Hydrology of Moist Tropical Forests and Effects of Conversion: A State of Knowledge Review*. Paris: Unesco International Hydrological Programme (IHP-Unesco) e Universidade Livre de Amsterdã. 224pp.

Burma, L.S.*et al.*, 2009: Atmosphere and hydrological controls of the evapotranspiration over a floodplain forest in the Bananal Island region, Amazonia. *Journal of Geophysical Research*, 114:G01003. Doi:10.1029/2007JG000641.

Buschbacher, R. J. 1990: Natural forest management in the humid tropic: ecological, social, and economic considerations. *Ambio*, **19**(5): 253-258.

Bustamante, M.M.C. *et al.*, 2006: Soil carbon storage and sequestration potential in the Cerrado region of Brazil.pp. 285-304. In: *Carbon Sequestration in Soils of Latin America*. New York, NY: The Haworth Press.

Bustamante, M.M.C. *et al.*, 2012: Estimating greenhouse gas emissions from cattle raising in Brazil. *Climatic Change*, **115**, p. 559-577.

Butt, N. *et al.*, 2008: Floristic and functional affiliations of woody plants with climate in western Amazonia.*Journal of Biogeography*, **35**(5), 939-950.

BVRio, 2012: Sistema de Comércio de Carbono do Estado do Rio de Janeiro. Bolsa de Valores do Rio de Janeiro (BVRio). Disponivel em http://www.bvrio.org/site/index.php/mercados/carbono/mercado-de-reducoes-de-emissoes-do-estado-do-rio-de-janeiro.

Cairns, S. *et al.*, 2008: Smarter choices: assessing the potential to achieve traffic reduction using soft measures. *Transport Reviews*, **28**(5), 593e618.

Câmara, I.G. (2003). Brief history of conservation in the Atlantic Forest. In: *The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, Threats, and Outlook*. pp. 31-42. [Galindo-Leal, C. el.G. Câmara (Eds.)]. Center for Applied Biodiversity Sciences (CABS) at Conservation International. Washington, DC: Island Press.

Camargo, E. *et al*., 2008: O Programa Luz para Todos: metas e resultados. *Espaço Energia* **9**, 21-24. Disponível em http://www.espacoenergia.com.br/edicoes/9/EE009-04.pdf. Acessado em 1°/07/2011.

Camargo, E.J.S., 2010:*Programa Luz para Todos: da eletrificação à universalização do acesso à energia elétrica. Da necessidade de uma política de estado*. Dissertação de Mestrado. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, EP/FEA/IEE/IF. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. Disponível em http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-22092010-010215/pt-br.php.

Campo Grande, 2007: Projeto de Lei Municipal n° 6.260 de 2007. Institui o programa de incentivos ao uso de energia solar nas edificações no município de Campo Grande. Disponível emhttp://www.cidadessolares.org.br/conteudo_view.php?sec_id=10. Acessado em 1°/11/2012.

Candido, C. *et al*., 2010: Aplicação dos limites da velocidade do ar para efeito de conforto térmico em climas quentes e úmidos. *Ambiente Construído*, **10**(4), 59-68.

Carlo, J.C. e R. Lamberts, 2010a: Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo. *Ambiente Construído*, **10**(2), 7-26.

Carlo, J.C. e R. Lamberts, 2010b: Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 2: método de simulação. *Ambiente Construído*, **10**(2), 27-40.

Carneiro, M., 2005: Brechó da construção civil: parceria entre sindicatos da construção, organizações não-governamentais e Universidade oferece material a baixo custo. *Jornal PUC Minas*, ano XVIII, 267. Disponível em http://www.pucminas.br/jornal/index.php?&pai=27&pagina=926&menu=33&cabecalho =1&lateral=1. Acessado em 1°/03/2011.

Carson, R.T., 1998: Valuation of tropical rainforests: philosophical and practical issues in the use of contingent valuation.*Ecological Economics*, **24**(1), 15-29.

Cartes, J.L. e A. Yanosky, 2003: Dynamics of biodiversity loss in the Paraguayan Atlantic Forest: an introduction. pp. 267-268. In: *The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, Threats, and Outlook.*[Galindo-Leal, C. e I.G. Câmara (Eds.)]. Center for Applied Biodiversity Sciences (CABS) at Conservation International. Washington, DC: Island Press.

Carvalho, A.M. *et al*., 2006: Emissões de NO e N_2O associadas à aplicação de ureia sob plantio direto e convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **41**, 679-685.

Carvalho, D.F. *et al*., 2003:Efeito da cobertura morta e do preparo do terreno nas perdas de solo e água em um argissolo vermelho amarelo. *Engenharia na Agricultura*, 11(1-4), pp. 15-22.

Carvalho, I.P.C. *et al*., 2011: Effect of lipid sources on methane emission of beef cattle at pasture using the SF_6 tracer technique. *Advances in Animal Biosciences*, **2**, 405-570.

Carvalho, J.L.N. *et al*., 2010: Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. *Soil Tillage Research*,**110**, 175-186.

Carvalho, N.O. *et al.*, 2000: O assoreamento de um pequenho reservatório - Itiquira, um estudo de caso. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 5, 69-79.

Castelnou, M.N., 2003: Sustentabilidade socioambiental e diálogo de saberes: o Pantanal mato-grossense e seu espaço vernáculo como referência. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, **7**, 41-67.

Castro, A.D.A.S. *et al.*, 2003: Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral. *Ambiente Construído*, **3**(2), 69-76.

Castro, S.S., 2010: A expansão da cana-de-açúcar no cerrado e no estado de Goiás: A expansão para uma análise espacial do processo.*Boletim Goiano de Geografia*, **30**(1), 171-191.

Cempre, 2009: Compromisso empresarial para a reciclagem. Disponível em http://www.cempre.org.br. Acessado em 23/09/2009.

Cenbio, 2012: Atlas de Bioenergia do Brasil. Centro Nacional de Referência em Biomassa (Cenbio), Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE), Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. Disponível em http://cenbio.iee.usp.br/download/atlasbiomassa2012.pdf

Cepal, 2009:Situación y Perspectivas de la Eficiência Energética en América Latina y el Caribe. Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (Cepal), Colección Documentos de Proyectos. Santiago, Chile.

Cepea, 2011: PIB do Agronegócio – dados de 1994 a 2010. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, SP. Disponível em http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/other/Pib_Cepea_1994_2010.xls. Acessado em 20/12/2011.

Cerri, C.C. *et al.*, 2009. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock, *Scientia Agricola*, **66**(6), 831-843.http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162009000600017.

Cerri, C.C. *et al.*, 2011: Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data. European Journal of Soil Science, **62**, 23-28.

Cerri, C.C. *et al.*. 2010. Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture.*Scientia Agricola*,**67**(1), 102-116.http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162010000100015.

Cerri, C.C., 2004: Carbon cycling and sequestration opportunities in South America: the case of Brazil. *Soil Use and Management*, **20**, 248-254.

Cerri, C.E.P. *et al.*, 2007:Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. *Scientia Agricola*,**64**(1), 83-99.

Certini, G., 2005: Effects of fire on properties of forest soils: A review. *Oecologia*, **143**(1), 1-10. doi:10.1007/s00442-004-1788-8.

Cetesb (Org.), 2006: Biogás. Pesquisas e projetos no Brasil. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb) e Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SMA), São Paulo, SP, 1ª ed. vol. 1. Disponível em http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/biogas/file/docs/livro_biogas/livrobiogas.pdf.

Cetesb/ SMA-SP, 2006: Biogás. Pesquisa e projetos no Brasil. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb) e Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo (SMA-SP). Disponível em http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfuxEAG/biogas-pesquisas-projetos-no-brasil
CGEE, 2001:Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), Brasília, DF, 10 pp. Disponível em http://www.cgee.org.br/arquivos/estudo003_02.pdf.

CGEE, 2011: REDD no Brasil: um enfoque amazônico: fundamentos, critérios e estruturas institucionais para um regime nacional de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD). Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), Brasília, DF, 152 pp.

Chaffee, A. *et al.*, 2007: CO_2 capture by adsorption: materials and process development. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, **1**(1), 11-18.

Chang, M., 2002: Sequestro de carbono florestal: oportunidades e riscos para o Brasil. *R. paran. Desenv.*, **102**, p. 85-101.

Chebez, J.C. e N. Hilgert, 2003: Brief history of conservation in the Paraná Forest. pp. 141-159. In: *The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, Threats, and Outlook*. [Galindo-Leal, C. el.G. Câmara (Eds.)]. Center for Applied Biodiversity Sciences (CABS) at Conservation International. Washington, DC: Island Press.

Chester, M.V. e A. Horvath, 2009: Environmental assessment of passenger transportation should include infrastructure and supply chains. *Environmental Research Letters*, **4**(2), 1-8.

Chomitz, K. M., 2004. Transfer of development rights and forest Protection: an exploratory analysis. *International Regional Science Review,* **27**(3), 348-373.

Chomitz, K.M. *et al.*,1999: Financing environmental services: the Costa Rican experience and its implications. *Science of the Total Environment*, **240**(1-3), 157-169.

Chomitz, K.M., 2006: At loggerheads?: Agricultural expansion, poverty reduction, and environment in the tropical forests. A World Bank Policy Research Report. Washington DC:World Bank Publications.
CI-Brasil *et al.*, 2010: Monitoramento das Alterações da Cobertura Vegetal e Uso do Solo na Bacia Alto Paraguai. Resumo Executivo. Conservação Internacional (CI-Brasil), Ecologia e Ação (ECOA), Funcación Avina (Avina), SOS Pantanal, WWF-Brasil. Disponível em http://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/baciaaltoparaguai_resumoexecutivo.pdf.

Cigré, 2000:Modelling new forms ofgeneration and storage.Task Force TF38.01 Report. Conference Internacionale des Grands Réseaux Eletriques (Cigré), Paris.

CNI, 2010: Oportunidades de Eficiência Energética para a Indústria. Confederação Nacional da Indústria (CNI). Disponível em http://www.cni.org.br/portal/data/pages/FF808081310B1CBB01314F2230716926.htm

CNT, 2005: Boletim Estatístico. Confederação Nacional do Transporte (CNT). Disponível emhttp://www.cnt.org.br/Imagens CNT/PDFs CNT/Boletim Estatístico/BoletimEstatistico.2005.pdf. Acessado em 2/05/2011.

Cochrane, M.A., 1999: Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. *Science*, **284** (5421), 1832-1835.

Coe, M.T., 2011: The effects of deforestation and climate variability on the streamflow of the Araguaia River, Brazil. *Biogeochemistry*, **105**, 119-131.doi:10.1007/s10533-011-9582-2

Coelba, 2012: Luz para Todos. Energia Solar.Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia, Salvador, BA. Disponível emhttp://servicos.coelba.com.br/residencial/luz-para-todos#utilizacao-de-energia

Coelho, S. T. *et al.*, 2005: Uso de óleo de palma "*in natura*" como combustível em comunidades isoladas da Amazônia. In:III Workshop Brasil-Japão em Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 23 a 25 de novembro de 2005, Campinas, SP.

Cogliatti-Carvalho, L. e S. Mattos-Fonseca, 2004: Quantificação da biomassa e do carbono em Rhizophora mangle, Avicennia shaueriana e Laguncularia racemosa no manguezal da Laguna de Itaipu, Niterói, RJ. In: VI Simpósio de Ecossistemas Brasileiros– Programa e Resumos, Academia de Ciências do Estado de São Paulo, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), São José dos Campos, SP.

Colle S. e E.B.Pereira, 1998: Atlas de Irradiação Solar do Brasil. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Brasília. 1998.

Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima, 2008: Plano Nacional sobre Mudança do Clima, PNMC. Brasília.

Conab, 2011: A geração termoelétrica com a queima do bagaço de cana-de-açúcar no Brasil. Análise do desempenho da safra 2009-2010.Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), Disponível em http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=539&t=2

Conab, 2012: Séries históricas relativas às safras 1976/77 a 2009/2010 de área plantada, produtividade e produção. Companhia Nacional de Abastecimento (Conab). Disponível em http://www.conab.gov.br/ conteudos.php?a=1252&t=2. Acessado em 9/01/2012.

Conpet, 2011: Dados sobre o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural. Programa vinculado ao Ministério de Minas e Energia (MME), executado com apoio da Petrobras. Disponível em http://www.conpet.gov.br. Acessado em novembro de 2011.

Corazza, E.J. *et al.*, 1999: Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **23**, 425-432.
Corbeels, M. *et al.*, 2006: Soil carbon storage potential of direct seeding mulch-based cropping systems in the Cerrados of Brazil. Global Change Biology, **12**, 1773-1787

Cordeiro, J.L.P. e H. Hasenack, 2009: Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. pp. 285-299. In: *Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*.[Pillar, V.D.; *et al.* (Orgs.)]. MMA, Brasília, DF.

Corsini, E. e G. Guarim Neto, 2000: Aspectos ecológicos da vegetação de "carvoal" (*Callisthene fasciculata* (Spr.) Mart.) no Pantanal Mato-grossense. pp. 1-52. In: III Simpósio sobre Recursos Naturais e Socioeconômicos do Pantanal, 1, Corumbá (MS).*Anais do III SINPAM*, Corumbá.

Costa, L.P. *et al.*, 2000: Biogeography of South American forest mammals: endemism and diversity in the Atlantic Forest. *Biotropica*, **32**, 872-881.

Costa, M.C.G. *et al.*, 2003a: Volatilização de N-NH_3 de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **27**, 631-637.

Costa, M.H. *et al*, 2003b: Effects of large-scale change in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. Journal of Hydrology, **283**(12), 206-217.

Costa, M.H. e G.F. Pires, 2009. Effects of Amazon and central Brazil deforestation scenarios on the duration of the dry season in the arc of deforestation. *International Journal of Climatology*, **30**(13), 1970-1979. doi:10.1002/joc.2048.

Costa, M.H. e J.A. Foley. 2000. Combined effects of deforestation and doubled atmospheric CO_2 concentrations on the climate of Amazonia. *Journal of Climate*, **13**,18-34

Costa, O.V. *et al*., 2009: Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de Tabuleiro Costeiro no sul da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **33**, 1137-1145.

Cóstola, D. e M. Marcondes, 2008: Avaliação de desempenho térmico para *retrofit* de um restaurante em São Paulo. 10 pp. In: XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, *Anais do ENTAC, ANTAC*, Fortaleza. Disponível em http://www.infohab.org.br. Acessado em 1°/03/2011.

Coutinho, L.M., 2006: O conceito de bioma. *Acta Bot. Braz*., **20**, 13-23..

Couto Neto, A.G., 2007: *Construção civil sustentável: avaliação da aplicação do modelo de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil do Sinduscon-MG em um canteiro de obras: um estudo de caso*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, 103 pp. Disponível em http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/246M.PDF. Acessado em 1°/03/2011.

Couto, M. S. D. S. *et al*., 2010. Identificação de áreas prioritárias para conservação da biodiversidade e paisagens no estado de Goiás: métodos e cenários no contexto da bacia hidrográfica. *Revista Brasileira de Cartografia*, **62**(2), 125-135.

Cox, P.M.*et al*., 2008: Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution. *Nature*, **453**(7192), 212-215.

Craide, S., 2011: Luz para Todos será novamente prorrogado para beneficiar quase meio milhão de famílias. Agência Brasil, Empresa Basil de comunicação (EBC). Disponível em http://agenciabrasil.ebc.com.br /noticia/2011-05-24/luz-para-todos-sera-novamente-prorrogado-para-beneficiar-quase-meio-milhao-de-familias

Crossley, D. 2000: Research Report pp. 2. Task VI of the International Energy Agency Demand-Side Management Programme. International Energy Agency.

Cruvinel, E.B.F. *et al*., 2011: Soil emissions of NO, N_2O and CO_2 from croplands in the savanna region of central Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **144**(1), pp. 29-40.

Cuiabá, 2007: Plano Diretor de Desenvolvimento Estratégico de Cuiabá (IBDU). Lei Complementar n° 150 de 29 de janeiro de 2007. Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano (IPDU). Prefeitura Municipal de Cuiabá, MT.

Curitiba,2006: Projeto de Lei Ordinária Municipal n° 05-00236/2006. Institui no âmbito do município de Curitiba o Programa de Incentivos ao Uso de Energia Solar nas Edificações Urbanas. Disponível em http://www.cidadessolares.org.br/conteudo_view.php?sec_id=10. Acessado em 1°/11/2012.

Curitiba,2007: Projeto de Lei Ordinária Municipal n° 05-00245/2007.Institui a Política Municipal de Combate ao Aquecimento Global e às Mudanças Climáticas, torna obrigatório o uso de sistemas e procedimentos que visam a eficiência energética dos imóveis, cria incentivos e dá outras

providências. Disponível em http://www.cidadessolares.org.br/conteudo_view.php?sec_id=10. Acessado em 1°/11/2012.

D'Agosto, M.D.A. e S.K. Ribeiro, 2009: Assessing total and renewable energy in Brazilian automotive fuels. A life cycle inventory (LCI) approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **13**, 1326-1337.

D'Agosto, M.D.A. *et al*., 2006: Relatório quinzenal consolidado sobre o consumo de combustível. vol. 7(outubro) e vol. 8 (novembro). Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais (IVIG), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ.

D'Andréa, A.F. *et al*., 2004: Estoques de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **39**, 179-186.

da Costa, A.C.L. *et al*., 2010: Effect of 7 yr of experimental drought on vegetation dynamics and biomass storage of an Eastern Amazonian rainforest.*New Phytologist*, **187**(3), 579-591.

Damasceno, A.C. *et al*., 1999: Gerenciamento de resíduos sólidos. Rio de Janeiro,boletim *Recicloteca*, n° 9, pp. 4-5. Disponível em http://www.recicloteca.org.br/images/info/09.pdf. Acessado em 1°/04/2011.

Damasceno-Júnior, G. A. *et al*., 2005. Structure, distribution of species and inundation in a riparian forest of Rio Paraguai, Pantanal, Brazil. *Flora*, **200**(2005), 119-135.

Davidson, E.A. *et al*., 2012. The Amazon Basin in transition.*Nature*, **481**, 321-328. doi:10.1038/nature10717.

De Angelo, C. (2009). *El paisaje del Bosque Atlántico del Alto Paraná y sus efectos sobre la distribución y estructura poblacional del jaguar (Panthera onca) y el puma (Puma concolor)*. Tese de Doutorado em Ciências Biológicas. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. 252 pp.

De Beer, J.D., 1998: *Potential for Industrial Energy-Efficiency Improvement in the Long Term*. Tese de Doutorado defendida no Departamento de Ciência, Tecnologia e Sociedade da Universidade de Utrecht, Países Baixos, e publicada como vol. 5 da Eco-Efficiency in Industry and ScienceSeries. Dordrecth:Kluwer Academic Publishers, 254 pp.

De Carlo, S., 1999: Meio ambiente: sua integração nos sistemas de informações estatísticas. Textos para Discussão n° 96, Instituto Brasileiro de Geoggrafia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro, RJ.

De la Rue du Can, S. e Price, L., 2006: Sectoral trends in global energy use and greenhouse gas emissions. 74 pp. Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), Environmental Energy, Technologies Division, Berkeley, CA. *Energy Policy*, **36**(4), 1386-1403. Disponível em http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421507005502.

De Paula, C.P., 2004: *Geração distribuída e cogeração no setor elétrico: avaliação sistêmica de um plano de inserção incentivada*. Tese de Doutorado em Energia. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE), Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 345 p. Disponível em http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2004/Teses/COGERACAO_SISTEMA_INTERLIGADO_Claudio%20Paiva.pdf

Defra, 2007: Guidelines to Defra's GHG conversion factors for company reporting, annexes updated June 2007. London: Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra). Disponível emhttp://archive.defra.gov.uk/environment/business/reporting/pdf/conversion-factors.pdf. Acessado em 1°/08/2011.

Delariva, R.L. e A.A. Agostinho, 1999: Introdução de espécies: uma síntese comentada. *Acta Scientiarum*, **21**, 255-262.

Demarchi, J.J.A.A. *et al*., 2003a: Daily methane emission at different seasons of the year by Nelore cattle in Brazil grazing *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Preliminary results. In:IX World Conference on Animal Production and XVIII Reunião Latinoamericana de Produção Animal, Porto Alegre, RS.

Demarchi, J.J.A.A. *et al*., 2003b: Preliminary results on methane emission by Nelore cattle in Brazil grazing *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. pp. 80-84. In:II International Methane And Nitrous Oxide Mitigation Conference, Proceedings of the 3° International Methane and Nitrous Oxide Mitigation Conference, Beijing, China.

Demir, E. *et al*., 2011: A comparative analysis of several vehicle emission models for road freight transportation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **16**(5), 347-357.

Deregibus, V.A., 2000: Argentina's humid grazing lands. pp.395-405.In: *Grassland ecophysiologyand grazzing ecology*. [Lelaire, G. *et al*. (Eds).]. Cambridge, UK: CABI Publishing.

Derpsch, R. *et al*., 1986: Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. *Soil & Tillage Research*, **8**, 253-263.

Derpsch, R. *et al*., 2010: Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, **3**, 1-25.

Didoné, E.L. e F.O.R. Pereira, 2010: Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. *Ambiente Construído*, **10**(4), 139-154.

Diekow, J. *et al*., 2005: Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a Southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. *Soil and Tillage Research*, **81**(1), 87-95.

Dinardo-Miranda, L.L. *et al*., 2004: Eficiência de *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) no controle de *Mahanarva fimbriolata* (Stål) (Hemiptera: Cercopidae) em cana-de-açúcar. *Neotropical Entomology*, **33**(6), 743-749.

Diniz, G.L. *et al*., 2008: Análise harmônica do regime de precipitação em duas localidades da baixada cuiabana. *Biomatemática*, **18**, 37-48.

Diniz-Filho, J.*et al*., 2008:Agriculture, habitat loss and spatial patterns of human occupation in a biodiversity hotspot. *Scientia Agricola*,**66**(6), 764-771.

DNPM, 2006: Balanço Energético Nacional, 2006. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Brasília, DF.

DOE, 1998: Industrial Combustion Vision: A Vision by and for The Industrial Combustion Community. USDepartment of Energy (DOE), 23 pp.

DOE, 2002: Best Practice Steam Overview. Industrial Technologies Program, Energy Efficiency and Renewable Energy. US Department of Energy (DOE). Disponível em http://www.doe.gov.

DOE, 2009: The Smart Grid: An Introduction.US Department of Energy (DOE). Disponível em http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/DOE_SG_Book_Single_Pages%281%29.pdf.

Domingues, M.S., 2010: *Avaliação da monocultura de soja como matéria-prima para a produção de biodiesel e sua relação com o desmatamento da floresta amazônica: estudo de caso na região de São José do Xingu (MT)*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, SP.

Doughty, C.E. *et al*., 2010: Effect of smoke on subcanopy shaded light, canopy temperature, and carbon dioxide uptake in an Amazon rainforest.*Global Biogeochem. Cycles*, **24**(3), GB3015.

Dros, J.M., 2004: Managing the soy boom: two scenarios of soy production expansion in South America, AIDEnvironment (report), Amsterdam.Disponível em http://assets.panda.org/downloads/managingthesoy boomenglish_nbvt.pdf. Acessado em 2/05/2013.

Duarte, R.S., 2002a: A seca de 1958: Uma avaliação pelo ETENE.Série Estudos sobre as Secas no Nordeste, v.1. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste (Etene). Fortaleza/ Recife: Banco do Nordeste/ Fundação Joaquim Nabuco, 144 pp.

Duarte, R.S., 2002b: Do desastre natural à calamidade pública: a seca de 1998-1999.Série Estudos sobre as Secas no Nordeste, v.5. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste (Etene). Fortaleza/ Recife: Banco do Nordeste/ Fundação Joaquim Nabuco, 144pp.

Dubeux Jr. J.C. e M.V.F. Santos, 2005: Exigências nutricionais da palma forrageira. pp. 105-128. In: *A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso*. [Menezes R.S.C. *et al*. (Orgs.]. Recife, PE: Editora da UFPE.

Dwyer, J.F., 1992: Assessing the benefits and costs of the urban forest. *Journal of Aboriculture*, **18**, 227-234.

Dyer, C.H. *et al*., 2008: Enabling technologies for industrial energy demand management. *Energy Policy*, **36**, pp. 4434-4443.

Earthwatch, 2004: Annual Report 2003.Pantanal Conservation Research Initiative. Earthwatch Institute, Maynard, MA.

Ehhalt, D. *et al*., 2001: Atmospheric chemistry and greenhouse gases. pp. 239-287.In:*Climate Change 2001: The Scientific Basis*. [Houghton J.T. *et al*., (Eds.)]. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

EIA, 2011a: International Energy Outlook 2011. Energy Information Administration (EIA).Washington, D.C. Disponível em http://www.eia.gov/forecasts/archive/ieo11/.

EIA, 2011b: Residential Energy Consumption Survey (RECS), página web. US Energy Information Administration, Washington, DC. Disponível em http://www.eia.gov/consumption/residential/index.cfm. Acessado em 1°/08/2011.

Eiten, G., 1994: Vegetação do Cerrado pp. 17-74. In: *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. [Pinto, M.N. (Org.)]. Editora Universidade de Brasília, Brasília, DF.

Eletrobras, 2011: Potencial Hidrelétrico Brasileiro . Sistema de Informações do Potencial Hidráulico (Sipot), Relatório Técnico. 2011. Centrais Elétricas Brasileiras (Eletrobras), Rio de Janeiro, RJ.

Eltahir, E.A.B e Bras, R.L., 1994: Precipitations recycling in the Amazon Basin. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, **120**, 861-880.

Embrapa, 2000: Alternativas para a prática de queimadas na agricultura: recomendações tcnológicas. Departamento de Pesquisa e Denvolvimento, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Brasília,DF, 63 pp.

Embrapa, 2005: Plano Nacional de Agroenergia: 2006-2011. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa),Brasília, DF.

Engelbrecht, B.M.J. *et al*., 2007:Drought sensitivity shapes species distribution patterns in tropical forests. *Nature*, **447**(7140), 80-82.

EPE, 2007: Plano Nacional de Energia 2030. Ministério de Minas e Energia (MME) / Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Brasília, DF. Disponível em http://www.epe.gov.br. Acessado em 1°/08/2011.

EPE, 2009: Caracterização do uso da Energia no Setor Siderúrgico Brasileiro. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Brasília, DF. Disponível em http://www.epe.gov.br/. Acessado em maio de 2013.

EPE, 2010a. Plano Decenal de Expansão de Energia 2020. Empresa de Pesquisa Energética Rio de Janeiro.

EPE, 2010b: Balanço Energético Nacional 2010, Ano base 2009. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Rio de Janeiro, RJ. Disponível em http://www.epe.gov.br. Acessado em 01/08/201

EPE, 2011: Balanço Energético Nacional 2011, Ano base 2010. Disponível em http://www.epe.gov.br/. Acessado em 1°/11/2012.

EPE, 2012: Plano Decenal de Expansão de Energia 2021. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Disponível em http://www.epe.gov.br/. Acessado em 1°/11/2012.

EPE, 2013: Plano Decenal de Expansão de Energia 2022. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Disponível em http://www.epe.gov.br/. Acessado em 06/07/2014.

EPE, 2014: Balanço Energético Nacional 2014, Ano base 2013. Disponível em http://www.epe.gov.br/. Acessado em 06/07/2014.

Euclides, V.P.B. *et al*., 2010: Brazilian scientific progress in pasture research during the first decade of XXI century. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **39**, 151-168.

Eva, H.D. eO. Huber(Eds.), 2005: A proposal for defining the geographical boundaries of Amazonia. Synthesis of the results from an Expert Consultation Workshop organized by the European Commission in collaboration with the Amazon Cooperation Treaty Organization - JRC Ispra, 7-8 June 2005.Off. Publ. Eur. Communities, Luxembourg.

Evangelista, F.M. *et al*., 2011: Cenários de estimativa dos impactos das atividades socioeconômicas sobre a vegetação remanescente do bioma Pampa. In: *Anais do XV SBSR*.XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto,Curitiba, Paraná.

Evans, T.P. *et al*., 2001: A dynamic model of household decision-making and parcel level landcover change in the Eastern Amazon. *Ecological Modelling*, **143**, 95-113.

Fahrig, L., 2003: Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, **34**, 487-515.

Faleiro, F.G. e A.L. Farias Neto(Eds.), 2008:*Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. Informação Tecnológica. Embrapa Cerrado, Planaltina, DF.

FAO, 1981: Forest Resources of Tropical Asia. Food and Agriculture Organization (FAO), Tropical Forest Resourcess Assesment Project.; The United Nations Environment Programme (Unep), FAO / Unep, 475 pp.

FAO, 1994: Mangrove Forest Management Guidelines. FAO Forestry Paper 117. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome, 319 pp.

FAO, 2003: *World Agriculture: Towards 2015-2030: An FAO Perspective* [Bruinsma, J. (Ed.)]. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). London: Earthscan Publications, 432 pp..
FAO, 2004: Fertilizer Use by Crop in Brazil. 1st version. Food and Agriculture Organization of the United Nations, (FAO), Rome, 53 pp.

FAO, 2007a: Global Forest Resources Assessment 2005. Progress towards sustainable forestmanagement. Forestry Paper 147, Framework of the Global Forest Resources Assessment. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 77 pp.

FAO, 2007b: The World's Mangrove: 1980-2005. A thematic study prepared in FAO. Forestry Paper 153. Food And Agriculture Organization (FAO), Rome.

FAO, 2010: Global Forest Resources Assessment (FRA). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 340 pp.

FAO, 2011a: State of the World's Forests. FAO Report, biennial issue, from 1995 to 2011. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Disponível em http://www.fao.org/docrep/013/i2000e/i2000e.pdf.

FAO, 2011b: FaoStat, Food and Agricultural Commodities Production and Exports. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).Disponível em http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx e http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx. Acessado em 20/12/2011.
Fargione, J.E. *et al*., 2010: The ecological impact of biofuels. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. **41**, 351-377.

Favis-Mortlocka, D.T. e A.J.T. Guerra, 1999: The implications of general circulation model estimates of rainfall for future erosion: a case study from Brazil. *Catena*, **37**, 329-354.

FBMC, 2002a: Mudanças Climáticas. Guia de Informação. Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2002. Brasília, DF.

FBMC, 2002b: 7ª Conferência das Partes COP 7 – Abcordos de Marraquech. Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2002:, Brasília, DF.

FBMC, 2012: Sínteses das Consultas Públicas dos Planos Setoriais de Mudança Climática. Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas 2012. Disponível emhttp://www.forumclima.org.br/index.php/eventos/reunioes/176-sinteses-cp. Acessado em 30/10/2012.

Fearnside, P. M. 2010: Tropical forests [Mitigation of climate change, pp. 484-493]. In: *Climate Change Science and Policy.* [Schneider S.H. *et al*. (Eds.)]. Washington, DC: Island Press, 522 pp.

Fearnside, P. M., 2006: Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazonica*, **36**(3), 395-400.

Fearnside, P. M., 2009: Global warming in Amazonia: impacts and mitigation. *Acta Amazonica*, **39**(4), 1003-1012.

Fearnside, P.M. e R.I. Barbosa, 1998: Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, **108**, 147-166.

Feigl et. al., 2001: O efeito da sucessãofloresta/pastagem sobre o estoque de carbono e o fluxo de gases em solos da Amazônia. pp. 257-272. In:*Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira*. [Lima, M. A. de *et al*. (Eds.), Embrapa Meio Ambiente. 398 pp.

Fernandes H.C. *et al*., 2008: Avaliação do custo energético de diferentes operações agrícolas mecanizadas. *Ciência e Agrotecnologia*, **32**, 1582-1587.

Ferraz, J.B.S. e P.E. Felício, 2010: Production systems.An example from Brazil. *Meat Science*, **84**, 238-243.

Ferreira Filho, J.B.S. e M.T. Rocha, 2004: Avaliação econômica de políticas públicas visando redução das emissões de gases de efeito estufa no Brasil. pp. 1-27. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 45.*Anais do XLV Congresso da Sober*, Londrina, PR. Disponível emhttp://www.sober.org.br /palestra/6/750.pdf

Ferreira Jr., L.G. e M.M.C. Bustamante (Orgs.), 2011: Monitoramento das emissões de carbono no Cerrado brasileiro. Brasília: Embaixada Britânica. Disponível em http://www.lapig.iesa.ufg.br/ Acessadoem 1°/12/2012.

Ferreira, A.M.M. e E. Salati, 2005: Forças de transformação do ecossistema amazônico. *Estudos Avançados,***19**(54) 25-44.

Ferreira, M.E., 2009:*Modelagem da dinâmica de paisagem do Cerrado*. Tese de Doutorado em Ciências Ambientais. Universidade Federal de Goiás (UFG). Disponível em <http://www.lapig.iesa.ufg.br/>. Acessado em 01/12/2012.

Ferreira, M.E. *et al*., 2007a: Base de dados territoriais necessárias à análise de um sistema de reserva extra-propriedade no Estado de Goiás. *Boletim Goiano de Geografia*, **27** (1), 27-46.

Ferreira, N.C. *et al*., 2007b: Riscos de desmatamentos e potencial de regeneração da vegetação nativa: definindo prioridades e estratégias territoriais. *Boletim Goiano de Geografia*, **27**(1), 83-96.

Ferreira, N.C. *et al*., 2007c: An operational deforestation mapping system using MODIS data and spatial context analysis. *International Journal of Remote Sensing*, **28**, 47-62.

Ferreira, M. E. *et al*., 2008. Indicativos de desmatamentos em Unidades de Conservação com base em dados orbitais: uma análise temporal (2003-2006) para o Cerrado Goiano. In: IX Simpósio Nacional Cerrado e II Simpósio Internacional Savanas Tropicais. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados.

Ferreira, M.E. *et al*., 2009: Ativos ambientais do bioma Cerrado: uma análise da cobertura vegetal nativa e sua relação com o preço da terra no estado Goiás. *Revista Brasileira de Cartografia*, **61**(1), 37-50.

Ferreira, M.E. *et al*., 2012: Modeling landscape dynamics in the central Brazilian savanna biome: future scenarios and perspectives for conservation. *Journal of Land Use Science*, **8**(2), 403-421. Disponível em http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1747423X.2012.675363#.UnrYx3C-rp8. Acessado em 1°/12/2012.

Ferreira, C.C. e R.V.G. Souza, 2009: Investigação sobre o potencial de economia de energia da iluminação natural. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído.*Anais* ENCAC/ELACAC, ANTAC/UFRN, Natal, RN

Fidelis, R.R. *et al*., 2003: Alguns aspectos do plantio direto para a cultura da soja. *Bioscience Journal*, **19**, 23-31.

Fidelis, A. *et al*., 2007. Efeito do fogo na ecologia de populações herbáceas e arbustos dos campos sulinos. *Revista Brasileira de Biociências*, **5**(1), 303-305.

Field, C. (Org.), 1997: La Restauracion de Ecosistemas de Manglar. Sociedad Internacional para Ecosistemas de Manglar (ISME). Managua: Editora de Arte.

Figueiredo, E.B. e N. La Scala Jr., 2011: Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest in Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **141**, 77-85.

Fioreze, C. e C.A. Ceretta, 2006: Fontes orgânicas de nutrientes em sistemas de produção de batata. *Ciência Rural*, **36**, 1788-1793.

Fipe, 2011: Dados sobre transporte de carga e passageiro. Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (Fipe). Disponível em http://www.fipe.org.br/web/index.asp. Acessado em 2/05/2011.
Fisher, M.J. *et al*., 2007: Another dimension to grazing systems: soil carbon. *TropicalGrasslands*, **41**, 65-83.

Fisher, P. e M.D. Spalding, 1993: Protected areas with mangrove habitat. Draft Report. World Conservation Centre, Cambridge, UK. 60 pp.

Flynn, H.C. e P. Smith, 2010: Greenhouse gas budgets of crop production – current and likely future trends. 1st ed, International Fertilizer Industry Association (IFA), Paris, France. 67 pp.

Fonseca, E.L. *et al*., 2006:Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa incidente em biomassa aérea da vegetação campestre natural no bioma Campos Sulinos do Brasil. *Ciência Rural*, **36**, 656-659.

Fontes, C.A.A. *et al*., 2011: Emissão de metano por bovinos de corte, suplementados ou não, em pastagem de capim mombaça (*Panicummaximum* cv. Mombaça). II Emissão por Mcal de energia líquida ingerida e por kg de ganho In: *Anais SBZ 48*. 48ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia (SBZ), Belém, PA.

Fonty, E. *et al*., 2009:A 10-year decrease in plant species richness on a neotropical inselberg: detrimental effects of global warming?*Global Change Biology*, **15**(10), 2360-2374.

Fortini, L.B., 2003: Drought constraints on leaf gas exchange by Miconia ciliata (Melastomataceae) in the understory of an eastern Amazonian regrowth forest stand, *Am. J. Bot*., 90(7), 1064-1070.

Fox-Penner, P., 2010: *Smart Power: Climate Change, the Smart Grid, and the Future of Electric Utilities*. Washington, DC.: Island Press.

França, H. e A.W. Setzer, 2001:AVHRR analysis of a savana site through a fire season in Brazil. *Int. J. Remote Sens*., **22**, 2449-2461.

Francez, J.M.B. *et al*., 2009: Efeito de duas intensidades de colheita de madeira na estrutura de uma floresta natural na região de Paragominas, Pará. *Acta Amazonica*, **39**(4), 851-864.

Franchini, J.C. *et al.*, 2007: Microbiological parameters as indicators of soil quality under various tillage and crop-rotation systems in Southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, **92**, 18-29.

Freitas, P.L. *et al.*, 2000: Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **35**,157-170.

Frondizi, I.M. de R.L. (Org.), 2009: *O mecanismo de desenvolvimento limpo: guia de orientação*. Rio de Janeiro, RJ: Imperial Novo Milênio/ Fides. 136 pp.Disponível em http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/proclima/file/publicacoes/conceitos/portugues/guia_mdl_MCTI_2009.pdf.

Funcate, Cetesb, 2010: Emissões de gases de efeito estufa no setor uso da terra, mudança do uso da terra e florestas. parte do 1° Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo Brasília. Cetesb, São Paulo, SP. Disponível emhttp://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/geesp/file/docs/publicacao/inventario_estadual/sao_paulo/inventario_sp/relatorios_referencia/uso_terra/uso_solo_web.pdf.

Fung, I. *et al.*, 1991:Three-dimensional model synthesis of the global methane cycles. *Journal of Geophysical Research*, **96**, 13033-13065.

Galdos, M.V. *et al.*, 2009: Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. *Geoderma*, **153**, 347-352.

Galdos, M.V. *et al.*, 2010: Net greenhouse gas -uxes in Brazilian ethanol productionsystems. *GCB Bioenergy*, **2**, 37-44, doi: 10.1111/j.1757-1707.2010.01037.x.

Galetti, M., 2009:Priority areas for the conservation of Atlantic Forest large mammals. *Biological Conservation*, **142**, 1229-1241.

Galford, G.L.B., 2010: Greenhouse gas emissions from alternative futures of deforestation and agricultural management in the Southern Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences* (PNAS), **107**(46), 19649-19654.

Galindo, I.C.L. *et al.*, 2005: Uso da palma na conservação dos solos. In. A palma no nordeste do brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. pp. 163-176. In: *A palma no Nordeste do Brasil: Conhecimento atual e novas perspectivas de uso*. [Menezes, R.S.C. *et al.* (Eds.)]. Recife, PE: Editora da UFPE.

Galindo-Leal, C. el.G. Câmara, 2003: Atlantic Forest hotspot status: an overview. pp 3-11. In: *The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, Threats and Outlook*. [Galindo-Leal, C. e I.G. Câmara (Eds.)]. Center for Applied Biodiversity Sciences (CABS) at Conservation International. Washington, DC: Island Press.

Gallo, M., 2011: A fuel surcharge policy for reducing road traffic greenhouse gas emissions. *Transport Policy*, **18**, 413-424.

Garbiate, M.V. *et al.*, 2011: Erosão entre sulcos em área cultivada com cana crua e queimada sob colheita manual e mecanizada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **35**, 2145-2155.

Garcia, F., 2010: Habitação e crescimento sustentado. In: *Anais do 9° CBC-Construbusiness 2010*. 9° Congresso Brasileiro de Construção: Construbusiness 2010, "Brasil rumo a 2022: Planejar, construir, crescer". Disponível em http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/construbusiness-2010-versao-em-portugues/. Acessado em 1°/08/2011.

Garcia, L.E., 2008: Painel1: Intermodalidade Hidrovias do Brasil. Alternativas do Brasil Central. Fórum de Excelência Brasil Central, São Paulo, SP.

Gash, J.H.C. *et al*., 1996: *Amazonian Deforestation and Climate*. Water Science Series. Chichester: Wiley. 638 pp.

Gatto, A. *et al*., 2010: Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na região Centro-Leste do estado de Minas Gerais. *Revista Árvore*, **35**, 895-905.

Geist, H.J. e E.F. Lambin, 2002: Proximate causes and underlying driving factors of tropical deforestation. *Bioscience***52**, 143.

Geller, H. *et al*., 2004: Policies for advancing energy efficiency and renewable energy use in Brazil. *Energy Policy,***32**(12), 1437-1450.

Gellings, C.W.e K.E. Parmenter, 2004: Energy efficiency in fertilizer production and use. vol. II,pp. 419-450, In:*Knowledge for Sustainable Development – AnInsight into the Encyclopedia of Life Support Systems* [Gellings, C.W. e K. Blok (Eds.)].Oxford, UK: Encyclopedia of Life Support Systems (Eolss) Publishers.

GHG, 2008: Greenhouse Gas Protocol Initiative: Mobile Guide. Disponível em www.ghgprotocol.org Acessado em 12/06/2008.

Ghisi, E. e S.R. Lambert 1998: Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação. pp. 401-409. In: *Anais Enatac, 7*. VII Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído.Enatec, Antac, Florianópolis. Disponível em http://www.infohab.org.br. Acessado em 1°/03/2011.

Ghisi, E. *et al*., 2005: Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional. *Ambiente Construído*, **5**(4), 81-93.

Giacomini, S.J. *et al*., 2006: Emissão de óxido nitroso com a aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **41**, 1653-1661.

Gill, S.E. *et al*., 2007: Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure.*Built Environment*, **33**, 115-133.

Giltrap, D.L. *et al*., 2010: A preliminary study to model the effects of a nitrification inhibitor on nitrous oxide emissions from urine-amended pasture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **136**, 310-317.

Girard, P. 2011. Hydrology of surface and ground waters in the Pantanal floodplains. pp. 103-126. In: *The Pantanal: Ecology, Biodiversity and Sustainable Management of a Large Neotropical Seasonal Wetland.*[Junk, W.J. *et al*. (Eds.)]. Sofia, Bulgaria: Pensoft Publishers. 858 pp.

Girard, P. e I.A. Vargas, 2008: Tourism, development and knowledge in Pantanal: Possible dialogues and partnerships. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, **18**, 61-76.

Givoni, M. *et al*., 2009: Are railways "climate friendly"? *Built Environment*, **35**(1), 70-86.

GLC 2000, 2003: Global Land Cover 2000 Database. European Commission, Joint Research Centre, Land Resource Management Unit. Disponível em http://bioval.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/glc2000.php

Godfray, H.C.J. *et al.*, 2010: Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science,* **327**, 812-818. doi:10.1126/science.1185383.

Goldemberg, J. *et al.*, 2008: Bioenergia no estado de São Paulo: situação atual, perspectivas, barreiras e propostas. Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, SP. 152 pp. Disponível em http://www.desenvolvimento.sp.gov.br/noticias//files/livro_bioenergia.pdf. Acessado em 1°/07/2011.

Gomes, G.L, 2011. *Análise da integração refino-petroquimica. Oportunidades econômicas, estratégicas e ambientais*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ.

Gomes, J. *et al.*, 2009: Soil nitrous oxide emissions in long-term cover crops-based rotations under subtropical climate. *Soil and Tillage Research*, **106**, 36-44.

Gonçalves W.B., 2000: *Estudo de índices de conforto térmico avaliados com base em população universitária na Região Metropolitana de Belo Horizonte*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG.

Goodwin, P.B., 2008: Policy incentives to change behavior in passenger transport. In: OECD International Transport Forum,Transport and energy: The challenge of climate change. May 2008, Leipzig, Germany. 34 pp.

Gouvello, C. de etal., 2010: Brazil low-carbon country case study.Sustainable Development Department of the Latin America and Caribbean Region, The World Bank, Washington, DC, 253 pp. Disponível em http://siteresources.worldbank.org/BRAZILEXTN/Resources/Brazil_LowcarbonStudy.pdf. Acessado em 1°/07/2011.

Grace, J. *et al.*, 1995: Carbon dioxide uptake by an undisturbed tropical rain forest in Southwest Amazonia, 1992 to 1993.*Science*, **270**(5237), 778-780.

Grande, C.A. e A.E. Rodrigues, 2008. Electric swing adsorption for CO_2 removal from flue gases. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, **2(**2), 194-202

Granja, A.D. e C.L. Labaki, 2004: Paredes orientadas a Leste e a Oeste: uma abordagem crítica em relação ao conforto e à eficiência energética. *Ambiente Construído*, **4**(4), 65-75.

Grasso, M., 1994: *Avaliação econômica do ecossistema manguezal: complexo estuarino-lagunar de Cananéia, um estudo de caso.*Dissertação de Mestrado em Oceanografia, Instituto de Oceanografia da Universidade de São Paulo (IO-USP), São Paulo, SP.

Greenpeace, 2010: [R]evolução energética: a caminho do desenvolvimento limpo. 2ª ed., 40 pp. Greenpeace Internacional/ Conselho Europeu de Energia Renovável (Erec). Disponível em http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/report/2010/11/revolucaoenergeticadeslimpo.PDF.

Grigoletti, G.C. e M.A. Sattler, 2010: Método de avaliação global de desempenho higrotérmico de habitações de interesse social para Porto Alegre (RS). *Ambiente Construído*, **10**, (2), 101-114.

Grimm, A.M., 2009: Clima da Região Sul do Brasil. pp 259-275. In: *Tempo e clima no Brasil*. [Iracema F.A. *et al*. (Orgs.)]. São Paulo, SP: Oficina de Textos.

Grogan, J. *et al.*, 2006: Apoio científico para os padrões de manejo de madeira na floresta amazônica: a questão da sustentabilidade. *Ciência e Ambiente*, **32**, 103-117.

Grogan, J.E. e J. Galvão, 2006:Factors limiting post-logging seedling regeneration by bigleaf mahogany (*Swieteniamacrophylla*) in Southeastern Amazonia, Brazil, and implications for sustainable management. *Biotropica*, **38**, 219-228.

Groombridge, B., 1992:*Global Biodiversity: Status of the Earth's Living Resources*. WCMC / The National History Museum / IUCN / UNEP / WWF / WRI. London, UK: Chapman & Hall. 594 pp.

Gross, R. *et al*., 2009: What policies are effective at reducing carbon emissions from surface passenger transport? A review of interventions to encourage behavioural and technological change. Technology and Policy Assessment, UK Energy Research Centre, The Transport Report 0904. Disponível em http://www.ukerc.ac.uk/support/TransportReport. Acessado em 1°/08/2011.

Guerra, P.B., 1981:*A civilização da seca*. Ministério do Interior, Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (Dnocs), Fortaleza, CE. 324 pp.

Guerreiro, A., 2009: Avaliação de medidas e políticas de eficiência energética. Palestra em 7/10/2009, Maceió, AL. Comitê Brasileiro do Conselho Mundial da Energia (CBCME).

Guimarães, A.P.C. *et al*., 2002: Caracterização dos sítios potenciais na região do semi-árido brasileiro para implantação de Sistema Piloto Heliotérmico de Geração Elétrica. Coletânea de Artigos,*Energia Solar e Eólica*, v. 2, Relatório Técnico DG/1105/02 Cepel, Projeto Gerahelio. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (Cresesb), Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel).

Gutierrez, L.A.R. *et al*., 2011: Mapeamento temporal dos índices: área de superfície impermeável e escoamento superfícial da área urbanizada de Campo Grande-MS. *Caminhos de Geografia*,**12**, 269-288.

Haase, R. e P. Haase, 1995: Above-ground biomass estimates for invasive trees and shrubs in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. *Forest Ecology and Management*, **73**, 29-35.

Haddad, E. *et al*., 2011: Efeitos de taxação de carbono na economia brasileira.pp. 299-316. In: *Economia da Mudança do Clima no Brasil*. [Margulis, S. *et al*. (Eds.)]. Rio de Janeiro, RJ: Synergia Editora.

Hall, D.O. e J.I. House, 1994: Trees and biomass energy: Carbon storage and/or fossil fuel substitution? *Biomass and Bioenergy*, **6**, 11-30.

Hansen, J. *et al*., 2006: Global temperature change.*Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, **103**(39), 14288-14293.

Harris, M.B. *et al*., 2005: Estimativas de perda da área natural da Bacia do Alto Paraguai e Pantanal Brasileiro. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional, Campo Grande, Mato Grosso do Sul.

Harris, M.B. *et al*., 2006: Estimativa da perda de cobertura vegetal original na Bacia do Alto Paraguai e Pantanal brasileiro: ameaças e perspectivas. *Natureza & Conservação*, **4**(2), 50-66.

Harris, P.P. *et al*., 2008: Amazon Basin climate under global warming: the role of the sea surface temperature.*Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **363**(1498), 1753-1759.

Harvey, C.A. *et al*., 2004: Live fences, isolated trees, and windbreaks: tools for conserving biodiversity in fragmented tropical landscapes. pp. 261-289. In: *Agroforestry and biodiversity conservation in*

tropical landscapes. [Schroth G. *et al*. (Eds.)]. Washington, DC: Island Press.

Harvey, C.A. *et al*., 2010: What is needed to make REDD+ work on the ground? Lessons learned from pilot forest carbon initiatives. Executive Summary and Recommendations. Conservation International, Arlington, Virginia, USA. 28 pp.

Hasenack, H. *et al*., 2007: Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul.Capítulo 23. pp. 285-299. In: *Campos sulinos. Conservação e uso sustentável da biodiversidade*. [Pillar, V.D. *et al*. (Eds.)]. Brasília, DF/ Porto Alegre, RS: Ministério do Meio Ambiente (MMA)/ Departamento de. Forrageiras e Agrometeorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Henriques Jr., M.F., 2010: *Potencial de redução das emissões de gases de efeito estufa no setor industrial brasileiro*. Tese de Doutorado. Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. Disponível em http://ppe.ufrj.br.

Hepbasli E.K. e Y. Kalinci, 2008: A review of heat pump water heating systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **13**(6-7), 1211-1229.

Heringer, I. e A.V.A. Jacques, 2002: Acumulação de forragem e material morto em pastagem nativa sob distintas alternativas de manejo em relação às queimadas. *Revista Brasileira de Zootecnia*. **31**(2), 599-604.

Herrero, M. *et al*., 2010: Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. *Science***327**, 822-825. doi:10.1126/science.1183725.

Hingorani, N.G., 1988: High power electronics and flexible AC transmission system. Power Engineering Review, IEEE,8,(7), 3-4.

Hoffmann, S. *et al*., 2012: An evaluation of the techno-economic potential of co-firing coal with woody biomass in thermal power plants in the South of Brazil. *Biomass an Bioenergy*, **45**, 295-302.

Horna, V. *et al*., 2010: Sap flux and stem respiration. In: *Amazonian Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management*. [Junk, W.J. *et al*. (Eds.)], Ecological Studies 210. Heidelbeerg, Germany: Springer.

Houghton, R.A. *et al*., 1983: Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: a net release of CO_2 to the atmosphere.*Ecological Monographs*, **53**, 235-262.

Houghton, R.A. *et al*., 2001: The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. *Global Change Biology*, **7**, 731-746.

Huang, C.Q. *et al*., 2007: Rapid loss of Paraguay's Atlantic Forest and the status of protected areas: a Landsat assessment. *Remote Sensing of Environment*, **106**, 460-466.

Huang, C.Q. *et al*., 2009: Assessment of Paraguay's Forest cover change using landsat observations. *Global and Planetary Change*, **67**(1-2), 1-12.

Hulshof, R. *et al*., 2012: Dietary nitrate supplementation reduces methane emission in beef cattle fed sugarcane based diets. *Journal of Animal Science*, **90(**7), 2317-2323.

Hungria, M. *et al*., 2010: Inoculation with selected strains of *Azospirillumbrasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. *Plant and Soil*, **331**, 413-425. doi:10.1007/s11104-009-0262-0.

Hungria, M., 2006: Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N_2 fixation and N fertilizer to grain yield. *Canadian Journal of Plant Science*, **86**, 927-939.

Hyvönen, R. *et al.*, 2007: The likely impact of elevated [CO_2], nitrogen deposition, increased temperature and management on carbon sequestration in temperate and boreal forest ecosystems: a literature review. *New Phytologist*, **173**, 463-480.

IBA - Instituto Brasileiro de Árvores, 2014: Informações sobre o setor florestal brasileiro. Disponível em: http://www.iba.org.br. Acesso em 13/07/2014

IBGE, 2004: Mapa de Biomas do Brasil. Escala 1:5.000.000. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Rio de Janeiro. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomas.shtm. Acessado em 1°/12/2012.

IBGE, 2006a: Censo Agropecuário de 2006, Tabela 849. Número de estabelecimentos agropecuários e área dos estabelecimentos que realizaram plantio direto na palha, por condição do produtor em relação às terras e grupos de área total. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&c=849.

IBGE, 2006b: Censo Agropecuário de 2006, Tabela 1034. Efetivo de bovinos e área média de pastagem por cabeça de bovino. Série histórica (1920-2006). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&c=1034.

IBGE, 2006c: Censo Agropecuário de 2006, Utilização das terras. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=ms&tema=censoagro.

IBGE, 2006d: Pesquisa Pecuária Municipal. Efetivo de bovinos e área média de pastagem por cabeça de bovino. Série histórica (1920/2006). Disponível em: http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl. asp?c=1034&z=t&o=24.

IBGE, 2010: Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=45.

IBGE, 2011a: Estatísticas sobre produtos agrícolas. Levantamento sistemático da produção agrícola (LSPA). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201101.pdf. Acessado em 2/05/2011.

IBGE, 2011b: Sinopse do Censo Demográfico 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em http://loja.ibge.gov.br/sinopse-do-censo-demografico-2010.html. Acessado em 1°/12/2012.

IBGE, 2011c: Censo Agropecuário Brasileiro 2011. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBPE). Disponível em http://www.ibge.gov.br/. Acessado em 1°/12/2012.

IBGE, 2011d: "Em 2010, PIB varia 7,5% e fica em R$ 3,675 trilhões". Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Assessoria de Imprensa, Comunicação Social, 3/03/2011. Disponível em http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=1830. Acessado em 23/11/2011.

IBGE, 2011e: Pesquisa Agrícola Municipal. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?ti=1&tf=99999&e=c&p=PA&v=216&z=t&o=11. Acessado em 28/10/2011, 12/12/2011

IBGE, 2011f: Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/popul/default.asp?t=3&z=t&o=25&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1&u5=1&u6=1. Acessado em 28/10/2011.

IBGE, 2011g: Pesquisa Pecuária Municipal. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c= 94&z=t&o=24. Acessado em 12/12/2011.

IBGE, 2011h: Pesquisa Pecuária Municipal. Pesquisa Trimestral do Leite. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1086&z=t&o=24. Acessado em 12/12/2011.

Iclei Brasil, 2009: Manual para Aproveitamento de Biogás, vol. 1: Aterros Sanitários. Governos Locais pela Sustentabilidade (Iclei), Secretariado para América Latina e Caribe (LACS). São Paulo, SP. 80 pp. Disponível em:http://archive.iclei.org/fileadmin/user_upload/documents/LACS/Portugues/Programas/M2M/ICLEI_Manual_-_FINAL_72_dpi.pdf.Acessado em 1°/07/2011.

ICMBio, 2011: Avaliação comparada das aplicações do método Rappam nas unidades de conservação federais, nos ciclos 2005-06 e 2010. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), WWF-Brasil. Brasília, DF. 134 pp.

IEA, 2004: Solar Heating and Cooling Programme. Recommendation: Converting solar thermal collector area into installed capacity (m^2 to kWth).International Energy Association(IEA). Disponível em http://archive.iea-shc.org/statistics/conversion/Explanzation_Note-New_Solar_Thermal_Statistics_Conversion.pdf.

IEA, 2007: Tracking Industrial Energy Efficiency and CO_2 Emissions. International Energy Agency (IEA) e Nuclear Energy Agency (NEA), Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Paris, 321 pp.

IEA, 2010a: World Energy Outlook. International Energy Association (IEA). Iea Publications,Paris, France.738 pp. Disponível em http://www.worldenergyoutlook.org/media/weo2010.pdf

IEA, 2010b: Energy Technology Perspectives. Scenarios and Strategies to 2050. Organisation for Economic Co-operation and DevelopmentOECD/ International Energy Agency (IEA), Paris, France. Disponível em http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/etp2010.pdf

IEA, 2010c: Cement Technology Roadmap: Carbon Emissions Reductions up to 2050. International Energy Association (IEA), World Business Council for Sustainable Development (WBCSD): OECD/IEA/WBCSD.

IEA/ NEA, 2010: Projected Costs of Generating Electricity: 2010 Edition. International Energy Agency (IEA) e OECD Nuclear Energy Agency (NEA). Disponível em http://www.oecd-nea.org/pub/egc/.

Inmetro, 2010a: Portaria n° 372, de 17 de setembro de 2010. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro), Brasília, DF. Disponível em http://www.inmetro.gov.br. Acessado em 3/10/2010.

Inmetro, 2010b: Portaria n° 395, de 11 de outubro de 2010. Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro), Brasília, DF. Disponível em http://www.inmetro.gov.br. Acessado em 3/10/2010.

Inmetro, 2010c: Portaria nº 499, de 25 de novembro de 2010. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro). Brasília, DF.. Disponível em http://www.inmetro.gov.br. Acessado em 20/10/2010.

Inmetro, 2011: Portaria nº 122, de 15 de março de 2011. Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Instituto Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, 2011.(Inmetro). Brasília, DF. Disponível em http://www.inmetro.gov.br. Acessado em 20/03/ 2011.

Inpe, 2011: Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), São José dos Campos, SP. Disponível em http://sonda.ccst.inpe.br/ Acessado em 1º/07/2011.

Inpe, 2012:Estimativas anuais de desmatamento. Projeto PRODES, Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite. Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (Inpe), São José dos Campos, SP. Disponível em http://www.obt.inpe.br/prodes/. Acessado em 1º/12/2012.

IPCC, 1996: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Disponível em http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public /gl/invs6.html.

IPCC, 2000: Special Report on Emissions Scenarios (SRES). Contribution of Working Group III. Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC. [Nakicenovic, N. e J. Alcamo, (Eds.)]. Cambridge, UK, New York, NY: Cambridge University Press, 570 pp.

IPCC, 2006: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual, vol. 4. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Disponível em http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html.

IPCC,2007a: Fourth Assessment Report. Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change: Mitigation of Climate Change. Cambridge, UK, New York, NY: Cambridge University Press. Disponível em http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-spm.pdf.

IPCC,2007b: Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability.Working Group II Report. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Disponível em http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg2.htm/.Acessado em 1º/12/2012.

IPCC, 2011:Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK, New York, NY: Cambridge University Press.

IPEADATA, 2014: Dados macroeconômicos. Disponível em http://www.ipeadata.gov.br. Acessado em 06/07/2014.

IPT, 1985a: Conservação de Energia no Setor de Papel e Celulose. Instituto de Pesqui1sas Tecnológicas. do Estado de São Paulo, São Paulo, SP.

Irigaray, C. T. *et al*., 2008: Comentários à Lei de Gestão do Pantanal. Universidade Federal de Mato Grosso.Cuiabá, MT: Editora da UFMT.*Revista Amazônia Legal*, **2**(4).

ISO, 2005: ISO 7730: Moderate Thermal Environments: Determination of the PMV and PPD. Indices and Specification of the conditions of Thermal Comfort. International Organization for Standardization,Geneva.

Itto/ Isme, 1993: The World of Mangroves Part I. International Tropical Timber Organization(ITTO)/ International Society for Mangrove Ecosystems (ISME). Nishihara, Japan.

Jacques, A.V.A., 2003: A queima das pastagens naturais: efeitos sobre o solo e a vegetação. *Ciência Rural*, **33**, 177-181.

James, P. e P. Hopkinson, 2006: Conferencing at BT and results of a survey on its economic, environmental and social impacts. Sustain IT, UK Centre for Economic and Environmental Development. Disponível em http://www.btplc.com/Societyandenvironment/Ourapproach/CSRresources/Reports/BTconferencingsurvey2007.pdf. Acessado em 2/05/2011.

Jannuzzi, G., 2000: Políticas públicas para eficiência energética e energia renovável no novo contexto de mercado: uma análise da experiência recente dos EUA e do Brasil. Campinas / São Paulo, SP: Editora Autores Associados / Fapesp. 116pp.

Jannuzzi, G.M. e L. Schipper, 1991: The structure of electricity in the Brazilian household sector.*Energy Policy*, **19**(9), 879-891.

Jannuzzi, G.M. e M.K. Poppe, 2011: Desenvolvimento, cooperação e transferência de tecnologias energéticas de baixa emissão. pp. 195-210.In *Mudança do clima no Brasil: aspectos econoômicos, sociais e regulatórios*[Motta *et al*. (Eds.)].Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), Brasília, DF. Disponível em http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/livro_mudancadoclima_port.pdf.

Jannuzzi, G.M. *et al*., 2009: Considerações sobre o estágio do conhecimento nacional de tecnologias de energia e oportunidades de transferência de tecnologia. Contribuições para a COP-15. Escritório Regional da International Energy Initiative para a América Latina (IEI-LA).Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), Brasília. 83 pp.

Jantalia, C.P. *et al*., 2007: Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. *Soil & Tillage Research*, **95**, 97-109.

Jantalia, C.P. *et al*., 2008: Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **82**, 161-173.

Jardim, C.S. *et al*., 2008: The strategic siting and the roofing area requirements of building-integrated photovoltaic solar energy generators in urban areas in Brazil. *Energy and Buildings,***40**(3), 365-370. Disponível emhttp://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778807000977

Jardim, F.C.S. e M.S. Soares, 2010: Comportamento de Sterculiapruriens (Aubl.) Schum. em floresta tropical manejada em Moju-PA, *Acta Amazonica*, 40(3), 535-542.

Jasinski, E. *et al*., 2005: Physical landscape correlates of the expansion of mechanized agriculture in Mato Grosso, Brazil. *Earth Interactions*, **9**(16), 1-18.

Jochem, E. e E. Gruber, 2007: Local learningnetworks on energy efficiency in industry.Successful initiative in Germany. *Applied Energy,***84**, 806-916.

John, V.M. e R.T.Prado (Coords.), 2010:*Selo Casa Azul – Boas práticas para habitação mais sustentável*. Manual Selo Caza Azul Caixa Econômica Federal. São Paulo, SP: Páginas & Letras Editora Gráfica. 204 pp. Disponível em http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Selo_Casa_Azul_CAIXA_versao_web.pdf

John, V.M., 2000: *Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de*

pesquisa e desenvolvimento.Tese de Livre Docência. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 102 pp. Disponível para download em http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/livredoc%C3% AAnciavmjohn.pdf. Acessado em 1°/04/2011.

Johnston, A.E. *et al*., 2009: Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. *Advances in Agronomy*, **101**, 1-57.

Junk, W.J. e C. Nunes da Cunha, 2005: Pantanal: a large South American wetland at a crossroads. *Ecological Engineering*, **24**, 391-401.

Junk, W.J. *et al*., 2007: Freshwater fishes of the AmazonRiver Basin: their biodiversity, fisheries, and habitats. *Aquatic Ecosystem Health & Management***10**(2), 153-173. doi:10.1080/14634980701351023

Junk, W.J., 2002: Long-term environmental trends and the future of tropical wetlands. *Environmental Conservation*, **29**, 414-435.

Kahn, M.E., 2007: Do greens drive hummersor hybrids? Environmental ideology as a determinant of consumer choice. *Journal of Environmental Economics and Management*, **54**(2), 129-145.

Kaneko, F.A. *et al*., 2010: Custos e rentabilidade do milho em função do manejo do solo e da adubação nitrogenada. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, **40**, 102-109.

Keller, M. *et al*., 2004: Sustainability of selective logging of upland forests in the Brazilian Amazon. Carbonbudgets and remote sensing as tools for evaluation of logging effects. 39 pp. In: *Working Forests in the Neotropics: Conservation Through Sustainable Management?* New York, NY: Columbia University Press. Disponível em http://www.cid.harvard.edu/archive/esd/events/sustainable_logging_revised_4.pdf.

Kemp, R., 2007: T618 Traction energy metrics. pp. 41-63. Rail Safety & Standards Board, Research programme. Disponível em http://www.rssb.co.uk/SiteCollectionDocuments/pdf/reports/Research/T618_traction-energy-metrics_final.pdf. Acessado em 1°/08/2011.

Kennedy, I.R. *et al*., 2004. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? *Soil Biology and Biochemistry*, **36**, 1229-1244.

Ketzer, J. *et al*., 2007: Opportunities for CO_2 capture and geological storage in Brazil: The Carbmap Project. In: *Resource Book*. Proceedings of the Sixth Annual Conference on Carbon Capture and Sequestration.National Energy Technology Laboratory, US Department of Energy (DOE). Disponível emhttp://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/07/carbon-seq/data/papers/wed_025.Pdf.

Klink, C.A. e R.B. Machado, 2005:A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*, **1**(1), 147-155.

Kohlhepp, G., 2010: Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. *Estudos Avançados*, **24**, 223-253.

Kruschewsky, G.C. *et al*., 2007: Arranjo estrutural e dinâmica de crescimento de*Eucalyptus*spp. em sistema agrossilvipastoril no Cerrado.*Cerne*, **13**, 360-367.

Kunz, A. e P.A. Oliveira, 2006: Aproveitamento de dejetos animais para geração de biogás. *Revista de Política Agrícola*, **15**, 28-35.

Kurita, 2009. Incrustrações em caldeiras. Artigo técnico. Disponível em http://www.kurita.com.br/adm/download/Caldeira.pdf. Acessado em 20/07/2009.

La Rovere, E.L. (Coord.) *et al*., 2006: Brazil. In: *Greenhouse Gas Mitigation in Brazil, China anda India: Scenarios and Opportunities through 2025*. [Ogonowski, M. *et al*.]. Center for Clean Air Policy, Washington, DC. 180 pp.

La Rovere, E.L. e S. Raubenheime, 2011: Low carbon scenarios in emergent economies: the Brazilian case. In: *Synthesis Report*. 3rd Annual Meeting of the LCS-RNET in Paris, France, 2011.Paris. Synthesis Report. Disponível em http://lcs-rnet.org/meetings/2011/10/pdf/R1.3_2%20Emilio%20La%20Rovere%20abstract.pdf.

La Rovere, E.L. *et al*., 2011: Estudo comparativo entre três cenários de emissão de gases de efeito estufa no Brasil e uma análise de custo-benefício. MMA/PNUD.

Lacerda, A.E.B. 2007:*Ecological and genetic impacts of reduced-impact logging in the Brazilian Amazonian forest: the case of Hymenaeacourbaril L*. Tese de Doutorado. The University of Reading, Reading, UK. 310 pp.

Lal, R., 2004: Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, **304**(5677), 1623-1627.doi: 10.1126/science.1097396

Lamberts, R. *et al*., 1997: Eficiência energética : estudo de retrofit para um edifício comercial em Florianópolis. pp 424-428.In: *Anais Enac IV*. IVEncontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído,ANTAC,Salvador, BA. Disponível em http://www.infohab.org.br. Acessado em 1o/03/2011.

Lapig, 2012: Alerta de desmatamento: Dados de desmatamentos ocorridos no bioma Cerrado no período de 2002 a 2012, produzidos a partir de imagens MODIS, sendo utilizadas imagens LANDSAT e CBERS para sua validação.Laboratório de processamento de imagens e geoprocessamento (Lapig), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO. Disponível em www.lapig.iesa.ufg.br.

Lapola D.M. *et al*., 2010: Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **107**, 3388-3393.

Latrubesse, E.M. *et al*., 2005:Tropical rivers. *Geomorphology*, **70** (3-4), 187-206.

Laurance, W.F. e G.B. Williamson, 2001: Positive feedbacks among forest fragmentation, drought, and climate change in the Amazon. *Conservation Biology*, **15**(6), 1529-1535.

Laurance, W.F., 1999: Reflections on tropical deforestation crisis. *Biological Conservation*, **91**, 109-117.

Laurance, W.F., 2009: Conserving the hottest of the hotspots. *Biological Conservation*, **142**, 1137.

Leal Jr. *et al*., 2011: Modal choice for transportation of hazardous materials: the case of land modes of transport of bio-ethanol in Brazil. *Journal of Cleaner Production*,**19**, 229-240.

Leal Jr., I. C. e M.D.A. D'Agosto, 2011: Modal choice evaluation of transport alternatives for exporting bio-ethanol from Brazil. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **16**(5), 201-207.

Leal, I.G. *et al*., 2008: Fitorremediação de solo salino sódico por *Atriplex nummularia* e gesso de jazida. *R. Bras. Ci. Solo*, **32**, 1065-1072.

Lean, J. *et al*.,1996: The simulated impact of Amazonian deforestation on climate using measured ABRACOS vegetation characteristics. pp. 549-576. In: *Amazonian Deforestation and Climate* [Gash, J.H.C. *et al*. (Eds.). Chichester, UK: John Wiley and Sons.

Ledbury, M., 2007: Car clubs. Quick hits n°4. UK Energy Research Centre. 4 pp. Disponível em http://www.ukerc.ac.uk/Downloads/PDF/07/0709QHcarclub.pdf. Acessado em 1°/08/2011.

Leder, S.M. *et al*., 2008: Janela de céu preferível: proposição de um parâmetro para controle da disponibilidade de luz natural no meio urbano. *Ambiente Construído*, **8**(1), 89-104.

Leite, H.G., 1994:*Conversão de tronco em multiprodutos de madeira, utilizando programação dinâmica***.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 230 pp.

Leite, C.C. *et al*., 2012: Historical land use change and associated carbon emissions in Brazil from 1940 to 1995.*Global Biogeochem. Cycles*, **26**, GB2011. doi:10.1029/2011GB004133.

Leite, L.F.C. *et al*., 2010: Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **14**, 1273-1280.

Leme Filho, R. e F.L.B. Bacellar, 2009: Implantação de sistema de ar-condicionado central com termo acumulação na Fundação Padre Anchieta, TV Cultura. 5 pp.In: *Anais do III Cobee*. III Congresso Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações, Cobee, Abeee,Belém, PA. 5 pp.

Lenton, T.M. *et al*., 2008: Tipping elements in the Earth's climate system. *Proceedings of the National Academy of Sciences*(*PNAS*), **105**, 1786-1793. doi:10.1073/ pnas.0705414105.

Levine, M. *et al*., 2007: Residential and commercial buildings. In: *Climate Change 2007: Mitigation*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, UK, New York, NY: Cambridge University Press. 60 pp.

Levy, P.E. *et al*., 2004: Modelling the impact of future changes in climate, CO_2 concentration and land use on natural ecosystems and the terrestrial carbon sink. *Global Environmental Change*, **14**, 21-30.

Levy, S.M. 1999:*Reciclagem do entulho da construção civil para utilização com agregados para argamassas e concretos*. Dissertação der Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 147pp.

Lewis, S.L. *et al*., 2011: The 2010 Amazon Drought.*Science*, **331**(6017), 554.

Liebsch, A., 2011: Diesel de cana."Using 10% Sugar Cane Diesel Blends on Commercial Vehicles". Amyris Brasil. Biodiesel Congress, 27-29 de julho de 2011, São Paulo, SP, Disponível em http://pt.slideshare.net/fabiohpaes/13h45-2807-adilson-liebsch-amyris-brasil-noticias-trocar-link-do-banner

Liimatainen, H. e M. Pollanen, 2010: Trends of energy efficiency in Finnish road freight transport 1995-2009 and forecast to 2016. *Energy Policy*, **38**, 7676-7686.

Lilienfein, J. *et al*., 2003: Productivity and soil fertility of pastures on Brazilian savanna Oxisols. *Soil Science Society of America Journal*, **67**, 1195-1205.

Lilienfein, J., 2001: Effects of *Pinus caribaea* forests on the C, N, P, and S status of Brazilian savanna Oxisols. *Forest Ecology and Management*, **147**(2-3), 171-182.

Lima, 2008: Avaliação ambiental estratégica do pólo minero-industrial de Corumbá e Influências sobre a Planície Pantaneira, Relatório Executivo,PPE 9134. Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente (Lima), UFRJ-COPPE.

Lindqvist, E. e G. Tegner, 1998: Measures to reduce the CO_2 emissions from the transport sector in the city of Stockholm. 349-358 pp. In *Proceedings of the 1998 4th international conference on urban transport and the environment,* Ashurst, England, Lisbon, Portugal: Computational Mechanics Publications.

Linnhoff, B. e E. Hindmarsh, 1983:The pinch design method for heat exchanger networks. *Chemical Engineering Science*, **38**, 745-63.

Linquist, B. *et al*., 2012: An agronomic assessment of greenhouse gas emissions from major cereal crops. *Global Change Biology*, **18**, pp. 194-209.

Lisboa, C.C. *et al*., 2011: Bioethanol production from sugarcane and emissions of greenhouse gases. Known and unknowns. *Global Change Biology Bioenergy*, **3**(4), 277-292.

Loarie, S. R., 2011: Direct impacts on local climate of sugar-cane expansion in Brazil. *Nature Climate Change,***1**, 105-109. doi:10.1038/nclimate1067.

Lôbo, D.G.F. e L.S. Bittencourt, 2003: A influência dos captadores de vento na ventilação natural de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos. *Ambiente Construído*, **3**(2), 57-67.

Lopes, C.*et al*, 2013: Mapeamento das áreas de reflorestamento no bioma Cerrado, com base em imagens LANDSAT 5 TM: um estudo de caso para a Fronteira Agrícola no Oeste da Bahia, Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu. XVI SBSR. São José dos Campos, SP: Inpe, 2013. p. 2843-2849.

Lopes, Ignez Vidigal (Coord.) 2009: *O mecanismo de desenvolvimento limpo: guia de orientação*. Imperial Novo Milênio, FIDES, Rio de Janeiro, 136 pp. Disponível em http://r0.unctad.org/ghg/download/other/Guia_vers%E3o%20final%20Fatima.pdf

Lu, D. *et al*., 2002: Above-ground biomass estimation of successional and mature forests using TM images in the Amazon Basin. 183-198 pp.In: *Advances in spatial data handling*: 10th International Symposium on Spatial Data Handling, [Richardson D. e van Oosteron P. (Eeds.)]. New York, NY: Springer.

Ludgero, J.G. e E.S. Assis, 2005: Avaliação preliminar do consumo desagregado da EA/UFMG. pp. 11-16. In: *Anais I CBEE*. I Congresso Brasileiro de Eficiência Energética,Associação Brasileira de Eficiência Energética (ABEE), Belo Horizonte.

Macedo, I.C. *et al*., 2008: Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020. *Biomass and Bioenergy*, **32**, pp. 582-595.

Macedo, I.C., 2001: Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento. Centro de Gestão e EstudosEstratégicos (CGEE), Brasília, DF. Disponível em http://www.cgee.org.br/arquivos/estudo003_02.pdf.

Macedo, M.C.M., 2009: Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **38**, 133-146.

Machado, L.A.Z., 1999:*Manejo de pastagem nativa*. Guaíba, RS: Editora Agropecuária. 156 pp.

Machado, P.L.O.A. e C.A. Silva, 2001: Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecossystems*, **61**, 119-130.

Machado-Pinheiro, E.F. *et al*., 2010: Impact of pre-harvest burning *versus* trash conservation on soil carbon and nitrogen stocks on a sugarcane plantation in the Brazilian Atlantic Forest Region. *Plant and Soil*, **333**(1-2), 71-80.

Magalhães, K.A. *et al*., 2009: Utilização da técnica do gás traçador SF_6 para medição do metano ruminal em novilhos zebuínos alimentados exclusivamente com forrageiras tropicais. In:*Anais da 46ªSBZ*. 46ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Maringá, PR. Disponível em http://www.sbz.org.br/reuniaoanual/anais/?idiom=pt.

Maia, S.M.F. *et al*., 2009: Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. *Geoderma*, **19**, 84-91.

Malhado, A.C.M. *et al*., 2010: Cerrado conservation is essential to protect the Amazon rainforest. *AMBIO*, **39**(8), 580-584.doi:10.1007/s13280-010-0084-6.

Malhi, Y. e J. Grace, 2000: Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. Trends in Ecology & Evolution, 15, 332-337.

Malhi, Y. e J. Wright, 2004: Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical rainforest regions.*Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, **359**(1443), 311-329.

Malhi, Y. *et al*., 1998: Carbon dioxide transfer over a Central Amazonian rain forest, *J. Geophys. Res*., **103**(D24), 31593-31612.

Malhi, Y. *et al*., 2006: Regional variation of above-ground live biomass in old-growth Amazonian forests. *Glob. Change Biol*., *12*, 1-32.

Malhi, Y. *et al*., 2008: Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science,***319**, 169-172.

Malhi, Y. *et al*., 2009: Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest.*Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, **106**(49), 20610-20615.

Manzatto, C.V. *et al*., 2009: Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento,Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Série Documentos 110, Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 55 pp.
Mapa, 2009: Agenda Estratégica do Setor de Florestas Plantadas. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), Câmara Setorial de Silvicultura, Brasília, DF. Disponível em http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Florestas_plantadas/9_reuniao/Agenda_Sivicultura.pdf. Acessado em 1°/03/2011.

Mapa, 2010a: Programa de Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, (Mapa) Brasília, DF. Disponível em http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plano-abc. Acessado em 13/08/2011.

Mapa, 2010b: Projeções do Agronegócio Brasil 2009/2010 a 2019/2020. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), Assessoria de Gestão Estratégica, Brasília, DF.

Mapa, 2011a: Projeções do Agronegócio, Brasil 2010/2011 a 2020/2021. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), Assessoria de Gestão Estratégica. Brasília, DF. 59 pp. Disponível em http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/gestao/projecao/PROJECOES%20DO%20AGRONEGOCIO%202010-11%20a%202020-21%20-%202_0.pdf.

Mapa, 2011b: Plano Agrícola e Pecuário 2011-2012. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), Secretaria de Política Agrícola/MAPA, Brasília, DF. 92 pp.

Maraschin, G.E., 2009: Manejo do campo nativo, produtividade animal, dinâmica da vegetação e adubação de pastagens nativas do Sul do Brasil.pp 248-259. In: *Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. [Pillar, V.D. *et al*. (Org.)]. MMA, Brasília, DF.

Marchão, R.L. *et al*., 2009: Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop-livestock management systems. *Soil and Tillage Research*, **103**, 442-450.

Marcondes, M.P. *et al*., 2010: Conforto e desempenho térmico nas edificações do novo Centro de Pesquisas da Petrobras no Rio de Janeiro. *Ambiente Construído*, **10**(1), 7-29.

Marengo, J.A., 2009:Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *International Journal of Climatology*, **29**, 15, 2241-2255. doi:10.1002/joc.1863.

Marengo, J.A.*et al*., 2010:Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. *Climate Dynamics*, **35**, 6, pp 1073-1097.

Margulis, S., 2003: Causas do desmatamento da Amazônia Brasileira. 1ª ed., Banco Mundial, Brasília.

Margulis, S. e C. B.S. Dubeux, 2010: *Economia da mudança do clima no Brasil: Custos e oportunidades*. São Paulo, SP: IBEP Gráfica. 82 pp.

Margulis, S. *et al*., 2011: *Economia da mudança do clima no Brasil*. Editora Synergia, Rio de Janeiro, 331 pp.

Marland, G. *et al*., 2001: Soil carbon: policy and economics. *Climatic Change*, **51**, 101-117.

Marques, R.M.B.S. *et al*., 2006: A universalização do atendimento no campo gerando um problema de exclusão social. In: *Proceedings do 6º EEMR*. Encontro de Energia no Meio Rural, 6, Campinas. Disponível em http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000100004&lng=en&nrm=abn. Acessado em 1º/07/2011.
Marreco, J.A. *et al*., 2006: Perspectivas para a geração termelétrica a carvão. *Revista Brasileira de Energia*, **12**(2), 1-10.

Martha Jr. *et al*., 2004: Perda de amônia por volatilização em pastagem de capim-tanzânia adubada com ureia no verão. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **33**, 2240-2247.

Martin, N. *et al*., 2000: Emerging energy-efficient industrial technologies. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), Report Number LBLN-57572. Berkeley, CA. 191 pp.

Martinelli, L.A. *et al*., 2010: Agriculture in Brazil: impacts, costs, and opportunities for a sustainable future. *Curr. Opin. Environ. Sustain*., **2**, 431-438.

Martins, F.R. *et al.*, 2007. Satellite-derived solar resource maps for Brazil under SWERA Project. *Solar Energy,* **81**(4), 517-528.

Martins, F.R. *et al.*, 2008a: Solar energy scenarios in Brazil, part one: Resource assessment. *Energy Policy* **36**(8), 2843-2854.

Martins, F.R. *et al.*, 2008b: Solar energy scenarios in Brazil. part two: Photovoltaics applications. *Energy Policy,* **36**(8), 2865-2877.

Martins, F.R.e E.B. Pereira, 2011: Enhancing information for solar and wind energy technology deployment in Brazil.*Energy Policy,* **39**(7), 4378-4390.

Mascarenhas, L.M.A. *et al.*, 2009: Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do rio Araguaia. *Sociedade & Natureza*, **21**(1), 5-18.

Mascaró, J.L. e L.E.R. Mascaró (Coords.), 1992: *Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios*. 2ª ed. Porto Alegre, RS: Sagra-DC Luzzatto. 134 pp.

Maslin, M. *et al.*, 2005:Causes of catastrophic sediment failures of the Amazon Fan. *Quaternary Science Reviews*,**24**, 2180-2193.

Mattos-Fonseca, S., 2001:*O valor de existência de um ecossistema costeiro tropical, através da disposição ao trabalho voluntário*.Dissertação de Mestrado em Ciência Ambiental, Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ.

Mattos-Fonseca, S., 2010:*Avaliações diárias e sazonais das concentrações de CO_2 em um ecossistema de manguezal: dimensões micrometeorológicas e econômicas*. Tese de Doutorado em Meteorologia, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG.

Mattos-Fonseca, S. e J.A. Drummond, 2003: Reflorestamento de manguezais e o valor do resgate para o sequestro de carbono atmosférico. Manguinhos. Fiocruz. *História, Ciências, Saúde*, **10**(3), 1071-1080.

Mattos-Fonseca, S. *et al.*, 2000:Considerações sócio-ambientais para subsidiar a valoração dos danos do derramamento de petróleo em manguezais do Rio de Janeiro, Brasil.In: Laboratório em Diagnóstico e Gestão Participativa de Ecossistemas [May, P.H. (Coord.)].Programa de Pós-Graduação de Ciências Sociais em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade/Universidade Federal do Rio de Janeiro (CPDA/UFRRJ), Rio de Janeiro, RJ..

Mattoso, M.J. *et al.*, 2001: Custo de produção em plantio direto. *Informe Agropecuário*, **22**, 109-116.

MCidades, 2009: Plano Nacional de Habitação (PlanHabB). Ministério das Cidades (MCidades). Brasília, DF. Disponível em http://www.cidades.gov.br/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=132&Itemid=159. Acessado em 23/05/2011.

McKinsey, 2009a: Roads toward a low-carbon future: Reducing CO_2 emissions from passenger vehicles in the global road transportation system. McKinsey & Company, New York, NY. Disponível em http://www.mckinsey.com/clientservice/ccsi/pdf/roads_toward_low_carbon_future.pdf. Acessado em 1°/082011.

McKinsey, 2009b: Pathways to a Low-Carbon Economy: Version 2 of Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve. McKinsey & Company, New York, NY. www.mckinsey.com/clientservice/ccsi/pathways_low_carbon_ economy.asp

McKinsey, 2009c: Caminhos para uma economia de baixa emissão de carbono no Brasil. McKinsey & Company, São Paulo, SP.

Mckinsey, 2010: Pathways to a Low Carbon Economy for Brazil. Mckinsey & Company, New York, NY. Disponível emhttp://www.mckinsey.com/en/Client_Service/Sustainability/Latestthinking/~/media/McKinsey/dotcom/client_service/Sustainability/cost%20curve%20PDFs/pathways_low_carbon_economy_brazil.ashx. Acessado em 28/12/2010.

MCTI, 2009:Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Ministério de Ciência e Tecnologia (MCTI). Brasília, DF.

MCTI, 2010a: Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCTI), Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima, Brasília, DF.

MCTI, 2010b: Relatório de Referência, Emissões de Gases de Efeito Estufa no Setor Uso da terra, Mudança do Uso da terra e florestas. Ministério de Ciência e Tecnologia (MCTI), Brasília, DF.

MCTI, 2010c: Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatório de Referência. Emissões de gases de efeito estufa no tratamento e disposição de resíduos. Elaborado por: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb). Ministério de Ciência e Tecnologia, Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento, Departamento de Programas Temáticos, Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima, Brasília, DF.Disponível em http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/geesp/file/docs/publicacao/nacional/2_comunicacao_nacional/rr/residuos/brasil_mcti_residuos.pdf.

MCTI, 2011a: Fatores de emissão para o Sistema Interligado Nacional de Energia Elétrica, SIN. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI):Disponível em www.mcti.gov.br. Acessado em 1°/11/2011.

MCTI, 2011b: Inventário brasileiro de emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal . Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, In: Segunda Comunicação Nacional Brasileira à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - Parte II. Disponível em http://www.MCTI.gov.br/index.php/content/view/310922.html. Acessado em 20/12/2011.

MCTI, 2012: Informações sobre Fundos Setoriais. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Disponível em www.mcti.gov.br. Acessado em 1°/11/2012.

Medeiros, J.L. *et al.*, 2008: A model for pipeline transportation of supercritical CO_2 for geological storage. *Journal of Pipeline Engineering*, 7, 253-279.

Meggers, B.J., 1994: Archeological evidence for the impact of mega-Niño events on Amazonia during the past two millennia. *Climatic Change,* **28**(4), 321-338.

Meijide, A. *et al.*, 2007: Nitrogen oxide emissions from an irrigated maize crop amended with treated pig slurries and composts in a Mediterranean climate. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **121**, 383-394.

Melo, A.S.T., 2001: Desertificação: etimologia, conceitos, causas e indicadores. *Revista de Geografia*, **17**(1), 49-56.

Mendes, N. *et al*., 2005: Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. *Ambiente Construído*, **5**(4), 47-68.

Mendonça, M.J.C., 2004:The economic cost of the use of fire in the Amazon. *Ecological Economics*, **49**(1), 89-105. doi:10.1016/j.ecolecon.2003.11.011.

Metay, A. *et al*., 2007: N_2O and CH_4 emissions from soils under conventional and no-till management practices in Goiania (Cerrados, Brazil). *Geoderma*, **141**, 78-88.

Metcalfe, D. B. *et al*., 2010b: Shifts in plant respiration and carbon use efficiency at a large-scale drought experiment in the eastern Amazon.*New Phytologist*, **187**(3), 608-621.

Metcalfe, D.B. *et al*., 2010a: Impacts of experimentally imposed drought on leaf respiration and morphology in an Amazon rain forest.*Functional Ecology*, **24**(3), 524-533.

MIN, 2005: Nova delimitação do semiárido brasileiro. Ministério da Integração Nacional (MIN): Brasília, DF. 33 pp.

Mistry, J., 1998: Decision-making for fire use among farmers in the Savannas of central Brazil. *Journal of Environmental Management*, **54**, 321-334.

Mittermeier, R.A. *et al*., 2005:*Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and most Endangered Terrestrial Ecoregions*. Mexico City, Mexico: Cemex Conservation International. 392 pp.

Miziara, F. e N.C. Ferreira, 2008: Expansão da fronteira agrícola e evolução da ocupação e uso do espaço no estado de Goiás: subsídios à política ambiental. In: *A encruzilhada socioambiental. Biodiversidade, economia e sustentabilidade no Cerrado*. [Ferreira, L.G. (Org.)], Goiânia,GO: Editora da UFG. 223pp.

MMA, 2000: Desertificação. Report. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília,DF.

MMA, 2006: Instrução Normativa nº 5, de 11 de dezembro de 2006. Dispõe sobre os procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Disponível em http://www.mma.gov.br/estruturas/sfb/_arquivos/in05_manejo_florestal.pdf.

MMA, 2007: Áreas prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira: atualização – Portaria MMA n°9, de 23 de janeiro de 2007. Série Biodiversidade 31. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Departamento de Conservação da Biodiversidade. Brasília, DF. 301 pp.

MMA, 2008: Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Governo Federal Comitê Interministerial Sobre Mudança do Clima, Decreto nº 6.263, de 21 de novembro de 2007. Disponível em http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_climaticas/_arquivos/plano_nacional_mudanca_clima.pdf.

MMA, 2009: Relatório técnico de monitoramento do desmatamento no bioma Cerrado, 2002 a 2008: dados revisados. Ministério do Meio Ambiente, (MMA), Brasília, DF. 67 pp. Disponível em http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/relatorio_tecnico_monitoramento_desmate_bioma_cerrado_csr_ibama_2002_2008_rev_72.pdf

MMA, 2010: Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite. Monitoramento do bioma Pantanal 2002 a 2008. Ministério do Meio Ambiente, (MMA)/ IBAMA/ CID. Brasília, DF. 30 pp.

MMA, 2011a: Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental, Departamento de Mudanças Climáticas, Gerência de Qualidade do Ar. Brasília, DF.

MMA, 2011b: Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas. Cerrado.Ministério do Meio Ambiente, (MMA), Brasília, DF. 187 pp. Disponível em http://www.mma.gov.br/estruturas/168/_publicacao/168_publicacao02052011030550.pdf

MMA, 2012: Cadastro Nacional de Unidades de Conservação. Ministério do Meio Ambiente, (MMA), Brasília, DF.

MMA/ ARPA/ UCP, 2009: Report no ICR00001126. Ministério do Meio Ambiente, Amazon Region Protected Areas Project (Arpa), Unidade de Coordenação do Programa Arpa (UCP). World Bank, Sustainable Development Unit, Brazil Country Management Unit, Latin America and the Caribbean Region, Washington, DC. 52 pp. Disponível em http://www.programaarpa.gov.br/wp-content/uploads/2012/10/ImplementationCompletionandResultsReport2009BancoMundial%C2%A0.pdf.

MMA/ Ibama, 2008: Projeto Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros por Satélite. Secretaria de Biodiversidade e Florestas do Ministério do Meio Ambiente (SBF/MMA) e Instituto Brasileiro e do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). Disponível em http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/

MME, 1997: Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro. Sumário Executivo. Ministério das Minas e Energia (MME). Brasília, DF.

MME,2003: Modelo Institucional do Setor Elétrico.Ministério das Minas e Energia (MME),Brasília, DF.
MME, 2007: Anuário Estatístico 2007. Setor de Transformação de Não Metálicos. Ministério de Minas e Energia (MME), Brasília, DF. 72 pp.

MME, 2008: Dados históricos de energia e economia. Ministério de Minas e Energia (MME), Brasília, DF. Disponível em http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html.

MME, 2009: Balanço Energético Nacional. Ministério das Minas e Energia (MME), Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2009.pdf
MME, 2010a: Estudo e propostas de utilização de geração fotovoltaica conectada à rede, em particular em edificações urbanas. Ministério das Minas e Energia (MME), Brasília, DF. Disponível em http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/mmegtsf.pdf. . Acessado em julho de 2011.

MME, 2010b: Plano Nacional de Eficiência Energética. Premissas e Diretrizes Básicas na Elaboração do Plano. Ministério das Minas e Energia (MME), Brasília, DF.http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2010/PNEf_-_Premissas_e_Dir._Basicas.pdf. Acessado em junho de 2011.

MME, 2011a: Plano Nacional de Eficiência Energética. Premissas e Diretrizes Básicas. Ministério de Minas e Energia (MME), Brasília, DF. 134 pp. Disponível em http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf.

MME, 2011b: Plano Nacional de Mineração 2030 (PNM2030). Ministério de Minas e Energia, Brasília, DF.

MME, 2013: Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico 2013.. Ministério de Minas e Energia (MME), Brasília, DF. Disponível em: http://www.mme.gov,br. Acesso em 06/07./2014

MME/ FDTE, 2005: Balanço de Energia Útil. Ministério de Minas e Energia (MME) / Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE), Brasília, DF. pp. 260-261, Anexo In: Balanço Energético Nacional 2013 / ano base 2012. Disponível em http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/2_-_BEN_-_Ano_Base/1_-_BEN_Portugues_-_Inglxs_-_Completo.pdf.

Moraes, A.S., 2008:*Pecuária e conservação do Pantanal: análise econômica de alternativas sustentáveis – o dilema entre benefícios privados e sociais*. Tese de Doutorado em Economia, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, PE. 265 pp.

Moran, E.F., 1993: Deforestation and land use in the Brazilian Amazon. *Human Ecology*, **21**(1), 1-21.
Moreira, A.M. *et al*., 2008: Estudo da integração energética de uma unidade de destilação atmosférica e a vácuo. In: *Proceedings 4º CB PDPetro*. 4º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, PDPETRO, Campinas, SP. 10 pp.

Moreira, J.M.M.A.P. e G.B. Mozzer, 2009: Aspectos institucionais econômicos de atividades de florestamento/ reflorestamento sob o âmbito de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo .Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. 39 pp.

Morello, T.F. *et al*., 2011: Rompendo com o *trade-off* entre combate à pobreza e mitigação do efeito estufa: o caso do consumo domiciliar de energéticos no Brasil. In: *Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios* [Motta, R. *et al*. (Eds.)]. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Brasília: Ipea. 440 pp.

Moretz-Sohn M.J. 2009: *Um estudo sobre alternativas de sequestro de carbono: modelos, métricas eotimalidade*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em http://tpqb.eq.ufrj.br/download/alternativas-de-sequestro-de-carbono.pdf.

Morton, D.C.,2006:Cropland expansion changes deforestation dynamics in the Southern Brazilian Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences* (*PNAS*), **103**(39), 14637-14641.

Mosier, A.R. *et al*., 2004: Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils: sources, sinks and mechanisms. *Environment, Development and Sustainability*, **6**, 11-49.

Moss, A.R. *et al*., 2000: Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annales de Zootechnie*, **49**, 231-253.

Mota, F.S. *et al*., 1981: Índice climático de crescimento de pastagens naturais no Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **16**(4), 453-472.

Motta, R.S. da *et al*., 2011: *Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Brasília: Ipea. 440 pp.

Moura, A.D. e J. Shukla, 1981: On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *J. Atmos. Sci.*, **38**, 2653–2675. doi:http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469(1981)038<2653:OTDODI>2.0.CO;2.

Moura, N.C.S. *et al*., 2009: Arquitetura e desempenho luminoso: CENPES II, o novo centro de pesquisas da Petrobras, no Rio de Janeiro, Brasil. *Ambiente Construído*, **9**(2), 151-172.

Moutinho, P.,*et al*., 2011: REDD no Brasil: um enfoque amazônico: Fundamentos, critérios e estruturas institucionais para um regime nacional de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação, REDD. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (Ipam), Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR). Brasília, 2ªedição. Disponível em http://www.sae.gov.br/site/wp-content/uploads/REDD-no-Brasil-2a-edição.pdf.

Müller, M.D. *et al*., 2009: Estimativa de acúmulo de biomassa e carbono em sistema agrossilvipastoril na Zona da Mata mineira. *Pesquisa Florestal Brasileira*, **60**, 11-17.

Müller, N. e J. Harnisch, 2008: A blueprint for a climate friendly cement industry. WWF International, Switzerland. Disponível em http://awsassets.panda.org/downloads/english_report_lr_pdf.pdf.

Münier, B. *et al*., 2004: Combined ecological and economic modeling in agricultural land use scenarios. *Ecological Modelling*, **174**, 5-18.

Mutuo, P.K. *et al*., 2005: Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **71**(1), 43-54.
Myers, N. *et al*., 2000: Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, **403**, 853-858.

Nascimento, C.F.M., 2007: *Emissão de metano por bovinos Nelore ingerindo* Brachiaria brizantha *em diferentes estádios de maturação*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP. 65 pp. Disponível em http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/10/10135/tde-19102007-134319/pt-br.php

Nascimento, M.T. e C. Nunes da Cunha, 1989: Estrutura e composição florística de um cambarazal no Pantanal de Poconé, MT. *Acta Botanica Brasilica*, **3**, 3-11.

Navarini, F.C. *et al*., 2009: Conforto térmico de bovinos da raça Nelore a pasto sob diferentes condições de sombreamento e a pleno sol. *Engenharia Agrícola*, **29**, 508-517.

Neeff, T. e S. Henders, 2007:*Guidebook to markets and commercialization of forestry CDM projects*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Série técnica. Manual técnico CATIE n°65. 42 pp.

Neill, C.*et al*., 2006: Hydrological and biogeochemical processes in a changing Amazon: results from small watershed studies and the large-scale biosphere-atmosphere experiment. *Hydrological Processes*, **20**, 2467-2476. doi:10.1002/hyp.6210.

Nepstad, D.C. *et al*., 1999: Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*, **398**(6727), 505-508.

Nepstad, D.C. *et al*., 2006:Globalization of the Amazon soy and beef industries: opportunities for conservation. *Conservation Biology*, **20**(6), 1595-1603.

Nepstad, D. C. *et al*., 2007a: The costs and benefits of reducing carbon emissions from deforestation and forest degradation in the Brazilian Amazon. Woods Hole Research Center, Falmouth, MA. 28 pp.
Nepstad, D.C. *et al*., 2007b: Mortality of large trees and lianas following experimental drought in an Amazon forest.*Ecology*, **88**(9), 2259-2269.

Nepstad, D.C. *et al*., 2008: Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. *Phil. Trans. R. Soc. B*,**363**,1737-1746. doi:10.1098/rstb.2007.0036 1471-2970.

Nepstad, D.C. *et al*., 2009: The end of deforestation in the Brazilian Amazon.*Science*, **326**, 1350-1351.

Neto, G.B. *et al*., 2009: Monensin and protein supplements on methane production and rumen protozoa in bovine fed low quality forage. *South African Journal of Animal Science*, **39**, 280-283.

Neumann, P.S. e C. Loch, 2002: Legislação ambiental, desenvolvimento rural e práticas agrícolas. *Ciência Rural*:**32**(2), 243-249.

Neves, M.E. *et al*., 2006: "Safra 2006-2007, Defensivos em queda". *Agroanalysis*, revista de agronegócios de FGV. Disponível em http://www.agroanalysis.com.br/materia_detalhe.php?idMateria=82. Acessado em 11/12/2011.

Nimer, E., 1988: Desertificação: realidade ou mito? *Revista Brasileira de Geografia*, IBGE/RS, **50**(01), 7-39.

Nobre, C.A. eL.S. Borma, 2009:Tipping points for the Amazon forest. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, **1**, 28-36. doi:10.1016/j.cosust.2009.07.003.

Nobre, C.A. *et al*., 2005: O impacto do aquecimento global nos ecossistemas brasileiros e na agricultura. *Scientific American Brasil*, **12**, 70-75.

Nogueira, L.A.H., 2007:Uso racional: a fonte energética oculta. *Estudos Avançados*, **21**, 91-105.

Noris, K. e N. McCulloch, 2003:Demographic models and the management of endangered species: a case study of the critically endangered Seychelles magpie robin. *Journalof AppliedEcology*, **40**, 890-899.

North, D.C., 2003: *Structure and Change in Economic History*.New York, NY: W.W. Norton & Co.
Novaes, P.C. *et al*. 2003: Identificação de áreas prioritárias para a conservação da bio-geodiversidade no Estado de Goiás. *Boletim Goiano de Geografia*, **23**(1), 41-54.

NRC, 2002. Effectiveness and Impact of Corporate Average Fuel Economy Standards. National Research Council (NRC), National Academy Press, Washington, DC.

NRC, 2006: Tires and passenger vehicle fuel economy. National Research Council (NRC) of the National Academies,National Academy Press, Transportation Research Board, Special Report 286. Washington, DC.

NRC, 2008. Assessment of Technologies for improving light duty vehicle economy. National Academy Press, Washington, DC.

Odebrecht, 2007: A logística do etanol. Perspectivas dos produtores. Página Web. Disponível em http://www.anebrasil.org.br/periodico/Logistica%20do%20Etanol.pdf. Acessado em 5/06/2008.

OECD, 1997: Eco-Efficiency in Transport. In: Workshop Report and Background Paper, Group on Pollution Prevention and Control, Task Force on Transport. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Paris.

Oliveira, A., 2011: Setor elétrico: desafios e oportunidades. Cepal Escritório no Brasil/ Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), Brasília, DF.

Oliveira, M.D.M. e K. Nachiluk, 2011: Custo de produção de cana-de-açúcar nos diferentes sistemas de produção nas regiões do estado de São Paulo. *Informações Econômicas*, **41**, 5-33.

Oliveira, O.C. *et al*., 2001: Response of degraded pastures in the Brazilian Cerrado to chemical fertilization. *Pasturas Tropicales*, **23**, 14-18.

Oliveira, O.C. *et al*., 2004a: Chemical and biological indicators of decline/degradation of *Brachiaria* pastures in the Brazilian Cerrado. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **103**, 289-300.

Oliveira, P.J.*et al*., 2004b: Fluxos de CO_2 atmosférico em um ecossistema de manguezal na região amazônica, Bragança, Pará. UFRA, MPEG, IERM/UEdin,UFPA, UFV, mimeo.

Oliveira, R.S. *et al*., 2005: Hydraulic redistribution in three Amazonian trees. *Oecologia*, **145**(3), 354-363.

Oliveira, S.G. *et al*., 2007: Effect of tannin levels in sorghum silage and concentrate supplementation on apparent digestibility and methane emission in beef cattle. *Animal Feed Science and Technology*, **135**, 236-248.

Oliveira-Filho, A.T. e M.A.L. Fontes, 2000:Patterns of floristic differentiation among Atlantic forests in Southeastern Brazil and the influence of climate. *Biotropica*, **32**, 793-810.

Ometto, A.R. *et al*., 2005:Mapeamento de potenciais de impactos ambientais da queima de cana-de-açúcar no Brasil. pp. 2297-2299. In: *Anais do XII do SBSR*.XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe).

Ordenes, M. *et al*., 2007: The impact of building-integrated photovoltaics on the energy demand of multi-family dwellings in Brazil.*Energy and Buildings*, **39**(6),629-642.

Ory, D.T. e P.L. Mokhtarian, 2006: Which came first, the telecommuting or the residential relocation? An empirical analysis of causality. *Urban Geography*, **27**(7), 590-609.

OTA, 1993: Industrial Energy Efficiency. US Office of Technology (OTA), Office of Technology Assessment. Congress of the United States of America, Washington, DC. 141 pp.

Overbeck, G. E. *et al*., 2007: Brazil's neglected biome: the South Brazilian Campos. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, **9**(1), 101-116.

Oyama, M. D. e C.A. Nobre, 2003:A new climate-vegetation equilibrium state for tropical South America. *Geophysical Research Letters*, **30**(23), 2199.

Padovani, C.R. *et al*., 2004:Desmatamento do Pantanal brasileiro para o ano 2000. In:*Anais do IV Simpan*.IV Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal,Corumbá, MS.

Padovani, C.R.*et al*., 2001: Sistema de monitoramento e alerta de inundações e secas no Pantanal. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 15., 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: 2011. Disponível em:http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/Trabalhos_Aprovados.pdf

Paixão F.A. *et al*., 2006:Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto.*Revista Árvore*, **30**(3), 411-420.

Palmer, K.L. *et al*., 1995: The cost of reducing municipal solid waste: comparing deposit-refunds, advance disposal fees, recycling subsidies, and recycling rate standards. Resources for the Future (RFF) Discussion Paper 95-33. Disponível em http://www.rff.org/Publications/Pages/PublicationDetails.aspx?PublicationID=17554

Palmer, W.C., 1968: Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: the new Crop Moisture Index. *Weatherwise*, **21**, 156-161.

PAN-Brasil, 2005: Programa Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Recursos Hídricos, Brasília, DF. Disponível em http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_desertif/_arquivos/pan_brasil_portugues.pdf.

Parolin, P. e F. Wittmann, 2010: Struggle in the flood: tree responses to flooding stress in four tropical floodplain systems. *AoB Plants*, plq003. doi:10.1093/aobpla/plq003

Parolin, P. *et al*., 2010: Drought responses of flood-tolerant trees in Amazonian floodplains. *Annals of Botany*, **105**(1), 129-139.

Pedreira, M.S., 2004: *Estimativa da produção de metano de origem ruminal por bovinos tendo como base a utilização de alimentos volumosos: utilização da metodologia do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF6)*. Tese de Doutorado. UNESP-FCAV, Jaboticabal. 162 pp.Disponível em http://www.athena.biblioteca.unesp.br/F/GMPS4CY6B4U7U8LFFT5UTVST8TVS8C14X5TX1MKBHAKPMFYARV-04744?func=ítem-global&doc_library=UEP01&doc_number=000228587&year=&volume=&sub_library=BJA.

Pedreira, M.S. *et al*., 2003: Emissão de metano de origem ruminal em novilhas alimentadas com diferentes variedades de cana-de-açúcar e suplementadas com concentrado ou uréia. In: *Anais da 40ª SBZ*. 4ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Santa Maria. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. Disponível em http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPPSE/14655/1/PROCIOP2003.00084.PDF.

Pereira R.C. *et al*., 2008: Caracterização da contribuição do entorno na avaliação da iluminação natural. *Ambiente Construído*, **8**, 4, 103-115.

Pedreira, M.S. *et al*., 2009: Ruminal methane emission by dairy cattle in southeast Brazil. *Scientia Agricola*, **66**, 742-750.

Pereira, J.V.C., 1966: Pantanal.pp. 483-488.In: *Tipos e aspectos do Brasil*. [IBGE (Org.)]. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Rio de Janeiro, RJ.

Pereira, A.C.R., 2002:*Amostra e diagnóstico da situação de consumo energético do parque edificado residencial em Belo Horizonte*. Monografia de Iniciação Científica. Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. 39 pp.

Pereira, O.S. e M.G.P. Figueiredo, 2009: Um futuro energético sustentável para a Bahia. *Revista Desenbahia*, **5**(10).

Pereira, O.S. *et al*.,2010a: Sistema basileiro de *cap and trade* no setor elétrico. Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável, Rio de Janeiro, RJ.

Pereira, D. *et al*., 2010b: Fatos florestais da Amazônia. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon). Belém, PA.

Pereira, I.M. *et al*., 2011: Retrofit de edifício de serviços para eficiência energética In: *Anais do IV Cobee*. IV Congresso Brasileiro de Eficiência Energética (Cobee), Associação Brasileira de Eficiência Energética (Abee). Universidade Federal de Juiz de fora (UFJF), Juiz de Fora, MG.

Pérez Marin, A.M., 2006: Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistema agroflorestal no agreste paraibano. *R. Bras. Ci. do Solo*, **30**(3),

555-564.

Peron, A.J. e A.R. Evangelista, 2004: Degradação de pastagens em regiões de Cerrado. *Ciência e Agrotecnologia*, **28**, 655-661.

Petrobras, 2007: Plano Estratégico 2020. Petrobras, Rio de Janeiro, RJ.

Phalan, B., 2011: Minimising the harm to biodiversity of producing more food globally. *Food Policy*,**36**, S62-S71.

Philander, S.G. 1990: *El Niño, La Niña, and Southern Oscillation*. Londres: Academic Press. 289pp.
Phillips, O.L. *et al*., 2002: Changes in growth of tropical forests: evaluating potential biases.*Ecological Applications*, **12**(2), 576-587.

Phillips, O.L. *et al*., 2009: Drought sensitivity of the Amazon rainforest.*Science*, **323**(5919), 1344-1347.

Phillips, O.L. *et al*., 2010: Drought-mortality relationships for tropical forests.*New Phytologist*, **187**(3), 631-646.

Piccilli, D.G.A., 2007: *Avaliação da previsão hidroclimática no Alto Paraguai*. Tese de Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 208 pp.

Pijanowski, B., 2007: Using backcast land-use change and groundwater travel-time models to generate land-use legacy maps for watershed management. *Ecology and Society*, **12**(2), 25.

Pimentel, D. *et al*., 1995: Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, **267**, 1117-1123.

Pinto, T.P. 1999:*Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*. Tese de Doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 189pp. Disponível em http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/tese_tarcisio.pdf. Acessado em 2/04/2011.

Pires, M.O., 2000: Programas agrícolas na ocupação do Cerrado. *Sociedade e Cultura*, **3** (1-2), 111-131.

Pivello, V.R. e L.M. Coutinho, 1996: A qualitative successional model to assist in the management of Brazilian Cerrados. *Forest Ecology and Management*, **87**, 127-138.

PNLT,2007: Relatório Executivo. Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT) 2008-2033. Ministério da Defesa / Ministério dos Transportes, Brasília, DF. Disponível em http://www2.transportes.gov.br/.

Porto Alegre, 2007: Prefeitura Municipal, Lei Complementar nº 560, de 3 de janeiro de 2007. Institui o Programa de Incentivos ao Uso de Energia Solar nas Edificações e dá outras providências. Disponível em http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nph-brs?s1=000028860.DOCN.&l=20&u=/netahtml/sirel/%20simples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT.
Acessado em 8/11/2012.

Possenti, R.A., 2006: *Efeitos de dietas com Leucaena leucocephala com ou sem adição de Sacharomyces cerevisiae na digestão, fermentação, protozoários e produção de metano no rúmen em bovinos*. Tese de Doutorado. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP. 100 pp. Disponível em http://www.teses.usp.br/teses/

disponiveis/74/74131/tde-18072006-135007/pt-br.php.

Possenti, R.A. *et al*., 2008: Efeitos de dietas contendo *Leucaena leucocephala* e *Saccharomyces cerevisiae* sobre a fermentação ruminal e a emissão do gás metano em bovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **37**, 1509-1516.

Poth, M. *et al*., 1995: The magnitude and persistence of soil NO, N_2O, CH_4, and CO_2 fluxes from burned tropical savanna in Brazil. *Global Biogeochemical Cycles*, **9**, 503-513.

Potter, C.S. *et al*., 1998: Regional application of an ecosystem production model for studies of biogeochemistry in Brazilian Amazonia. *Global Change Biology*, **4**(3), 315-333.

Poulton, M.L., 1997: *Fuel Efficient Car Technology*. Ashurst Lodge, SO: WIT Press / Computational Mechanics Publications. 160 pp.

Powlson, D.S. *et al*., 2011: Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. *European Journal of Soil Science*, **62**, 42-55.

Procel, 2003: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) 2003. Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações. Disponível em http://www.procelinfo.com.br. Acessado em 28/05/2011.

Procel, 2007: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica 2007. Relatório Eletrobras/ Procel. Pesquisa de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Uso, Ano Base 2005, Classe Residencial. Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em http://www.eletrobras.com/pci/main.asp. Acessado em 2/05/2010.

Procel, 2008: Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso, Ano Base 2005, Classe Comercial Alta Tensão. Relatório. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel). Eletrobras/ Procel, Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em http://www.eletrobras.com/pci/main.asp. Acessado em 2/05/2010.

Procel, 2012: Resultados históricos. Disponível em http://www.eletrobras.com.br/procel. Acessado em 1°/11/2012.

Puchalski, L.A. *et al*., 2001: Anomalias da precipitação pluvial de primavera-verão no estado do Rio Grande do Sul associadas ao El Niño e a La Niña. In: *Anais do XII CBAgro*.XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologiae II Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia,Fortaleza, Ceará.

Querner, E. *et al*., 2005: Impact of climate change and agricultural developments in the Taquari River basin, Brazil. In: *Regional hydrological impacts of climatic change – impact assessment and decision making*.[Wagener T. *et al*. (Eds.)]. Proceedings of Symposium 6, IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguaçu, Brazil, April . IAHS Publication 295, pp 19-25.

Rambaldi, D. *et al*., 2003: Projeto de ação climática na região de ocorrência do mico-leão-dourado. Associação Mico-Leão-Dourado, Rio de Janeiro, 2003.

Ramírez, C.A. e E. Worrell, 2006: Feeding fossil fuels to the soil: An analysis of energy embedded and technological learning in the fertilizer industry. *Resources, Conservation and Recycling*, **46**, 75-93.

Ramos, P., 2005: Índices de Rendimento da Agropecuária Brasileira. Ministério do Desenvolvimento Agrário, Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural (Nead). Nead Debate 5. Brasília, DF. 96 pp.

Ramos, D.P. e L.L.B. Lázaro, 2009. Políticas públicas para mitigação e adaptação às mudanças climáticas: financiando a transição para uma economia de baixo carbono. pp. 101-118. In: *A redução de emissões de gases de efeito estufa e a legislação brasileira*. [Marcovitch, J. (Org.)].São Paulo: FEA/USP, 2010-2011. Disponível em http://www.usp.br/mudarfuturo/cms/?cat=39. Acessado em1°/07/2011.

Rangel, O.J.P. e C.A. Silva, 2007: Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **31**, 1609-1623.

Ratter, J.A. *et al*., 1996: Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation II: comparison of the woody vegetation of 98 areas. *Edinburgh Journal of Botanics*, **53**, 153-180.
Ratter, J.A. *et al*., 1997: The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. *Ann. Bot.*, **80**, 223-230.

RBFS, 2010: Fontes de recursos financeiros para a gestão ambiental pública: cenários e estratégias de captação para o funcionamento de fundos socioambientais. Rede Brasileira de Fundos Socioambientais (RBFS), Série Financiamento e Fomento Ambiental no Brasil. Vol. 2. Arquivo consultado em julho de 2011.Disponível emhttp://www.mma.gov.br/estruturas/fnma/_publicacao/1_publicacao25112010113224.pdf

Real, M.V. *et al*., 2009: Mitigação de gases de efeito estufa decorrente da implantação do plano nacional de logística e transporte. Disponível em http://www.cbtu.gov.br/monografia/2009/trabalhos/artigos/planejamento/4_205_AC.pdf

Reatto, A. e E.S. Martins, 2005: Classes de solos em relação aos controles da paisagem do bioma Cerrado. pp. 47-59. In: *Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação*. [Scariot, A. *et al*. (Org.)]. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília, DF.

Reboita, M.S. *et al*., 2006: Climate variability in Rio Grande, RS, Brazil: A quantitative analysis of contributions due to atmospheric systems. *Revista Brasileira de Meteorologia*, **21**(2), 256-270.

Rebouças, A., 1997: Água na região Nordeste: desperdício e escassez. *Revista Estudos Avançados*, **11**(29).

Reed, R.J. *et al*., 1985: North American Combustion Handbook.A basic reference on the art and science of industrial heating with gaseous and liquid fuels. North American Manufacturing Company.
Reis, L.B., 2011: *Geração de dnergia elétrica*. 2ª ed.. São Paulo, SP: Editora. Manole.

REN21, 2011: Renewables Global Status Report. Renewables Energy Policy Network for the 21st Century Paris/Worldwatch Institute, Washington, DC. Disponível em http://ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR2011_FINAL.pdf.

Renner, M. *et al*., 2008:Green jobs: towards decent work in a sustainable, low-carbon world. United Nations Environment Programme (Unep), Nairobi, Kenya.

Resende, M. *et al*., 1997: *Pedologia. Base para distinção de ambientes*. 2ª ed. Núcleo de Estudo de Planejamento e Uso da Terra (Neput) da Universidade Federal de Viçosa(UFV). Viçosa,MG: Editora da UFV, 367pp.

Resende, A.S. *et al*., 2006: Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **30**, 937-941.

Rezende, C.P. *et al*., 1999: Litter deposition and disappearance in *Brachiaria* pastures in the Atlantic Forest region of the South of Bahia, Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **54**, 99-112.

Rezende, D. *et al*. 2001: Sequestro de carbono, uma experiência concreta em Palmas. Palmas, TO: Instituto Ecológica.

Rezende, G. C., 2003: Ocupação agrícola, estrutura agrária e mercado de trabalho rural no Cerrado: o papel do preço da terra, dos recursos naturais e das políticas públicas. pp. 173-212. In: *Região e espaço no desenvolvimento agrícola brasileiro*. [Helfand, S.M. e G.C. Rezende (Org.)]. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), Rio de Janeiro, RJ.

Ribeirão Preto, 2010:"Prefeitura e Associação de Caçambeiros selam acordo para destinação de entulho da construção civil". Página web de notícias da Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto (PMRP), Coordenadoria de Comunicação Social de Ribeirão Preto, 3/08/2010. Disponível em http://www.ribeiraopreto.sp.gov.br/ccs/snoticias/i33principal.php?id=15350. Acessado em 1°/03/2011.

Ribeiro, J.F. e T.M.B. Walter, 1998: Fitofisionomias do bioma Cerrado. pp. 89-166. In: *Cerrado: ambiente e flora*.[Sano, S.M. e S.P. Almeida (Eds.)]. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Ribeiro, S.K. *et al*., 2007: Transport and its infrastructure. In: *Climate Change 2007: Mitigation*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B. *et al*. (Eds.)], Cambridge, UK, New York, NY: Cambridge University Press.

Ribeiro, M.C. *et al*., 2009a:The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, **142**, 1141-1153.

Ribeiro, N.V. *et al*., 2009b: Expansão da cana-de-açúcar no bioma Cerrado: uma análise a partir da modelagem perceptiva de dados cartográficos e orbitais. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, 2009. Disponível em http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.15.00.06/doc/4287-4293.pdf

Ribeiro, N.V. *et al*.,2010: Expansão sucroalcooleira no estado de Goiás: uma análise exploratória a partir de dados socioeconômicos e cartográficos. *Geografia*, **35**, 331-344.

Ribeiro, M.C. *et al*., 2011:The Brazilian Atlantic Forest: A shrinking biodiversity hotspot. pp. 405-434. In: *Biodiversity Hotspots: Distribution and Protection of Conservation Priority Areas*.[Zachos, F.E. e J.C. Habe (Eds.)]. Berlin-Heidelberg, Germany: Springer-Verlag.

Ricketts, T.H. *et al*., 2010: Indigenous lands, protected areas, and slowing climate change. *PLoSBiol* **8**(3), 2010.

Ristinen, R.A. e J.J. Kraushaar, 1999: *Energy and the Environment*.New Jersey, NJ: John Willey & Sons. 384 pp.

Robertson, G.P. e P. Grace, 2004: Greenhouse gas fluxes in tropical and temperate agriculture: the need for a full-cost accounting of global warming potentials. *Environment, Development and Sustainability*, **6**, 51-63.

Rocha, G.F. *et al*., 2011: Detecção de desmatamentos no bioma Cerrado entre 2002 e 2009: padrões, tendências e impactos. *Revista Brasileira de Cartografia*, **63**(3), 341-349.

Rochedo, P. e A. Szklo, 2012: Minimum work of separation and learning curves for carbon capture based on chemical absorption. In:*Proceedings of the 7th CSDEWES*. 7th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. Ohrid, Macedonia.

Rochette, R., 2008: No-till only increases N_2O emissions in poorly-aerated soils. *Soil & Tillage Research*, **101**, 97-100.

Rockett, G. *et al*., 2011:The CARBMAP project: MatchingCO_2sources and geological sinks in Brazil using geographic information system. *Energy Procedia*,**4**, 2764-2771.

Rodas, P.A.G. *et al*., 1998: Avaliação energética do edifício sede da Telesc: retrofit do sistema de iluminação e simulação. pp 513-521. In: *Anais do VII Entac*.VII Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, Florianópolis, Associação nacional de Tecnologia no Ambiente Construído(ANTAC). Disponível em http://www.infohab.org.br. Acessado em 1°/03/2011.

Rodrigues, S.B.M. 2007: *Avaliação das alternativas de transporte de etanol para exportação na região Centro-Sul*. Dissertação de Mestrado.Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP.

Rodrigues, E.F. e O.J.G.A. Saab, 2007: Avaliação técnico-econômica da colheita manual e mecanizada da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) na região de Bandeirantes,PR.*Semina: Ciências Agrárias*, **28**, 581-588.

Rodrigues, D.M.T. e F. Miziara, 2008: Expansão da fronteira agrícola: a intensificação da pecuária bovina no estado de Goiás. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, **38**(1), 14-20.

Rodrigues, A.S.L. *et al*., 2009: Boom-and-bust development patterns across the Amazon deforestation frontier. *Science,* **324**, 1435-1437.

Rolim, S.G. *et al*., 2005:Biomass change in an Atlantic tropical moist forest: the ENSO effect in permanent sample plots over a 22-year period.*Oecologia*, **142**(2), 238-246.

Romero, M. A., 1992: Cenários de consumo e conservação de energia até o ano 2000 no Brasil: o caso do setor de comércio e serviços. *Sinopses*, **17**, 5-11, Universidade de São Paulo.

Romero, M.A. e A. Philippi Jr., 2000: A conservação de energia como instrumento de política e gestão. Artigo IX-022, 6 pp. In: *Anais do XXVII Congresso da ABES*. XXVII Congresso da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), Porto Alegre, RS. (CD-ROM).

Roriz, M. e Ghisi, E., 2005a: AET 6: Levantamentos das pesquisas existentes: eficiência energética. São Carlos / Florianópolis, UFSCar / UFSC, 59 pp.

Roriz, M. e Ghisi, E., 2005b: AET 6: Levantamentos das publicações existentes: eficiência energética. São Carlos / Florianópolis, UFSCar / UFSC, 375 pp.

Roscoe, R. e P. Buurman, 2003: Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. *Soil and Tillage Research*, **70**, 107-119.

Roy *et al*., 2002: Burned area mapping using multi-temporal moderate spatial resolution data. A bi-directional reflectance model-based expectation approach. *Remote Sensing of Environment*, **83**, 263-286.

Roy, D.P. *et al*., 2008: The collection 5 MODIS burned area product – Global evaluation by comparison with the MODIS active fire product. *Remote Sensing of Environment*, **112**(9), 3690-3707.

Rubin, E. S.*et al*., 2007a: Development and application of optimal design capability for coal gasification systems.In: Technical Documentation: Integrated gasification combined cycle systems (IGCC) with carbon capture and storage (CCS), Final Report performed under contract number DE-

AC21-92MC29094, DOE/ NETL, Pittsburgh, USA.

Rubin, E.S.*et al*., 2007b: Cost and performance of fossil fuel power plants with CO_2 capture and storage.*Energy Policy*, **35**(9), 4444-4454.

Rudorff, B.F.T. e L.M. Sugawara, 2007: Mapeamento da cana-de-açúcar na região Centro-Sul via imagens de satélites. *Informe Agropecuário*, **28,** 79-86.

Rudorff, B.F.T. *et al*., 2011:The soy moratorium in the Amazon biome monitored by remote sensing images. *Remote Sens*. **3**, 185-202.

Rüther R. e R. Zilles, 2011: Making the case for grid-connected photovoltaics in Brazil. *Energy Policy*, **39**(3), 1027-1030.

Rüther, R. *et al*., 2007: Potential of building integrated photovoltaic solar energy generators in assisting daytime peaking feeders in urban areas in Brazil. *Energy Conversion and Management*, **49**(5), 1074-1079.Disponível em http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890407003354.

Rüther, R. *et al*., 2008: Programa de telhados solares fotovoltaicos conectados à rede elétrica pública no Brasil. In: *Anais do XII Entac*. XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (Entac), Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (Antac), Fortaleza,10 pp. Disponível em http://www.lepten.ufsc.br/publicacoes/solar/eventos/2008/ENTAC/salamoni_ruther.pdf. Acessado em1°/03/2011.

Rydén, C. e E. Morin, 2005: Mobility services for urban sustainability: environmental assessment. Report Working Paper 6, version 1.1. Stockholm, Sweden: Stockholm City / Trivector Traffic. 39 pp.
Sá, I.B. e F. Angelotti, 2009: Degradação ambiental e desertificação no semi-árido brasileiro. In: *Mudanças climáticas e desertificação no semi-árido brasileiro*.[Angelotti, F. *et al*. (Eds.)]. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido. 295 pp.

Sá, I.B. *et al*., 1994:Degradação ambiental e reabilitação no trópico semi-árido brasileiro. pp. 310-331. In: *Anais CONSLAD.*Conferência Nacional e Seminário Latino-americano de Desertificação, Fortaleza, CE. Secretaria de Planejamento (Seplan), Brasília, DF.

Sá, J.C.M. *et al*., 2001: Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Science Society of America Journal*, **65**, 1486-1499.
Saatchi, S.S.*et al*., 2007: Distribution of aboveground live biomass in the Amazon Basin. *Glob. Change Biol.* **13**, 816-837.

Saatchi, S.S. *et al*., 2011: Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proceedings of the National Academy of Sciences* (*PNAS*), **108**(24), 9899-9904. doi:10.1073/pnas.1019576108.

Sachs, I., 1994: O problema da democracia econômica e social. *Estudos Avançados* [online]. **8**(21), 7-20. doi:10.1590/S0103-40141994000200002.

Saenger, P. *et al*., 1983: Global status of mangrove ecosystems. Commission on Ecology Papers n°3. International Union for Conservation of Nature(IUCN). Gland, Switzerland. 88 pp.

Salati, E. e Vose, P., 1984: Amazon Basin: a system in equilibrium. *Science*, **225**(4658), 129-138.

Salazar, L. *et al*., 2007: Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters*, **34**.doi:10.1029/2007GL029695.

Saleska, S.R. *et al.*, 2007: Amazon forests green-up during 2005 drought. *Science*, **318**(5850), 612.

Salomon, K.R., 2007:*Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização de biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade*. Tese de Doutorado em de Engenharia Mecânica. Instituto de Engenharia Mecânica da Universidade de Itajubá. Disponível em http://juno.unifei.edu.br/bim/0032785.pdf.

Salomon, K.R. e E.E.S. Lora, 2005: Estimativa do potencial de geração de energia elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil. *Biomassa & Energia*, **2**, 57-67.

Salton, J.C. *et al.*, 2011: Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **46**, 1349-1356.

Samanta, A. *et al.*, 2010: Amazon forests did not green-up during the 2005 drought.*Geophys. Res. Lett.*, **37**(5), L05401.

Sano, E.E. *et al.*, 2001:Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian Savanna. *Pasturas Tropicales*, **22**(3), 2-15.

Sano, E.E. *et al.*, 2008: Mapeamento semidetalhado (escala de 1:250.000) da cobertura vegetal antrópica do bioma Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **43**(1), 153-156.

Sano, E.E. *et al.*, 2010: Land cover mapping of the tropical Savanna region in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, **166**, 113-124.

Santana, R.C. *et al.*, 2008: Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **32**, 2723-2733.

Santos, G. *et al.*, 2010: Policy instruments for sustainable road transport. Part II. *Research in Transportation Economics*, **28**, 46-91.

São Paulo, 2002: Lei n° 11.241/2002, de 19 de setembro de 2002. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. Disponível em http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/Repositorio/24/Documentos/Lei%20Estadual_11241_2002.pdf.

São Paulo, 2007. Lei Municipaln° 14.459, de 3 de julho de 2007. Dispõe sobre a instalação de sistema de aquecimento de água por energia solar nas novas edificações do Município de São Paulo.

São Paulo, Prefeitura Municipal São Paulo. Disponível em http://www3.prefeitura.sp.gov.br/cadlem/secretarias/negocios_juridicos/cadlem/integra.asp?alt=04072007L%20144590000. Acessado em 1°/11/2012

São Paulo, 2008: Decreto Municipal n° 49.148, de 21 de janeiro de 2008. Regulamenta a Lei n°14.459 e dispõe sobre a instalação de sistema de aquecimento de água por energia solar nas novas edificações do Município de São Paulo. Disponível em http://www.leispaulistanas.com.br/sites/default/files/9dbde12eb744e4478d6d1291d7b2dc6f.pdf. Acessado em 1°/11/2012.

São Paulo, 2009: Lei Estadual n° 13.798/2009. Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas, PEMC Disponível em http://www.ambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/01/lei_13798_portugues.pdf. Acessado em 9/11/2011.

Sartori, I. e A.G. Hestnes, 2007: Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: a review article. *Energy and Buildings*, **39**, 249-257. doi:10.1016/j.enbuild.2006.07.001.

Sawyer, D., 2008: Climate change, biofuels and eco-social impacts in the Brazilian Amazon and Cerrado. *Philosophical Transactions of the Royal Society, Biological Sciences*,**363**, 1747-1752.

Sawyer, D., 2009: Fluxos de carbono na Amazônia e no Cerrado: um olhar socioecossistêmico. *Sociedade e Estado*, **24**(1), 149-171.

Scarano, F.R., 2002: Structure, function and floristic relationships of plant communities in stressful habitats marginal to the Brazilian Atlantic rainforest. *Annals of Botany*, **90**, 517-524.

Schafer, A. e H.D. Jacoby, 2006: Vehicle technology under CO_2 constraint: a general equilibrium analysis. *Energy Policy*, **34**, 975-985.

Schaeffer, R. *et al*., 2012, Impactos da adoção de metas de redução de emissão de gases de efeito estufa sobre setores energointensivos do estado do Rio de Janeiro, alternativas e custos de mitigação. Estudo contratado pela Secretaria Estadual do Ambiente, Subsecretaria de Economia Verde (SEA): Rio de Janeiro, RJ. 372 pp.

Schaeffer-Novelli, Y. eG. Cintrón, 1986. Guia para estudo de áreas de manguezal: estrutura, função e flora. Caribbean Ecological Research. São Paulo, 150p.

Schlamadinger, B. e G. Marland, 1996: The role of forest and bioenergy strategies in the global carbon cycle. *Biomass and Bioenergy*, **10**, 275-300.

Scurlock, J.M.O. e D.O. Hall, 1998:The global carbon sink: a grassland perspective. *Global Change Biology*,**4**, 229-233

SFB, 2010a: Guia de Financiamento Florestal (GFF). Serviço Florestal Brasileiro, Ministério do Meio Ambiente. 40 pp.

SFB, 2010b: Manual de Gestão e Monitoramento dos Contratos de Concessão da Floresta Nacional do Jamari. Serviço Florestal Brasileiro, Ministério do Meio Ambiente, Brasília-DF.

SFB, 2010c: Florestas do Brasil em resumo 2010: dados de 2005-2010. Serviço Florestal Brasileiro (SFB), Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF. 152 pp.

SFB, 2014: Serviço Florestal Brasileiro (SFB), Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF.

Sha, C.*et al*., 2010: Methane emissions from freshwater riverine wetlands. Ecological Engineering, 37(1), 16-24. doi:10.1016/j.ecoleng.2010.07.022.

Shaheen, S. e A. Cohen, 2007: Worldwide carsharing growth: an international comparison. *Transportation Research Record*, **1992**, 81-89.

Silva, G.A.P. da., 2000: *Evaluation of phytosociological behavior of the equatorial rain forest of the Experimental Station of Tropical Silviculture of the National Institute of Research of the Amazônia-Inpa, Manaus-AM*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências Agrárias do Pará. 70 pp.

Silva, R.C. 2003. *Estudo do balanço de radiação no Pantanal sul mato-grossense*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Inpe-9776-TDI/860, 213 pp.

Silva, R.M.A., 2007: Entre o combate à seca e a convivência com o semiárido: políticas públicas e transição paradigmática. *Revista Econômica do Nordeste*, **38**(3), 466-485.

Silva, A.C.B.L., 2010:*Influência da área e da heterogeneidade de habitat na diversidade vegetal de*

Floresta Atlântica. Tese de Mestrado em Ecologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 153 pp.

Silva, J.S.V. e M.M. Abdon, 1997: Desmatamento na bacia do Alto Paraguai-Pantanal brasileiro até 1994. (CD-ROM). In: *Memórias do VIII SLAPR*. VIII Simpósio Latino Americano de Percepción Remota, 2-7 novembro, Mérida, Venezuela. Selper/Unidade Técnica de Sistemas, Instituto de Ingeniería. Monitoreo de Recursos Naturales (RCN_007.doc).

Silva, J.S.V. e M.M Abdon, 1998: Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **33**, número especial, 1703-1711.

Silva, J.M.C. e C.H. Casteleti, 2003:Status of the biodiversity of the Atlantic Forest of Brazil. In: *The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, Threats, and Outlook*. pp. 43-59. [Galindo-Leal, C. e I.G. Câmara (Eds.)]. Center for Applied Biodiversity Sciences (CABS) at Conservation International. Washington, DC: Island Press.

Silva, C.J. e P. Girard, 2004:New challenges in the management of the Brazilian Pantanal and catchment area. *Wetlands Ecology and Management*, **12**, 553-561.

Silva, J.A. da e M.A. Romero, 2011: O urbanismo sustentável no Brasil. A revisão de conceitos urbanos para o século XXI (parte 1). *Arquitextos*, ano XI, 128. 03, Vitruvius, Disponível em http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/ 11.128/3724.

Silva, J.S.V. *et al*., 2001a: Deforestation within the upper Paraguay River Basin – Brazilian Pantanal Wetland - Until 1976. Seção Oral: Monitoramento Ambiental. In: *Anais do X SBSR*. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10, Foz do Iguaçu, 21-26 de abril de 2001, Foz do Iguaçu, PR, Inpe/Selper, São José dos Campos., CD-ROM, 230.pdf, 10 pp.

Silva, J.S.V. *et al*., 2001b: Deforestation within the upper Paraguay River Basin – Brazilian Pantanal Wetland – Until 1984. In: *Actas*. Reunión de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, 3, y Reunión de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio del Area del Mercosur, 1, Mar del Plata, Argentina, 28 al 31 de marzo.... Mar Del Plata: Universidade Nacional de Mar Del Plata, 2001ª. (CD-ROM). Não-paginado.

Silva, J. *et al*., 2004: Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in Cerrado region, Brazil. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, **103**, 357-363.

Silva, W.G.S. *et al*., 2008a: Relief influence on tree species richness in secondary forest fragments of Atlantic Forest, SE, Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, **22**, 589-598.

Silva, F.A.M. *et al*., 2008b:Caracterização climática do bioma Cerrado. pp. 69-88. In: *Cerrado: ecologia e flora*, 1ª ed. [Sano, S.M. *et al*. (Eds.)]. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Silva, A.A. *et al*., 2009: Sistema de plantio direto na palhada e seu impacto na agricultura brasileira. *Revista Ceres*, **56**, 496-506.

Silva, L.S. *et al*., 2011: Dinâmica da emissão de metano em solos sob cultivo de arroz irrigado no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **35**, 473-481.

Silveira, C.S. e V.V. Silva, 2010: Dinâmicas de regeneração, degeneração e desmatamento da vegetação provocadas por fatores climáticos e geomorfológicos: uma análise geoecológica através de SIG. *Revista Árvore*, **34**(6), 1025-1034.

Sims, R.E.H. *et al*., 2007: Mitigation. In: *Climate Change 2007: Mitigation*. Contribution of Working

Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B. *et al*. (Eds.)]. Cambridge, UK; New York, NY: Cambridge University Press.

Sipot/Eletrobras, 2000:Potencial Hidrelétrico Brasileiro. Mapa do Potencial Hidrelétrico Brasileiro. Sistema do Potencial Hidráulico Brasileiro. Disponível em http://www.eletrobras.gov.br/EM_Atuacao_Sipot/potencialHidreletrico.asp.

Siqueira Neto, M. *et al*., 2009: Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. *Acta Scientiarum Agronomy*, **31**, 709-717.

Sisti, C.P.J. *et al*., 2004: Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in Southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, **76**, 39-58.

Siuma, 2011: Programa Estadual de Irrigação: Irrigação é a solução. Pró-Irrigação/RS. Secretaria Extraordinaria da Irrigação e Usos Múltiplos da Água, Porto Alegre, RS. Disponível em http://www.emater.tche.br/site/br/arquivos/servicos/frentes/8/Irrigacao_Folder.pdf

Six, J. *et al*.,2002: Organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils. Effects of no-tillage. *Agronomie,***22**, 755-775.

Skole, D.L. *et al*., 1994: Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. *BioScience*, **44**(5), 314-322.

Smith, C.B., 2010: *Análise da difusão de novas tecnologias automotivas em prol da eficiência energética na frota de novos veículos leves no Brasil*. Tese de Doutorado. UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, RJ. 278 pp.

Smith, K.A. e F. Conen, 2004: Impacts of land management on fluxes of trace greenhouse gases. *Soil Use and Management*, **20**, 255-263.

Smith, P. *et al*., 2007: Agriculture. In: *Climate Change 2007*: *Mitigation*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B. *et al*. (Eds.)], Cambridge, UK, e New York, NY: Cambridge University Press.

Smokers, R. *et al*., 2006: Review and analysis of the reduction potential and costs of technological and other measures to reduce CO_2-emissions from passenger cars. TNO Science and Industry, Institute for European Environmental Policy (IEEP) e Laboratory of Applied Thermodynamics (LAT) Final Report on behalf of the European Commission. 333 pp.

Soares, C.P.B. *et al*., 2005: Equações para estimar o estoque de carbono no fuste de árvores individuais e em plantios comerciais de eucalipto. *Revista Árvore*, **29**, 711-718.

Soares, N.S. *et al*., 2010: Competitividade da cadeia produtiva da madeira de eucalipto no Brasil. *Revista Árvore*, 34, 917-928.

Soares-Filho, B.S., 2004:Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém-Cuiabá corridor. *Global Change Biology*, **10**(5), 745-764.

Soares-Filho, B. S. *et al*., 2002: Dinamica. A stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*, **154**(3), 217-235

Soares-Filho, B. S.*et al*., 2006:Modelling conservation in the Amazon Basin. *Nature*, **440**(23), 520-

523.

Soares-Filho, B. S. *et al.*, 2007. Reducing carbon emissions from deforestation: the Role of Arpa's Protected Areas in the Brazilian Amazon. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), WWF. 8p.

Soares-Filho, B.S. *et al.*, 2008: Nexos entre as dimensões sócio-econômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: *Amazônia. Natureza e sociedade em transformação* [Batistella, M. *et al.* (Orgs.)]. São Paulo, SP: Edusp, 304 pp.

Soares-Filho, B.S. *et al.*, 2010: Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **107**(24), 10821-10826.

Sombroek, W.G., 2000: Amazon landforms and soils in relation to biological diversity. *Acta Amazonica***30**(1), 81-100.

Souza, U.E.L. *et al.*, 1998: Perdas de materiais nos canteiros de obras: a quebra do mito. 11 p. Disponível em http://www.gerenciamento.ufba.br/Disciplinas/Produtividade/PerdasRevistaQualidade.pdf.

Souza, Z.M. *et al.*, 2008: Produtividade agrícola de variedades de cana-de-açúcar e incidência de broca-comum e cigarrinha da raiz em canavial colhido sem queima. *Bragantia*, **67**, 413-419.

Souza, E.D. *et al.*, 2009: Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavourapecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **33**, 1829-1836.

Spalding, M.D. *et al.*, 1997: World Mangrove Atlas. Okinawa (Japan), International Society for Mangrove Ecosystems (ISME). 178 pp.

Specht, L.P. *et al.*, 2010: Análise de transferência de calor em paredes compostas por diferentes materiais. *Ambiente Construído*, **10**(4), 7-18.

Spracklen, D.V. *et al.*, 2012: Observation of increasing tropical rainfall preceded by air passage by over forests. *Nature*, **489**, 282-285. doi:10.1038/nature11390.

St. Louis, V.L., 2000: Reservoir surfaces as sources of greenhouse gases to the atmosphere: a global estimate.*BioScience*, **50**(9), 766-775.

Stanley, J. K. *et al.* 2009: Road transport and climate change: stepping off the greenhouse gas. *Transportation Research* Part A: *Policy and Practice*, **45**(10), 1020-1030.

Steege, H. ter *et al.*, 2003: A spatial model of tree alpha-diversity and tree density for the Amazon. *Biodiversity and Conservation*, **12**(11), 2255-2277.

Steenhof, P. *et al.*, 2006: Greenhouse gas emissions and the surface transport of freight in Canada. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **11**(5), 369-376.

Steffen, W. *et al.*, 2004:*Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure*.The IGBP Book Series. Berlim, Alemanha: Springer. 336 pp.

Stern, N., 2006: Stern review: The economics of climate change. Report to the Prime Minister and Chancellor. London: HM Treasury. Disponível em http://www.hm.treasury.gov.uk/sternreview_index.htm. Acessado em 1°/08/2011.

Stewart, C.S. *et al*., 2007: Soil carbon saturation: concept, evidence and evaluation. *Biogeochemistry*, **86**, 19-31.

Stone, L.F. e P.M. Silveira, 1999: Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. *Pesquisa AgropecuáriaBrasileira*, **34**(1), 83-91.

Strassburg, B.B.N., 2011: Os determinantes agrícolas e o retorno econômico do desmatamento na Amazônia brasileira entre 1997-2006 e 2010-2050, In: *Economia da Mudança do Clima no Brasil*. [Margulis, S. *et al*. (Eds.)], Synergia Editora, Rio de Janeiro, 331 pp.

Suassuna, J., 2009:O processo de salinização das águas superficiais e subterrâneas do Nordeste. Fundação Joaquim Nabuco (Fundaj) Disponível emhttp://www.fundaj.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=772&Itemid=376. Acessado em 24/03/2009.

Suertegaray, D.M.A. e L.A.P. Silva, 2009: Tche pampa: histórias da natureza gaúcha.Cap. 3, pp. 42-59. In: *Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*.[Pillar, V.D. *et al*., (Orgs.).]. MMA, Brasília, DF.

Szklo, A.S. *et al*., 2000: "Economic Potential of Natural Gas-fired Cogeneration - Analysis of Brazil's Chemical Industry". *Energy Policy*, **32**(12), 1415-28.

Tabarelli, M. *et al*., 2005: Challenges and opportunities for biodiversity conservation in the Brazilian Atlantic Forest. *Conservation Biology*, **19**(3), 695-700.

Tabarelli, M. *et al*., 2010: Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: lessons from aging human-modified landscapes. *Biological Conservation*, **143**(10), 2328-2340.

Tarancón Morán, M.A. e P. del R. González, 2007: Structural factors affecting land-transport CO_2 emissions: a European comparison. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **12**(4), 239-253.

Tarré, R. *et al*., 2001: The effects of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under *Brachiaria* pasture in the Atlantic Forest region of the South of Bahia, Brazil. *Plant and Soil*, **234**, 15-26.

Tatagiba, F.C.P. e T.N. Leme, 2008: Fontes de recursos financeiros para a gestão ambiental pública: cenários e estratégias de captação para o funcionamento de fundos socioambientais. Série Financiamento e Fomento Ambiental no Brasil. Vol. 2,Rede Brasileira de Fundos Socioambientais, Brasília, DF. 139 pp. Disponível em http://www.fundosambientais.org.br/files/Newsletter1.pdf. Acessado em 1°/07/ 2011.

Taylor, R.P. *et al*., 2008: Financing Energy Efficiency: Lessons from Brazil, China, India, and Beyond. The World Bank E-Library. Disponível em http://elibrary.worldbank.org/doi/pdf/10.1596/978-0-8213-7304-0

Teixeira, A.M.G. *et al*., 2009: Modeling landscape dynamics in an Atlantic rain forest region: implications for conservation. *Forest Ecology and Management*, **257**(4), 1219-1230.

TFL, 2007: Central London congestion charging: Impacts monitoring. Transport for London (TFL). Fifth Annual Report. Disponível em www.tfl.gov.uk/assets/downloads/fifth-annualimpacts-monitoringreport-2007-07-07.pdf. Acessado em 1°/08/2011.

Théry, H. e N.A. Mello, 2008: *Atlas do Brasil: disparidades e dinâmicas do território*. São Paulo, SP: Editora da USP (Edusp). 312pp.

Thomas, C.D. *et al.*,2004:Extinction risk from climate change. *Nature*, **427**(6970), 145-148.

Tian, H. *et al.*, 1998: Effect of interannual climate variability on carbon storage in Amazonian ecosystems, *Nature*, 396(6712), 664-667.

Tiba, C. *et al.*, 2000: *Atlas solarimétrico do Brasil*. Recife, PE: Editora Universitária da UFPE, 112 pp.

Timilsina, G.R. e A. Shrestha, 2009: Transport sector CO_2 emissions growth in Asia: underlying factors and policy options. *Energy Policy*, **37**(11), 4523-4539.

Tolmasquim, M.T. *et al.*, 2003:*Mercado de gás natural na indústria química e no setor hospitalar do Brasil*. Cenergia/CPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ: Editora E-paper. 344 pp.

Tourinho, O.A.F. *et al.*, 2003: Uma aplicação ambiental de um modelo de equilíbrio geral. Texto para Discussão 976. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), Rio de Janeiro, RJ. 45 pp. Disponível em http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_0976.pdf.

Transpetro, 2008: Relatório Anual 2008. Petrobras Transporte (Transpetro), Rio de Janeiro, RJ. Disponível em file:///C:/Documents%20and%20Settings/Administrador/Meus%20documentos/Downloads/Relat%C3%B3rio%20Anual%202008%20(1).pdf

Trindade, S.C. *et al.*, 2010: Métodos de aplicação da simulação computacional em edifícios naturalmente ventilados no clima quente e úmido. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, 10(4), 37-58.

Trinks, W. e M.H. Mawhinnney, 1975:*Hornos industriales*. vol. 1 e 2. Bilbao, España: Urmo Ediciones.

Trivelin, P.C.O. *et al.*, 2002: Perdas do nitrogênio da ureia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **37**, 193-201.

Trujillo, W. *et al.*, 2006: Root dynamics of native Savanna and introducedpasturesin the Eastern Plains of Colombia. *Soil and Tillage Research*, **87**, 28-38.

Trumbore, S.E. *et al.*, 1995: Below-ground cycling of carbon in forests and pastures of eastern Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles*, **9**, 515-528.

Tsukamoto Filho, A.A. *et al.*, 2004: Fixação de carbono em um sistema agrissilvipastoril com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais. *Agrossilvicultura*, **1**(1), 29-41.

Ubabef, 2010: Relatórios anuais. União Brasileira de Avicultura (Ubabef). Disponível em http://www.ubabef.com.br/publicacoes. Acessado em 1° /03/2012.

Uherek, E. *et al.*, 2010: Transport impacts on atmosphere and climate: land transport. *Atmospheric Environment*, **44**(37), 4772-4816.

Uhl, C. e I.C.G. Vieira, 1989. Ecological impacts of selective logging in the Brazilian Amazon: a case study from the Paragominas region in the state of Para. *Biotropica*, **21**, 98-106.

Uhlig, A. *et al.*, 2008: O uso de carvão vegetal na indústria siderúrgica brasileira e o impacto sobre as mudanças climáticas. *Revista Brasileira de Energia*, **14**(2), 67-85.

Unep, 2007: Buildings and climate change, status, challenges and opportunities. United Nations Environment Programme (Unep), Paris, France.Disponível em http://www.unglobalcompact.org/docs/issues_doc/Environment/climate/Buildings_and_climate_change.pdf

UNFCCC, 2001: The Marrakesh Accords & Marrakesh Declaration. United Nations Framework Convention On Climate Change (UNFCCC).Disponível em http://unfccc.int.cop7/documents/accords_draft.pdf. Acessado em 19 março 2011.

UNFCCC, 2002:Clean Development Mechanism: Project Design Document (CDM-PDD). United Nations Framework Convention On Climate Change (UNFCCC). Web site, Bonn, 16 pp.

UNFCCC, 2009:REDD Web Plataform. United Nations Framework Convention On Climate Change (UNFCCC). Disponível em http://unfccc.int/methods/redd/redd_web_platform/items/4531.php.

UNFCCC, 2010a: Outcome of the Work of the aAd Ahoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention.United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Disponível em http://unfccc.int/files/meetings/cop_16/application/pdf/cop16_lca.pdf.

UNFCCC, 2010b: Baseline and Monitoring Methodologies for CDM. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). In: XXXX Bonn, 2010. Disponível em http://cdm.unfccc.int/methodologies/index.html.

UNFCCC, 2011a: Appendix II, Nationally Appropriate Mitigation Actions of Developing Country Parties.United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).Disponível em http://unfccc.int/meetings/cop_15/copenhagen_accord/items/5265.php. Acessado em 1°/07/2011.

UNFCCC, 2011b: Brazil, Letter Including Nationally Appropriate Mitigation Actions. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Disponível em http://unfccc.int/files/meetings/cop_15/copenhagen_accord/application/pdf/brazilcphaccord_app2.pdf. Acessado em 1°/07/2011.

UNFCCC, 2012: Informational Web Interface on Clean Development Mechanism (CDM). Project Activities that have been Registered by the CDM Executive Board. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Disponível em http://cdm.unfccc.int/Projects/registered.html.

Uppala, S.M. *et al*., 2005: The ERA-40 re-analysis.*Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **131**(612), 2961-3012.

US Census Bureau., 2009: Population Estimates [website]. Disponível em http://factfinder.census.gov/servlet/SAFFPopulation. Acessado em 1°/08/2011.

Valentim, J.S. e C.M.S. Andrade, 2009. Tendências e perspectivas da pecuária bovina na Amazônia brasileira. *Amazônia: Ciência & Desenvolvimento*, **4**(8), 7-30.

Valério, A.F. *et al*., 2008: Amodelagem para a estimativa do rendimento no desdobro de toras de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. *Floresta*, **39**(3), 619-628.

Van den Bergh, J.C.J.M., 2010: Externality or sustainability economics. *Ecological Economics*, **69**, 2047-2052

Veiga, J.E., 1999: Biodiversidade e dinamismo econômico. In: *Anais do III Encontro da EcoEco*. (CD-ROM).III Encontro da EcoEco, , Recife. Sociedade Brasileira de Economia Ecológica.

Veloso H.P. *et al*., 1991:Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro,RJ. 124 pp.

Veríssimo, A. *et al*., 1999: *O setor madeireiro do Amapá: Situação atual e perspectivas para o desenvolvimento sustentáve*l. Governo do Estado do Amapá eInstituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon), Belém, PA. 44p.

Veríssimo, A., 2006: Estratégia e mecanismos financeiros para florestas nativas do Brasil. In: *Estudo de Caso Brasileiro sobre a Estratégia Nacional de Financiamento e Uso Sustentável e Conservação das Florestas*.[FAO, Food and Agricultural Organization of the United Nations (Org.)]. 40 pp. Disponível em http://www.fao.org/forestry/12074-027fef11c6831b6a2995ab35f025d075c.pdf. Acessado em 27/11/2012.

Viana, T.S. *et al*., 2011: Assessing the potential of concentrating solar photovoltaic generation in Brazil with satellite-derived direct normal irradiation. *Solar Energy*, **85**(3), 486-495.

Viana, V., 2009: Financing REDD: meshing markets with government funds. International Institute for Environment and Development (IIED), Briefing, 40. Disponível em http://pubs.iied.org/pdfs/17053IIED.pdf.

Victoria, R.L. *et al*, 1998:Surface air temperature variations in the Amazon Region and its borders during this century. *Journal of Climate*, **11**(5), 1105-1110.

Vieira, L. *et al*. 2012b: Estudo de localização de uma central heliotérmica de 1MW na região do semiárido brasileiro. In *Anais do IV CBES e V CLA-Ises*. IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferencia Latino-americana da ISES, São Paulo, SP.

Vieira, L. *et al*., 2012a: Projeto básico de uma central heliotérmica de 1 MW em Petrolina, PE. In *Anais do IV CBES e V CLA-Ises*. IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferencia Latino-americana da International Solar Energy Society(ISES), São Paulo, SP.

Vitae Civilis, 2012: "Fundo Clima faz alguma diferença? Questões operacionais e recursos em debate". Texto informativo sobre a reunião de 29/08/2012 do Comitê Gestor do Fundo Nacional de Mudanças do Clima. Disponível em http://www.vitaecivilis.org.br/index.php/br/ midia/noticias/381.

Vital, M.H.F., 2007: Impacto ambiental de florestas de eucalipto. *Revista do BNDES*, **14**, 235-276.

Volpi, G.*et al*., 2006: A sustainable electricity blueprint for Brazil. *Energy for Sustainable Development*, **10**, 14-24.

Wagener, T. e S. Franks, 2005:Introduction (Background and Summary). pp. 1-8.In: *Regional Hydrological Impacts of Climate Change: Impact Assessment and Decision Making*.[Wagener, T. *et al*. (Eds.)], International Association of Hidrological Science, IAHS Publication 295. Wallingford, IAHS. 360 pp.

Walsh, C. *et al*., 2008: A comparison of carbon dioxide emissions associated with motorised transport modes and cycling in Ireland. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **13**(6), 392-399.

Walter, A., 2000: Fomento à geração elétrica com fontes renováveis de energia no meio rural brasileiro: barreiras, ações e perspectivas. In: *Anais*.III Encontro de Energia no Meio Rural., Campinas. Disponível em http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php%3Fpid%3DMSC0000000022000000100028%26script%3Dsci_art.Acessado em 21/08/2011.

Wantzen, K.M. *et al.*, 2008: Towards a sustainable management concept for ecosystem services of the Pantanal wetland. *Ecohydroloy & Hydrobiology*, **8**(2-4), 115-138. doi:10.2478/v10104-009-0009-9.

Watzlawick, L.F. *et al.*, 2005: Estoque de carbono orgânico e biomassa em *Pinus taeda* L. *Biomassa & Energia*, **2**, 7-17.

Westphal, F. S. *et al.*, 2002. Proposta de retrofit para o sistema de iluminação artificial da UFSC. In: *Anais do IX Entac*.IX Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (Entac). pp. 287-296. Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (Antac).Foz do Iguaçu. Disponível em http://www.infohab.org.br. Acessado em 1°/03/ 2011.

Westphal, F.S. *et al.*, 1998: Simulação energética do edifício sede da FIESC: estudo de retrofit no sistema de iluminação In: *Anais do VII Entac*. VII Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (Entac), Florianópolis, pp. 429-437. Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (Antac).Disponível em http://www.infohab.org.br. Acessado em março 2011.

Williams, E. e T. Tagami, 2003: Energy use in sales and distribution via e-commerce and conventional retail. A case study of the Japanese book sector. *Journal of Industrial Ecology*, **6**(2), 99-114.

Wilson, E.O., 1989: Threats to biodiversity. *Scientific America*, **261**(3), 60-66.

Wiser, W.H., 2000: Energy resources. Occurrence, production, conversion and use. New York, NY: Springer.

Worrell, E. e C. Galitsky, 2005: Energy efficiency improvement and cost saving opportunities for petroleum refineries. An Energy Star Guide for Energy and Plant Managers. Berkeley, CA: Energy Analysis Department,University of California. Disponível em http://www.energystar.gov/ia/business/industry/Petrochemical_Industry.pdf. Acessado em 10/06/2009

Worrell, E. *et al.*, 2008: World best practice energy intensity values for selected industrial sectors. Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-62806. 45 pp.Berkeley, CA.

Worrell, E. *et al.*, 2009: Industrial energy efficiency and climate change mitigation. *Energy Efficiency*, **2**, 109-123

Wright, I. J., 2006: Irradiance, temperature and rainfall influence leaf dark respiration in woody plants: evidence from comparisons across 20 sites.*New Phytologist*, **169**(2), 309-319.

Wunder, S. *et al.* (Coords.), 2009: Pagamentos por serviços ambientais: perspectivas para a Amazônia Legal. 2ª ed. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Série Estudos 10, Brasília, DF. 136 pp.

WWF-Brasil, 2006: Agenda elétrica sustentável 2020: estudo de cenários para um setor elétrico brasileiro eficiente, seguro e competitivo. World Wide Fund for Nature (WWF), Série Técnica 21, WWF-Brasil, Brasília, DF. 79 pp.

WWF-Brasil, 2009: Monitoramento das alterações da cobertura vegetal e uso do solo na Bacia do Alto Paraguai.Porção brasileira. Período de análise: 2002 a 2008. Relatório técnico metodológico. CI/ECOA/AVINA/SOS Pantanal/ World Wide Fund for Nature (WWF), WWF-Brasil, Brasília, DF. 58 pp.

Xavier, A.A.P., 1999:*Condições de conforto térmico para estudantes de 2º Grau na Região de Florianópolis*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

Ximenes, A.C. *et al*., 2008: Modelagem dinâmica do desmatamento na Amazônia. *Boletim de Ciências Geodésicas*, **14**(3), 370-391.

Yanai, A.M. *et al*., 2011: Desmatamento no Sul do Amazonas: simulação do efeito da criação da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Juma. pp. 6193-6200. In: *Anais do XV SBSR*. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, PR.

Young, C.E.F., 2005: Financial mechanisms for conservation in Brazil. *Conservation Biology*, **19**(3), 756-761.

Young, C.E.F. e Fausto, J.R.B, 1997. Valoração de recursos naturais como instrumento de análise da expansão da fronteira agrícola na Amazônia. Texto para Discussão nº 490, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), Rio de Janeiro, RJ.

Yu, C. M., 2002. Caracterização e tipologia dos projetos de sequestro de carbono no Brasil. pp 59-88. In: :*As florestas e o carbono*. [Sanquetta, C.R. *et al*. (Eds.)]. Curitiba, PR: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná (Fupef) e Imprensa da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Zanatta, J.A. *et al*., 2007: Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. *Soil & Tillage Research*, **94**, 510-519.

Zanchetta, D. e F.V. Diniz, 2006: Estudo da contaminação biológica por *Pinus* spp. em três diferentes áreas na Estação Ecológica de Itirapina (SP, Brasil). *Revista do Instituto Florestal*,**18**, 1-14.

Zinn, Y.L. *et al*. 2002:Soil organic carbon as affected by afforestation with *Eucalyptus* and *Pinus* in the Cerrado region of Brazil. *Forest Ecology and Management*, **166**(1-3), 285-294.

Zotarelli, L. *et al*., 2007: Impact of tillage and crop rotation on light fraction and intra-aggregate soil organic matter in two Oxisols. *Soil and Tillage Research*, **95**, 196-206.

Zotarelli, L. *et al*., 2012: In□uence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. *Field Crops Research*, **132**, 185-195.

CAPÍTULO 4

AVALIAÇÃO DE POLÍTICAS, INSTITUIÇÕES E RECURSOS FINANCEIROS

Autores Coordenadores: Cristina Inoue (UnB), Alexandre D´Avignon (UFRJ), Eliezer M. Diniz (USP)
Autores Principais: Cristina Inoue (UnB), Alexandre D´Avignon (UFRJ), Eliezer M. Diniz (USP)
Autores colaboradores: Ana Nassar (UnB), Manuela Amaral (UnB), Thais Ribeiro (UnB), Angelo Costa Gurgel (USP), Bruno Kerlakian Sabbag (BMA), Flávia Carloni (UFRJ), Flávia Frangetto (PUC/SP), Rachel Biderman (FGV), Sérgio Trindade
Autores revisores: Eduardo Viola (UnB), Marcel Bursztyn (UnB), Ronaldo Seroa da Motta (IPEA)

ÍNDICE

4.1. O BRASIL NA POLÍTICA GLOBAL SOBRE CLIMA: DESAFIOS DE GOVERNANÇA 391
4.1.1. INTRODUÇÃO 391
4.1.2. A ESTRUTURA DO SISTEMA INTERNACIONAL E A POLÍTICA SOBRE CLIMA 391
4.1.2.1 COOPERAÇÃO E CONFLITO NO SISTEMA INTERNACIONAL: AS INTERAÇÕES ENTRE SEGURANÇA INTERNACIONAL, ECONOMIA GLOBAL E MUDANÇA DO CLIMA. 392
4.1.2.2. OS ATORES RELEVANTES DO SISTEMA INTERNACIONAL NA DIMENSÃO CLIMÁTICA 394
4.1.3. ARQUITETURA DA GOVERNANÇA GLOBAL SOBRE CLIMA 397
4.1.3.1 ACORDOS E INSTRUMENTOS: O REGIME INTERNACIONAL CENTRADO NA CQNUMC 399
4.1.4 OUTROS SEGMENTOS E ATORES 408
4.1.4.1 NOVOS ARRANJOS INTERNACIONAIS 408
4.1.4.2 ARRANJOS REGIONAIS E BILATERAIS: A DIMENSÃO CLIMÁTICA NOS ACORDOS FIRMADOS PELO BRASIL 409
CONSIDERAÇÕES FINAIS 412
ANEXO 1 413

4.2. POLÍTICAS NACIONAIS E SUBNACIONAIS 415
4.2.1. INTRODUÇÃO 415
4.2.1.1. CARACTERÍSTICAS E CLASSIFICAÇÃO DAS POLÍTICAS, PLANOS E INSTRUMENTOS 415
4.2.1.2.ABORDAGENS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA AVALIAR POLÍTICAS E INSTITUIÇÕES 416
4.2.2. POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO 420
4.2.3. POLÍTICA NACIONAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS 421
4.2.3.1. POLÍTICAS ESTADUAIS E MUNICIPAIS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PEMC) 424
4.2.4. AVALIAÇÃO DAS POLÍTICAS E MEDIDAS NACIONAIS, ESTADUAIS E MUNICIPAIS. 426
4.2.4.1.TIPOLOGIAS E FORMATOS DAS POLÍTICAS PROPOSTAS 426
4.2.4.2. REGULAMENTAÇÃO E TRANSPARÊNCIA DA GOVERNANÇA 432
4.2.4.3. COMPATIBILIZAÇÃO ENTRE AS POLÍTICAS NACIONAIS E SUBNACIONAIS 432
4.2.4.4. SOLUÇÃO DE CONFLITOS DE IMPLEMENTAÇÃO DAS LEIS DE POLÍTICAS DO CLIMA 433
4.2.4.5. CONVERGÊNCIA REGULATÓRIA COM OUTRAS POLÍTICAS DE MEIO AMBIENTE 434

4.3. TEMAS TRANSVERSAIS EM INVESTIMENTOS E RECURSOS FINANCEIROS 435
4.3.1. INTRODUÇÃO 435
4.3.2. FINANCIAMENTO DE INVESTIMENTOS COM BAIXO CARBONO: OPORTUNIDADES, DETERMINANTES PRINCIPAIS E BARREIRAS 436
4.3.3. FINANCIAMENTO DE ATIVIDADES DE MITIGAÇÃO NO BRASIL 443

CONSIDERAÇÕES FINAIS 445

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 445

4.1. O BRASIL NA POLÍTICA GLOBAL SOBRE CLIMA: DESAFIOS DE GOVERNANÇA

4.1.1. INTRODUÇÃO

O título deste subcapítulo remete a uma visão mais ampla da política climática do que aquela que tem prevalecido no campo de estudos das relações internacionais no Brasil, baseada na análise de regimes e expressa na literatura por Keohane e Nye (1989) e Krasner (1982). Porém, está em sintonia com a produção mais recente dos estudiosos do campo, que tem enfocado a questão da mudança global do clima para além do regime internacional (Okereke *et al.*, 2009).

Estudos recentes têm discutido tanto o complexo de regime do clima (Victor, 2010; Keohane, e Victor, 2010) e sua governança global (Okereke *et al.,* 2009; Bulkeley e Newell, 2010; Biermann *et al.,* 2010) e transnacional como o complexo internacional do regime do clima (Andonova *et al.,* 2009, Abbott, 2011) e sua governança policêntrica (Ostrom 2010). Gupta (2010), por exemplo, discutiu a complexidade da definição de mudança do clima que, em sua perspectiva, se transforma de questão ambiental em tema de desenvolvimento e, também, apontou a tendência de envolvimento de atores sociais diferentes na discussão, o uso de mecanismos de mercado e a crescente busca de soluções alternativas dentro ou fora do regime.

O ponto de partida é o campo de estudos das relações internacionais no Brasil e a questão da mudança global do clima, a partir da perspectiva dos estudiosos dessa área acadêmica. Um primeiro levantamento da literatura – livros e artigos –, bem como de dissertações e teses, reflete uma perspectiva majoritariamente centrada nas negociações internacionais no âmbito das Nações Unidas (Viola, 2002, Capobianco, 2010; Vargas, 2008), com algumas vozes dissonantes mais recentes (Viola, 2009; Viola 2010; Viola e Machado 2010), que tratam a questão da política do clima como global e plurissetorial.

Nesse sentido, a política global do clima é considerada questão que envolve atores estatais, do mercado e da sociedade civil, tendo se tornado uma problemática central na política mundial contemporânea, que compreende relações interestatais, transnacionais e intergovernamentais num contexto de interdependência complexa e assimétrica (Keohane e Nye, 1989). Além disso, trata-se de um tema plurissetorial, que não se restringe mais à dimensão ambiental e perpassa dimensões econômicas e de segurança. Consequentemente, o conceito mais abrangente para tratar as respostas e as tentativas de lidar com esse problema é o de governança global do clima.

4.1.2. A ESTRUTURA DO SISTEMA INTERNACIONAL E A POLÍTICA SOBRE CLIMA

Segundo as perspectivas usuais do campo de estudo das relações internacionais, a estrutura do sistema internacional se define pela distribuição de poder entre estados nacionais (Waltz, 1979). Isto significa que os estados mais poderosos definem o *jogo político*, entendido como uma *arena* em que a segurança predomina sobre todas as agendas e a sobrevivência depende de que o equilíbrio de poder seja mantido em um sistema sem que haja autoridade acima dos estados nacionais. Disso decorre a grande dificuldade de cooperação e de ação coletiva; cada estado cuida de seus próprios interesses e prefere maximizar seus ganhos imediatos a cooperar em favor dos progressos mútuos ou pelo bem coletivo.

Contudo, o pressuposto é o de que houve um aprofundamento da interdependência complexa[1] (Keohane e Nye 1989), tanto do ponto de vista econômico como climático, com o aumento da

[1]O conceito de interdependência complexa surgiu na década de 1970 como um desafio ao pensamento realista no campo de estudo em relações internacionais.É baseado na teoria liberal ou funcionalista e tem três principais características: múltiplos canais, ausência de hierarquia entre questões – uma vez que a quantidade de temas que afetam os atores internacionais aumentou e se diversificou – e a negação da primazia da força militar na política externa.

dependência mútua entre os atores do sistema e de suas respectivas sensibilidade e vulnerabilidade a eventos externos. Isso torna não apenas mais fluídas as fronteiras, como também mais difícil se separar a arena doméstica da internacional.

Na política mundial contemporânea, existe um duplo processo de transição e dispersão de poder (Nye 2010). De um lado, emergem novos poderes estatais como China, Índia ou Brasil, o que significa uma mudança na estrutura internacional. Do outro, atores não-estatais passam a ter mais poder e dividir a arena política com os estados. Dessa forma, corporações e organizações da sociedade civil assumem papel importante e, além disso, a economia e a segurança climático-energética possuem peso fundamental.

Para Viola e leis (2007, pp. 48-55), o sistema internacional pós-1989 é o *sistema de hegemonia das democracias de mercado*. As características marcantes são fortes interesses comuns entre as democracias de mercado em relação a ameaças percebidas – dentre elas a mudança global do clima e o terrorismo –, o aumento da importância dos fluxos transnacionais fora do controle do Estado devido à intensidade da globalização e da expansão de regimes democráticos e, ainda, a composição do polo central pelas democracias de mercado consolidadas.

A economia política global do clima entrelaça processos que envolvem padrões globais de produção e consumo, segurança energética, interesses de estados, corporações e consumidores, interligando tanto a dimensão micro quanto macro da vida social. Além disso, o aumento do número de eventos climáticos extremos e o risco de mudanças catastróficas do clima transformam a questão em uma ameaça à segurança global. Isso torna a mudança global do clima um dos maiores desafios contemporâneos, comparável à ameaça nuclear durante a *Guerra Fria* (Viola, 2009), com a diferença de que as soluções da questão climática implicam transformações em múltiplas escalas e níveis da sociedade global.

4.1.2.1 COOPERAÇÃO E CONFLITO NO SISTEMA INTERNACIONAL: AS INTERAÇÕES ENTRE SEGURANÇA INTERNACIONAL, ECONOMIA GLOBAL E MUDANÇA DO CLIMA.

No que diz respeito à interação entre economia global e mudança do clima, já as primeiras pesquisas realizadas sobre o aquecimento do planeta tiveram como contexto a relação entre atividade econômica e seus reflexos no meio ambiente, mesmo que isso tenha se dado no chamado paradigma de sustentabilidade fraca (Ribeiro, 2011, p. 23). Viola (2009, p. 3) considerou que a questão climática não deve ser pensada sem se levar esta interação em conta, e, além disso, defendeu que ela deve ser vista como um dos maiores desafios econômicos contemporâneos por envolver mudanças profundas na matriz energética da economia global. Há que se levar em conta, ainda, que os chamados países emergentes continuam expandindo suas economias, o que demanda mais energia e tende a aumentar o volume de gases de efeito estufa (GEEs) que emitem.

Ribeiro (2011, pp. 41-67) descreveu estas interações a partir das alterações do modo de produção, da forma de intervenção do Estado na economia e da influência que dinâmicas econômicas, como o surgimento do neoliberalismo e a crise da dívida externa, podem ter sobre a agenda ambiental e a escolha de soluções tal como foi o caso da opção por mecanismos de mercado durante as décadas de 1980 e 1990, a exemplodo mercado de dióxido de enxofre nos Estados Unidos e com o próprio Protocolo de Montreal.

Especificamente sobre a influência que dinâmicas econômicas podem exercer sobre a agenda da questão climática, podem ser destacados dois prismas (Ribeiro, *op. cit.*). O primeiro aponta para a preponderância da reflexão econômica sobre a questão da mudança global do clima com caráter limitador, medida tanto em impactos sobre o PIB como através da limitação da atuação do Estado na economia, por meio das opções políticas ou em termos de inserção no sistema internacional. Um exemplo destacado é o da subordinação da agenda política energética e climática a questões financeiras e de comércio nas negociações do G-20 (Ribeiro, 2011, p. 11).

O segundo prisma, de acordo com Ribeiro na mesma obra citada, é o que aborda a interação da reflexão econômica, seja como oportunidade para promover transformações em grande escala exemplificada pela crise financeira de 2008, ou como fator externo positivo para a solução da questão climática – o que pode ocorrer desde a alteração das formas de produção e padrões de consumo, através da utilização de instrumentos econômicos a exemplo de taxas, tarifas, subsídios e certificados de emissões, – ou dos padrões produtivos de energia, até a diversificação de fontes de geração e a alteração na demanda energética, com reflexos diretos na composição da matriz nacional.

Uma das questões que se coloca quando do debate sobre a relação entre comércio e aquecimento global é o impacto que uma política nacional de mudança climática pode ter na competitividade das indústrias. Muitas vezes, essas políticas podem alterar o preço relativo dos bens comercializados e afetar as condições prevalentes no comércio internacional (*WTO* e UNEP, 2009, p. 90). A preocupação quanto à competitividade das empresas é um dos principais obstáculos à imposição de limites obrigatórios na emissão de gases de efeito estufa.

Limitar a emissão de GEEs por meio de diferentes incentivos e instrumentos econômicos – seja na forma de regulamento, taxação do carbono ou através do sistema *cap and trade* – pode impor custos adicionais à produção doméstica. Isto porque a hipótese de se aumentar o custo produtivo no curto prazo acarretaria elevação de preço aos consumidores e diminuição das vendas, além da migração de empregos e processos industriais para aqueles países que não a adotassem.[2]

Assim, além da diminuição da oferta de trabalho no país, essas medidas poderiam contribuir para a criação de *ilhas* de poluição, o que colocaria em xeque a eficiência da iniciativa de países isolados. Em parte, essa tendência se verificou entre 1990 e 2000 na China e, na última década, na Índia, em face do gigantesco volume de investimentos norte-americanos, japoneses e europeus, uma vez ressalvada a dinâmica de migração de postos de trabalho que também responde a outras influências, tais como o desempenho econômico e as mudanças tecnológicas. Contudo, na maioria das situações, a médio e longo prazo, as empresas que diminuem a intensidade de carbono de seus processos produtivos tendem a aumentar a competitividade por internalizarem tecnologias de ponta que favorecem a produtividade sistêmica dentro da empresa. A mesma tendência não se verifica necessariamente na produção de novas oportunidades de emprego (Giddens, 2009).

Na medida em que a Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudança do Clima (CQNUMC) reflete o princípio das responsabilidades comuns porém diferenciadas, prevalece um comprometimento assimétrico por parte do Estado em reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Os diferentes níveis de comprometimento entre os Estados e o impacto das políticas de mitigação de GEEs na competitividade econômica de suas empresas justificaram, por exemplo, a não adesão dos Estados Unidos ao Protocolo de Quioto.

Dessa forma, parece que, enquanto não houver um comprometimento internacional capaz de envolver todos ou quase todos os países emissores significativos desses gases – ou aqueles que têm potencial para se converterem em emissores significativos –, não haverá incentivo suficiente para os demais se comprometerem com uma política efetiva de contenção da mudança climática. As preocupações relacionadas à competitividade impedem, muitas vezes, a adoção desse compromisso internacional.

Ao incluir considerações de segurança nas discussões sobre a economia política do clima, a questão, do ponto de vista da governança, torna-se ainda mais complexa. Para Ribeiro (2011, pp. 35-40), houve uma revisão do conceito no sistema internacional a partir da redefinição da configuração

[2]O processo de realocação de indústrias intensivas em carbono (como cimento e químicos) para países sem metas de redução de carbono é chamado de *leakage*, ou vazamento de carbono, o que reduz os benefícios ambientais dos mecanismos econômicos e gera impacto nos fluxos comerciais devido a mudança nos preços (WORLD BANK, 2008, pp. 29-30).

de poder após a *Guerra Fria* e da alteração de percepção sobre a natureza das ameaças. Para Viola e Machado Filho (2010, p. 22), as dimensões econômicas e de segurança climática têm grandes impactos nas decisões de cunho ambiental. Viola (2009, p. 15) definiu o conceito de segurança climática como a manutenção da estabilidade relativa do clima global, o que levaria à preponderância de escolha de ações de mitigação sobre ações de adaptação.

Para descrever a interação entre os conceitos de segurança internacional e de mudança climática, Ribeiro (*op. cit.*) levou em consideração os impactos potenciais de uma ruptura climática global, a relação entre suas ameaças e impactos de um lado, e a capacidade de resposta de aparatos nacionais de segurança e culturais, do outro. O conjunto dessas considerações guarda relação com a noção de vulnerabilidade à mudança climática medida pelo *IPCC*.

Por este enfoque, a mudança global do clima tem claramente um viés de segurança, que perpassa diversas definições discutidas no posterior à *Guerra Fria* – tais como, por exemplo, a segurança ambiental definida como a manutenção de sistemas ambientais. Ou a segurança dos recursos relacionada à competição por um estoque escasso dos mesmos, a energética, entendida como identificação e manutenção do acesso a fontes de energia para garantir a continuação de atividades econômicas e militares ou, ainda, a biológica, expressa pela garantia de condições de manutenção e estabilidade de sistemas biológicos críticos.

O tratamento desta interação, todavia, não acontece como em outros temas cujo caráter de segurança é bem definido, como é o caso da questão nuclear, seja em termos energéticos ou no uso de armamentos. Isto porque a percepção sobre os riscos não é uniforme e os impactos se apresentam em um horizonte temporal mais longo do que os custos de ação para evitá-los.

Uma ressalva deve ser feita com relação à securitização do tema: enquanto é verdade que a dimensão de segurança climática reforça sua importância e centralidade na agenda política, há sempre o risco de militarização e de medidas de exceção tomadas em nome da manutenção da segurança, ou seja, de formas antidemocráticas de ação política. Isso não tem ocorrido, porém a discussão e a problematização dessa dimensão da segurança climática são importantes tanto academicamente quanto como parâmetros para decisões políticas.

4.1.2.2. OS ATORES RELEVANTES DO SISTEMA INTERNACIONAL NA DIMENSÃO CLIMÁTICA

Definir quais e quem são os atores relevantes na política global do clima não é tarefa incontroversa. No Brasil, tende-se a enfatizar o papel de países e bloco negociadores no âmbito da CQNUMC (Vargas, 2008; Silva, 2009; Barros-Platiau, 2010). Outros estudiosos destacaram os atores internacionais de acordo com sua participação nas emissões globais (Viola, 2009 e Viola, 2010) ou analisam o papel de atores não estatais como as organizações não governamentais – ONGs (Russar, 2008).

No período de negociação da CQNUMC havia quatro coalizões principais (Viola, 2005, pp. 193-194), abaixo relaciondas.

- União Europeia, composta, então, por quinze países.
- *The Umbrella Group* ou grupo *guarda-chuva*, composto por países continentais com alta intensidade de emissão de carbono por habitante e média por unidade de PIB – caso de Estados Unidos, Canadá e Austrália – ou por nações desenvolvidas onde a emissão de carbono (C) *per capita* é considerada média e difícil de ser reduzida por vários motivos; além de outras, onde a responsabilidade global da opinião pública é baixa – casos do Japão, Nova Zelândia e Noruega, Suíça e Islândia – ou ainda, das industrializadas e ex-comunistas, como a Rússia, a Bielo-Rússia, a Bulgária e a Romênia.
- G-77/China, composto por países de grandes territórios, com participação relevante nas emissões globais, tais como Brasil, China, Índia, Indonésia e África do Sul; pelos países da

Organização de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) – Arábia Saudita, Kuwait, Iraque, Irã, Emirados Árabes Unidos, Líbia, Argélia, Nigéria, Venezuela, Equador e Indonésia –; e aqueles receptivos ao compromisso de redução do ritmo de crescimento futuro de emissões, como é o caso de Coreia do Sul, Cingapura, Argentina, Uruguai, Chile e Costa Rica.

- Aliança de Pequenos Estados Insulares ou *Alliance of Small Island-states/Small Islandes Developing States* (*AOSIS/SIDS*), coalizão composta por pequenos estados insulares em desenvolvimento.

Do ponto de vista das emissões globais de GEEs, treze atores são considerados mais relevantes no cenário da dimensão climática, responsáveis por mais de 80% das emissões do planeta e divididos em dois grupos:

- as grandes potências climáticas – Estados Unidos, China e União Europeia com os seus 27 países, um conjunto responsável por quase 60% do volume emitido e peças-chave para qualquer negociação sobre o tema;
- e as potências climáticas médias – Índia, Rússia, Brasil, Indonésia, Japão, México, Canadá, África do Sul, Coreia do Sul e Arábia Saudita, que respondem por quase 25% das emissões globais (Viola 2009; Viola, 2010; Viola e Machado Filho, 2010).

Viola e Machado Filho (2010, pp. 8-10) destacaram que o Brasil tem um perfil de emissões inusitado em relação aos demais países de renda média ou alta, pois grande parte de suas emissões (55%) está relacionada ao desmatamento da Amazônia e do Cerrado, uma vez que sua matriz energética é pouco intensiva em carbono, exceto no referente ao transporte de carga (Viola, 2010). Nesta mesma linha, Vargas (2008, pp. 48-50) argumentou ao classificar o perfil brasileiro de emissões de diferenciado que o perfil de geração de eletricidade é qualificado como *sui generis*: enquanto o padrão global de emissões se caracteriza pelo maior peso do uso de combustíveis fósseis e o menor peso do uso da terra, no Brasil, ocorre o oposto.

Vale destacar, neste ponto, que entre 2003 e 2008 houve expansão de usinas termoelétricas no País, o que tornou a matriz brasileira mais intensiva em carbono. Em seguida, esse tipo de projeto foi retirado dos leilões de energia do governo federal a partir de 2008 para, recentemente, devido aos problemas enfrentados nos projetos de desenvolvimento hidrelétrico na Região Norte, dar-se a volta da contratação de termoelétricas a gás na licitação realizada em 2011 (Viola, Franchini e Ribeiro, 2013, p. 315).

A compreensão sobre a atuação das ONGs e outros atores não estatais no debate nacional e internacional sobre mudanças climáticas é relevante, pois eles participam ativamente do processo de definição de políticas públicas sobre o tema, buscando influenciar os governos envolvidos neste processo.

Estudo realizado pela Vitae Civilis (Russar, 2008) mapeou as instituições e fóruns relacionados ao tema de mudanças climáticas no Brasil. Apontou ser recente o envolvimento de ONGs e movimentos sociais com o assunto, ressaltando que as organizações ambientais levaram algum tempo para incorporá-lo a sua agenda de trabalho. A entrada em vigor do Protocolo de Quioto, em 2005, e a divulgação do Quarto Relatório de Avaliação do *IPCC*, em 2007, foram apontadas como centrais para o aumento da mobilização da sociedade civil. Identificou-se ainda no trabalho, pelo menos 24 organizações da sociedade civil – as OSCs -, entre ONGs e movimentos sociais atuantes nos debates nacionais e internacionais a tal respeito[3].

O estudo destacou também, a atuação do Grupo de Trabalho de Mudanças do Clima (GT Clima) e do Observatório do Clima – Rede Brasileira de Organizações Não Governamentais e Movimentos

[3] Entre as organizações mapeadas, pode-se citar a Fundação SOS Mata Atlântica, Instituto Centro Vida (ICV), Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), Instituto Socioambiental (ISA), Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), entre outras.

Sociais em Mudanças Climáticas, duas organizações que articulam diversas organizações em ações e projetos comuns relacionados ao tema.

Criado no âmbito do Fórum Brasileiro de ONGs e Movimentos Sociais para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (FBOMS), o GT Clima reúne hoje, cerca de 40 organizações que, periodicamente discutem estratégias conjuntas de pressão sobre o governo brasileiro para que ele adote políticas nacionais eficazes para a mitigação e a adaptação às mudanças climáticas (Russar, 2008). Por sua vez, o Observatório do Clima é composto por 31 OSCs e atua na mesma direção: seu objetivo é o de contribuir para a construção de políticas públicas na área climática.

Um exemplo que demonstra a influência exercida pelas ONGs no processo de construção de um regime internacional sobre alterações climáticas é a decisiva contribuição destes atores na mudança de posição do Brasil sobre o tema de florestas. Carvalho (2010, p. 164) afirmou que essa guinada foi influenciada pela conjuntura política interna a partir de 2003, em um processo no qual as ONGs tiveram importante papel. A autora destacou que a partir deste momento observa-se maior alcance da governança sobre o desmatamento, quando o Ministério do Meio Ambiente emerge como ator na discussão sobre florestas, assim como surgem novos interesses internos que pressionam o Governo Federal a uma atitude mais proativa em relação à inclusão de florestas em pé no regime do clima.

Carvalho (2010, p. 177) destacou o trabalho de pressão exercido por ONGs nacionais e internacionais para que o setor produtivo se mobilizasse contra o desmatamento. Ela cita o compromisso que ficou conhecido como a *moratória da soja* para obstar a venda desse produto agrícola quando oriundo de áreas desflorestadas após julho de 2006. Na mesma direção, Viola (2010) afirmou que a atuação das grandes ONGs foi um dos fatores que explicam a redução do desmatamento entre 2005 e 2009, com a intensa campanha de conscientização da opinião pública e das empresas desenvolvida nesse período. O autor escreveu que *essa campanha teve como um de seus resultados, a moratória da compra de soja proveniente da Amazônia e a moratória da compra de bois provenientes de áreas desmatadas por parte dos grandes frigoríficos*.

Ainda em relação à discussão sobre florestas e mudanças climáticas, as ONGs não só foram ativas no nível doméstico, mas também bastante atuantes nas discussões internacionais sobre o Mecanismo de Redução das Emissões provenientes de Desmatamento e Degradação (REDD).

Carvalho (2010, p. 186) informou que, *desde 2003, um grupo formado por pesquisadores de ONGs e cientistas começou a publicar artigos e a apresentar propostas em eventos paralelos durante as COPs, ressaltando a necessidade de se tratar da questão do desmatamento nos mecanismos de mitigação do regime do clima*. Um exemplo interessante foi o Pacto Nacional pela Valorização da Floresta que propugnava o fim do desmatamento. Esta iniciativa foi lançada em 2007 e trouxe subsídios para que *organizações não governamentais norueguesas discutissem a contribuição de seu país à redução do desmatamento nos países de floresta tropical, como Brasil, Indonésia e Congo*, conforme Ramos (2009) *apud* Carvalho (2010).

Para além das ONGs, é importante destacar outros atores não estatais diretamente envolvidos no processo de definição de políticas nacionais e internacionais sobre mudanças climáticas, como as empresas nacionais e as corporações transnacionais.

Viola (2010) apontou que, em 2009, foram formadas três coalizões empresariais com o objetivo de influenciar a política climática brasileira.

- Denominada Aliança de Empresas Brasileiras pelo Clima, a primeira delas é bastante heterogênea, composta, de um lado, pela cadeia produtiva do etanol que é totalmente favorável a descarbonizar a economia e, de outro, pelo setor da bovinocultura de carne que,

bastante reticente a esse repeito, demanda redução do desmatamento na região amazônica e o emprego de mecanismos de mercado para evitá-lo.

- Já a segunda, intitulada Carta Aberta ao Brasil sobre Mudanças Climáticas, reúne 22 empresas de capital nacional, lideradas pela mineradora Vale e com forte participação no PIB brasileiro. Seu objetivo é pressionar o governo para que assuma compromissos formais nas negociações climáticas, além de políticas domésticas eficientes para redução de emissões.
- Por fim, a Coalizão de Empresas pelo Clima tem demandas similares à anterior, porém mais precisas e aprofundadas.

Outros atores que contribuem para esse debate no Brasil são a Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS)[4], que se propõe a estabelecer uma rede entre a comunidade científica, entidades de fomento internacional, corporações nacionais e iniciativas da Confederação Nacional das Indústrias (CNI) – como o Guia de Referência para Estratégias Corporativas de Baixo Carbono[5] – e as ações para o caminho do baixo carbono pela indústria nacional.

4.1.3. ARQUITETURA DA GOVERNANÇA GLOBAL SOBRE CLIMA

A partir da breve discussão sobre as interações entre a economia mundial, a segurança internacional e a mudança climática e os atores nelas envolvidos, foi possível vislumbrar a complexidade do problema da governança global do clima. Inoue (2011) argumentou que o conceito de governança é mais adequado para tratar a questão da mudança global do clima do que o de regime internacional. Isto porque o primeiro é mais abrangente e incorpora a própria noção de regime além de múltiplas escalas, dimensões e atores.

Este argumento se baseia em Okereke *et al.* (2009) e em Bulkeley e Newell (2010). Por definição, um regime internacional se refere a um tema específico – ou *issue area*, no termo inglês – (Krasner, 1982) e o entendimento atual sobre a problemática da mudança do clima abrange vários temas, ou *issue areas: Logo, é mais do que uma área temática, por combinar e interligar questões econômicas, energéticas, de segurança e ambientais em todos os níveis de organização social, da escala global à local. Para analisar as formas pelas quais o Estado e as sociedades tentam agir em mitigação ou adaptação, se deve ir além da perspectiva de regimes internacionais* (tradução livre Inoue, 2011)[6].

Bulkeley e Newell (2010, p.1) defenderam a existência de um duplo processo paradoxal de crescimento da certeza científica sobre causas e consequências da mudança do clima e uma preocupação crescente de que se trate de um problema sem solução – *intractable*, no original em inglês – para a governança global. A complexidade da questão se deve a três fatores inter-relacionados. O primeiro deles é o envolvimento de múltiplas escalas de tomada de decisão. O segundo é o fato de que o papel de atores estatais e privados é fragmentado e intrincado e, o terceiro, a constatação de que os processos que resultam em emissões de GEE estão profundamente arraigados nos padrões cotidianos de produção e consumo (Bulkeley e Newell, 2010, p.2 *apud* Inoue 2011).

---

[4]Mais informações podem ser encontradas em: http://www.fbds.org.br

[5] Mais informações podem ser encontradas: http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_24/2012/09/04/208/20121123180802251358u.pdf

[6] Texto original: *"Thus, it is much more than an issue area, as it combines and intertwines economy, energy, security and environment issues in all levels of social organization from global to local scales. In order to analyze the ways through which states and societies try to mitigate and to adapt to it, we should go beyond the international regime perspective."*

Nesse sentido, a governança global da mudança do clima pode ser considerada como um processo com diversas camadas – ou conjunto de processos (Held *et at.*, 1999 *apud* Inoue e Andrade, 2011) –, envolvendo múltiplos atores, escalas e dinâmicas do nível global ao local, que se combinam para direcionar respostas à mudança climática. Tais respostas podem ser relacionadas à mitigação do aquecimento global, à adaptação, à transferência de tecnologia, ao financiamento, à capacitação – *capacity building*, no termo original inglês – entre outros fatores.

Como conjunto de processos, a governança global da mudança do clima compreende sistemas de regras, normas e programas de ação formais e informais (Young, 2000; Biermann, 2009 *apud* Inoue e Andrade *op. cit.*). Pode ser centralizada, descentralizada, unidirecional – seja vertical, de cima para baixo – *top down* – ou de baixo para cima – *bottom up* -, multidirecional, como uma rede, ou, ainda, mista (Rosenau, 2002 *apud* Inoue e Andrade *op. cit.*).

Biermann *et al.* (2010, p.16) apontaram que a arquitetura global da governança do clima é fragmentada e se compõe de instituições públicas e privadas, ou seja, organizações, regimes e outras formas de princípios, normas, regulações e procedimentos de tomada de decisão que são válidos ou ativos em uma área da política mundial.

O regime internacional baseado na CQNUMC seria, assim, uma das dimensões da arquitetura da governança global do clima. Outras dimensões que poderiam ser citadas são os acordos bilaterais e regionais, os arranjos não estatais entre atores do mercado ou da sociedade civil organizada, bem como os arranjos híbridos. Nessa perspectiva, pode também ser destacada a interação entre instituições internacionais – *institution interactions,* na expressão em inglês -, como uma das dimensões sobre o estudo dos processos de governança.

Enquanto conjunto de normas e regras, regimes internacionais são considerados instituições internacionais e, embora cada um se direcione a uma área específica, seus efeitos não se limitam a seus respectivos domínios. Exercem influência e são influenciados uns pelos outros, assim como por outros instrumentos políticos, o que afeta sua efetividade de forma positiva ou negativa (Gehring e Oberthür, 2006 p.1).

No Brasil, foram identificadas poucas pesquisas sobre a interação institucional como aspecto da governança. Entre elas, há estudos sobre a relação entre os regimes de ozônio, biodiversidade e comércio *vis-à-vis* o clima. A literatura internacional aponta diversas maneiras pelas quais questões ambientais podem interagir com as comerciais. Nesse sentido, o impacto das legislações ambientais na competitividade das empresas afeta as relações comerciais devido ao aumento no custo de produção (Low, 2009). Além disso, questiona-se a compatibilidade das regras multilaterais de comércio com políticas climáticas nacionais (Tamiotti e Kulacoglu, 2009) e acordos multilaterais ambientais (Brack e Gray, 2003; Eckersley, 2004).

Vale, por fim, mencionar as medidas de ajuste na fronteira como forma de evitar a perda de competitividade (Tamiotti, 2011). Para Brewer (2002 *apud* Ribeiro, 2011, p. 56), de maneira geral, os objetivos do Protocolo de Quioto e os da Organização Mundial de Comércio (OMC) são compatíveis, apesar de a entidade não ter enquadrado claramente os mecanismos do primeiro em seus acordos constitutivos.

Viola e Inoue (2010) apontaram para o diferente grau de importância dado aos temas na relação entre clima e biodiversidade – o primeiro, considerado central no sistema internacional, acompanhado do papel secundário dado à biodiversidade. Isso não significa que não haja sinergia entre ambos: se, por um lado, a perda de biodiversidade se acelera por conta do aquecimento global, por outro, tanto sua conservação gera impactos positivos na mitigação da mudança climática quanto essas mesmas ações mitigatórias, tais como a redução do desmatamento, têm impactos benéficos à proteção da biodiversidade.

Para explorar tais sinergias, os autores consideraram necessário avançar na noção de governança abrangente e em várias escalas. Sua avaliação foi a de que, se em prazo curto, é possível avançar no tema de biodiversidade apesar dos bloqueios no regime de clima, em um horizonte mais longo, não será viável avançar sem soluções para a governança da mudança climática.

Para a interação entre as questões da proteção da camada de ozônio e da governança do clima, Silva (2009) relatou a relação entre os fenômenos da diminuição da camada de ozônio e da mudança climática, ressaltando o potencial de aquecimento dos gases regulados pelo Protocolo de Montreal e os avanços obtidos em termos de mitigação do aquecimento global. Utilizou, como ilustração, o caso brasileiro, em que o cumprimento das metas do citado protocolo teria colaborado mais para a proteção climática do que os esforços empreendidos para cumprir o estipulado no de Quioto.

Ele também descreveu as principais características dos dois instrumentos e o enquadramento dado às questões, que resultaram em interações e soluções diferenciadas para os dois problemas. Para Barrett (1999, *apud* Ribeiro, 2011, p. 30), por exemplo, a estrutura do Protocolo de Montreal gerou mais incentivos à ação unilateral para o abatimento e à participação universal em comparação à do Protocolo de Quioto.

Como a literatura especializada no Brasil se refere principalmente ao regime internacional centrado na CQNUMC, ela enfatiza as dinâmicas de negociação e os alinhamentos dos atores nessa arena.

4.1.3.1 ACORDOS E INSTRUMENTOS: O REGIME INTERNACIONAL CENTRADO NA CQNUMC

Especificamente na política climática, as cúpulas e convenções internacionais na década de 1990 atribuíram à atmosfera o estatuto de preocupação comum da humanidade. Nesse período, o *IPCC* forneceu subsídios para a condução de negociações do regime internacional da mudança climática e tem sido, desde então, referência na formação da opinião pública internacional sobre o tema (Viola, 2005, pp. 188-189).

O chamado regime de mudança climática centrado na CQNUMC pode ser definido como um *sistema de regras explicitadas num tratado internacional pactuado entre governos, que regulam ações dos diversos atores sobre o assunto* (Viola, *op. cit.*). Vargas (2008, pp. 45-48) destacou a década de 1980 como início de negociações intensas e sistemáticas em torno desse regime, tendo como marco o estabelecimento do Comitê Intergovernamental Negociador em 1989, por meio de resolução da Assembleia Geral das Nações Unidas, copatrocinada pelo Brasil. A CQNUMC, assinada em 1992 e em vigor desde 1994, e o Protocolo de Quioto, assinado em 1997 e em vigor desde 2005, são a expressão formal desse sistema de regras.

O regime foi liderado pelos EUA e a União Europeia entre 1989 e 1991, pela União Europeia entre 1991 e 1995, pelos EUA, pela União Europeia e pelo Japão entre 1995 e 1997, e pela União Europeia desde 1998 (Viola, 2009, p. 6). Este autor, em coautoria com Machado Filho, destacou que, se em termos militares, econômicos, culturais e políticos, os Estados Unidos e a União Europeia se posicionam como aliados, em questões climáticas, a última tem, em geral, atuado de maneira isolada na defesa de uma arquitetura global para uma transição rápida à economia de baixo carbono (2010, pp. 2-3).

4.1.3.1.1 HISTÓRICO E DEFINIÇÃO DOS ACORDOS E INSTRUMENTOS

Desde 1979, quando se realizou a Primeira Conferência Mundial do Clima, diversos eventos e conferências deram seguimento à governança global do clima, bem como acordos e instrumentos

foram estabelecidos a esse respeito. Um desses eventos, importante e não destacado por Vargas (2008), foi a criação, em 1988, do *IPCC*. No âmbito do regime internacional da CQNUMC, as negociações internacionais e as decisões têm se dado nas reuniões das conferências das partes – as COPs – da CQNUMC e, a partir de 2005, das COPs/MOPs (Meeting of the Parts of the Kyoto Protocol)[7].

Viola (2005, pp. 190-191) marca a *COP2,* realizada em 1996, em Genebra, Suíça, como o momento de introdução da ideia de cotas comercializáveis de emissão de carbono pelos Estados Unidos, baseada na experiência de cotas comercializáveis de emissão de enxofre e material particulado entre as usinas elétricas. A proposta não teria sido bem recebida por três motivos: falta de compreensão do modelo, posturas adotadas por *princípios* contrários ao uso de mecanismos de mercado para proteção ambiental e, também, à inclusão de compromissos de reduzir a taxa de crescimento das emissões por parte dos países emergentes.

Para Vargas (2008, p. 49), o uso de mecanismos de mercado para a concessão de créditos pelo financiamento de projetos de conservação de florestas poderia gerar questionamentos quanto à credibilidade da CQNUMC e do Protocolo de Quioto. Isto porque poderia se configurar em uma permissão de inadimplência às partes do Anexo I para o cumprimento de suas metas, na medida em que equivaleria a um bônus para o aumento de suas emissões na proporção do carbono estocado nas florestas.

Conforme Viola e Machado Filho (2010, pp. 10-20), as negociações sobre o segundo período de compromisso do Protocolo de Quioto foram iniciadas em 2005. Para tanto, foi estabelecido o grupo *Ad Hoc Working Group on Further Commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol* (*AWG-KP*), cuja responsabilidade era a de definir metas quantificadas de redução de emissões para as partes do Anexo I e os instrumentos necessários para alcançá-las

Em Báli, na Indonésia, durante a *COP*13, foi estabelecido outro grupo *ad hoc* para tratar de cooperação em longo prazo – *The Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention* (*AWG-LCA*) – no âmbito da Convenção, cuja meta era alcançar uma decisão por consenso na *COP*15 que abordasse os cinco principais temas das negociações, definidos com participação significativa dos países emergentes, em particular, do Brasil, Índia e China, a saber:

i) medidas de cooperação em longo prazo, inclusive uma meta global de longo prazo para redução ii)de emissões,
iii) medidas nacionais e internacionais de mitigação,
iv) medidas de adaptação,
v) transferência de tecnologia, e ainda,
vi) recursos financeiros e investimentos.

A atuação destes dois grupos formou o chamado *processo de duas vias*, no qual a ênfase de negociação dos países emergentes ocorreu, primordialmente, no âmbito do *AWG-LCA*.

Porém, para Dupas (2007, p. 16), até 2007, o único fato que pode ser considerado como concreto desde o Protocolo de Quioto, é a dinâmica de mecanismos de mercado, que movimentou cerca de US$ 4 bilhões em vendas de certificados de carbono. Já para Vargas (2008, pp. 52-53), a atuação brasileira em Báli procurou fortalecer a CQNUMC e o referido protocolo, atuando no âmbito do G-77/China. Quanto ao Plano de Ação de Bali, ele teria sido bem sucedido em duas frentes: trouxe os Estados Unidos formalmente às negociações sobre o futuro do regime do clima e consolidou politicamente o comprometimento dos países em desenvolvimento com atividades de mitigação.

De acordo com Viola e Machado Filho (2010, p. 22), no entanto, a chamada economia política internacional da mudança climática teria sido alterada com a *COP*15, realizada em 2009, devido aos questionamentos da continuidade e da efetividade do Protocolo de Quioto pela ausência dos

[7]Confira Quadro 1.

Estados Unidos e dos principais países emergentes. Frente a um ritmo global mais lento de transição para uma economia de baixa intensidade de carbono, esses autores enxergaram no uso de barreiras ao comércio de produtos intensivos em carbono, um dos principais instrumentos internacionais (2010, p. 23).

A forma pela qual tais barreiras serão implementadas pode estar sujeita, no entanto, a litígios no âmbito da Organização Mundial de Comércio (OMC). A compatibilidade dessas medidas com as regras desse organismo deve ser analisada caso a caso. Mas é possível adiantar que as medidas econômicas passíveis de serem caracterizadas como subsídios – tais como as isenções fiscais para o setor de energia renovável e a concessão gratuita de créditos de carbono –, dificilmente serão consistentes com as regras multilaterais de comércio[8].

4.1.3.1.2 POSICIONAMENTO DE BLOCOS – CLIVAGENS E ALINHAMENTOS

Para Capobianco (2010, p. 39), a divisão tradicional nas negociações sobre mudanças climáticas era feita em dois blocos – o G-8 e o G-77/China – e, até 2005, as quatro coalizões principais eram União Europeia, o chamado Grupo Guarda-Chuva , o G-77/China e a *AOSIS/SIDS*, que se articularam ainda no período das negociações da CQNUMC (Viola, 2005).

Com o decorrer das negociações, essas coalizões não se mostraram totalmente coesas. Viola (2009, p. 5; 2010, p. 15) destacou outras clivagens e alinhamentos assim identificáveis: a dos integrantes e não integrantes do Anexo I, a das economias de alta e de média intensidade de carbono, entre países com maior e menor vulnerabilidade à mudança climática, com opiniões públicas consideradas mais e menos responsáveis e, ainda, entre os exportadores de petróleo e o resto do mundo.

Vargas (2008, pp. 53-54), escrevendo em um contexto pós-Báli – ver Quadro 4.1 –, elaborou análise que extrapola a clivagem entre dois blocos ao afirmar que, uma ruptura hipotética do G-77/China significaria a marginalização política da posição brasileira nas negociações sobre clima e em outros foros onde há interesses nacionais. Os pequenos estados insulares e os países mais pobres da África, da Ásia e da América Latina, no entanto, não poderiam acompanhar o Brasil, a Índia, a China, o México ou a África do Sul quanto às suas possibilidades de ações de mitigação.

Abranches (2010, pp. 176-177) descreve a ruptura do G-77/China ocorrida durante a *COP*15, em Copenhague – ver Quadro 4.1 –, em quatro subgrupos:

- o BASIC, composto por Brasil, África do Sul, Índia e China,
- o da AOSIS/SIDS,
- o da União Africana e
- o dos países menos desenvolvidos – Least Developed Countries agrupados sob a sigla LDC

Mas, ao contrário do que Vargas preconizou, o BASIC foi considerado o grupo mais eficaz em termos políticos dentro do contexto do G-77/China por contar com duas potências regionais – Brasil e China – um país emergente estratégico em escala regional – a Índia -, e um país com posição

[8] No que tange à competitividade, as preocupações em relação ao comércio de créditos de carbono dizem respeito a sua possível caracterização como subsídio. A possível identificação de um esquema de comercialização de créditos de carbono com subsídio deve-se basicamente à forma como esses créditos são concedidos. No âmbito de ETS, os primeiros créditos de carbono podem ser disponibilizados tanto de forma gratuita quanto em leilões públicos. No caso de serem fornecidos de forma gratuita, existe grande preocupação de que tal medida possa conflitar com o Acordo sobre Subsídios e Medidas Compensatórias e demais regras da OMC. Para maiores informações ver Howse, Robert and Eliason, Antonia. Coutervailing Duties and Subsidies for Climate Change Mitigation: What is, and what is not, WTO-compatible? In Climate Finance: Regulatory and Funding Strategies for Climate Change and Global Development. Ed. Stewart, Richard B., Kingsbury, Benedict, and Rudyk, Bryce. New York University Press, 2009.

geopolítica relevante no continente africano – a África do Sul, que atuou também como mediador entre a União Africana e o próprio BASIC (Abranches, 2010).

Na *COP*15, segundo Viola (2010), ficou claro que os blocos negociadores tradicionais são pouco relevantes se comparados à posição estrutural das grandes e médias *potências climáticas*. O decisivo, para esse autor, é que somente a União Europeia, entre as três grandes potências, é favorável a um forte avanço de descarbonização da economia mundial. Os Estados Unidos, no entanto, são reticentes por se tratar de um país dividido, onde uma das metades é ostensivamente resistente. Por sua vez, ele considerou a China como resistente, mesmo que tenha mudado significativamente sua política energética interna a partir de 2008.

Entre as potências médias, apenas Japão, Coreia do Sul e, parcialmente, Brasil, África do Sul e México são favoráveis a um rápido avanço de descarbonização. Ainda para Viola (2010), o BASIC atuava como uma coalizão conservadora em que os países mais reformistas – o Brasil e a África do Sul – se subordinavam a um país muito conservador – a Índia – e a outro, moderadamente conservador – a China.

A *COP*16 demonstrou a clivagem tradicional entre os países desenvolvidos – que exibiram preferência pela adoção de um único instrumento para substituir o Protocolo de Quioto, incorporando todas as partes – e os países emergentes e pobres – que enfatizaram a negociação em duas vias consolidadas em Báli, com mandatos separados, e a necessidade de se evitar uma lacuna – *gap*, no termo em inglês – entre os dois períodos de compromisso.

Já a *COP*17, realizada em 2011, em Durban, na África do Sul, foi marcada por total heterogeneidade de posições: União Europeia e Índia formaram as polarizações entre "responsabilidade e irresponsabilidade climática"; a Coreia do Sul e o Japão se posicionaram mais próximos da União Europeia; enquanto que a Rússia, a China e os Estados Unidos adotaram posições conservadoras e o Brasil, moderadamente conservadora (Viola, Franchini e Ribeiro, 2013, pp. 184-185).

Ainda para Viola (2005, pp. 187-197), a busca pela maximização do interesse nacional tem dificultado a construção de um regime para atenuar as mudanças climáticas. De modo que, diante de tais dificuldades, a tendência seria a de uma reorientação de ações de mitigação para adaptação, que são mais diretamente relacionadas a esforços endógenos nacionais e colocariam, assim, a cooperação internacional em plano secundário, ainda que relevante.

Somadas às frustrações com o processo negociador no âmbito da CQNUMC e do Protocolo de Quioto, que culminaram com o fracasso da *COP*15 – Copenhague, 2009 -, tais dificuldades têm levado alguns autores a defenderem a necessidade de se buscar alternativas para além do regime internacional das Nações Unidas. A ideia é a de outro regime, do qual participaria um menor número de atores, ou, ainda, a de um conjunto de regimes somado a arranjos de governança não estatais.

4.1.3.1.3 OS IMPASSES DA NEGOCIAÇÃO MULTILATERAL NA ONU

A CQNUMC e o Protocolo de Quioto não especificam quais políticas devem ser adotadas com o objetivo de se reduzir as emissões de GEEs, conferindo, dessa forma, liberdade a cada Estado na escolha de medidas para a mitigação dos efeitos do aquecimento global.

O Protocolo de Quioto, por exemplo, apenas menciona as políticas públicas disponíveis para redução das emissões, as quais podem ser implementadas através de uma ampla variedade de instrumentos, que vai de regulamentos a subsídios.

É inquestionável a liberdade para cada país adotar o nível de proteção ambiental que julgar adequado. No entanto, a forma como as medidas de mitigação são adotadas pode conflitar com as regras de outros compromissos firmados, como aqueles acordados no âmbito da OMC. As medidas políticas e econômicas relacionadas à redução de emissão de gases de efeito estufa são tão amplas que podem se relacionar com diversas áreas reguladas por essa organização, já que seu foco principal consiste em evitar restrições que distorçam o comércio internacional, e que qualquer medida que afete o comércio de bens e serviços, encontrar-se-á, forçosamente, em seu âmbito de regulação.

Diante da dificuldade em se negociar um tratado internacional para a redução das emissões de GEEs para o período pós-Quioto, diversos países passaram a considerar a implementação de medidas comerciais unilaterais para redução de emissões, tanto em seus próprios territórios, quanto nos demais países. A adoção desse tipo de medida estaria diretamente relacionada a uma tentativa de se envolver países não signatários do referido protocolo nos esforços de mitigação ao aquecimento global.

Apesar de o artigo 3.5 da CQNUMC mencionar a possibilidade de adoção pelos países de medidas comerciais unilaterais como forma de conter o aquecimento global – desde que não se constituam em discriminação arbitrária ou injustificada ou, ainda, em protecionismo disfarçado ao comércio internacional -, pode-se esperar um conflito entre esses dois regimes.

No âmbito do comércio internacional, incentivos econômico-financeiros podem se tornar assunto bastante sensível. Se, por um lado, tais medidas são utilizadas pelos governos como meio para alcançarem e promoverem objetivos legítimos de política econômica e social; por outro, podem afetar os interesses de parceiros comerciais, cuja indústria atravesse período deficitário em seus negócios nos mercados interno ou externo, em razão de vantagem competitiva adquirida por meio de apoio governamental.

Nesse sentido, incentivos econômico-financeiros, assim como exceções a sistemas regulatórios e fiscais concedidos a indústrias intensivas em carbono, podem distorcer os fluxos comerciais. De modo que a transição para uma economia de baixo carbono envolve importante contradição, já que a tentativa de se proteger a competitividade das empresas afetadas por políticas climáticas por meio desses estímulos do Estado pode contribuir para gerar mais distorções na economia.

Nesse contexto, os acordos da OMC desempenham importante papel a fim de esclarecer quais medidas de promoção à eficiência energética podem ser consideradas protecionistas – e, portanto, questionadas, seja por meio de medidas de defesa comercial, seja por meio do procedimento de solução de controvérsias da Organização.

No âmbito do mercado de carbono, custos relativos à obrigação de se reduzir a emissão dos GEEs podem ser compensados por meio da distribuição de forma gratuita de certificados de carbono.[9] Objetiva-se, dessa forma, compensar a possível perda de competitividade das indústrias intensivas no uso desse elemento químico, decorrente da política climática. No entanto, tal interferência governamental pode distorcer esse mesmo mercado de créditos, constranger os incentivos para reduzir as emissões e afetar o comércio internacional.

A concessão de créditos de carbono de forma gratuita para evitar a perda de competitividade da indústria doméstica pode consistir em uma contribuição financeira, conforme o Acordo de Subsídios e Medidas Compensatórias da OMC, e ser considerada *transferência direta de recursos*. Na medida em que empresas participantes do esquema recebam tais créditos do governo, elas podem vendê-los e obter recursos financeiros – ou mesmo, utilizá-los para, de fato, emitirem mais dióxido carbônico à atmosfera sem necessitar despender recursos em tal aquisição.

[9] A concessão gratuita de créditos de carbono por parte do governo pode impactar o comércio internacional na medida em que pode ser considerada um subsídio no âmbito das regras da OMC.

Para Peña (2010), uma das questões derivadas do novo cenário internacional pós-Copenhague é a demonstração das insuficiências das atuais organizações internacionais para conseguir o consenso entre seus partícipes e gerar compromissos vinculantes. Mais que isso – o autor considerou que processos adotados por essas entidades refletem uma ordem internacional que estaria sendo rapidamente ultrapassada diante das mudanças em curso nas relações de poder entre os protagonistas ou aspirantes a tal papel no cenário internacional.

Questões como a capacidade de se chegar ao equilíbrio de interesses entre um número tão grande de países – 193 no caso das Nações Unidas -, a eficiência e a legitimidade social das decisões adotadas e a definição de países relevantes para aquelas decididas sem consenso – naquilo que Peña (*op.cit.*) chama de *geometria variável* ou *massa crítica* -, demonstrariam a dificuldade para se encontrar (...) *no âmbito de instituições provenientes de uma ordem em colapso, respostas eficazes para problemas coletivos que são confrontados em escala global*.

As últimas *COPs*, com destaque para a realizada em Cancún – em 2010, -, e em Doha, no Catar –em 2012 -, apresentaram resultados institucionais, como a prorrogação do mandato do *AWG-LCA*, os acordos sobre financiamentos em prazos curtos e longos, o estabelecimento do Fundo Verde do Clima, a convergência do processo em duas vias e o acordo sobre o segundo período de vigência do Protocolo de Quioto. Em termos práticos, no entanto, é possível questionar o resultado desses avanços em termos de redução efetiva de emissões, uma vez que atores-chave nesse processo têm adotado posicionamentos conservadores e os compromissos pactuados na *COP*15 têm demonstrado ser, em grande medida, apenas instrumentos de retórica (Viola *et al.*, 2013, pp. 185-186).

4.1.3.2. O BRASIL NA GOVERNANÇA DO CLIMA

Os autores Viola e Machado Filho (2010, pp. 13-16) fizeram um apanhado da posição brasileira quanto aos principais temas em negociação na atual arquitetura global da governança do clima. Eles afirmaram que o anúncio das ações de mitigação, em 2009, configurou mudança significativa na política externa sobre mudanças climáticas do Brasil. Os compromissos anunciados são voluntários, mas passíveis de vir a ser assumidos em um eventual tratado internacional posterior. São eles:

- mitigação: metas ambiciosas em comparação às anunciadas pelos demais países emergentes, com destaque para China e Índia – entre 36,1% e 38,9% de redução nas emissões abaixo do cenário *business as usual* para 2020[10];
- adaptação: devido à diversidade de características e capacidades, deve haver uma abordagem abrangente e flexível para medidas de adaptação e meios de implementação, incluindo financiamento e tecnologia;
- financiamento: maior volume de recursos para financiar a adaptação, de modo a se restabelecer o equilíbrio dos fundos no regime de mudança climática, e também, a previsão de uma avaliação das contribuições obrigatórias dos países desenvolvidos como parte dos seus compromissos na CQNUMC;

[10] Não foi encontrada literatura que discutisse a construção da *baseline* brasileira, demonstração de estudos de viabilidade e negociações entre setores interessados para se chegar aos números finais. Apesar de ela poder ser considerada ambiciosa frente ao nível geral de consciência da sociedade brasileira em relação à gravidade da mudança climática, sugere-se (ou há evidências de) que ela seja produto de uma janela de oportunidade no contexto nacional - assertividade do então Ministro do Meio Ambiente, formação de três coalizões empresariais robustas e uma de governadores amazônicos que demandavam mudanças na posição brasileira, elaboração de legislação estadual em São Paulo e candidatura de Marina Silva à presidência da república - que foi imediatamente traduzida em uma lei nacional de mudança climática. Sua implementação está sendo bastante limitada e outras políticas básicas (política industrial e reforma do Código Florestal) estão seguindo em direção contrária, o que demonstra que a política dificilmente será implementada em sua totalidade, ao menos que se produza uma mudança dramática na correção de forças políticas nos próximos anos.

- transferência de tecnologia: ênfase na cooperação Sul-Sul e triangular, assim como na tecnológica; e, por fim, uma
- visão compartilhada: abrangente, com uma ambiciosa meta global em longo prazo, acompanhando assim, os avanços científicos sobre os potenciais efeitos gerados por diferentes níveis de aumento da temperatura global.

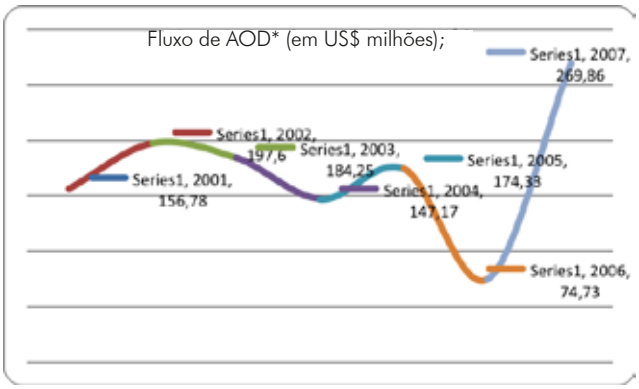
A posição brasileira entre as *COP*15 e 16 praticamente não mudou. Foi marcada pela manutenção da prioridade à aliança com o grupo BASIC. Mas, entre as *COP*16 e 17, o País se afastou da China e da Índia. A perspectiva sobre a arena de negociações da questão climática a partir da divisão entre integrantes ou não do Anexo I, entretanto, não se alterou (Viola *et al.*, 2013, p. 323).

4.1.3.2.1 O BRASIL E A COOPERAÇÃO INTERNACIONAL

Entre os pontos da pauta de negociações no âmbito da CQNUMC e de outras arenas, estão as questões relativas aos mecanismos de financiamento, para os quais se demanda recursos novos e adicionais aos já alocados para Assistência Oficial ao Desenvolvimento (AOD). Além disso, há os temas relativos à capacitação e transferência de tecnologia.

O Brasil, que ainda recebe recursos da AOD – *ODA*, por sua sigla em inglês – tem direcionado a cooperação técnica recebida, em grande medida, à área ambiental e climática, bem como ao desenvolvimento social[11], mas tem alocado a cooperação financeira majoritariamente obtida por governos estaduais e municipais – 74% do total[12] – em setores diversos[13]. Ao mesmo tempo, o País tem dado destaque à cooperação Sul-Sul em sua política externa.

Gráfico 4.1. *Fluxo de AOD recebido pelo Brasil US$ milhões entre 2001 e 2007*



*Asssitência Oficial ao Desenvolvimento
Fonte: *Development Assistance Committee (DAC) List of Official Development Assistance – ODA*[14]

[11] Para informações sobre cooperação técnica recebida, conferir em http://www.abc.gov.br/abc_por/webforms/interna.aspx?secao_id=31&Idioma_id=1

[12] Brasil, 2012a.

[13] Brasil, 2012b.

[14] A lista de ODA da OCDE apresenta países e territórios elegíveis a receber a assistência oficial ao desenvolvimento (ODA) de acordo com o PIB per capita (dados do Banco Mundial), considerando países de renda baixa e média. A definição utilizada para ODA é o fluxo de recursos para países e instituições multilaterais originados de agências oficiais (inclusive as estaduais e locais) e a transações que sejam administradas com o principal objetivo de promoção do desenvolvimento econômico e bem-estar dos países em desenvolvimento, que sejam de caráter concessional e transmitam um elemento donativo de pelo menos 25% (calculado a uma taxa de desconto de 10%). Ver http://www.oecd.org/dac/aidstatistics/officialdevelopmentassistancedefinitionandcoverage.htm#Definition. Acesso em 15 de novembro de 2012.

De acordo com dados levantados pelo Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA, 2010, pp. 19-48), a assistência – ou cooperação, na terminologia utilizada nos órgãos governamentais – brasileira para o desenvolvimento internacional, no período de 2005 a 2009, compreendeu recursos do governo federal, destinados a organizações internacionais e bancos regionais – que responderam por, aproximadamente 76% do total alocado –, assistência humanitária, bolsas de estudo e, ainda, cooperação técnica, científica e tecnológica (CTC&T).

Esta última ultrapassou R$ 252 milhões, dos quais 92% correspondem à cooperação bilateral distribuída de maneira equilibrada entre os países receptores, com destaque para Argentina, Guiné Bissau, Timor Leste, Cuba e Moçambique[15]. Entre as áreas apoiadas estão as de produção de biocombustíveis, de manutenção de recursos hídricos e de segurança alimentar.

É possível identificar nas relações bilaterais do Brasil com países em desenvolvimento, programas e projetos CTC&T em áreas relacionadas às mudanças do clima. A ajuda prestada pelo País pode ser considerada um instrumento de política externa e, seu crescimento, um indício de que pretende ser um *global player* e influenciar as arquiteturas de governança globais (Inoue e Andrade, 2011).

Esses mesmos autores (*op. cit.*) apresentaram os dados iniciais de uma pesquisa sobre a ajuda internacional prestada pelo Brasil na área do clima, com o objetivo de relacionar a chamada cooperação Sul-Sul à governança climática global. Redes como a *Rede Ibero-americana de Escritórios de Mudanças Climáticas – RIOCC*, por sua sigla em espanhol – ou a Rede de Países de Língua Portuguesa Sobre Mudança do Clima (RELAC) constituem uma importante base inicial para a cooperação entre economias em desenvolvimento e, também, com Portugal e Espanha.

Foram identificadas algumas iniciativas de cooperação técnica nas áreas de biocombustíveis – etanol –, de controle do desmatamento e de modelos climáticos. O projeto trilateral PANAMAZONIA II, firmado pelo Brasil, a Organização do Tratado de Cooperação Amazônica (OTCA) e a *International Tropical Timber Organization* (*ITTO*), tem como objetivo imediato monitorar o desmatamento, a exploração de madeira e a mudança de uso da terra na região amazônica. É apontado por Inoue e Andrade (*op.cit.*) como exemplo de novos tipos de arranjos de cooperação que podem contribuir para a governança do clima.

O Brasil tem provido capacitação na elaboração de comunicações nacionais para a CQNUMC, na identificação de oportunidades e no desenho de projetos no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e, também, na criação de autoridades nacionais designadas (*Designated National Authorithies* ou DNA, no termo inglês) por países que não integram o Anexo I. Em 2009, por exemplo, o País cooperou bilateralmente com Angola, Cabo Verde e São Tomé e Príncipe na preparação de inventários de emissões de gases de efeito estufa.

A segunda comunicação nacional à CQNUMC (MCTI, 2010) destaca a importância da chamada cooperação Sul-Sul, à qual dedica subcapítulo específico, enfatiza a troca de experiências e conhecimento, a cooperação técnica e a capacitação em áreas como energia – especificamente, a produção de etanol -, modelagem climática e criação de redes.

Para a cooperação recebida na área de clima podem-se destacar iniciativas destinadas à conservação de florestas – casos do Fundo Amazônia e do Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil (PPG-7) – que, assim como a cooperação técnica prestada, podem ser vistas como resposta aos compromissos estabelecidos na CQNUMC (Inoue e Andrade, *op. cit.* e De Antoni, 2010). Além disso, o Fundo Mundial para o Meio Ambiente (*GEF*) tem apoiado o Brasil em áreas como biodiversidade, mudanças climáticas, águas internacionais, áreas multifocais,

[15] Nesta última modalidade, o Brasil empreende esforços bilaterais e parcerias triangulares com governos estrangeiros e organismos internacionais. As parcerias triangulares permitem ampliar a escala e o impacto da cooperação sul-sul e normalmente envolvem projetos maiores aos de programas bilaterais

degradação dos solos e poluentes orgânicos persistentes.

Até maio de 2012, o total recebido pelo País somou US$ 401.227.444, o que, por sua vez, permitiu-lhe alavancar adicionais US$ 1.339.892.177 em recursos de cofinanciamento para 48 projetos nacionais, catorze dos quais na área de mudanças climáticas. Somam-se a esses, outros sete projetos regionais e globais, também na área climática. Para o período de recapitalização do Global Environment Facility em sua quinta versão (GEF-5) – de julho de 2010 a junho de 2014 -, o Brasil obteve alocação indicativa da ordem de US$ 53.920.000 destinada a igual propósito (GEF, 2013)[16]. O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) tem captado doações para o Fundo Amazônia e emite diplomas de reconhecimento à contribuição dos doadores ao Fundo. Nesses ficam identificados o doador e a parcela de sua contribuição em toneladas de carbono correspondentes ao valor da contribuição financeira para o Fundo (BNDES, 2009. p. 35).

Em 2009, foi celebrado um contrato com o Ministério das Relações Exteriores da Noruega para doação de até US$ 107 milhões, para utilização em 2009, posteriormente prorrogada para 2011, para a redução de emissão de gases originados no desmatamento e degradação florestal, em projetos no período de 2009 a 2015.Aditivos firmados em 2009 e 2010 comprometeram o país nórdico a doar até US$ 134 milhões suplementares em 2010 e 2011. A governança do Fundo Amazônia está a cargo de representantes de diversas instâncias da sociedade brasileira.

O Programa Piloto para Proteção das Florestas Tropicais do Brasil[17] foi uma iniciativa do G-7, ao qual se somaram os Países Baixos e a União Europeia, com o propósito de conciliar o desenvolvimento econômico sustentável com a conservação desse tipo de floresta (De Antoni, *op. cit.*). Durou de 1994 a 2009 e, segundo De Antoni (*op. cit*)[18] deve ser considerado no contexto de abertura do Brasil à comunidade internacional, tendo tido como suas duas principais motivações o horizonte de uma convenção sobre florestas – ponto delicado para o governo brasileiro – e a decisão de fazer o Brasil entrar na economia de mercado.

Sua concepção esteve diretamente relacionada à preocupação desses países com a questão florestal, sendo que a mudança do clima foi incorporada como uma de suas vertentes. Mais recentemente, a ligação entre desmatamento e mitigação da mudança do clima foi estabelecida. Existem iniciativas, com recursos remanescentes do Programa, como o projeto Cadastro Ambiental Rural, que é um subsídio para as políticas públicas de controle do desmatamento criado a partir da cooperação entre o governo brasileiro, o Banco Mundial e a organização não governamental *The Nature Conservancy*, que apóia municípios nos estados brasileiros de Mato Grosso e Pará.

São também exemplos de cooperação com o Brasil em questões relacionadas à governança do clima iniciativas como as dos programas Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA) – que envolve além da contribuição alemã, o Banco Mundial/*GEF*, o *World Wildlife Fund*/Fundação Moore -, o próprio Fundo Amazônia com recursos noruegueses e alemães, projetos apoiados pela União Europeia – caso do Pacto Municipal para a Redução do Desmatamento – ou outros, bilaterais, com países como Alemanha, Japão, Noruega e Reino Unido, ou com organismos internacionais como

[16] http://www.thegef.org/gef/sites/thegef.org/files/publication/Brazil%20-%20Fact%20Sheet_ECW_Peru%20-%20Portuguese.pdf (Data de produção: Maio de 2012),

[17] Informação disponível também em http://www.mma.gov.br/florestas/programa-para-a-prote%C3%A7%C3%A3o-das-florestas-tropicais. Acesso em 13 de setembro de 2012

[18] A coordenação geral estava a cargo do Ministério do Meio Ambiente, com a administração do Fundo Fiduciário de Florestas Tropicais (RFT) a cargo do Banco Mundial e o restante dos recursos sob responsabilidade do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). O Programa foi financiado por doações dos países integrantes do antigo G-7, com destaque desde o seu início para a Alemanha, tanto para a liderança na elaboração do Programa, quanto para o montante de recursos e para iniciativas de cooperação técnica (De Antoni, op. cit).

o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) ou a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (*FAO*). Há, também, projetos trilaterais com o Japão, na área de monitoramento do desmatamento, ou com os Estados Unidos, na área de biocombustíveis.

Desse modo, o Brasil, em questões relacionadas à mudança do clima, é um ator internacional *sui-generis*: pode ser visto como uma potência climática, com um compromisso voluntário de mitigação que representou um avanço relativo em relação ao histórico da sua política climática e um dos líderes do G-77/China nas negociações internacionais que, ao mesmo tempo, recebe e presta cooperação, principalmente na área de combate ao desmatamento.

Por fim, merecem também destaque na cooperação prestada as atividades de monitoramento do desmatamento, modelagem climática, biocombustíveis e questões relacionadas à CQNUMC, tais como a elaboração de comunicações nacionais, o estabelecimento de autoridades designadas e os projetos de MDL.

4.1.4 OUTROS SEGMENTOS E ATORES

Conforme mencionado, o conceito de governança do clima abrange escalas, dimensões e atores que estão fora ou além do regime internacional centrado na CQNUMC, foco da literatura acadêmica no Brasil. Há outros arranjos internacionais que, em certa medida, seguem as tendências apontadas por Viola (2009) quanto ao surgimento de outros fóruns de negociação paralelos à Organização das Nações Unidas, assim como de arranjos regionais e bilaterais.

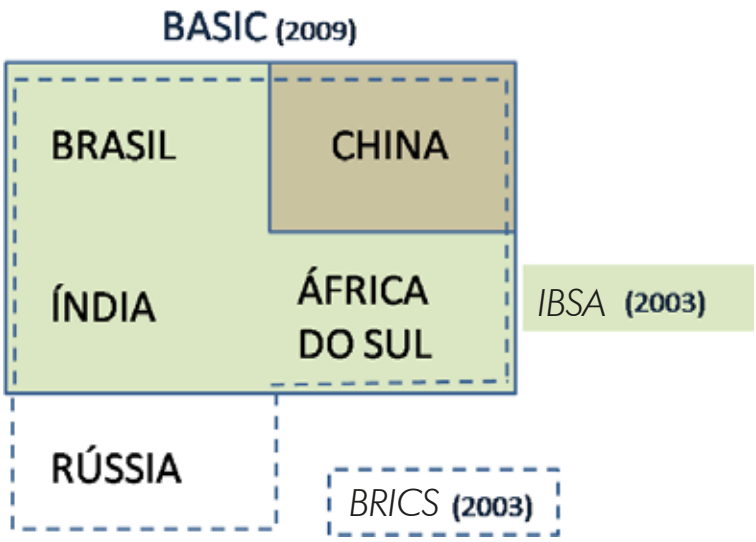
Além disso, a literatura internacional referenciada nos itens anteriores (Okereke *et al.,* 2009, Bulkeley e Newell, 2010, Andonova *et al*. 2009, Abbott, 2011, Ostrom, 2010) aponta que a governança do clima pode se realizar transnacionalmente, por meio de arranjos públicos formados por redes de subunidades de governos centrais, de autoridades estatais ou regionais, ou de governos municipais ou locais; por meio de arranjos híbridos envolvendo atores das esferas pública e privada e por meio de arranjos privados, que envolvem uma variedade de atores não-estatais, incluindo corporações privadas e organizações da sociedade civil (Bulkeley e Newell, 2010). Todos eles podem ser considerados parte da arquitetura da governança global do clima, porém são tratados com menos detalhe na literatura brasileira sobre o tema e, quase sempre, de forma descritiva e breve.

4.1.4.1 NOVOS ARRANJOS INTERNACIONAIS

Sobre outros arranjos internacionais na governança climática, Peña (2010) traz a definição na prática dos países necessários para obter-se *massa crítica de poder suficiente* e *governabilidade razoável* quanto a decisões com caráter vinculante, eficácia e legitimidade social. O autor enquadra o surgimento do G-20 nesse contexto. Outro exemplo é o Fórum das Maiores Economias (*Major Economies Forum – MEF*), criado pelo ex-presidente dos Estados Unidos, George W. Bush, em 2008, com a mesma composição do grupo supracitado e o objetivo de facilitar o diálogo entre as potências *emergentes e maduras*, porém sem resultados expressivos (Abranches, 2010, p. 98).

Alguns dos arranjos citados por Abranches (*op. cit.*), que respondem à dinâmica entre os países emergentes – China, Brasíl, Índia, Rússia e África do Sul – são o BASIC, considerado o núcleo do poder da política global do clima, o *IBSA* – fórum trilateral que reúne Índia, Brasil e África do Sul atualmente com ênfase em assuntos comerciais – e o *BRICS*, grupamento de países com grande extensão territorial, população e recursos naturais. A constituição entre esses arranjos pode ser descrita conforme a Figura 4.1, que se vê abaixo:

Figura 4. Novos arranjos internacionais.Fonte: Elaborado pelas autoras a partir de Abranches (2010)



Ribeiro (2011, pp. 18-23) ressaltou que a agenda climática e energética no G-20 estaria subordinada a questões financeiras e de comércio. Todavia, o fórum teria credibilidade econômica e representaria a garantia de continuidade de negociações entre os principais emissores globais, além de uma maneira para se integrar as economias emergentes aos processos centrais de tomada de decisão. O *MEF*, por sua vez, teria maior facilidade para estabelecer um relacionamento formal com a dinâmica de negociações na Organização das Nações Unidas.

Ao mesmo tempo em que estes outros arranjos internacionais complementam a dinâmica de negociações sobre a mudança climática, seu papel é limitado. Para Viola e Leis (2007), seus principais atores não integram o pólo central do sistema internacional e, seu nível de comprometimento com o tema ainda não pode ser considerado alto (Ribeiro, 2011, pp. 25).

4.1.4.2 ARRANJOS REGIONAIS E BILATERAIS: A DIMENSÃO CLIMÁTICA NOS ACORDOS FIRMADOS PELO BRASIL

Não foram encontradas análises sobre como as instituições regionais tratam a questão da mudança global do clima. Faz-se, aqui, uma breve descrição desse tema, com base nos documentos disponíveis em sítios eletrônicos institucionais sobre o Mercosul, a União de Nações Sul-Americanas (UNASUL), a Organização do Tratado de Cooperação Amazônica (OTCA) e a Organização dos Estados Americanos (OEA).

Somente dez anos depois da assinatura do Tratado de Assunção por Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai, criando em 1992 o Mercado Comum do Sul (Mercosul), é que foi firmado o Acordo-Quadro sobre Meio Ambiente desse bloco sul-americano. Trata-se de um texto geral, que estabelece os princípios e marcos para o tratamento da questão ambiental no Mercosul e que traz como objetivo a definição de desenvolvimento sustentável, alicerçada sobre três pilares: econômico, social e ambiental. Neste, não há um item específico sobre mudança do clima ou economia de baixo-carbono. Contudo, isso não significa que esta questão está ausente da sua agenda.

Na 39ª reunião do Conselho do Mercado Comum, em junho de 2011, a questão climática foi reiterada como um dos maiores desafios ambientais, corroborando o enquadramento do tema feito na CQNUMC e destacando a necessidade de se dar continuidade ao regime internacional vigente no âmbito da Convenção-Quadro e do Protocolo de Quioto. Para tanto, haveria a necessidade de

um segundo período de comprometimento entre os países do Anexo I[19].

No âmbito da UNASUL, o tema também é abordado a partir do quadro do regime internacional, notadamente pelo princípio de responsabilidades comuns porém diferenciadas. Ganharam destaque as iniciativas regionais como o conceito de emissões líquidas evitadas como mecanismo e a polêmica Iniciativa Yasuní-ITT, que evitará a exploração de reservas petrolíferas no Parque Nacional Yasuní, ambas no Equador[20].

Os chefes de estado dos países membro da OTCA realizaram reunião prévia à *COP*15, em Manaus, e assinaram uma declaração, em 26 de novembro de 2009, na qual reafirmaram a importância da cooperação em áreas de interesse comum. Embora não fizessem menção específica à mudança do clima, indicaram que pretendiam identificar ações para reduzir e monitorar o desmatamento, o que incluía a busca por mecanismos que apoiassem e gerassem financiamento para ações de conservação e proteção das florestas. Isso parece ter se refletido no plano de trabalho de 2011 da instituição, no qual a temática é tratada com maiores detalhes.

Interessante notar que, neste Plano, a interação com a CQNUMC é abordada e que ele aborda a adaptação à mudança do clima no tema dos recursos hídricos, qualificando-a como assunto *emergente*. Assim, como a mitigação no contexto amazônico está ligada à floresta e ao controle do desmatamento, parece que a ênfase será dada em termos de adaptação, já que entre as três atividades propostas, duas a ela se referem: a realização de estudos técnicos sobre métodos específicos de proteção das florestas tropicais contra secas e inundações e a elaboração de programas de apoio específico para os povos indígenas amazônicos enfrentarem os impactos da mudança climática.

A terceira atividade, porém, se refere à mitigação: promover o desenho e a aplicação de instrumentos de valoração econômica da floresta, de seus bens e serviços para fundamentar a execução de programas e dos projetos orientados à mitigação (OTCA, 2011).

A OEA, por sua vez, trata da questão climática no âmbito de seu departamento de desenvolvimento sustentável. Duas de suas divisões lidam especificamente com clima: a *Sección de Manejo del Riesgo y Adaptación al Cambio Climático (RIESGO-MACC)* e a *Sección de Energía y Mitigación del Cambio Climático*.A primeira apoia as prioridades dos membros da OEA na adaptação e gestão dos riscos associados a ameaças naturais. Suas áreas de atuação consistem em:

- redução de risco;
- instituições democráticas –boa governabilidade, transparência e participação pública —;

1 parceria com o Secretariado e o Escritório Regional para as Américas da Estratégia Internacional para Redução de Desastres da ONU – *United Nations International Strategy for Disaster Reduction* (*UNISDR*) -, com vistas a apoiar e coordenar mutuamente a implementação da Plataforma Regional para Redução de Risco de Desastres nas Américas do *Hyogo Framework for Action 2005-2015, no marco da Hyogo Declaration, além de implementar o Plan Interamericano Estratégico para Políticas sobre Reducción de Vulnerabilidad, Manejo de Riesgo y Respuesta a Desastres (IASP, na sigla em inglês) da Comissão Interamericana de Redução de Desastres* Naturais *(CIRDN)*.Adicionalmente, *a RIESGO-MACC* atua junto à *Red Interamericana de Mitigación de Desastres (RIMD)*[21].

Na área de energia e mudança do clima, os estados que integram a OEA estabeleceram a Parceria

[19] Brasil, 2011.

[20] Brasil, 2010b

[21] Para mais informações sobre o Departamento de Desenvolvimento e Sustentabilidade e suas ações, conferir: http://www.oas.org/usde/Spanish/DesastresyPlan.htm

Latino-americana para Energia Sustentável (SEPA, por suas siglas em inglês), em sintonia com a Declaração do Panamá: Energia para o Desenvolvimento Sustentável – *Declaration of Panama: Energy for Sustainable Development AG/DEC. 52 (XXXVII-O/07)* – de 5 de junho de 2007. A Divisão de Energia e Mudança do Clima se encarrega de implementar a *SEPA*, que é o principal mecanismo de resposta às necessidades dos membros dos países da América relativas à energia, apóia o desenvolvimento e uso de tecnologias de energia sustentáveis. Seus objetivos estratégicos envolvem: avanço da segurança energética, redução do impacto das flutuações do mercado de combustíveis fósseis e a redução das emissões de carbono pela criação e fortalecimento de mercados regionais para energia mais limpa e renovável e pela troca de experiências e informações.[22] Pelo número de projetos anunciados, pode-se perceber a ênfase na área de biocombustíveis, em especial o etanol[23].

Não foi possível encontrar análises sobre a questão da mudança global do clima nas relações bilaterais na América do Sul. Para Bouzas e Aguilar (2010), Brasil e Argentina possuem desafios comuns, mas não têm buscado cooperação em políticas de mudança do clima e negociações internacionais.

De modo geral, no âmbito regional, pode-se concluir que os países tendem a afirmar, pelo menos retoricamente, a importância do regime internacional centrado na CQNUMC. No caso brasileiro, isso reflete a posição da política externa, que tem sempre destacado a preferência pelo regime no âmbito das Nações Unidas. Viola (2009) afirmou que as estruturas de integração regional na América do Sul não têm se dedicado ao tema e que a OTCA funciona apenas formalmente, devido, sobretudo, ao baixo interesse brasileiro.

Arranjos de governança do clima têm sido estabelecidos através das fronteiras nacionais por diversos atores (Bulkeley e Newell, 2010). Tais arranjos transnacionais podem ser públicos - formados por atores subnacionais (governos locais), ou segmentos de governos centrais, híbridos – estabelecidos atores estatais e não-estatais e privados.

No Brasil, esses arranjos ainda são incipientes, ou pouco conhecidos. Não foram encontradas publicações que os analisem. Bulkeley e Newell (2010) classificaram as redes transnacionais de governos municipais, como a *Climate Alliance* ou a *Cities for Climate Protection* (*CCP*) do *ICLEI — Local Governments for Sustainability*, como arranjos transnacionais públicos. Vinte e quatro municípios brasileiros são membros do *ICLEI*[24], entre eles, metrópoles como São Paulo, Belo Horizonte e Rio de Janeiro, grandes municípios como Porto Alegre, Curitiba e Manaus e, ainda, Alta Floresta, Apuí e Lucas do Rio Verde, que se localizam na Amazônia e têm se envolvido na questão do clima a partir da pressão por controle de desmatamento (Inoue, 2011).

Esses três municípios da Amazônia Legal têm formado arranjos cooperativos com ONGs nacionais e internacionais, o MMA, no Brasil, e outros atores internacionais. Vale ressaltar que Manaus tem participado ativamente de redes transnacionais e, como exemplo, é parte do Grupo Cidades e Governos Locais Unidos (CGLU), liderado pela cidade francesa Nantes, cujo objetivo é o de acompanhar as negociações internacionais defendendo os interesses dos governos locais em diferentes áreas[25].

Arranjos privados transnacionais de governança do clima envolvem atores não-estatais, incluindo os setores corporativos da sociedade civil. São considerados formas de autorregulação, nas quais

[22] Para mais informações sobre o http://www.sepa-americas.net/quienes_somos.php?ID=3

[23] Para mais informações sobre o http://www.sepa-americas.net/index.php

[24] Mais informações sobre os municípios membros, acessar: http://www.iclei.org/index.php?id=11454

[25] Mais informações podem ser encontradas em: http://www.uclg.org/

são definidas questões, estabelecidas regras e o seu cumprimento é monitorado (Bulkeley e Newell, 2010). De acordo com esses autores, arranjos de governança privada na área de clima têm surgido a partir do trabalho de grupos de liderança empresariais, como, por exemplo, o *World Business Council on Sustainable Development (WBCSD*), ou de instituições e grupos estudos estratégicos – os *think tanks*, no termo inglês – como o *World Resources Institute (WRI*). O *WBCSD* estabeleceu a iniciativa *Combat Climate Change* (3C), liderada pela empresa sueca de energia Vattenfall.

No Brasil, entre os arranjos privados e subnacionais podem ser citados o Fórum Amazônia, formado pelos governos dos estados integrantes da Amazônia Legal, e coalizões empresariais que têm exercido alguma pressão na formação da política climática (Viola, 2010, pp. 101-103). O Fórum Amazônia pressiona o governo brasileiro quanto à aceitação do desmatamento evitado enquanto parte do MDL ou de outros mecanismos de mercado, como o REDD.

No caso das coalizões empresariais, suas demandas estão diretamente relacionadas com sua composição. A Aliança de Empresas Brasileiras pelo Clima é composta por federações e associações de companhias de agronegócio com intensidade de uso de carbono e mentalidades gerenciais heterogêneas. Assim, sua demanda é basicamente pela redução do desmatamento na Amazônia e pela aceitação de mecanismos de mercado para o desmatamento evitado.

A Carta Aberta ao Brasil sobre Mudanças Climáticas foi firmada por grandes empresas de capital nacional, cujo peso conjunto no PIB nacional é grande. Propõe compromisso formal do País nas negociações climáticas, atribuindo-lhe posição de liderança, políticas de redução da curva de crescimento de emissões, eficiência energética, controle do desmatamento, entre outros pontos. Em contrapartida, essas companhias se comprometeram a publicar um inventário de emissões de gases estufa anualmente.

A Coalizão de Empresas pelo Clima é formada por atores menos conservadores e tem demandas similares às contidas na Carta Aberta ao Brasil sobre Mudanças Climáticas. Pleiteia, porém, mudança radical na posição brasileira com vistas a uma liderança incisiva nas negociações e que seja favorável àtransição para uma economia de baixa intensidade em carbono. Propõe para isso que o Brasil assumisse um compromisso de redução de emissões em 2020 tendo 2007 como ano-base.

Por fim, há também a Plataforma Empresas pelo Clima, que tem como objetivo criar bases regulatórias para mitigação e adaptação à mudança do clima e fornece orientações e ferramentas para práticas de gestão de emissões de GEEs. A adesão à plataforma tem como contrapartida o compromisso de publicação de inventários conforme a metodologia do Programa Brasileiro *GHG Protocol* e o desenvolvimento de políticas e planos de gestão dos gases de efeito estufa direcionados à transição para uma economia com baixa intensidade de carbono.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A problemática da mudança global do clima entrelaça processos políticos, econômicos, ambientais e de segurança. Isso a torna uma dos grandes desafios contemporâneos. Do ponto de vista da governança global do clima, trata-se de um desafio caracterizado pela distância entre as alterações necessárias apontadas pela ciência e o pouco avanço em termos de decisão e implementação. Assim, o processo de governança climática é complexo, multidimensional e plurissetorial. São diversos atores envolvidos, estatais e privados, em todas as escalas de ação social.

Em tese, pode-se estabelecer uma arquitetura de governança composta por arranjos públicos, privados, híbridos transnacionais, arranjos regionais, bilaterais ou multilaterais. Atualmente, o principal deles é o regime internacional centrado na CQNUMC, foco dos estudos acadêmicos no Brasil. Contudo, este regime é muito frágil porque a maioria dos grandes emissores do presente está

desobrigada de conter suas emissões por diversas razões: os Estados Unidos, de maneira voluntária, a China, a Índia e o Brasil, devido ao desenho do regime.

Neste sentido, parece claro, em 2013, que, tão importante quanto as negociações multilaterais no âmbito da ONU, é se observar os desenvolvimentos em outras arenas e dimensões da governança do clima. Por exemplo: as políticas energético-climáticas das grandes e médias *potências climáticas*, os acordos bilaterais, os fóruns plurilaterais, os novos arranjos internacionais (como o G-20) e regionais. Estes outros desdobramentos, porém, ainda são pouco estudados no Brasil, o que indica que existem muitas questões e possibilidades não exploradas nos debates acadêmicos e políticos realizados no País.

ANEXO 1

Quadro 4.1. *Principais eventos, conferências, acordos e instrumentos na governança global do clima*

ANO	PRINCIPAIS EVENTOS E CONFERÊNCIAS	RESULTADOS, ACORDOS E INSTRUMENTOS
1979 **1985** **1987** **1988** **1989** **1990**	Conferência Mundial do Clima Conferência de Villach – Áustria Relatório Brundtland Constituição do *IPCC*; Primeira resolução da Assembleia Geral das Nações Unidas (AGNU) sobre mudança global do clima Declaração de Noordwijk – Holanda rp Primeiro Relatório de Avaliação do *IPCC*	• Enquadramento da questão no contexto de temas ambientais e de desenvolvimento; • Reconhecimento político da seriedade da questão do aquecimento global; • Formação de coalizões e mobilização dos pequenos estados insulares; • Articulação de ideias sobre a definição de responsabilidades em relação ao aquecimento global e sobre como tratá-las; • Articulação de áreas-chave para mitigação, adaptação e cooperação.
1991 **1992** **1994** **1995** **1996**	Fundação da *AOSIS* Conferência das Nações Unidas para Meio Ambiente e Desenvolvimento CQNUMC entra em vigor *COP*-1 – Berlim – Alemanha *COP*-2 – Genebra – Suíça Segundo Relatório de Avaliação do *IPCC*	• Assinatura da Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudança do Clima (CQNUMC) • Mandato de Berlim: fortalecimento dos compromissos do Anexo I por meio de um protocolo; • Declaração ministerial de Genebra.
1997 **1998** **1999** **2000** **2001**	*COP*-3 – Quioto – Japão *COP*-4 – Buenos Aires – Argentina *COP*-5 – Bonn –Alemanha *COP*-6 – Haia – Holanda *COP*-6 bis *COP*-7 – Marrakech – Marrocos Terceiro Relatório de Avaliação do *IPCC*	• Protocolo de Quioto: quantificação de metas de redução de emissões para um grupo de países • Plano de ação de Buenos Aires • Recuperação do otimismo perdido em Buenos Aires • Poucos avanços em relação ao plano de ação de Buenos Aires • Acordos de Marrakech – complementação do Protocolo de Quioto

2002 **2003** **2004** **2005** **2006** **2007**	*COP*-8 – Nova Delhi – Índia *COP*-9 – Milão *COP*-10 – Buenos Aires *COP*-11 – Montreal *COP/MOP*-1 *COP*-12 – Nairóbi – Quênia *COP/MOP*-2 *COP*-13 – Báli – Indonésia *COP/MOP*-3 Quarto Relatório do *IPCC*	• Declaração de Nova Delhi • Conhecida como a *COP* Florestal, ofereceu tratamento a questões pendentes da *COP*-7, porém foi considerada uma *COP* marginal; surgimento do REDD • Programa de Buenos Aires • Entrada em vigor do Protocolo de Quioto • Estabelecimento do *Ad hoc Working Group on Further Commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol* (AWG-KP) • Programa de Trabalho de Nairóbi: deveria incluir grande revisão do Protocolo, provavelmente já considerando o comprometimento da parte dos países em desenvolvimento • Plano de Ação de Báli; estabelecimento do processo de duas vias com os grupos *ad hoc* –AWG-LCA e AWG-KP – e processo de dois anos para um acordo pós-Quioto • Grande expectativa com mecanismos de mercado
2008 **2009**	*COP*-14 – Potsdam – Alemanha *COP/MOP*-4 *COP*-15 – Copenhague – Dinamarca *COP/MOP*-5	• Continuação do caminho traçado em Báli e ligação do tema com a crise financeira • Acordo de Copenhague; REDD Plus • Recessão econômica traz outros temas para a discussão • Tendência de perda de força da liderança como discurso na União Europeia
2010	*COP*-16 – Cancun (México) *COP/MOP*-6	• Acordos de Cancun • Decisão para limitação do aquecimento em 2 °C • Estabelecimento do Fundo Verde para o Clima
2011	*COP*-17 – Durban – Índia *COP/MOP*-7	• Plataforma de Durban • Extensão do Protocolo de Quioto ao segundo período de comprometimento – de 2013 a 2017 ou 2020 – e com redução dos participantes do Anexo I: UE, Suíça e Noruega

Fonte: Ribeiro (2010) e adaptações dos autores.

4.2. POLÍTICAS NACIONAIS E SUBNACIONAIS

4.2.1. INTRODUÇÃO

A literatura sobre a mudança climática reflete uma grande variedade de políticas nacionais e subnacionais que estão disponíveis aos governos para se limitar ou reduzir as emissões de GEEs. Estas tratam de regulamentos e normas, impostos e taxas, licenças negociáveis, acordos voluntários, subsídios, programas de incentivos financeiros, pesquisa e desenvolvimento, instrumentos e informações.

De tal modo que, se integradas às esferas nacionais e subnacionais, essas políticas podem contribuir para promover o desenvolvimento sustentável, tanto nos países desenvolvidos, como naqueles em desenvolvimento.

O Brasil conta, atualmente, com um amplo aparato regulatório relacionado às mudanças climáticas nas várias esferas federativas. Em 2012, dos 27 estados brasileiros, 17 já possuíam lei sancionada ou projeto de lei para regulamentar a política estadual de mudanças climáticas. Este aparato define estruturas de governança, planos e instrumentos para a consecução dos seus objetivos – alguns, inclusive, que ainda precisam ser regulamentados.

Adicionalmente, para o atendimento do compromisso voluntário do Brasil frente à Convenção do Clima, o Decreto nº 7390/2010 previu a elaboração de planos setoriais com a inclusão de ações, indicadores e metas específicas de redução de emissões e mecanismos para a verificação do seu cumprimento. Oito planos setoriais de mitigação e adaptação já foram aprovados. Dessa forma, será oportuna uma avaliação da eficácia e da equidade desses mecanismos após um período da sua implantação. Aspectos como o de participação e de transparência também devem ser avaliados, uma vez que a implantação e acompanhamento dessas políticas não poderão prescindir dos esforços no Legislativo, nos entes federativos e nas organizações da sociedade civil.

Para o melhor conhecimento destas políticas e planos é necessário um exercício para classificá-los e identificar os elementos motivadores, assim como os instrumentos neles propostos, avaliando-os sob a ótica das sinergias, governança, sobreposições e possíveis lacunas que porventura tenham sido criadas. Além disso, a convergência com outras políticas ambientais ou não – tais como as de biodiversidade e de recursos hídricos – e sua compatibilização com as setoriais – energia e agricultura, por exemplo –, são focos fundamentais para análise.

As políticas públicas sobre mudanças do clima têm sido desenvolvidas de forma autônoma por cada estado e a existência de diferenças no seu grau de detalhamento ou especificidade podem gerar conflitos de aplicação. A articulação das políticas, planos e programas de governo é essencial para que haja efetividade dos resultados e dos recursos aplicados, tanto financeiros quanto humanos, em países normalmente com recursos escassos, vantagens ambientais comparativas substantivas e uma fragilidade considerável em relação ao uso da terra, em especial pecuária, queimadas e o desmatamento.

4.2.1.1. CARACTERÍSTICAS E CLASSIFICAÇÃO DAS POLÍTICAS, PLANOS E INSTRUMENTOS

Uma variedade de políticas, medidas, instrumentos e abordagens estão disponíveis para os governos nacionais limitarem a emissão de GEEs. O quadro jurídico de cada país norteia a operacionalização destas ferramentas, que podem ser implantadas no plano nacional, subnacional ou por meio de arranjos bilaterais ou multilaterais. Tais ferramentas podem ser juridicamente vinculantes ou voluntárias, com elementos fixados ou dinâmicos.

A seguir, temos uma breve definição de alguns destes instrumentos (Hahn, 1998; Sterner, 2003) –

que podem ter caráter social, ambiental e econômico –, levando em consideração vários aspectos, dentre os quais os tecnológicos, de gestão ou governança e de comando e controle, todos eles importantes para a respectiva compreensão.

- Instrumentos de informação: divulgação pública de informação relacionada ao meio ambiente e às mudanças climáticas, provida em geral pela indústria e para os consumidores e incluindo programas de rotulagem e de classificação e, ainda, de sistemas de certificação.

- Normas e regulamentos: podem especificar as tecnologias de redução ou requisitos mínimos de desempenho das atividades econômicas necessárias à redução das emissões de GEEs.

- Pesquisa e desenvolvimento (P&D): financiamento direto do governo e investimento destinados a gerar abordagens inovadoras para mitigação e/ou a infraestrutura física e social para se reduzir as emissões, tais como prêmios e incentivos para avanços tecnológicos.

- Acordos voluntários: acordo entre uma autoridade governamental e uma ou mais entidades públicas e/ou privadas com o objetivo de atingir metas de desempenho de redução das emissões de GEEs, além do cumprimento das obrigações associadas à regulação. Nem todos os acordos voluntários são verdadeiramente espontâneos; alguns incluem recompensas e/ou penalidades associadas aos participantes ou ao cumprimento dos compromissos. Estes acordos podem ser expressos por memorandos de entendimentos ou instrumentos similares.

- Taxas, tributos e compensações: imposição de cobrança à unidade ou atividade considerada como uma fonte de emissão de GEEs.

- Subsídios e incentivos: pagamentos diretos, reduções fiscais, apoio aos preços ou o equivalente incentivo de órgão de governo a uma entidade ou ação para que uma prática determinada seja implantada ou uma ação específica, executada.

- Licenças negociáveis: sistemas *cap and trade*. Estes instrumentos estabelecem limites sobre as emissões agregadas por fontes especificadas, e exigem que cada fonte possua autorizações iguais às suas emissões reais e permitem a negociação destas entre elas.

- Medidas, projetos ou programas não associados ao clima: ações que não sejam especificamente dirigidas à redução de emissões, mas que possam produzir efeitos climáticos significativos, como o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) ou o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) no Brasil.

4.2.1.2. ABORDAGENS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA AVALIAR POLÍTICAS E INSTITUIÇÕES

A literatura em geral descreve, dentre outros, quatro critérios importantes para se avaliar os instrumentos de políticas climáticas que, certamente, não são exaustivos e que, cada país ou ente federativo pode associar a outras ferramentas para análisear suas políticas subnacionais.

O primeiro desses critérios remete à eficácia, ou seja, em que medida uma política atende ao objetivo de mitigação ou adaptação e é capaz de mostrar resultados positivos.

O segundo diz respeito à relação entre custo e efetividade, julgando em que medida a política pode atingir seus objetivos a um custo mínimo para a sociedade.

O terceiro trata de considerações distributivas, relacionadas à incidência ou distribuição e consequências de uma política, que incluem dimensões como justiça e equidade, embora existam

tambémoutros elementos.

O último critério é o da viabilidade institucional ou governança da política proposta. Trata-se de verificar em que medida o instrumento de uma política, percebido como legítimo, resulta em aceitação, adoção e operacionalização.

A eficácia de qualquer política climática é derivada de sua concepção, implantação, participação e cumprimento. Por exemplo, uma política que procura resolver completamente o problema do clima, se lidar com apenas alguns dos GEEs ou alguns dos setores, será relativamente menos eficaz do que uma que visa abordar todos os gases e todos os setores.

A eficácia de um instrumento só pode ser determinada pela estimativa sobre o modo como pode ser executado. Harrington *et al.* (2004) distinguiram entre a estimativa de um instrumento eficaz e de outro, ineficiente, ao relacioná-los a uma avaliação *ex-ante* e de desempenho *ex-post*. Houve situações em que as normas provaram ser eficazes. Os reguladores, muitas vezes, questionaram o desempenho de instrumentos de incentivo ou de mercado. No entanto, as limitações institucionais podem alterar sua eficácia relativa.

Por sua vez, a relação entre custo e efetividade de uma política é uma decisão chave em uma realidade com recursos escassos. Dado uma meta específica de remoção ou mitigação, a política de melhor relação entre custo e benefício é aquela que alcança o objetivo desejado com menor despesa. Há muitos componentes desse custo total que tanto podem ser diretos – incluído os administrativos e operacionais – como indiretos – tais como a política de redução e de mudança tecnológica.

A relação entre custo e benefício é diferente do interesse econômico geral de eficiência, pois enquanto a primeira leva em conta um objetivo, a segunda envolve o processo de seleção de um propósito específico segundo critérios econômicos (Sterner, 2003). Em consequência, a escolha de um determinado objetivo provavelmente causará impactos no custo total de uma política, mesmo que se use o melhor instrumento quanto à relação entre custo e benefício. Uma preocupação comum com esta ferramenta de avaliação é que as estimativas de custo *ex-ante,* muitas vezes, não refletem os custos reais de uma política avaliada a partir de uma perspectiva *ex-post* (Sterner, 2003).

A distributividade ou eficiência alocativa se refere à capacidade do instrumento em atingir o maior número de pessoas, mas raramente as políticas conseguem distribuir os benefícios e os custos entre as partes interessadas uniformemente. Mesmo uma política com um objetivo climático de menor custo pode enfrentar oposição política se seus impactos, tanto em termos de despesas quanto de benefícios, atingirem, de forma desproporcional, os grupos dentro de uma sociedade, a partir de uma perspectiva econômica. Uma política pode ser considerada benéfica se melhora o bem-estar social, mas não exige que sua implantação melhore a situação específica de um indivíduo.

Por conseguinte, como Keohane *et al.* (1998) argumentaram, as considerações distributivas podem ser mais importantes do que a rentabilidade agregada ao se avaliar um instrumento.

As considerações distributivas das políticas de mudança climática estão relacionadas à equidade, que pode ser definida de várias formas no contexto do clima (*IPCC*, 2007). Equidade e justiça podem ser percebidas diferentemente por diferentes pessoas, dependendo do contexto cultural do observador. Para exemplo, Ringius *et al.* (2002) consideraram a responsabilidade, a capacidade e a necessidade como os princípios básicos de justiça que parecem ser suficientemente reconhecidos para servir de base normativa a um regime de política climática. Estes três princípios foram usados na avaliação de potenciais acordos internacionais sobre o clima (Torvanger e Odd, 2004). Uma regulamentação identificada por algum grupo como inadequada ou desequilibrada, pode ter dificuldades no processo de implantação. No entanto, as considerações distributivas são fundamentalmente subjetivas e uma política justa pode não ser a mais popular.

Devido ao fato de que há pouco consenso sobre como se constituí uma distribuição ótima, pode ser difícil compará-la ou mesmo elencá-la hierarquicamente com base em critérios distributivos. Uma exceção é fornecida por Asheim *et al.* (2001), que constroem um axioma da equidade que pode ser usado para avaliar a sustentabilidade. No entanto, enquanto a sustentabilidade pode ser importante para avaliar políticas climáticas, ela pode só captar a dimensão intergeracional da distribuição e comprometer a aceitação da mesma se não houver o aspecto intrageracional.

Por sua vez, a viabilidade institucional e governança dizem respeito às possibilidades efetivas de introdução das políticas climáticas propostas, sendo que aquelas adaptadas às restrições institucionais têm um alto grau de viabilidade institucional. Tradicionalmente, avalia-se os instrumentos de política no âmbito teórico de condições ideais, que raramente existem na prática e o desenho destes instrumentos e mecanismos de execução é pautado a partir da realidade mais concreta possível.

As escolhas políticas devem ser aceitáveis para uma ampla gama de partes interessadas e apoiadas por instituições integrantes do sistema legal. Outras considerações importantes incluem a capacitação e infraestrutura, bem como a cultura dominante e o estilo de tomada de decisão de cada nação ou ente federativo, tornando-se, portanto, uma função única de sua herança e arquitetura política.

Determinadas políticas podem também ser populares devido à familiaridade institucional. Ainda que os instrumentos de mercado estejam se tornando mais comuns, eles têm muitas vezes encontrado resistência de vários grupos. . Instrumentos baseados no mercado continuam enfrentandoforte oposição política, mesmo no mundo desenvolvido – demonstrada, por exemplo, pelos impostos ambientais cobrados nos Estados Unidos ou na Europa, como as taxas para circulação de veículos nos centros das cidades ou a implantação de rodízio. Políticas de regulação que estão fora do aparato normativo da sociedade local serão sempre mais difíceis de pôr em prática.

Outra dimensão importante da viabilidade e da governança institucional da implantação de políticas, uma vez concebidas e adotadas, é a adequação das estruturas burocráticas. Isto porque, mesmo tendo apoio, a política proposta pode ter dificuldades em razão de uma estrutura burocrática voltada para outras atividades que não aquelas relacionadas ao clima (Dye, 1976 *apud* Dagnino, 2002).

No caso específico de políticas públicas no Brasil, é necessário também abordar outros aspectos em razão da proliferação deste tipo de instrumento no plano subnacional. Sua análise é perpassada por uma citação (Dye, 1976 *apud* Dagnino, 2002) que revela a razão e a necessidade de um aparato regulatório consistente e viável: *análise de política é descobrir o que os governos fazem, porque fazem e que diferença isto faz*. Ou seja, a análise de uma política é a descrição e explicação das causas e consequências da ação do governo.

Uma tipologia de análise de políticas, desenvolvida por Ham e Hill (1993 *apud* Dagnino, 2002), consiste na classificação de duas grandes categorias: uma abordagem descritiva e outra prescritiva, que revelam distintas perspectivas de análise das políticas públicas, são descritas a seguir:

- análise descritiva: tem o propósito de desenvolver conhecimentos sobre o processo de elaboração das políticas em si – formulação, implementação e avaliação –, e estudar tanto as suas características como o próprio processo. Consiste, efetivamente, em uma análise de política; e,
- análise prescritiva: visa agregar conhecimento ao processo de elaboração de políticas, envolvendo-se diretamente na tomada de decisões e fornecendo proposições – é uma análise para a política.

Outra tipologia de análise de política proposta por Hogwood e Gun (1981 e 1984 *apud* Dagnino, 2002), reúne um grande elenco de perspectivas ou estudos empregados que contemplam tanto análises descritivas quanto prescritivas. De acordo com essa tipologia, o analista tem condição de examinar a política sob, pelo menos, sete perspectivas, a saber:

a) a do estudo do conteúdo da política, que vem a ser a descrição e explicação da gênese e do desenvolvimento de determinada política;
b) a do estudo do processo da política, que significa a análise das etapas ou estágios pelos quais passam questões específicas de definição de agenda governamental, sobre as quais se avalia a influência de diferentes fatores, sobretudo na formulação das políticas;
c) a do estudo do resultado da política, que explica como os gastos e serviços variam entre diferentes áreas e os justifica, razão pela qual aborda as políticas como variáveis dependentes e tenta compreendê-las em termos de fatores sociais, econômicos e tecnológicos, por exemplo;
d) a do estudo de avaliação da política, que: identificaos efeitos da política sobre a sociedade, localizando-se entre as análises de política e para a política, podendoser descritiva ou prescritiva;
e) a da informação para elaboração de políticas da política – organização de dados para auxiliar na elaboração de políticas e na tomada de decisões;
f) a da defesa de processos da política, ou seja, o melhoramento dos sistemas de elaboração de políticas e da máquina de governo; e, ainda,
g) a de defesa de políticas, isto é, a defesa de ideias ou opções específicas no processo político exercido por intermédio de grupos de pressão.

Tendo em vista o caráter dinâmico, ganham força na literatura as análises de processo das políticas públicas a partir do estudo de suas etapas. A concepção de ciclo político – *policy cycle*, na terminologia em inglês –, apresentada por Frey (2000), sugere a ampliação da análise – tradicionalmente limitada à formulação, implementação e controle –, dado que ambas são sempre suscetíveis a mudanças.

Saravia (2006) também ressaltou a importância do estudo de um ciclo ampliado ao discutiras especificidades regionais da América Latina. O autor apresentou o ciclo da política pública em sete estágios.

1. Formação da agenda: constitui-se na fase inicial de concepção de uma política, na qual é discutida a possível inclusão de determinados pleitos ou necessidades sociais na lista de prioridades do poder público.
2. Elaboração da política: preparação para a decisão política que consiste na identificação e delimitação de um problema, na determinação das possíveis alternativas para sua solução ou satisfação, na avaliação dos custos e efeitos de cada uma delas e no estabelecimento de prioridades.
3. Formulação da política: é a formalização de decisão política por instrumentos jurídicos. Encerra a especificação da alternativa considerada mais conveniente, definindo seus objetivos e seus marcos jurídico, administrativo e financeiro.
4. Implementação da política: fase de planejamento de programas, planos, projetos e organização administrativa – recursos humanos, financeiros, materiais e tecnológicos – que viabilizarão a execução da política.
5. Execução da política: trata-se do estágio que revela uma seleção de ações, previstas nos planos e programas, destinadas a atingir os objetivos estabelecidos pela política. Neste momento é que, efetivamente, se põe em prática a política.
6. Acompanhamento da política: monitoramento da execução de uma atividade e de seus diversos componentes, visando fornecer a informação necessária para se introduzir correções eventuais. O processo sistemático de supervisão assegura a consecução dos objetivos estabelecidos.
7. Avaliação da política: mensuração e a análise dos resultados que foram gerados pela política implantada. Nesta etapa, é verificado se a política produziu ou não, os esperados efeitos.. Sendo um ciclo, volta-se ao primeiro ponto.

Ainda a respeito da avaliação de políticas, convém esclarecer que, apesar de tendência geralmente

apontar para a preocupação em se analisar se as metas foram cumpridas no decorrer do processo e se tiveram êxito, existem outros dois focos no estudo de avaliação: o dos enfoques no funcionamento e nos resultados.

A avaliação do funcionamento tem, como principal meta, analisar, de forma específica, as etapas, os processos e as linhas causais do funcionamento da política, procedimento que viabiliza a análise e a avaliação do desenho da política.

Já a avaliação dos resultados tem como foco verificar se a política implantada produziu ou não, o resultado esperado. Um recurso amplamente utilizado nas avaliações de resultado é o estudo de impacto.

Os modelos de análise de políticas descrevem as diferentes perspectivas de estudo do processo de políticas públicas. Neste contexto, tais métodos revelam abordagens de grande valia para o exame das políticas sobre mudanças climáticas existentes no Brasil.

4.2.2. POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO

No Brasil, a literatura sobre estudos que avaliam os possíveis impactos econômicos de mudanças climáticas e políticas de mitigação e adaptação é relativamente nova e tem se desenvolvido rapidamente. Alguns trabalhos trazem análises e reflexões qualitativas sobre o papel do País e da política ambiental nas discussões sobre mudanças climáticas no Protocolo de Quioto e do potencial dos projetos de MDL (Viola, 2004, 2005, 2009; Diniz, 2001, 2003, 2007).

Estudos quantitativos, como o de Diaz e Schwartzman (2005), estimam potenciais remoções proporcionadas pelo REDD na Região Amazônica. Apesar de os trabalhos existentes no Brasil sobre o tema ainda serem poucos, observa-se que há uma paulatina ampliação da literatura científica e o desenvolvimento de novos estudos em razão da melhor definição dos instrumentos de políticas e suas metas.

Em relação a estimativas quantitativas de emissões e impactos ambientais relacionados à atividade econômica, outros estudos indicam, ainda, um aumento na eficiência ambiental a partir do crescimento econômico e impactos modestos de políticas de controle em emissões.

Alguns estudos procuram avaliar os impactos econômicos em uma abordagem da relação entre custo e efetividade das medidas de políticas capazes de reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Esses trabalhos consideram políticas possíveis e que fazem parte dos mecanismos comumente discutidos ou em implantação em outros países, como são os casos dos impostos às emissões de carbono e dos mercados de reduções certificadas de emissões por meio do MDL e mesmo, de créditos de carbono.

Contudo, não necessariamente tais aspectos estão sendo discutidos pelos formuladores brasileiros dessas políticas. Esses estudos sugerem que, se o País as adotasse, haveria efetiva redução nas emissões de gases de efeito estufa, com transferência de recursos de setores mais intensivos em emissões para setores menos intensivos. Observa-se, porém, na economia nacional, em especial em alguns setores exportadores que apresentam maior demanda por combustíveis fósseis, um dilema entre produção e o meio ambiente limpo.

Outros autores (Lopes, 2003, Tourinho, *et al.*, 2006; Ferreira Filho e Rocha, 2007; Feijó e Porto Jr., 2009) sugerem que políticas mais eficientes e eficazes deveriam atuar sobre as atividades dos setores e não apenas sobre o uso de energia, incluindo emissões de processo, da agricultura e do desmatamento Diante dos marcos regulatórios internacionais, como o Protocolo de Quioto, a melhor posição estratégica do Brasil seria participar diretamente do processo de redução de emissões (Feijó

e Porto Jr., 2009).

A bibliografia nacional sobre o assunto, portanto, vem se desenvolvendo rapidamente no que se refere ao uso de modelos quantitativos para a avaliação de políticas climáticas relacionadas ao Brasil. Contudo, a grande maioria desses trabalhos não investiga uma política que esteja sendo efetivamente implantada. Trata-se de estudos exploratórios sobre como os impactos econômicos e alguns dos principais mecanismos de redução de emissões de grande amplitude – como os de tributá-las ou instaurar mercados nacionais específicos – podem causar impacto à atividade econômica. Vale ressaltar que a grande maioria desses estudos investiga aspectos da relação custo e efetividade e até, da eficácia propriamente dita das políticas, pouco ou nada podendo ser inferido a partir dos mesmos a respeito de eficiência e equidade social.

4.2.3. POLÍTICA NACIONAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Uma das principais obrigações dos países signatários da CQNUMC é a elaboração e atualização periódica do Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Não Controlados pelo Protocolo de Montreal. Desta forma, em 2004, foi divulgada a primeira Comunicação Nacional Brasileira (CN) à Convenção do Clima, contendo contendo o primeiro inventário oficial brasileiro (MCTI, 2005), com estimativas dos valores de emissão e remoções referentes ao período de 1990 a 1994 e destacando que, nesse último ano, 77% das emissões de CO_2 se deram em função das mudanças de uso do solo e do desmatamento.

A segunda CN (MCTI, 2010) ratificou esse quadro e ampliou o período até 2005, ano em que a participação do uso da terra permanece praticamente a mesma, equivalendo a 76,8% das emissões de CO_2 pelo Brasil.

A primeira comunicação nacional e as questões discutidas pelo Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas nortearam a elaboração da política sobre mudanças climáticas do País. Em 29 de dezembro de 2009, o Congresso Nacional aprovou a Lei nº 12.187, sob o título de Política Nacional sobre Mudança do Clima.

Anterioriormente à Lei, fora aprovado um Plano Nacional sobre Mudança do Clima, por decreto presidencial no final de 2008, que teve que ser adaptado posteriormente em função da aprovação da Lei. Nota-se, portanto, uma subversão à ordem normal de formulação de política públicas - o Plano Nacional sobre Mudança do Clima foi publicado pela Presidência da República antes mesmo da existência de Lei Federal instituindo a Política Nacional sobre Mudança do Clima. O Plano Nacional fora publicado em 1º de dezembro de 2008, para ser discutido com a comunidade internacional durante a COP13, em Bali, enquanto a Política Nacional sobre Mudança do Clima somente veio a ser publicada em dezembro de 2009, pelo Congresso Nacional.Novamente mencionando, de acordo com o regime da CQNUMC, o Brasil não possui obrigações quantificadas de limitação ou redução de emissões, como está previsto para os países do Anexo I ao referido texto. Entretanto, o artigo 12 da Lei nº 12.187/09 estabeleceu o compromisso voluntário do País em reduzir entre 36,1% e 38,9% as emissões projetadas até 2020, tendo por base a Segunda Comunicação Nacional Brasileira, publicada em 2010 e elaborada a partir de dados de 2005.

Dentre os aspectos da política nacional que mais se destacaram, a definição da meta de redução de emissões de GEEs até 2020 foi o principal. A mencionada lei estabeleceu princípios, objetivos e diretrizes para a gestão de emissões de gases de efeito estufa e determinou a elaboração de um decreto para se fixar a responsabilidade dos diferentes setores da economia na redução dessas emissões. No ano seguinte, a Política Nacional teve seus artigos 6º, 11º e 12º, que tratavam respectivamente dos instrumentos, dos planos setoriais e das metas de redução, regulamentados pelo Decreto 7.390, de 9 de dezembro de 2010.

Outra norma importante do arcabouço jurídico-institucional é a lei que instituiu o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC), de númeromero 12.114 e publicada em 9 de dezembro de 2009. Sua relevância decorre do fato de que destina recursos para projetos e ações para a mitigação das emissões de GEEs e a adaptação aos seus efeitos. O texto vincula esse instrumento financeiro ao MMA e define que seja administrado por um comitê formado por representantes do governo federal e da sociedade civil.

Em outubro de 2011, a Lei ainda estava em fase de regulamentação, mas já fora editado um decreto definindo a composição do Fundo no final de 2010. Seria oportuno que os investimentos do FNMC fossem articulados com os de seus similares estaduais específicos para mudanças climáticas, existentes em apenas alguns estados da federação brasileira.

Além disso, seria interessante incentivar a criação de fundos específicos nos estados onde o instrumento não existe.

No âmbito federal, há diferentes organizações atuando no tema das mudanças climáticas. A PNMC estabeleceu uma estrutura institucional de coordenação e implantação dos preceitos da Lei, explicitada em seu artigo 7º, incluindo:
I - o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima;
II - a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima;
III - o Fórum Brasileiro de Mudança do Clima;
IV - a Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais - Rede Clima;
V - a Comissão de Coordenação das Atividades de Meteorologia, Climatologia e Hidrologia.

É importante notar que essas instituições já haviam sido criadas por normas anteriores à aprovação da PNMC, o que impôs alguns desafios de coordenação e articulação com o novo modelo proposto pela lei.

Como já comentado, o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM), instituído pelo Decreto 6.263, de 21 de novembro de 2007, teve papel importante na articulação para a elaboração da PNMC. O comitê fora criado com o principal objetivo de orientar a elaboração, a implantação, o monitoramento e a avaliação do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, inclusive propondo sua revisão periódica, ainda que tivesse também como sua atribuição, a preparação da proposta preliminar dos objetivos gerais, princípios e diretrizes da referida política.

O CIM é composto por representantes de ministérios, indicados pela Casa Civil da Presidência da República e responsáveis pela sua coordenação. É prevista a participação coo convidado às reuniões de um representante do Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas..

Com a instituição da PNMC, em dezembro de 2009, e o lançamento do Plano, em dezembro de 2008, as principais funções do CIM se tornaram aquelas de apoio à implantação, monitoramento e avaliação periódica do último. Em 2010, iniciou-se um processo de elaboração de cinco planos setoriais, referentes aos compromissos firmados no acordo resultante da *COP*15. Durante esse período, foi feito um arranjo específico para a coordenação desses planos.

A Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC), criada por decreto de 7 de julho de 1999, posteriormente alterado em 10 de janeiro de 2006, tem como finalidade central articular as ações de governo decorrentes da CQNUMC e de seus instrumentos subsidiários dos quais participa o Brasil. Uma das atribuições específicas da referida comissão é a de emitir parecer, sempre que demandada, sobre propostas de políticas setoriais, instrumentos legais e normas que contenham componente relevante para a mitigação da mudança global do clima e a adaptação do País a seus impactos.

A CIMGC também recebeu, adicionalmente, a responsabilidade de exercer no Brasil, a função

de autoridade nacional designada junto à CQMUMC para a aprovação de projetos de MDL pelo Protocolo de Quioto. Seus membros devem ser indicados e designados pelo MCTI, que exerce a secretaria-executiva da Comissão e presta apoio técnico e administrativo aos trabalhos do colegiado. O secretário executivo do Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas participa de suas reuniões na qualidade de observador e a critério da presidência do organismo.

Por sua vez, o Fórum Brasileiro de Mudança do Clima (FBMC) é uma instância consultiva criada pelo Decreto nº 3.515, de 20 de junho de 2000, e alterado por outros dois decretos em 28 de agosto e 14 de novembro de 2000. Seu objetivo principal é conscientizar e mobilizar a sociedade brasileira para a discussão e uma tomada de posição frente aos problemas decorrentes da mudança do clima por gases de efeito estufa.

O FBMC é presidido pelo Presidente da República, que convoca suas reuniões. É composto por ministros, pelo diretor-presidente da Agência Nacional de Águas – ANA, além de personalidades e representantes da sociedade civil. São seus convidados, os presidentes da Câmara dos Deputados e do Senado Federal, os governadores dos estados e os prefeitos de suas capitais. Seu secretário executivo é escolhido pelo presidente do Fórum, a quem incumbe participar, organizar e adotar as medidas necessárias para a execução dos trabalhos. Ao MCTI, uma vez observada a disponibilidade orçamentária, cabe apoiar administrativamente e prover os meios necessários à execução dos trabalhos do Fórum, de suas câmaras temáticas e das tarefas empreendidas por seu secretário-executivo.

O FBMC é o principal espaço de participação da sociedade civil na discussão sobre a política climática e no posicionamento brasileiro para as negociações internacionais. Trata-se de um espaço consultivo para acompanhamento dos cronogramas e trabalhos em andamento na área de mudanças climáticas. Porém, para que o Fórum assuma tais características e tenha condições de conduzir as novas tarefas colocadas pela PNMC, precisará ser dotado financeiramente e equipado com estrutura de pessoal.

O FBMC tem funcionado, na medida do possível, com as limitações indicadas por seus secretários executivos, como espaço de troca e disseminação de informações, divulgação de iniciativas, e consultas à sociedade sobre medidas em estudo pelo governo para implantação na área climática. Um aspecto abandonado foi a intenção inicial da introdução de modelo para garantir a presença permanente do Presidente da Republica e Ministros de Estado nas reuniões do Fórum, para que pudessem manter contato constante com representantes de segmentos relevantes da sociedade. A presença facilitaria a troca de informações, negociação de oportunidades e soluções para um problema de grande impacto para a sociedade. Hoje, praticamente, esse encontro com o Presidente tem se dado em caráter formal para comunicação por parte do governo de suas ações, sem abertura para debate de alto nível entre altos escalões de governos e instituições privadas. É preciso retomar esse espírito inicial do Fórum.

O Fórum foi considerado uma estrutura inédita, quando de sua criação, em junho de 2000. Chamou a atenção internacional, já que a maioria dos países jamais criara um espaço consultivo dessa magnitude até aquela data. Foi concebido com caráter multissetorial, reunindo diversos atores governamentais, empresariais, não governamentais e acadêmicos. Foi também reconhecido como uma inovação, tanto por instaurar uma arena propícia à formação do posicionamento nacional quanto por internalizar o regime de clima no País. (Viola, 2004, p.38).

O Fórum desenvolveu importante papel de formação e divulgação do tema das mudanças climáticas, pouco disseminado, ao empreender eventos, lançar publicações e promover encontros entre segmentos da sociedade civil organizada. Continuou a exercer a interface entre governo e sociedade, promovendo discussões acerca da formulação da política, do plano e da regulamentação da lei nacional sobre o assunto. Atuou também, facilitando discussões sobre adoção de políticas estaduais – reunindo fóruns e integrantes dos governos dos estados em debates.

O Fórum Nacional de Mudanças Climáticas inspirou a criação de vários similares estaduais, que assumiram missões semelhantes ao se tornarem espaços de discussão pública sobre a temática e ao inspirarem a formulação de políticas públicas sobre mudanças climaticas.

Assim, sugiram fóruns sobre mudanças climáticas nos estados de Amazonas, Bahia, Espírito Santo, Santa Catarina, Ceará, Pernambuco, Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Minas Gerais, Pará, Paraná, São Paulo, Piauí e Rio de Janeiro.

Por sua vez, a Rede Clima foi instituída pela portaria do então MCT, de nº 728, em 20 de novembro de 2007, com a finalidade de gerar e disseminar conhecimentos e tecnologias, realizar estudos e pesquisas sobre os efeitos e impactos no Brasil das mudanças climáticas globais e regionais e suas vulnerabilidades, bem como de estudar alternativas de adaptação e contribuir para a formulação e o acompanhamento de políticas públicas relativas ao tema.

Deve ainda, consolidar, gerar e disseminar conhecimentos para que o Brasil possa responder aos desafios representados pelas causas e efeitos das mudanças climáticas globais.

A Rede é composta por 13 sub-redes, com temas específicos e instituições responsáveis. Supervisionada por um conselho diretor, é gerenciada por uma secretariaexecutiva e assessorada por um comitê científico. O MCTI preside o primeiro e indica os integrantes do comitê científico que é nomeado após consulta ao Conselho. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais exerce a secretaria executiva do organismo.

Finalmente, o último dos instrumentos listados, a Comissão de Coordenação das Atividades de Meteorologia, Climatologia e Hidrologia (CMCH), foi instituído pelo Decreto Nº 6.065, de 21 de março de 2007. É um órgão colegiado integrante da estrutura do MCTI. Sua secretaria executiva é exercida pela Coordenação-geral de Meteorologia, Climatologia e Hidrologia, da Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento do Ministério.

Dentre as competências da CMCH, destacam-se a coordenação, o acompanhamento e a contribuição para a avaliação da execução das atividades de meteorologia, climatologia e hidrologia, bem como a tarefa de promover sua articulação com as ações de governo nas áreas espacial, oceanográfica e de meio ambiente.

A CMCH também tem competência para contribuir para a formulação de políticas, diretrizes, critérios, normas e regulamentos que busquem orientar as atividades em meteorologia, climatologia e hidrologia, para conferir-lhes maior eficiência. Vale ainda ressaltar que, em seu artigo 11º, a PNMC define que o Poder Executivo, através de decreto, estabelecerá em consonância com a PNMC, planos setoriais de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas, visando subsidiar tecnicamente a transição para uma economia de baixo carbono.

Os planos setoriais focam a geração e a distribuição de energia elétrica, o transporte público urbano e os sistemas modais interestaduais de cargas e passageiros, as indústrias de transformação e bens de consumo duráveis, de química fina, base, papel e celulose, construção civil e mineração, além dos serviços de saúde e a agropecuária. Todos esses segmentos da atividade econômica terão que cumprir metas gradativas de redução de emissões antrópicas quantificáveis e verificáveis, considerando-se as especificidades de cada um deles, inclusive por meio do MDL e das Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas – as *NAMAs*, na abreviatura em inglês.

4.2.3.1. POLÍTICAS ESTADUAIS E MUNICIPAIS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PEMC)

Dentre as diretrizes da PNMC, o inciso V, do artigo 5º, pressupõe que o *estímulo e o apoio à participação dos governos estaduais, municipais e do Distrito Federal, assim como do setor produtivo,*

do meio acadêmico e da sociedade civil organizada, no desenvolvimento e na execução de políticas, planos, programas e ações relacionados à mudança do clima.

De fato, para que a política nacional tenha governança e seja bem-sucedida, é preciso que todas as esferas de governo, assim como a sociedade civil, adotem metas para redução de suas emissões e proteção de sumidouros, além de medidas de adaptação. Mediante adequação às especificidades regionais e realidades locais, a proposição de políticas públicas subnacionais torna-se decisiva para enfrentamento das mudanças climáticas.

No que diz respeito aos governos locais e estaduais, é importante que essas políticas públicas contemplem a diversidade social, econômica e ambiental brasileira, das quais depende a eficácia e a governança das ações de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Como a maioria das legislações vigentes não apresenta metas definidas de mitigação, seria necessário integrar as políticas públicas, com foco especial no alinhamento dos compromissos com redução e mitigação de GEEs por parte dos vários entes federativos.

Segue abaixo um quadro-síntese com a relação de Leis, em ordem cronológica, que instituem as Políticas Estaduais e Municipais no Brasil até o meio de 2014. Para o levantamento das políticas estaduais e municipais foram consultadas as secretarias de meio ambiente, bem como sítios das Assembleias Legislativas e sítios dos fóruns de mudanças climática[26] dos respectivos estados.

Quadro 4.2- Políticas Estaduais e Municipais existentes no Brasil

POLÍTICAS ESTADUAIS SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS	
MATO GROSSO DO SUL	Lei nº 4.555/14 - Política Estadual de Mudanças Climáticas
DISTRITO FEDERAL	Lei nº 4.797/12 - Estabelece princípios, diretrizes, objetivos, metas e estratégias para a Política de Mudança Climática no âmbito do Distrito Federal
PARANÁ	Lei nº 17.133/12 Política Estadual sobre Mudança do Clima
PIAUÍ	Lei nº 6140/11 - Política Estadual de Mudança Climática
ACRE*	Lei nº 2.308/10 Sistema Estadual de Incentivos a Serviços Ambientais (Sisa), o Programa de Incentivos por Serviços Ambientais (ISA Carbono) e demais programas de serviços ambientais e produtos ecossistêmicos do Estado.
BAHIA	Lei nº 12.0500/11 - Política sobre Mudança do Clima
PARAÍBA	Lei nº 9.336/11- Política Estadual de Mudança Climática
ESPÍRITO SANTO	Lei nº 9.531/10 - Política Estadual de Mudanças Climáticas
PERNAMBUCO	Lei nº 14.090/10 - Política Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas
RIO DE JANEIRO	Lei nº 5.690/10 - Política Estadual sobre Mudança Global do Clima e Desenvolvimento Sustentável
RIO GRANDE DO SUL	Lei nº 13.594/10 - Política Gaúcha sobre Mudanças Climáticas
GOIÁS	Lei nº 16.611/09 - Política Estadual sobre Mudanças Climáticas.
SANTA CATARINA	Lei nº 14.829/09 - Política Estadual sobre Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável
SÃO PAULO	Lei nº 13.798/09 - Política Estadual de Mudanças Climáticas

[26] Importante registrar a ativa participação dos fóruns no processo de elaboração das políticas relativas a mudança climática. Todos os projetos de Lei estaduais foram discutidos nos respectivos fóruns.

TOCANTINS	Lei nº 1.917/08 - Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, Conservação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável
AMAZONAS	Lei nº 3.135/07 - Mudanças Climáticas, Conservação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável
POLÍTICAS MUNCIPAIS SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS	
PALMAS	Lei nº 1.182/03 - Política Municipal de Mudanças Climáticas
SÃO PAULO	Lei nº 14.933/09 - Política de Mudança do Clima
RIO DE JANEIRO	Lei nº 5.248/11 - Política Municipal sobre Mudança do Clima e Desenvolvimento Sustentável
FEIRA DE SANTANA	Lei nº 3.169/11 - Política sobre Mudança do Clima
BAURU	Lei n° 5.597/08 - Política Municipal de Mudanças Climáticas.

Fonte: Antunes, V.N.B (2011) e Fórum Clima (2014).
Obs.: * O Acre não possui uma lei específica de mudanças climáticas

Até 2014, 19 estados e cinco municípios possuíam Políticas de Mudança Climática. Outros quatro estados já apresentavam Projetos de Lei com vistas à instituição de políticas voltadas para mesma problemática, são eles: Minas Gerais Mato Grosso, Pará e Amapá, tendo seus projetos publicados entre os anos de 2009 e 2011.

As políticas dos estados do Amazonas – 2007 – e Tocantins – 2008 – são anteriores à PNMC – 2009. O município de Palmas, capital desse último estado, a instituiu muito antes da norma estadual, ainda em 2003. Tal fato mostra que o pioneirismo e o exemplo de ações locais e regionais podem inspirar outras iniciativas regionais – e até mesmo, nacionais.

4.2.4. AVALIAÇÃO DAS POLÍTICAS E MEDIDAS NACIONAIS, ESTADUAIS E MUNICIPAIS.

4.2.4.1.TIPOLOGIAS E FORMATOS DAS POLÍTICAS PROPOSTAS

Ao se examinar o conteúdo das políticas estaduais, é possível identificar alguns objetivos comuns em suas leis: os de controlar e reduzir as emissões de gases do efeito estufa e reduzir os efeitos das mudanças climáticas, minimizando vulnerabilidades. Para atingi-los, as políticas sinalizam para a necessidade de implantação de medidas de mitigação e adaptação. Fica pouco claro, entretanto, o que vai, objetivamente, ser mitigado em termos de emissões de GEEs e como vai ser feita essa adaptação.

A garantia de eficácia dos planos de mitigação e adaptação, bem como das próprias políticas, estaria condicionada à disponibilidade de informações sobre as principais fontes de emissões de GEEs dos estados e seus respectivos impactos ambientais, sociais e econômicos locais passíveis de ocorrência em relação às mudanças climáticas – ou seja, os inventários e os relatórios de vulnerabilidade.

Um instrumento que fornece estimativas de volume das emissões e remoções de GEEs, classificadas por gás e por setor, é o inventário estadual. Além de oferecer uma ampla visão das emissões, o que facilita sua correta identificação, ele aumenta as possibilidades de melhor se desenhar uma estratégia de redução e uma compensação mais eficaz.

Todos os inventários analisados utilizaram como base o conteúdo do 2006 *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* – o guia elaborado pelo *IPCC* em 2006 para inventários nacionais de GEEs.

No que diz respeito à concepção das políticas estaduais, são poucas aquelas que foram inspiradas em resultados divulgados por inventários. Os estados que os possuem assim como sua própria

PEMC, são: Amazonas, Bahia, São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, como se lê neste capítulo ao Quadro 4.3.

Entretanto, inventários completos, incluindo emissões de GEEs pelos setores de energia, processos industriais, agropecuária, mudança de uso de terra e florestas e, ainda, tratamento de resíduos, existem apenas em São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais — que, aliás, ainda não possui política estadual. Vale ressaltar também, a importância de que haja uma metodologia com critérios mínimos, reconhecida por União, estados e municípios, para que cada uma dessas esferas possa inventariar, verificar e registrar suas próprias emissões, evitando trabalho duplicado.

Quadro 4.3. *Estados brasileiros que divulgaram inventários até 2011*

ESTADOS	SETORES INVENTARIADOS	ESTIMATIVAS PARA O PERÌODO
AMAZONAS	elétrico	2005
BAHIA	energia e processos industriais	1990 a2008
MINAS GERAIS	todos	2005
PARANÁ	processos industriais e resíduos e emissãode CO_2	1990 a1994
RIO DE JANEIRO	Todos	2005
SÃO PAULO	todos	1990 a2008

Fonte: Antunes,V.N.B. (2011).

Em uma primeira aproximação quanto às estimativas de possíveis impactos e vulnerabilidades, pode–se recorrer aos modelos de cenários futuros, tais como aqueles desenvolvidos no Brasil pelo INPE, a fim de se compreender a dinâmica regional do clima e seus impactos. Contudo, deve-se atentar para o problema da falta de cenários futuros de clima confiáveis para o País, cujo território assume grandes proporções e cujas regiões são muito diferentes entre si – como é o caso da Amazônia, do semiárido nordestino, da Região Centro–Oeste, das pradarias da Região Sul e do bioma Pantanal. Cada uma dessas áreas poderá ter diferentes características climáticas no futuro.

Adotando-se o Relatório do Clima do INPE como referencial inicial de análise (Marengo, 2007), verifica–se que o Brasil é vulnerável às mudanças climáticas atuais e, mais ainda, às que se projetam para o futuro. O Quadro 4.4., sumariza neste capítulo, as mudanças do clima projetadas pelo Instituto para as regiões brasileiras até o final do século XXI e seus respectivos impactos.

Quadro 4.4. *Sumário das projeções do INPE: possíveis cenários climáticos futuros para o Brasil**

Região	Projeção do clima futuro: altas emissões (A2)	Projeção do clima futuro: baixas emissões (B2)	Possíveis impactos
Norte (inclusive bioma Amazônia completo)	4 a 8 °C mais quente, com redução de 15% a 20% do volume de chuvas, atrasos na estação chuvosa e possíveis aumentos na frequência de extremos de chuva no oeste do bioma Amazônia.	3 a 5 °C mais quente, com redução de 5% a 15% nas chuvas. O impacto não é muito diferente daquele previsto pelo cenário A2.	Impactos na biodiversidade. Risco de a floresta ser substituída por cerrado ou outro tipo de vegetação. Baixos níveis dos rios amazônicos podendo afetar o transporte. Risco de incêndios florestais, devido ao ar mais seco e quente Impactos sobre o transporte de umidade atmosférica para as regiões Sul e Sudeste. Consequências para a agricultura e a geração de energia hidroelétrica.
Nordeste	2 a 4 °C mais quente, 15% a 20% mais seco. Diminuição do nível dos açudes.	1 a 3 °C mais quente, com redução de até 15% no volume da chuva. Diminuição do nível dos açudes.	Aumento das secas, especialmente no semiárido. Impactos na agricultura de subsistência e na saúde. Perda da biodiversidade da caatinga. Risco de desertificação. Migração para outras regiões pode aumentar os refugiados do clima. Chuvas intensas podem aumentar deslizamentos: ameaça às populações residentes em morros desmatados. Enchentes urbanas mais intensas.
Sudeste	3 a 6 °C mais quente, eEventos extremos de chuva, seca e temperatura, mais frequentes e intensos.	2 a 3°C mais quente. Consequências semelhantes às do cenário A2.	Impacto na agricultura, na biodiversidade, na saúde da população e na geração de energia. Eventos de extremos de chuvas aumentam risco de deslizamentos: ameaça a populações residentes em morros desmatados e enchentes urbanas mais intensas.
Centro-Oeste	3 a 6 °C mais quente. Risco de veranicos mais intensos.	2 a 4° °C mais quente. Risco de veranicosmais intensos	Redução da biodiversidade no Pantanal e no Cerrado. Impacto na agricultura e na geração de energia hidroelétrica.

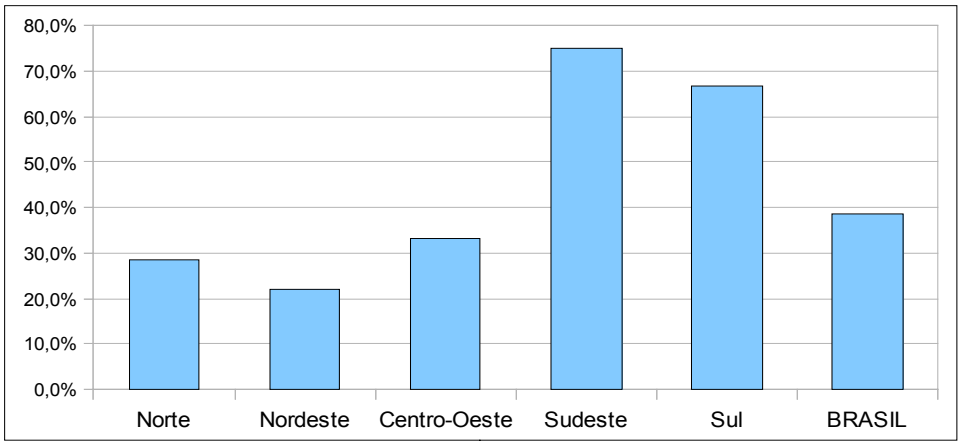
Sul	2 a 4 °C mais quente, aumento das chuvas de 5% a 10%. Aumento no volume das chuvas e na forma dos eventos intensos de chuva. Alta evaporação devido ao calor podendo afetar o balanço hídrico. Extremos de temperatura mais intensos, causando um inverno mais quente com poucos eventos intensos de geadas.	1 a 3° °C mais quente, aumento das chuvas de até 5%. As consequências são parecidas com as do cenário A2, embora a intensidade possa variar.	Extremo de chuva mais frequente aumenta o risco de deslizamentos: ameaça às populações residentes em morros desmatados. Enchentes urbanas mais intensas. Impacto na saúde da população, na agricultura e na geração de energia. Risco – ainda pouco provável de mais eventos de ciclones extratropicais.

* Derivados das análises dos modelos do *IPCC AR4* e do relatório de Clima do INPE para os cenários de altas (A2) e baixas (B2) emissões, assim como seus impactos em nível regional..
Fonte: Marengo, J.A. 2007.

Os possíveis cenários apontam os diferentes impactos sobre as regiões, identificando que as áreas mais vulneráveis compreendem a Amazônia e a Região Nordeste. O conhecimento atual das dimensões regionais da mudança global do clima é, entretanto, ainda muito fragmentado. Para a elaboração de estudos mais detalhados, há necessidade de desenvolvimento de modelos de mudança de clima de longo prazo, com resolução espacial adequada para análises regionais. Isto criará condições para a elaboração de cenários de futuros possíveis, com diferentes concentrações de dióxido de carbono na atmosfera, e a análise dos impactos da alteração climática global sobre o Brasil (Marengo, 2007). Segundo esse autor, deveria estar em curso uma adequação das questões de ocupação e uso de solo e adaptação das edificações para que as cidades sepreparem para o futuro.

Nesse sentido, as políticas públicas têm um importante papel de regulamentar os estudos sobre vulnerabilidades climáticas e iniciativas de mitigação e adaptação ao fenômeno, especialmente para que a sociedade possa cobrar a execução e a efetivação dos programas e planos. A Figura 4.2. apresenta os percentuais de políticas estaduais de mudanças climáticas distribuídas entre as cinco regiões do País.

Figura 4.2 Percentuais de Políticas Estaduais existentes por Região do Brasil em relação ao número de Estados e Brasil como um todo , 2011.



Fonte: Antunes,V.N.B., 2011.

Importante ressaltar que, até o momento, as regiões que apresentaram maior vulnerabilidade são as menos providas de políticas estaduais de mudanças climáticas. A Região Norte, por exemplo, possui duas políticas estaduais, a do Amazonas e do Tocantins. No Nordeste, aproximadamente 22% da região é amparada por tais políticas. No Sudeste, Minas Gerais, e no Sul, Paraná, não as regulamentaram.

A inexistência de políticas estaduais pode inviabilizar medidas mitigadoras, bem como as de adaptação, e ainda, o desenvolvimento de pesquisas que visariam o alcance dos principais objetivos: redução das emissões de gases do efeito estufa e a minimização das vulnerabilidades locais.

Por outro lado, as metas podem ser consideradas como um padrão a ser atingido. Se bem selecionadas, especificadas e cumpridas, elas podem definir o grau de êxito que uma política alcança (Trevisan e Bellen, 2008), como já comentado no capítulo anterior. Desta forma, é fundamental se investigar se as políticas estaduais de mudanças climáticas apresentam esses objetivos e respectivos prazos definidos para redução dos níveis de emissão dos GEEs, seguindo a tendência da PNMC.

Ao se analisar políticas estaduais os estados que apresentam metas específicas e prazos definidos voltados para redução das emissões foram identificados, conforme indicado no quadro 4.5. deste capítulo.

Quadro 4.5 *Metas e prazos de redução da emissão de gases constantes nas PEMC*

PEMC	METAS	PRAZOS
SÃO PAULO	Estabelece a meta de redução global de CO_2 em 20%	2020
ESPIRITO SANTO	Prevê metas, mas não define percentuais de redução.	2025
RIO DE JANEIRO	Serão fixadas com base em 2010 e intensidade de carbono inferior á registrada em 2005	2030
PERNAMBUCO	Prevê metas, mas não define percentuais de redução.	Não especifica
RIO GRANDE DO SUL	Prevê metas, mas não define percentuais de redução.	2020
PIAUÍ	Legislação apresenta alguma intenção de estabilizar ou reduzir GEE referência: Art. 4°, Art. 5° (II), Art. 6° (XIV)	Não menciona
MATO GROSSO DO SUL	Definirá medidas para reduzir as emissões e metas para determinados períodos de tempo, além de metas de eficiência por setores. A primeira meta é da redução de 20% das emissões de CO_2 registradas em 2005 até 2020	2020
PARANÁ	Redução global de 20% das emissões de CO_2 relativas a 2005	2020
ACRE	O ISA Carbono tem como objetivo geral promover a redução progressiva, consistente e de longo prazo das emissões de gases de efeito estufa, com o propósito de alcançar a meta voluntária estadual de redução de emissões por desmatamento e degradação florestal	Não menciona
PARAÍBA	A política visará à redução das emissões antrópicas de GEE em relação às suas diferentes fontes e o fortalecimento das remoções antrópicas por sumidouros de GEE no território estadual. Redução entre 36,1% e 38,9%, de suas emissões projetadas até 2020	2020
DISTRITO FEDERAL	Não Apresenta	Não menciona
AMAZONAS	Não Apresenta	Não há
TOCANTINS	Não Apresenta	Não menciona
GOIÁS	Não Apresenta	Não menciona
SANTA CATARINA	Não Apresenta	Não menciona
BAHIA	Não Apresenta	Não menciona
BRASIL: PNMC	**Reduzir entre 36,1% e 38,9% as emissões projetadas**	**2020**

Fonte: Antunes, V.N.B., 2011 e Fórum Clima (2014)

Com base nas estimativas do ano de 2005, divulgadas em seu inventário, São Paulo é o único estado brasileiro que fixou compromissos e prazos de redução de emissão global – para todos os setores – na sua política estadual sobre mudanças climáticas. O objetivo é reduzir em 20% a emissão de CO_2 em relação a 2005, meta inferior à nacional.

Seria importante assinalar a necessidade de clareza na descrição desses compromissos quando estabelecidos e na forma de expressá–los, definindo–se, entre outros elementos, os níveis de redução absoluta ou de intensidade e de abrangência global e setorial. O estabelecimento de um protocolo para a aplicação dos mesmos por parte dos empreendedores que atuam em diferentes Estados e de procedimentos claros para o caso de não cumprimento de metas seria também, fator importante a ser considerado.

4.2.4.2. REGULAMENTAÇÃO E TRANSPARÊNCIA DA GOVERNANÇA

As políticas estaduais de mudanças climáticas apresentam, em geral, dois grandes objetivos comuns: o estabelecimento de medidas de mitigação e de adaptação. Para alcançar tais objetivos é preciso, no entanto, que as políticas adotem instrumentos que forneçam as estimativas de volume de emissões, classificadas por gás e por setor. Para tanto, os inventários estaduais ou municipais devem realizar análises e previsões dos possíveis impactos das mudanças climáticas sobre seu território.

Constata–se, entretanto, que o número de políticas estaduais sobre mudanças climáticas que foram concebidas com base em algum tipo de inventário é reduzido. Corresponde a quatro, no total das políticas climáticas aprovadas pelos estados – Amazonas, Bahia, Rio de Janeiro e São Paulo.

Quanto ao grau de alcance do segundo objetivo – o de minimizar as vulnerabilidades –, a despeito de deficiências e incertezas no seu mapeamento, verificou-se que as regiões mais frágeis do País – Norte e Nordeste –, são as que menos expressam seu ordenamento em PEMCs, como já mencionado. Além disso, as políticas estabelecidas pouco se referem a modelos ou estudos de vulnerabilidade para a confecção das metas de adaptação, exceção feita ao Estado de São Paulo, que aderiu ao exemplo da PNMC, ainda que, estabelecendo meta diferente da nacional.

A análise de tais políticas é determinante para auxiliar os estados a diminuirem suas emissões de GEEs e a lidarem com os impactos das mudanças climáticas. No entanto, ainda falta muito para que haja um tratamento adequado do tema. Este, por si só, traz características muito diferentes dos convencionalmente tratados pelas políticas públicas estaduais e municipais, sendo necessária uma evolução para a abordagem não só local, mas também global, resultando em governança apropriada se houver integração. A discussão compartimentalizada do assunto pode trazer danos consideráveis à gestão, impossibilitando a governança sob o ponto de vista nacional. Metas viáveis e compatíveis com o desenvolvimento de cada região são fundamentais para que se processe, adequadamente, a implantação deste tipo de política pública no País.

4.2.4.3. COMPATIBILIZAÇÃO ENTRE AS POLÍTICAS NACIONAIS E SUBNACIONAIS

As políticas públicas relacionadas à implantação da CQNUMC no Brasil já se encontram no sistema jurídico nos âmbitos federal, estadual e municipal. Para sua aplicação, faz–se necessário compreendê-las simultaneamente. A norma federal tem caráter geral e norteador das demais que são decorrentes nas demais esferas. Para que haja governança adequada das mesmas – e a consequente eficácia em sua aplicação –, o gestor público terá de verificar as eventuais interferências da norma federal na estadual, como também precisará fazer este exercício para a norma estadual em relação à municipal, e vice-versa.

Não há uma hierarquia, propriamente dita, entre as três esferas. Há apenas, para a tarefa de

interpretação normativa – uma necessidade de interação entre todos os âmbitos, pois pode ocorrer um conteúdo que não se sobreponha ao outro, mas exija uma conduta que precisará estar coordenada, sem haver contradições.

A título de exemplo, se a lei da política estadual estabelecer uma meta de mitigação para seu território, uma empresa que esteja situada neste estado terá que buscar níveis de emissão compatíveis com o alcance desta meta. Se o município em que a atividade econômica estiver sediada tiver uma meta específica menor que a do estado, caberá também à empresa atingir a mais restritiva. Claro, isso se feitas as devidas contabilizações individuais (Biderman, 2011) dos demais emissores da mesma localidade, até que, proporcionalmente, a empresa possa ter realizado a ação de redução de emissões de GEEs daquela área. O mesmo se diga em face da União, pois, proporcionalmente, em cada esfera político-institucional do País se deve buscar o atendimento da meta de ordem federal.

Para uma aplicação ótima, portanto, é relevante que haja simultaneidade na implantação de normas climáticas, tornando–as convergentes. Apenas com a aplicação bem feita das normas internas de âmbitos federal, estadual e municipal pode existir uma política climática eficiente. Daí, a necessidade de que todas elas sejam coordenadas horizontal e verticalmente.

A norma territorialmente mais abrangente interferirá positivamente nas estratégias de mitigação e adaptação, dado que uma lei de política federal se insere de modo a lhe dar contorno fundamental para, por sua vez, a estadual ser penetrada pela norma municipal da respectiva localidade em que a medida de combate à mudança do clima se insere.

4.2.4.4. SOLUÇÃO DE CONFLITOS DE IMPLEMENTAÇÃO DAS LEIS DE POLÍTICAS SOBRE CLIMA

Quanto a um detalhamento das leis de política sobre mudança do clima, o detalhado em norma não seja o suficiente. Entretanto, o fato é que, mais cedo ou mais tarde, no processo de implantação das mesmas, questões ligadas à proporcionalidade terão de ser pesadas, como resposta ao princípio da igualdade, no sentido de tratar igualmente os iguais e, desigualmente, os desiguais e na medida de suas desigualdades.

Um modo de se fazer isso é prever circunstâncias de proporcionalidade entre as unidades federativas, isto é, intersecções envolvendo as políticas federal, estadual e municipal do caso em análise. Seriam ramificações ou combinações de ou entre várias delas, que o emprego do bom–senso ou de foros, como o Judiciário, resolveriam. Isso poderia solucionar, por exemplo, determinada situação em que uma das partes se sinta injustiçada por ter reduzido emissões, voluntariamente – o que já é comum na atualidade – ou não (Richardson e Wood, 2006), demandando o reconhecimento efetivo de seu esforço mitigador.

Nesses casos, uma estratégia interessante é acessar as vias alternativas de solução de conflitos. Uma opção é a utilização da arbitragem ambiental (Frangetto, 2006). Em matéria de clima, vale, para isso, recorrer aos estudos realizados em negociações internacionais da CQNUMC quanto a planejamentos ou a discussões para a instalação de um Tribunal Arbitral para o Clima. Pode também, o legislador típico – o Legislativo – ou atípico – o Executivo – prever normas juridicamente inferiores à lei desse tipo de política – como os decretos de regulamentação, no caso do Legislativo e portarias ou resoluções, no caso do Executivo –, com as quais seja possível antever as situações duvidosas quanto a sua aplicação, disciplinando–as para melhor esclarecimento ou segurança jurídica.

Para que as previsões normativas realmente sirvam a empenho positivo no combate à mudança do clima em território nacional, idealmente não se deveria dissociar a implantação das leis climáticas de sua origem maior – ou seja, sob a ótica internacionalista, a CQNUMC (Grau Neto, 2007). Na

medida em que a Convenção já previu o objetivo final de estabilização, se houvesse um sistema interno a partir do qual fosse possível conhecer a contribuição que certo redutor de emissões de âmbito local teve para o alcance deste resultado, seria possível associar o comportamento, voluntário ou obrigatório, de modo a se calcular a parcela de benefício proporcionado pelo proporcionado pelo particular ou pelo representante do poder público na posição de emissor.

Essa forma de visualizar a ordem normativa é viável, tanto para países desenvolvidos, quanto para aqueles em desenvolvimento. O ideal seria haver métricas ambientais – climáticas – ou universais (Frangetto e Meira Filho, 2010), o que permitiria se consolidar a justiça climática. Atualmente, entretanto, se as leis de política relacionada às mudanças climáticas em vigor forem investigadas, se notará os artigos tradicionais que lhes são próprios: objetivos, diretrizes e instrumentos, entre outros. Parece ser necessária ousadia maior para que se prevejam situações com as quais possam se deparar os destinatários dessas normas e se constitua mecanismos a partir dos quais conflitos ou dissonâncias de aplicação sejam evitados.

Adicionalmente, ao se analisar as leis com vistas à capacidade de obtenção do resultado almejado pela norma – sua governança, portanto –, há fatores de considerável relevância. Um deles diz respeito à abrangência temática, consistente em sua conexão direta ou indireta às questões climáticas. Uma análise mais acurada possibilita checar, com base no critério temático, se a norma a ser aplicada auxilia no processo de governança do enfrentamento do assunto ou de outros emergentes. Em última análise: trata-se de discernir o que é, efetivamente, relevante em termos de potencial para implantação eficaz.

Pode–se chegar à conclusão de que o problema para a aplicação de certo dispositivo está em fator extrajurídico, ou extraclimático, residindo em uma escolha política, a qual somente a sociedade amadurecida poderá superar. Por exemplo, a situação dos conflitos de normas que preveem a geração de mais energia ou outra, na qual se estabelece redução de emissões de gases de efeito estufa no setor energético. Para a implantação eficaz, o sistema jurídico brasileiro requer um ponto de vista harmônico, por meio do qual as toneladas emitidas encontrem volume mitigado correspondente em termos absolutos.

4.2.4.5. CONVERGÊNCIA REGULATÓRIA COM OUTRAS POLÍTICAS SOBRE MEIO AMBIENTE

Como comentaram Frangetto e Gazani, (2002), os sistemas de avaliação de impactos ambientais têm contemplado estratégias de mitigação e adaptação. Trata–se de uma medida utilizada pelo gestor público para prevenir danos ou ameaças ao meio ambiente. No caso desta previsão de exigência expressa, a exemplo das normas referentes às exigências de autoridades competentes como o IBAMA, a conveniência e a oportunidade no processo decisório de concessão de licenças de empreendimentos passam a ser ligadas a uma discricionariedade limitada: isto é, esses órgãos terão que observar os aspectos climáticos ao longo dos processos de licenciamento.

O órgão ambiental pode, por força de fatores externos à existência de um diagnóstico de GEEs, concluir que os riscos do projeto para a mudança do clima são, de antemão, grandes o bastante para que lhe seja negada licença ambiental. E o inverso, também é verdadeiro. Ou seja, que seu pedido seja aceito na hipótese de a autoridade estar convencida de que o projeto não possui elementos para provocar mudança do clima.

Quanto a ser ou não aceita certa dose de mudança do clima por força da implantação de determinado projeto objeto de processo de licenciamento ambiental, a autoridade administrativa, não estando obrigada a adotar o mesmo entendimento do resultado do Estudo de Impacto Ambiental – EIA – e seu respectivo Relatório de Impacto ao Meio Ambiente – RIMA, poderá decidir de modo diferente desse. Em todas as hipóteses, ela terá, porém, que justificar – com base na lei – cada uma de suas decisões, seja negando ou aprovando o pedido de alteração concessão das respectivas

licenças ambientais. Isto significa que terá de justificar o porquê de tê–las ou não concedido e apresentar as razões pelas quais os correspondentes impactos climáticos, ou a ausência deles, foram suficientes para afirmar a segurança do empreendimento.

As medidas mitigadoras de impactos ambientais negativos precisarão, portanto, estar associadas aos danos ou ameaças ambientais. Como se pode verificar, as previsões normativas relacionadas ao clima, no âmbito da avaliação ambiental, são úteis muito mais para instruir o processo do que para se conceder ou negar uma licença. Há, portanto, na implantação de políticas públicas relacionadas a mudanças climáticas, um limite de eficácia no tocante à intenção de se alcançar o objetivo final da norma e à capacidade de se chegar a tal êxito.

4.3. TEMAS TRANSVERSAIS EM INVESTIMENTOS E RECURSOS FINANCEIROS

4.3.1. INTRODUÇÃO

Este subcapítulo trata de temas transversais em investimentos e recursos financeiros. O investimento em tecnologias que emitem menos GEEs relaciona–se, de modo essencial, com o desenvolvimento sustentável que, por sua vez está associado a uma maior equidade entre gerações e necessita de instrumentos financeiros adequados para sua efetiva implementação. Introduzidos pelo Protocolo de Quioto, os mecanismos de flexibilização são um primeiro passo para que o desenvolvimento econômico seja perseguido com um olhar sobre o meio ambiente.

A adoção de tecnologias que ajudem a emitir menos GEEs deve também ter como aliada uma legislação ambiental compatível com as metas voluntárias de emissões assumidas pelo governo brasileiro. A ação do governo engloba ainda, a internalização pelas empresas das externalidades negativas dos GEEs por meio da aplicação de impostos, o que causaria impacto sobre o preço do carbono.

Pode–se mencionar, também, a ação do governo por meio da racionalização de seus procedimentos, de modo a se diminuir as emissões de GEE resultantes de suas atividades. Por sua vez, o setor privado terá nas medidas do governo e nos incentivos dados pelos mecanismos de flexibilização, os estímulos necessários para que o problema da mudança climática seja mitigado da forma mais natural possível, levando em conta o papel do governo nesse processo.

A seguir, avalia–se, neste Relatório, a pesquisa sobre esses temas em relação ao caso brasileiro. Por definição, é impossível evitar alguma sobreposição com os demais capítulos, devido à transversalidade dos mesmos.

A prioridade dada na pesquisa dos artigos ou livros para esta resenha foi a de privilegiar a literatura nacional que trata de modo essencial do caso brasileiro e enfoque os temas transversais listados a seguir. Desse modo, há trabalhos de boa qualidade que não são citados. Com relação à literatura estrangeira, entende–se que foram feitas duas resenhas importantes em Stern, 2007, e no quarto relatório de avaliação – *AR*4 – publicado em 2007 pelo *IPCC*. Por isso, poucos trabalhos realizados no exterior são citados explicitamente neste item do capítulo 4.

Preliminarmente, pode-se fazer algumas constatações. Em primeiro lugar, na quase totalidade, os trabalhos resenhados pertencem à chamada literatura *cinza*, ou seja, não publicada em revistas científicas revisadas pelos pares. Tal opção foi feita em função da carência de publicações científicas, à época em que o relatório foi escrito. Em segundo lugar, existem oportunidades de pesquisa em relação ao caso brasileiro. Procurou-se fazer uma descrição de cada texto de acordo com os pontos mais importantes para nossa discussão. Por questões de espaço, remete–se o leitor, neste item, aos textos originais para maiores detalhes.

Adota–se uma parte da estrutura proposta para esse tópico no quinto relatório de avaliação do

IPCC para organizar a exposição. O critério de escolha foi o de se privilegiar seções com um maior volume de material disponível. A proposta é a de que aquelas correspondentes às do relatório do *IPCC* possam ser consultadas de modo complementar.

O trabalho foi desenvolvido nas seguintes seções:

- financiamento de investimentos com baixo carbono: oportunidades, determinantes principais e barreiras;
- financiamento de atividades de mitigação no Brasil, inclusive para desenvolvimento, transferência e difusão de tecnologias; e,
- conclusões.

4.3.2. FINANCIAMENTO DE INVESTIMENTOS COM BAIXO CARBONO: OPORTUNIDADES, DETERMINANTES PRINCIPAIS E BARREIRAS

Há três mecanismos de flexibilização previstos no Protocolo de Quioto:

A) o de implementação conjunta, que se refere à transferência ou aquisição de unidades de redução de emissões decorrentes da implementação de projetos entre países do Anexo I da CQNUMC – Protocolo de Quioto, artigo 6°;

B) o comércio de emissões entre países do Anexo B do Protocolo de Quioto – artigo 17°;

C) o MDL, que consiste na implementação de projetos nos países não pertencentes ao Anexo I da CQNUMC – os definidos como *em desenvolvimento* – que viabilizem seu desenvolvimento econômico e social sustentável e, ao mesmo tempo, contribuam com créditos para que as nações inclusas no referido anexo cumpram seus compromissos de limitação e redução de emissões – Protocolo de Quioto, artigo 12°.

Para o caso brasileiro, o mecanismo relevante é o MDL, de modo que a atenção no restante deste subcapítulo será dada a ele.

No que se refere ao MDL, o financiamento de investimentos com baixo carbono pode se dar:

A) por meio de um projeto de MDL de caráter individual: MDL tradicional;

B) através do agrupamento – *bundling*, em inglês – de atividades de projeto em um único *Documento de Concepção de Projeto*, com atividades registradas conjuntamente: MDL agrupado;

C) pelo MDL programático, alternativa surgida recentemente que possibilita o resgistro de um programa de atividades como um único projeto no âmbito do MDL. Em tese, o total de atividades constante do programa pode ser ilimitado e abranger mais de um país. Esse tipo de financiamento agrega mais participantes, cada um com pelo menos uma atividade de programa, e faz com que aqueles que se encontram impossibilitados de elaborar e executar um projeto de MDL tradicional possam captar no mercado os recursos necessários para projetos menores, em geral de relevância para nações menos desenvolvidas. Além disso, possibilita a recepção de novas atividades de programa a qualquer momento e a utilização de mais de uma metodologia de linha de base.

Miranda *et al.* (2011) avaliaram o estado da arte do MDL programático fazendo um balanço dos pontos positivos e das principais barreiras ao desenvolvimento de programas. Destacaram como pontos positivos desse tipo de financiamento para o instrumento:

- sua contribuição para a redução dos custos de transação; os ganhos de escala obtidos com os programas de atividades – os PoAs;
- o papel mais expressivo do MDL por meio da inclusão de participantes, o que contribui para a mitigação da mudança do clima e o desenvolvimento sustentável nos países em desenvolvimento.

Miranda *et al.*,, 2011, destacaram então, quais seriam as principais barreiras ao investimento feito por meio do MDL programático.

a) O pequeno número de PoAs registrados, o que, pela pouca experiência, dificulta o aperfeiçoamento e a simplificação das regras dessa modalidade de MDL e faz com que os participantes demorem para se acostumar com a nova modalidade.
b) A responsabilidade excessiva das entidades operacionais designadas – as EODs –, que assumem todo o prejuízo em caso de emissão errônea de reduções certificadas de emissões – as RCEs – para atividades de programa incluídas em um determinado PoA, cancelando assim, o volume correspondente no registro do MDL. Isso aumenta o risco, diminui a saldo das EODs e, consequentemente, reduz os canais pelos quais pode haver investimento.
c) O aspecto institucional, onde a indefinição de competências na esfera federal do governo brasileiro em relação à questão das mudanças climáticas pode prejudicar o fluxo de investimentos.
d) As tentativas, por parte do governo federal, de assumir metas de redução ou limitação de emissões no Brasil, o que pode comprometer a adicionabilidade dos programas nacionais. A principal medida para se eliminar barreiras seria a capacitação de todos os envolvidos: empresas de consultoria, EODs, autoridades nacionais designadas – as ANDs –, integrantes do Conselho Executivo do MDL, participantes de projeto, de entidades coordenadoras e partes interessadas.

Em termos mais específicos, a superação das barreiras elencadas é possível, segundo os autores, por meio das seguintes medidas:

a) capacitação das organizações brasileiras para que atuem como entidades coordenadoras, tanto privadas – empresas ou institutos das empresas que atuem como seu braço socioambiental –, públicas – companhias estatais, órgãos e universidades públicas – entidades de classe – tais como a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) e a Confederação Nacional da Indústria (CNI) – além de entidades do terceiro setor – ONGs e Organizações da Sociedade Civil de Interesse Público – as OSCIPs;
b) capacitação de organizações brasileiras para que atuem como EOD;
c) aperfeiçoamento do ambiente regulatório nacional;
d) definição mais clara da competência de cada órgão do governo para atuar em questões de mudança climática, projetos de MDL e PoAs.

A justificativa deste elenco de propostas se dá no campo institucional, uma vez que a evidência empírica aponta que a existência de um aparato institucional que funcione adequadamente e de leis que efetivamente sejam cumpridas favorece o crescimento econômico por meio de um maior volume de investimentos.

Miranda *et al.*. (2011), relataram cinco PoAs registrados pelo Conselho Executivo do MDL até o final de outubro de 2010, dois deles relativos à demanda de energia – aumento de eficiência –, outro relativo ao lixo – compostagem -, um terceiro referente à indústria energética – as fontes renováveis e não renováveis – e o último, relacionado à agricultura, que é o único desenvolvido no Brasil.

Comparados aos projetos de MDL tradicional e agrupados registrados – um total de 2.456 -, é possível se vislumbrar um grande potencial a ser desenvolvido. Em novembro de 2012, examinando-se o sítio da CQNUMC para a atualização desses dados, constatou–se a existência de 46 PoAs registrados pelo Conselho Executivo do MDL, 22 referentes à indústria energética – fontes renováveis e não renováveis -, dez relativos à demanda de energia, cinco relacionados ao lixo, dois referentes à agricultura, dois concernentes à distribuição de energia, um único envolvendo a indústria manufatureira e um último, atinente ao transporte.

Além desses, verificou–se que três PoAs se enquadravam em duas categorias e, por isso, não foram incluídos no perfil acima, mas apenas no total. É preciso notar também que não foi acrescentado nenhum outro PoA desenvolvido no Brasil desde a pesquisa original em 2010. Finalmente, os

projetos de MDL tradicional e agrupados registrados totalizavam 4.985 em novembro de 2012, o que aponta novamente para um potencial a ser explorado com relação aos PoAs.

Os demais PoAs conhecidos – 57 – estavam, na época, em fase de validação. Referiam–se principalmente à indústria energética – 39% – e à demanda de energia – 29%. Não havia PoAs para as seguintes áreas: construção; mineração e produção mineral; produção de metais; emissões fugitivas de combustíveis – sólido, óleo e gás –; emissões fugitivas pela produção e destruição de halocarbonos e hexafluoreto de enxofre; e, uso de solventes. Essas eram áreas que eventualmente poderiam ter sido exploradas.

No período da pesquisa, havia somente um PoA brasileiro, registrado pelo Conselho Executivo do MDL no total de quatro PoAs brasileiros conhecidos. Os demais estavam em fase de validação. O Brasil estava atrás de Índia e China quanto a esse total.

Em novembro de 2012, havia cinco projetos em fase de validação. Nenhum deles seria para desenvolvimento no Brasil: dois para — China e outros dois para a Índia, na Ásia, e outros dois para países africanos — Etiópia e Ruanda. Isso revela que o Brasil tem participação mínima – apenas um PoA –, se considerados os projetos registrados e em fase de validação. Assim, as áreas mencionadas continuam necessitando de projetos.

Miranda *et al.,*(2011), ressaltaram que a grande oportunidade nos programas de MDL na época da pesquisa estava na indústria. Apenas 21 das 140 metodologias existentes na época haviam sido utilizadas. Cabe ressaltar a dificuldade em se encontrar EODs para validar PoAs, pois um exame dos projetos registrados aponta para apenas duas EODs: *DNV Certification* e *TÜV SÜD*. Finalmente, os autores enumeraram diversos arranjos produtivos para o desenvolvimento de programas de MDL:

a) tratamento de dejetos animais;
b) substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas;
c) compostagem de resíduos sólidos orgânicos;
d) aquecedor solar;
e) caldeiras industriais;
f) biogás doméstico.

Para cada caso, são mencionadas as metodologias mais apropriadas.

Franco e Fujimoto (2011) exploraram o papel do setor público no MDL e no mercado de carbono. Examinando os projetos de MDL em fase de validação, constataram a ausência de projetos propostos diretamente pelo setor público brasileiro. Os eventuais projetos em que havia participação pequena desse segmento foram propostos pelo setor privado concessionário de serviços públicos, os quais auferiam, dessa forma, a maior parte do resultado da negociação dos certificados de carbono. A princípio, poderia ter havido uma contradição entre os requisitos do MDL e a obrigação do governo quanto à proteção e à conservação do meio ambiente, o que o teria impedido de propor projetos de MDL. No entanto, de acordo com a CQNUMC não há, sob a óptica da adicionalidade, nenhum impedimento para o setor público propor projetos. Logo, ainda há um potencial a ser explorado pelo Brasil nessa área.

Os setores que mereceriam projetos de MDL do setor público seriam:

- saneamento – resíduos sólidos e efluentes –;
- energia – geração, eficiência industrial e residencial, distribuição –; e
- transportes – biocombustíveis.

Os autores ressaltam que a atuação do setor público nessa área é favorecida pelo aparato legal a seguir:

- a lei que estabelece as diretrizes básicas para o saneamento básico – n°11.445/07;
- a lei que institui a PNMC – n° 12.187/09;

- Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima, 2007;
- e a Lei que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos – nº 12.305/10.

Souza *et al.*,, 2011, trataram da regulamentação dos ativos ambientais no Brasil. Com relação aos aspectos jurídicos e regulatórios do mercado de carbono no Brasil, temos a própria PNMC -, que prevê a criação do Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE). Esses autores destacaram a existência de projetos de lei tramitando pelo Congresso à época da pesquisa, referentes a diversos aspectos do mercado de carbono – os de nº 493/07, 494/07, 594/07 e 1.657/07, que, em abril de 2013, segundo informava o sítio da Câmara dos Deputados, aguardavam parecer na Comissão de Finanças e Tributação (CFT).

De acordo com esses projetos, a negociação de RCEs poderá se dar em bolsas de mercadorias e futuros ou de valores e em entidades de balcão organizado, autorizadas a funcionar pela Comissão de Valores Mobiliários (CVM), que normatizará esse tipo de transação. Eles também previam a constituição de fundos de investimento em projetos de MDL, a serem regulamentados pela CVM, e a criação de incentivos fiscais para a negociação das reduções.

Vale lembrar que a CVM entende que as RCEs não são valores mobiliários e, por isso, não estariam sob sua alçada, embora a negociação de instrumentos sintéticos e derivativos lastreados em RCEs provavelmente necessitasse dessa subordinação.

Segundo Souza *et al.* (2011), a legislação brasileira não trata explicitamente de tributação e contabilização da geração de créditos de carbono e da negociação dos mesmos. Por isso, defenderam que devem ser utilizadas as normas gerais em vigor. Os autores levantam questões contábeis relativas ao modo como as empresas devem registrar os créditos de carbono que geram, ao custo a lhes ser atribuído e ao momento em que os ativos devem ser reconhecidos. Mas esses autores não mencionaram a existência de normatização dada pela Lei 12.187/09, conforme Seroa da Motta *et al.* (2011).

Souza *et al,* (2011) analisaram os principais instrumentos financeiros para a negociação de créditos de carbono no Brasil. Podem ser mencionadas as operações de *swap* com base no índice *BGCI – The Barclays Global Carbon Index*, que mede o desempenho dos esquemas de crédito de carbono mais líquidos do mercado internacional apurado pela instituição financeira britânica que o batiza –, uma operação estruturada para a construção de usina de cogeração e operações privadas de compra e venda futura de RCEs, as quais podem ocorrer tão logo emitidas, mediante desconto sobre o preço à vista ou ao fechamento do contrato.

As operações no mercado futuro são feitas, em geral, por pequenas e médias empresas nacionais, enquanto que as grandes companhias preferem as operações à vista – *spot*, na terminologia fianceira internacional. A CVM determinou que fundos multimercados e outros, relacionados pela Instrução CVM 409/04, podem negociar seus contratos futuros com RCEs. No entanto, tais negociações inexistem de fato, por conta da ausência de mercado de bolsa ou balcão organizado, de sistema de registro ou de custódia desse tipo de título.

Existe, porém, um sistema de leilão eletrônico para compra e venda de RCEs na BM&FBovespa, no qual a CVM veta a participação de fundos de investimento. Para financiar projetos de MDL, é permitida a participação de alguns tipos de fundos, entre os quais se destacam os de investimento em participações, em direitos creditórios não padronizados e imobiliários.

Em obra de 2011, Souza *et al.* discutiram a natureza jurídica das RCEs no Direito do Brasil. Os autores propuseram que as RCEs sejam caracterizadas como ativos financeiros, com natureza jurídica de títulos mobiliários impróprios de legitimação. O título de crédito próprio seria representativo de operações de crédito, enquanto que o impróprio seria representativo de outros direitos fiduciários.

Dentre os títulos impróprios, temos os de legitimação, que possuem a característica de circularem no mercado – aqueles transferíveis a terceiros por cessão, portanto – e sujeitarem o devedor a pagar a seu possuidor. A análise das RCEs deixa claro seu caráter de título de legitimação, pois elas são circuláveis, podendo ser utilizadas para cumprimento das metas de redução de emissões de outros países através de negociação no mercado de carbono.

Os créditos de carbono seriam considerados como ativos circulantes ou realizáveis no longo prazo, conforme as intenções da empresa quanto a alienação, e também, como ativos financeiros. Os regimes tributários relativos às transações com esses títulos seriam dados pelas regras gerais de apuração de ganhos – para alienações realizadas fora de bolsas – e de ganhos líquidos – para operações realizadas em bolsas de valores, de mercadorias e futuros e em assemelhadas. Seu custo seria dado pela despesa média por crédito de carbono.

Souza e seus coautores ainda propuseram a criação de incentivos fiscais específicos. A saber:

- exclusão dos resultados da alienação de créditos de carbono da base de cálculo do Imposto de Renda Pessoa Jurídica (IRPJ) e da Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL) por se tratar de projeto desenvolvido pela própria pessoa jurídica;
- exclusão da receita auferida com a alienação de créditos de carbono da base de cálculo para as contribuições ao Programas de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PIS/PASEP) e à Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (Cofins) pelo mesmo motivo acima informado;
- apuração de lucro real com dedução adicional dos dispêndios realizados com projetos de MDL que já tenham sido abatidos do lucro líquido, por já serem classificados como despesas operacionais no IRPJ;
- redução do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) incidente sobre equipamentos destinados a projetos de MDL;
- depreciação acelerada do custo de equipamentos usados em projetos de MDL para fins de apuração de IRPJ e da CSLL.

Seroa da Motta *et al.* (2011) discutiram aspectos regulatórios e de governança da PNMC, instituída pela Lei 12.187/09 e complementada pelo Decreto 7.930/2010. Com metas voluntárias de reduções de emissões e ações qualitativas, ela já foi discutida neste capítulo juntamente com o Acordo de Copenhague em seção anterior. O citado decreto explicita as emissões em termos absolutos.

Um exame dos dados mostra que os setores mais afetados pelas metas de redução de emissões são o de uso da terra e o da agropecuária, nos quais as emissões podem aumentar 11% e 50%, respectivamente, de 2005 a 2020 contra um aumento total de emissões previstas no período de 47%. Isso reflete o menor custo de oportunidade das REDDs, que se mostram mais vantajosas do que outras fontes de redução devido à agricultura de baixa produtividade e à pecuária extensiva.

Friberg (2009) apontou a mudança no posicionamento do Brasil com relação às mudanças climáticas. Anteriormente, o País enfatizava a parcela de responsabilidade dos países industrializados na emissão passada dos gases de efeito estufa. A partir de 2007, com a realização da *COP*13 em Báli, porém, passou a aceitar a necessidade de ações de mitigação passíveis de mensuração e verificação. E, posteriormente, adotou políticas como a já mencionada PNMC. Esse autor detectou ainda a posição brasileira contrária ao financiamento do sistema de REDD por meio de créditos de carbono, em função da oscilação das taxas de desflorestamento, que tornaria tal sistema não confiável.

Seroa da Motta e seus coautores (2011) advogaram que as NAMAs possam ser financiadas por recursos internacionais, sejam oriundos da CQNUMC, multilaterais ou bilaterais. Em termos de fundos, os autores citaram os casos do Fundo Amazônia, administrado pelo BNDES, e do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima. Outros instrumentos, segundo eles, seriam os incentivos fiscais

e creditícios, as dotações do Tesouro Nacional e os mercados de carbono, já discutidos neste capítulo. Além disso, o MBRE reconhece que os volumes transacionados são títulos mobiliários, fator importante para que seja estabelecido o valor para as transações sob aparato legal.

Quanto à governança, Seroa da Motta e seus coautores, em 2011, ressaltaram que:

a) o poder regulamentador parece ser exercido pelo CIM;
b) o acompanhamento será realizado pelo FBMC;
c) o assessoramento técnico ao CIM deverá ser feito pela Rede Clima e pela CMCH;
d) a aprovação de projetos de MDL e de inventários, bem como o relacionamento com a CQNUMC, deve continuar a ser feito pela Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima.

O autor destacou que falta um poder regulador, como uma agência em regime de autarquia especial, que atue de forma autônoma e tenha instrumentos de monitoramento, fiscalização e prestação de contas. Essa agência poderia também exercer a regulação de inventários, mercados de carbono e atividades de registro, além das ações de monitoramento e verificação, bem como articular políticas federais e iniciativas estaduais.

Abramovay (2010) destacou a lei que criou a Política Municipal de Mudança do Clima em São Paulo – nº 14.933/09 –, a qual previa, para 2012, uma redução de 30% nas emissões antropogênicas agregadas de GEE decorrentes de atividades na cidade em relação ao patamar dado pelo inventário municipal de 2005.

Esse autor também mencionou em sua obra, a lei estadual correspondente – nº 13.798/09 –, que criou a Política Estadual de Mudanças Climáticas no Estado de São Paulo com uma meta de reduçãode 20% das emissões para 2020, tomando igualmente como base volume registrado em 2005.

A legislação citada aponta para um crescimento econômico que leve em conta a sustentabilidade e o desafio da mudança do clima. O autor definiu a descarbinização como ponto principal dessa estratégia de crescimento, representada por mudanças na forma de se produzir e se utilizar energia. Apesar de Brasil e São Paulo ocuparem posição vantajosa quanto à produção de energia limpa, devido às suas hidroelétricas e ao etanol derivado da atividade sucro-alcooleira paulista, constata–se que os esforços da inovação industrial para reduzir o consumo de energia ainda são pequenos e precisam avançar.

Embora a intensidade energética do Brasil tenha diminuído 22,7% entre 1990 e 2005, Abromovay mostrou em sua obra dados que apontam para aumento de intensidade energética no Estado de São Paulo – principalmente, por conta do comportamento do setor secundário, mais do que compensado pela queda registrada pelo setor primário. Esse aumento ocorreu associado a uma redução da intensidade de carbono no Estado, de acordo com tais informações. Segundo o autor, isso pode lançar dúvidas sobre a eficiência e a competitividade da indústria brasileira.

Romeiro e Parente (2011) discutiram com maiores detalhes as legislações estadual e municipal sobre questões referentes à mudança do clima no Brasil. Destacou que o FBMC foi criado em junho de 2000, enquanto os fóruns estaduais demoraram ainda alguns anos para surgir. São Paulo foi o primeiro a instaurar tal tipo de plenário, em fevereiro de 2005 e, até fevereiro de 2011, outros 15 estados instauraram os seus.

Assim, até o início de 2011, dez estados já haviam instituído suas políticas públicas em mudanças climáticas e outros cinco já tinham apresentado projetos de lei para criá-los. Elas diferiam em conteúdo de um para outro. Deve–se destacar que São Paulo era o único, até março de 2011, a dispor de metas mandatórias, prevendo redução de 20% das emissões para 2020 em relação ao patamar registrado em 2005.

As políticas públicas municipais sobre mudanças climáticas de São Paulo e do Rio de Janeiro possuem metas mandatórias: a primeira, através da Lei de nº 14.933/09, que a insitituiu, prevê redução de 30% para 2012 levando em conta o volume registrado em 2005; enquanto que a norma legal carioca, de nº 5.248/2011 – não referenciada corretamente no artigo –, prevê metas de redução progressivas, de 8% para 2012, 16% para 2016 e 20% para 2020 em relação ao patamar do mesmo ano-base. Todas as leis elencadas no artigo têm como ponto comum a busca do desenvolvimento econômico aliado à proteção do sistema climático.

As características básicas dessas leis são:

a) a criação de incentivos à redução das emissões de GEE nos diversos setores produtivos por meio do mercado de emissões ou da taxação do carbono;
b) a determinação de ações de adaptação aos efeitos das mudanças do clima de acordo com a vulnerabilidade de cada região;
c) os incentivos ao desenvolvimento e à transferência de tecnologias de baixo carbono;
d) a capacitação de recursos humanos por meio da divulgação do conhecimento existente sobre o tema.

As leis de alguns estados preveem mecanismos adicionais de troca de direitos obtidos, mas não dão maiores detalhes.

Pode–se mencionar que a PNMC observa os seguintes princípios:

a) precaução;
b) prevenção;
c) desenvolvimento sustentável;
d) responsabilidades comuns, porém diferenciadas;
e) participação da sociedade civil.

A Política Estadual de Mudanças Climáticas de São Paulo observa todos os princípios citados acima, acrescidos dos seguintes:

a) o do poluidor pagador;
b) o do usuário pagador;
c) o de ação governamental;
d) o de cooperação nacional e internacional;
e) o de ampla publicidade; e ainda,
f) o de educação ambiental.

A Política Municipal de Mudança do Clima de São Paulo observa, por sua vez, os princípios (a), (b) e (d) da PNMC e (a) e (b) da Política Estadual de Mudanças Climáticas de São Paulo. Além disso, adiciona os seguintes princípios:

a) o do Protetor-Receptor;
b) o de abordagem holística;
c) o de internalização dos custos sociais e ambientais; e, ainda,
d) o de direito de acesso à informação.

Os autores destacaram em seu artigo que o uso de incentivos fiscais e econômicos pode ser importante para a implementação de políticas de mudanças climáticas. Mencionaram como pontos negativos: a falta de definição de aspectos regulatórios, em especial os problemas de governança, conforme aludido também por Seroa da Motta *et al.* (2011) para o caso específico da PNMC; e a falta de convergência das ações em todas as esferas, o que dificulta a padronização das medidas de redução de GEEs e seu monitoramento.

Soares *et al.*,(2011), trataram da organização local do mercado de carbono. Destacaram que o aparato legal dado pela PNMC impulsiona a criação de instrumentos financeiros que favoreçam a redução de emissões e de um sistema doméstico de controle de emissões que atenda à demanda local por créditos de carbono. Esses autores propuseram ainda, a criação de um Sistema Brasileiro

de Controle de Carbono (SBCC), que teria natureza privada, autorregulatória e de adesão voluntária. O SBCC, utilizando balizamento dado pela PNMC, contribuiria, segundo os autores, para a implementação do MBRE. Além disso, permitiria a comercialização de dois títulos:

- o Direito de Emissão de Carbono (DEC), que seria uma permissão dos sistemas de limite e comercialização de emissões – *cap and trade* – e reflete o compromisso voluntário assumido pela fonte de reduzir suas emissões em conformidade com os limites setoriais previamente fixados, e
- a Obrigação de Remoção de Carbono (ORC), que representaria a obrigação voluntária de remover carbono da atmosfera de acordo com metas previamente estabelecidas.

As ORCs possuiriam um caráter mais inovador e deveriam ser aplicadas, em especial, no setor de atividades florestais. Seriam títulos com negociação no MBRE por meio de contratos futuros, contratos a termo – *forward*, no termo inglês – e outros contratos de maior sofisticação. Permitiriam também, a criação de veículos de investimento, chamados de *Exchange Traded Funds* (*ETFs*), com cotas ou notas negociadas em bolsa, de modo a viabilizar o acesso de investidores com perfis diversos.

O mercado do SBCC envolveria, em 2020, um bilhão de toneladas de CO_2eq- anuais, que corresponderiam a US$ 18 bilhões por ano, a preços apurados pelos autores na época do estudo. A adesão ao Sistema poderia ser incentivada através da criação de um selo que identificasse a opção, bem como pela renúncia fiscal e pela atribuição de prioridade em compras públicas por parte do governo. A esse panorama se juntariam os mercados de carbono consolidados no exterior e os títulos internacionais, chamados anteriormente de RCEs – CERs, no original -, que deveriam servir como ativos–base para os títulos DEC e ORC. A comercialização de ambos utilizaria a plataforma existente até a criação do SBCC.

Pode–se citar como exemplo prático das discussões anteriores a criação da plataforma eletrônica BVTrade, em dezembro de 2012, pela bolsa de valores ambientais BVRio – Bolsa Verde do Rio de Janeiro. A BVRio, sediada na capital fluminense tem como formas de atuação a plataforma de negociação, com um sistema de registro para ativos ambientais, e grupos de trabalho para a criação de novos ativos ambientais. Inicialmente, concentrou-se no desenvolvimento dos seguintes ativos: mercado de créditos de carbono, cotas de reserva ambiental e créditos de reposição florestal.

4.3.3. FINANCIAMENTO DE ATIVIDADES DE MITIGAÇÃO NO BRASIL

Devem ser buscados os incentivos que levem o setor privado a adotar tecnologias que emitem menos GEEs – em termos líquidos -, o que pode ser facilitado por políticas de financiamento que envolvam instituições financeiras públicas e privadas. O governo pode atuar por meio da implementação de medidas de fomento, seja por meio de linhas de crédito ou por alternativas.

A questão tecnológica deve ser atacada de modo que empresas multinacionais possam adotar suas tecnologias no País, transferindo–as e adaptando–as ao contexto nacional. Para isso, contribui a estabilidade institucional e legal. Também deve ser fomentado o desenvolvimento de tecnologias próprias, seja nas empresas privadas, seja nas universidades, cada uma com os mecanismos de incentivo específicos.

Franco e Fujimoto (2011) discutiram as formas de financiamento para projetos de MDL no Brasil. Segundo esses autores, o financiamento pode se dar por linhas de crédito em instituições financeiras públicas ou privadas e pela negociação de RCEs futuras no mercado primário de carbono. Tais instrumentos utilizam acordos conhecidos como *Emission Reduction Purchase Agreements* – as *ERPAs*. As formas de financiamento público são as seguintes:

a) os programas e linhas de financiamento diferenciadas concedidos pelo BNDES, tais como BNDES Florestal, Apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO), Saneamento

Ambiental e Recursos Hídricos, BNDES Compensação Florestal, BNDES Proplástico Socioambiental, Programa de Plantio e Recuperação de Florestas (PROPFLORA), PRONAF Agroecologia e Programa de Produção Sustentável do Agronegócio (PRODUSA), além da participação nos fundos de investimento FIP Brasil Sustentabilidade – destinado a projetos de MDL que busquem a obtenção de RCEs –, FIP Caixa Ambiental – para alocação em saneamento, tratamento de resíduos sólidos urbanos e geração de energia limpa e biodiesel – e na gestão do Fundo Amazônia – concebido para a prevenção e o combate ao desmatamento, promoção da conservação e uso sustentável de florestas na Amazônia além da adoção de tecnologias de monitoramento;

b) os programas de ecoeficiência e financiamento de energia por fontes renováveis e de projetos habitacionais com uso de aquecedores solares – como o *Minha Casa, Minha Vida* –, oferecidos pela Caixa Econômica Federal (CEF);

c) Programa Resíduos Sólidos Urbanos, destinado para redução, reutilização e reciclagem de resíduos, melhoria dos serviços de limpeza pública e inserção social de catadores;

d) Programa de Repasse do Orçamento Geral da União (OGU), que fomenta as atividades do Programa Resíduos Sólidos Urbanos, além da desativação de lixões, o aperfeiçoamento de sistemas relativos a resíduos recicláveis e de construção, e, ainda as estações de transbordo;

f) por meio de outras iniciativas que podem ser consultadas no trabalho original.

O financiamento de projetos de MDL por meio de instituições privadas nacionais e internacionais pode se dar por duas alternativas:

- incentivos a projetos sustentáveis, que buscam direcionar recursos para empresas com boas práticas de sustentabilidade, passíveis de avaliação, por exemplo, através do Índice de Sustentabilidade Empresarial da BM&FBovespa; e
- investimentos diretos no mercado de carbono, nos quais instituições internacionais aparecem associadas a brasileiras.

No exterior, temos as *ERPAs*, que financiam projetos de MDL em sua fase inicial e recebem em troca a cessão de RCEs futuras – via mercado primário de carbono –, ou que viabilizam os que estão em fase adiantada ou que até mesmo já foram concluídos. As instituições financiadoras internacionais mais presentes são o Banco Mundial, o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e o Banco de Desenvolvimento da Alemanha (KfW). No Brasil, destacam–se as maiores instituições financeiras, igualmente do setor estatal.

Gouvello (2010) utilizou modelos que relacionam insumo e produto na simulação de cenários de baixo carbono para o período de 2010 a 2030 que produzam uma taxa de crescimento para o Brasil compatível com aquela em que não há medidas de mitigação. Concluiu que o volume de financiamento necessário para se atingir o objetivo contido nos primeiros é igual a mais que o dobro do requerido pelo de referência – US$ 344 bilhões para energia, US$ 157 bilhões para uso e mudança de uso da terra, US$ 141 bilhões para transportes e US$ 84 bilhões para o manejo de resíduos. Para se dar conta desse montante de financiamento, um investimento adicional de US$ 20 bilhões seria necessário a cada ano – o que representa um acréscimo inferior a 10% ao ano em relação ao montante investido em 2008 ou dois terços do investimento estrangeiro direto no Brasil contabilizado no mesmo ano ou, ainda, menos da metade dos empréstimos do BNDES naquele exercício.

O investimento deveria contar com participação pública e privada da seguinte forma:

a) os setores de transportes e de resíduos carecem mais de recursos privados;

b) os setores de energia e de uso da terra necessitam, sobretudo, de investimentos públicos;

c) a maior produtividade e redução de emissões de GEEs pelo gado, assim como a restauração das florestas, devem contar com ambas as fontes, pública e privada.

Além disso, as atividades de tratamento de resíduos para mitigação da mudança do clima devem se dar, segundo o autor, através de um processo de capacitação dos municípios, além de envolver

consórcios intermunicipais e regionais e, também, parcerias público-privadas (PPPs). Os primeiros surgem porque os resíduos, muitas vezes, envolvem mais de um município, além de haver o risco de contaminação dos aquíferos caso o tratamento não seja adequado, exercendo impacto sobre grande número de municípios e regiões.

As PPPs se dão por meio de concessões do setor público ao privado, nas quais este último investe em contrapartida ao primeiro mediante contratos de longo prazo. São sugeridas sobretudo, para o tratamento de resíduos, porque o setor privado tem maior capacidade de investimento do que o público, podendo ser remunerado adequadamente e, portanto tratar o problema de uma forma mais apropriada ao suprir a carência de recursos estatais.

Gouvello (2010), escreveu que são poucos os mecanismos de financiamento destinados a atividades relacionadas à mudança do clima. Por isso, seria necessário criar instrumentos financeiros específicos e obter novas fontes financiadoras para a implementação de atividades de mitigação propostas pelo autor. Para ele, o incentivo econômico para investimento não se dá apenas pela venda de créditos de carbono, mas também por subsídios ao capital para emprego de tecnologias de baixo carbono, oferta de condições especiais de financiamento ao investimento, créditos tributários e outros instrumentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluindo a resenha de textos relacionados a investimentos e recursos financeiros, pode–se destacar:

- O Brasil pode avançar no MDL programático tratando das barreiras identificadas, em especial do número de programas existentes e dos aspectos institucionais.
- O setor público do país deve se envolver mais na proposição de projetos, uma vez que a ausência de recursos financeiros o impede de assumir uma postura mais ativa no desenvolvimento sustentável, o que pode ser superado por meio do MDL e de políticas alternativas que venham a surgir no futuro.
- Existe um aparato legal dado pela PNMC e por leis estaduais e municipais, o qual pode ser refinado de modo a haver convergência, aperfeiçoando–se o poder regulador e a governança.

Além disso, há diversas formas de financiamento de projetos de MDL que envolvem bancos públicos ou privados, nacionais ou internacionais. O desenvolvimento sustentável seria possível com um volume de financiamento que não é absurdamente elevado, representando um acréscimo de cerca de 10% ao ano em relação ao montante investido em 2008. Isso pode ser estimulado pela venda de créditos de carbono e por outros instrumentos de política pública.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbott, K.W., 2011: The transnational regime complex for climate change. Disponível em http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1813198. Acessado em 20/09/2011.

Abramovay, R., 2010: Decarbonizing the growth model of Brazil: addressing both carbon and energy intensity. *The Journal of Environment & Development*, **19**(3), 358-374.

Abranches, S., 2010: *Copenhague: antes e depois*. Rio de Janeiro, RJ: Editora Civilização Brasileira.

Andonova, L.B. *et al.*, 2009: Transnational climate Governance. *Global Environmental Politics*, **9**(2), 52-73.

Antunes, V.N.B., 2011: *Análise das políticas estaduais de mundanças climáticas no Brasil:*

investigando o conteúdo e forma de elaboração. Monografia de conclusão do Curso de Convenções Globais de Meio Ambiente e Repercussões Nacionais do Programa de Políticas Públicas, Estratégia e Desenvolvimento do IE/UFRJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Asheim, G.B. *et al.*, 2001: Justifying sustainability. *Journal of Environmental Economics and Management*, **41**(3), 252-268.

Barros-Platiau, A.F. 2010. Quando países emergentes reformam a governança global das mudanças climáticas: o Brasil sob Lula. *Revista Brasileira de Política Internacional*, **53**(Special Edition), 73-90.

Biderman, R., 2011: *Introdução à mudança climática global: desafios atuais e futuros*. Santarém, PA / São Paulo, SP: Instituto Ambiental da Amazônia (Ipam) / Observatório do Clima.

Biermann, F. *et al.*, 2010: The architecture of global climate governance: setting the stage, pp. 15-24. In *Global Climate Governance Beyond 2012. Architecture, Agency and Adaptation* [Biermann, F. *et al.* (Eds.)]. Cambridge, UK, e New York, NY: Cambridge University Press.

BNDES, 2009. *Fundo Amazônia*. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Relatório Anual de Atividades. Disponível em http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/fam/site_pt. Acessado em 6/12/2011.

Bouzas, R. e S. Aguilar, 2010. Argentina e Brasil nas negociações internacionais sobre mudança climática. International Institute for Sustainable Development (IISD), Working Paper n° 3, agosto de 2010. Disponível em http://www.redmercosur.net/argentina-e-brasil-nas-negociacoes-internacionais-sobre-mudanca-climatica-em-ingles/publicacao/104/pt/. Acessado em 11/07/2011.

Brack, D. e K. Gray, 2003: Multilateral Environmental Agreements and the WTO. Report for the International Institute for Sustainable Development. The Royal Institute for International Affairs, Sustainable Development Programme. September.

Brasil, 2013. Planos Setoriais de Mitigação e Adaptação. Ministério do Meio Ambiente (MMA) Disponível em http://www.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima/planos-setoriais-de-mitigacao-e-adaptacao.

Brasil, 2012a: Projetos do governo brasileiro financiados com recursos externos. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MP), Secretaria de Assuntos Internacionais (Seain). Disponível em http://www.planejamento.gov.br/secretarias/upload/Arquivos/seain/downloads/2012/120615_apresentacao.pdf. Acessado em 10/11/2012.

Brasil, 2012b: Projetos por fonte de financiamento / fase. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MP). Secretaria de Assuntos Internacionais (Seain). Disponível em http://www.planejamento.gov.br/secretarias/upload/Arquivos/seain/downloads/2012/120615_projetos_fonte_financiamento.pdf. Acessado em 10/11/2012.

Brasil, 2011a: Comunicado Conjunto dos Presidentes dos Estados Partes do Mercosul e Comunicado Conjunto dos Presidentes dos Estados Partes do Mercosul e Estados Associados. Ministério das Relações Exteriores (MRE), Diplomacia Pública, Nota nº 245, junho de 2011. Disponível em: http://www.itamaraty.gov.br/sala-de-imprensa/notas-a-imprensa/comunicado-conjunto-dos-presidentes-dos-estados-partes-do-mercosul-e-comunicado-conjunto-dos-presidentes-dos-estados-partes-do-mercosul-e-estados-associados. Acessado em 11/07/2011.

Brasil, 2011b: Declaração do Conselho de Chefes de Estado e de Governo da União de Nações Sul-Americanas (Unasul). IV Reunião Ordinária do Conselho de Chefes de Estado e de Governo da União de Nações Sul-Americanas (Unasul). Georgetown, República Cooperativa da Guiana.

Ministério das Relações Exteriores (MRE), Disponível em: http://www.itamaraty.gov.br/temas/america-do-sul-e-integracao-regional/unasul/declaracao-da-cupula-de-georgetown-em-portugues. Acessado em 11/07/2011.

Brasil, 2007: Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM), Brasil. Brasília, DF: Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima.

Bulkeley, H. e P. Newell, 2010. *Governing Climate Change*. Global Institutions Series. London and New York: Routledge.

Capobianco, J.P.R., 2010: Do Rio a Copenhague, sem escala em Kyoto. *Política Externa* **18**(4), 37-42.

Carvalho, F.V. de., 2010: *A posição brasileira nas negociações internacionais sobre florestas e clima (1997-2010), do veto à proposição*. Tese de Doutorado, Relações Internacionais. Universidade de Brasília (UnB), Brasília. 218 pp.

Dagnino, R. *et al.*, 2002. *Gestão estratégica da inovação: metodologias para análise e implementação*. Taubaté, SP: Editora Cabral Universitária, 350 pp.

De Antoni, G., 2010: O Programa Piloto para Proteção das Florestas Tropicais do Brasil (PPG-7) e a globalização da Amazônia. *Ambiente & Sociedade* , **13**(2), 299-313.

Diaz, M.D.C. e S. Schwartzman, 2005: Carbon offsets and land use in the Brazilian Amazon, pp. 93-98. In: *Tropical deforestation and climate change*. [Moutinho, P. e S. Schwartzman. (Eds.)]. Washington, DC: Environmental Defense Fund.

Diniz, E.M., 2001: *Crescimento, poluição e o Protocolo de Quioto: uma avaliação do caso brasileiro*. Pós-Doutorado (Relatório), Oxford, UK: University of Oxford & St. Antony's College Centre for Brazilian Studies, Oxford. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), Diretoria de Estudos e Políticas Macroeconômicas (Dimac). Seminários Dimac / Ipea, nº. 43, 71 pp.

Diniz, E.M., 2003: Climate change and economics in Brazil, 217-219. In: *Climate Change Mitigation and Adaptation: Identifying Options for Developing Countries.* [Hüttner, K.L., J-F. *et al.* (Orgs.)]. Jülich, Alemanha: Forschungszentrum Jülich, v. 1.

Diniz, E.M., 2007: Lessons from the Kyoto Protocol. *Ambiente & Sociedade*, **10**(1), 27-38.

Dupas, G., 2007: A questão ambiental e o futuro da humanidade. *Política Externa*, **16**(1), 9-23.

Eckersley, R., 2004: The big chill: the WTO and multilateral environmental agreements. *Global Environmental Politics*, **4**(2), 24-50.

EPA, 2005: Clean Air Interstate Rule (CAIR), Environmental Protection Agency (EPA).

Feijó, F.F. e S.S. Porto Jr., 2009: Protocolo de Quioto e o bem-estar econômico no Brasil: uma análise utilizando equilíbrio geral computável. *Análise Econômica*, **27**(51), 127-154.

Ferreira Filho, J.B.S. e M.T. Rocha, 2007: Avaliação econômica de políticas públicas visando redução das emissões de gases de efeito estufa no Brasil. XLV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (Sober), "Conhecimentos para a Agricultura do Futuro", 22-25 de julho, Londrina, PR. Anais. SOBER007.

Fórum Clima, 2014: Observatório de Políticas Públicas de Mudanças Climáticas. Disponível em:

http://forumempresarialpeloclima.org.br/observatorio-de-politicas-publicas-de-mudancas-climaticas/
Fragnetto, F.W. e L. Meira Filho, 2010: *Mudança Climática e Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo* (MDL), Manual de Capacitação. Ed. rev. e atual. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 268 pp.

Franco, R.A.R. e R.K. Fujimoto, 2011: Guia de atuação do setor público no mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) e no mercado de carbono. Projeto de Fortalecimento das Instituições e Infraestrutura do Mercado de Carbono no Brasil, Banco Mundial / Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e BM&FBOVESPA (Coords.), 78 pp.

Frangetto, F.W. e F.R. Gazani, 2002: Viabilização jurídica do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) no Brasil. O Protocolo de Kyoto e a cooperação internacional. São Paulo, SP: Editora Fundação Peirópolis.

Frangetto, F.W., 2006: *Arbitragem ambiental. Solução de conflitos (r)estrita ao âmbito (inter)nacional?* Campinas, SP: Editora Millennium.

Frey, K., 2000: Políticas públicas: um debate conceitual e reflexões referentes à prática da análise de políticas públicas no Brasil. *Planejamento e Políticas Públicas*, **21**, 211-59pp.

Friberg, L., 2009: Varieties of carbon governance: the clean development mechanism in Brazil – A success story challenged. *The Journal of Environment & Development*, **18**(4), 395-424.

GEF, 2013: O Brasil e o GEF. Global Environmental Facility (GEF) / Fundo Mundial para o Meio Ambiente. Disponível em http://www.thegef.org/gef/sites/thegef.org/files/publication/Brazil%20-%20Fact%20Sheet_ECW_Peru%20-%20Portuguese.pdf . Acessado em 29/05/2013.

Gehring, T. e S. Oberthür, 2006: Introduction. In: *Institutional Interaction in Global Environmental Governance. Sinergy and Conflict among International and EU Policies* [Oberthür, S. e T. Gehring, (Eds).]. Cambridge, MA: MIT Press.

Giddens, A., 2009: *The Politics of Climate Change*. Cambridge, UK: Polity Press.

Gouvello, C. de, 2010: Brazil low carbon country case study. World Bank Institute. Low Carbon Growth Country Studies Program. Washington, DC: World Bank.

Grau Neto, W., 2007: *O protocolo de Quioto e o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL): Uma análise crítica do instituto*. São Paulo, SP: Editora Fiúza.

Gupta, J., 2010: A history of international climate change policy. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 1(5), 636-653, doi:10.1002/wcc.67.

Hahn, R. e C. Hepburn (Eds.), 1998: *The Economics and Politics of Climate Change*. Oxford, UK: Oxford University Press, 538 pp.

Harrington, W. *et al.*, 2004: Overview: comparing instrument choices. In: *Choosing Environmental Policy Comparing Instruments and Outcomes in the United States and Europe*. [Harrington, W. *et al.* (Eds).], Washington, DC: Resources for the Future Press, 296 pp.

Inoue, C.Y.A., 2011: The role of municipalities in the governance of global climate change. *The case of the involvement of Brazilian Amazonian municipalities in the national policy to combat deforestation and climate change*. Paper apresentado na conferência anual da International Studies Association (ISA), Global Governance: Political Authority in Transition, 16 março, Montreal.

Inoue, C.Y.A. e P.K. Andrade, 2011: South-South cooperation and the governance of climate change. The Brazilian case. Paper apresentado na conferência conjunta da Political Science Association e European Consortium for Political Research (IPSA-ECPR) Whatever happened to North-South? Universidade de São Paulo, 16-19 de fevereiro, São Paulo, SP.

IPCC, 2007: Chapter 13. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (*IPCC*). [Metz, B. *et al.* (Eds.)]. Cambridge, UK, New York, NY: Cambridge University Press.

Ipea, 2010. Cooperação brasileira para o desenvolvimento internacional 2005-2009. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) / Agência Brasileira de Cooperação (ABC).

Keohane, R.O. e D.G.Victor, 2010. The Regime Complex for Climate Change. Discussion Paper 10-33, Cambridge, MA: Harvard Project on International Climate Agreements.

Keohane, N. *et al.*, 1998: The choice of regulatory instruments in environmental policy. *Harvard Environmental Law Review*, **22**(2), pp.313-367.

Keohane, R.O. e J.S. Nye, 1989. *Power and Interdependence*. 2nd ed. New York,NY: Harper Collins Publishers.

Krasner, S.D., 1982. Structural causes and regime consequences: regimes as intervening variables. *International Organization*, **36**(2), International Regimes, 185-205.

Lopes, R.L., 2003: *Efeitos de uma restrição na emissão de CO_2 na economia brasileira*. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, SP: Universidade de São Paulo, 170 pp.

Low, P., 2009: Tackling climate change and competitiveness: the relevance of WTO. Conference Draft, 19th October 2009. Global Challenges at the Intersection of Trade, Energy and the Environment Conference. Genebra: Center for Trade and Economic Integration.

Marengo, J.A., 2007: *Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade*. Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. 2ª ed. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente/ Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Série Biodiversidade nº 26.

MCTI, 2005: Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação (MCTI), Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima.Brasília, DF.

MCTI, 2010: Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação (MCTI), Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima.Brasília, DF.

Miranda, D.F. *et al.*, 2011: Levantamento de barreiras e do potencial do mecanismo de desenvolvimento limpo programático no Brasil. Projeto de Fortalecimento das Instituições e Infraestrutura do Mercado de Carbono no Brasil, Banco Mundial / Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e BM&FBOVESPA (Coords.).

Nye, J., 2010: *The Future of Power.* New York, NY: PublicAffairs Boks.

Okereke, C. *et al.*, 2009. Conceptualizing climate governance beyond the international regime. *Global Environmental Politics*, **9**(1), 58-78.

Ostrom, E., 2010. Polycentric systems for coping with collective action and global environmental change. *Global Environmental Change*, **20**(4), 550-557.

OTCA, 2011: Plan de Trabajo.(Plan de trabajo de la Coordinación de Salud: Proyecto Otca/BID para un Sistema de Vigilancia en Salud Ambiental en la Región Amazónica. Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (Otca). Disponível em http://otca.info/portal/admin/_upload/documentos/Plan_Trabajo_Coordinacion.pdf

Peña, F., 2010. Um desafio para a governabilidade global: reflexões sobre a Conferência de Copenhague. *Política Externa*, **18**(4), 43-46.

Ribeiro, T.M.M.L., 2011. *Transformações na abordagem da mudança global do clima. De questão secundária a questão central no sistema internacional (1979-2009): um estudo exploratório.* Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília (UnB), Brasília, DF.

Richardson, B. e S. Wood, 2006: *Environmental Law for Sustainability: A Reader*. Oxford, UK, Portland, OR: Hart Publishing.

Ringius, L. *et al.*, 2002: Burden sharing and fairness principles in international climate policy. *International Environmental Agreements*: Politics, Law and Economics, **2**(1), pp. 1-22.

Romeiro, V. e V. Parente, 2011: Regulação das mudanças climáticas no Brasil e o papel dos governos subnacionais, pp. 43-56. In: *Mudança do Clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios*. [Seroa da Motta, R. *et al.* (Eds.)]. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea).
Russar, J.A.M., 2008. Panorama de atores e iniciativas no Brasil sobre mudanças do clima. São Lourenço da Serra, SP: Vitae Civilis, 58 pp.

Saravia, E., 2006: Introdução à teoria da política pública, pp. 19-42. In: *Políticas públicas*, coletânea, vol 1. [Saravia, E. e E. Ferrarezi. (Org).]. Brasília, DF: Escola Nacional de Administração Pública (ENAP).

Seroa da Motta, R. *et al.*, 2011: *Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios*. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea).

Seroa da Motta, R. *et al.*, 2011: A Política Nacional sobre Mudança do Clima: aspectos regulatórios e de governança, pp. 31-42. In: *Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios*. [Seroa da Motta, R. *et al.* (Eds.)]. Brasília DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)..

Silva, D. H. da., 2009: Protocolos de Montreal e Kyoto: pontos em comum e diferenças fundamentais. *Revista Brasileira de Política Internacional*, **52**(2), 155-172.

Soares, A. da °C. *et al.*, 2011: Organização do mercado local de carbono: Sistema Brasileiro de Controle de Carbono e instrumentos financeiros relacionados. Projeto de Fortalecimento das Instituições e Infraestrutura do Mercado de Carbono no Brasil, Banco Mundial / Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e BM&FBOVESPA (Coords.).

Souza, A.M. *et al.*, 2011: Regulamentação dos ativos ambientais no Brasil. Projeto de Fortalecimento das Instituições e Infraestrutura do Mercado de Carbono no Brasil, Banco Mundial / Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e BM&FBOVESPA (Coords.).

Stern, N., 2007: *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Sterner, T., 2003: *Policy instruments for environmental and natural resource management*. Washington, DC: Resources for the Future Press.

Tamiotti, L., 2011: The legal interface between carbon border measures and trade rules. Special Issue: Consuming and producing carbon: what is the role for border measures? Climate Policy,11(5), **1202-1211**.

Tamiotti, L., e V. Kulacoglu, 2009: National climate change mitigation measures and their implications for the multilateral trading system: key findings of the WTO/UNEP Report on Trade and Climate Change. *Journal of World Trade*, **43**(5), 1115-1144.

Torvanger, A. e G. Odd, 2004: An evaluation of pre-Kyoto differentiation proposals for national greenhouse gas abatement targets. *International Environmental Agreements*: Politics, Law and Economics, **4**(1), 65-91.

Tourinho, O.A.F. *et al.*, 2003: Uma aplicação ambiental de um modelo de equilíbrio geral. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Texto para discussão n° 976. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/pub/td/2003/td_0976.pdf. Acessado em14/06/2006.

Trevisan, A.P. e H.M. Bellen, 2008: Avaliação de políticas públicas: uma revisão teórica de um campo em construção. *Revista de Administração Pública*, **42**(3), 529-550.

Vargas, E.V., 2008. Mudança do clima na perspectiva do Brasil. *Interesse Nacional*. Ano 1 n° 1. São Paulo: Abril-Junho, 45-55.

Victor, D. G., 2010. Global warming policy after Copenhagen. Willard W. Cochrane Lecture in Public Policy. January 21, University of Minnesota, mímeo, 15 pp.

Viola, E., 2002. O regime internacional de mudança climátics e o Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Sociais*, **17**(50), 25-46.

Viola, E., 2004: Brazil in the context of global governance politics and climate change, 1989-2003. *Ambiente & Sociedade*, **7**(1), 27-46.

Viola, E., 2005. As complexas negociações internacionais para atenuar as mudanças climáticas, pp. 183-197. In: *Meio ambiente no século 21: 21 especialistas falam da questão ambiental nas suas áreas de conhecimento*. [Trigueiro, A. (Coord.)]. Campinas, SP: Editora Autores Associados, selo Armazém do Ipê.

Viola, E. e H.R. Leis, 2007: *Sistema internacional com hegemonia das democracias de mercado. Desafios de Brasil e Argentina*. Florianópolis: Editora Insular, 232 pp.

Viola, E., 2009. O Brasil na arena internacional da mitigação da mudança climática 1996-2008. Centro de Estudos de Integração e Desenvolvimento (Cindes), Série Breves Cindes, 14. Disponível em http://www.cindesbrasil.org. Acessado em 21/06/2009.

Viola, E., 2010. A política climática global e o Brasil: 2005-2010. *Tempo do Mundo*, **2**(2), Agosto.

Viola, E. e °C.Y.A. Inoue, 2010. The global transition to a low-carbon economy and the protection of biodiversity: deadlocks and perspectives. In: *Everything is connected. Climate and Biodiversity in a Fragile World*. Brasília, DF: Embaixada do Reino Unido no Brasil. Disponível em http://webarchive.

nationalarchives.gov.uk/20130217073211/http://ukinbrazil.fco.gov.uk/resources/en/pdf/pdf1/PostBR_everythingconnected. Acessado em 7/11/2011.

Viola, E. e H. Machado Filho, 2010. O BICs (Brasil, Índia e China) e as negociações de mudança climática. Centro de Estudos de Integração e Desenvolvimento (Cindes), Série Breves Cindes, 35Disponível em http://www.cindesbrasil.org. Acessado em 17/04/2011.

Viola, E. *et al.*, 2013: *Sistema internacional de hegemonia conservadora. Governança global e democracia na era da crise climática*. SãoPaulo, SP / Brasília, DF: Annablume / Instituto de Relações Internacionais da Universidade de Brasília.

Waltz, K., 1979. *Theory of International Politics*. New York: Random House.

World Bank, 2008. *International trade and climate change. Economic, legal and institutional perspectives*. Environment and Development Series. The World Bank, Washington, DC:

WTO e Unep, 2009. *Trade and Climate Change*. A report by the United Nations Environment Programme (Unep) and the World Trade Organization (WTO). Disponível em http://www.wto.org/english/res_e/publications_e/trade_climate_change_e.htm. Acessado em 20/09/2011.

Young, O.R., 2000. Rights, Rules, and Resources in World Politics. In: *Global Governance: Drawing Insights from the Environmental Experience*. [Young, O.R. (Ed.)]. 2nd. printing. Cambridge, MA: MIT Press.

pbmc
painel brasileiro de mudanças climáticas

MinistÈrio do
Ciíncia, Tecnologia
e InovaÃ„o
GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

MinistÈrio do
Meio Ambiente
GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

FUNDO CLIMA