



pbmc

painel brasileiro de mudanças climáticas

Mudanças Climáticas e Cidades:

**Relatório Especial do Painel
Brasileiro de Mudanças Climáticas**

**Suzana Kahn Ribeiro e
Andrea Souza Santos (Eds.)**

Carlos Afonso Nobre

Presidente do Conselho Diretor

Suzana Kahn Ribeiro

Presidente do Comitê Científico

Andrea Souza Santos

Secretária-Executiva

Bruno Allevato Martins da Silva

Unidade de Apoio Técnico

KPMG

Assessoria Técnica

Autores:

Suzana Kahn Ribeiro - UFRJ

Andrea Souza Santos - UFRJ

Citação recomendada para este relatório:

PBMC, 2016: Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 116p. ISBN: 978-85-285-0344-9.

Índice

- i. Apresentação
- ii. Lista de acrônimos
- iii. Lista de tabelas
- iv. Lista de figuras
- v. Sumário executivo
- 1. Introdução
- 2. Resiliência urbana
- 3. Contribuições das cidades para o aquecimento global
- 4. Vulnerabilidades das cidades brasileiras às mudanças climáticas
 - 4.1. Ecossistemas
 - 4.2. Infraestrutura urbana
 - 4.2.1. Energia
 - 4.2.2. Transportes
 - 4.2.3. Edificações
 - 4.2.4. Resíduos sólidos
 - 4.2.5. Recursos hídricos
 - 4.2.6. Efluentes
 - 4.2.7. Drenagem urbana
 - 4.3. Saúde
 - 4.4. Zonas costeiras
- 5. Alternativas de mitigação em áreas urbanas
- 6. Alternativas de adaptação em áreas urbanas
- 7. Referências



Apresentação

O Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) é um organismo científico nacional que objetiva fornecer avaliações científicas sobre as mudanças climáticas de relevância para o Brasil, incluindo os impactos, vulnerabilidades e ações de adaptação e mitigação.

As informações são divulgadas por meio da elaboração e publicação de Relatórios de Avaliação Nacional, Relatórios Técnicos, Sumários para Tomadores de Decisão sobre Mudanças Climáticas e Relatórios Especiais sobre temas específicos. O Primeiro Relatório de Avaliação do PBMC, composto de três volumes: volume 1 – Base científica das mudanças climáticas; volume 2 – Impactos, vulnerabilidades e adaptação; e volume 3 – Mitigação das mudanças climáticas foi publicado entre 2013-2014.

Evidências científicas, apresentadas no Quinto Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas não deixam dúvidas de que o planeta está aquecendo e a ação humana é um dos fatores mais relevantes nesse processo.

Dada a importância das cidades no contexto das mudanças climáticas, o PBMC decidiu elaborar um relatório especial que traz uma avaliação sobre as vulnerabilidades das cidades frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas e às oportunidades para atuar em mitigação e adaptação.

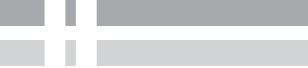
O relatório Especial Mudanças Climáticas e Cidades apresenta uma contextualização sobre as cidades e suas relações com a mudança climática antropogênica e a variabilidade natural de clima, seja pela contribuição das cidades para o aquecimento global, com as emissões de gases do efeito estufa, como também os riscos, as vulnerabilidades, os possíveis impactos da mudança do clima e os desafios que as cidades já enfrentam e deverão continuar enfrentando no futuro para contribuir com os esforços globais de mitigação, limitando a temperatura média do Planeta abaixo de 2°C, conforme determina o Acordo de Paris, e se adaptarem tornando-se resilientes.





Lista de acrônimos

AR5 – IPCC Fifth Assessment Report
CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
ECLAC – Economical Commission for Latin America and Caribbean
EE – Eficiência Energética
GEE – Gases do Efeito Estufa
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MCTI – Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação
NMM – Nível Médio do Mar
UN-HABITAT – Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos
PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem
PNA – Plano Nacional de Adaptação
RJ – Rio de Janeiro
SP – São Paulo
UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change
ONU – Organização das Nações Unidas
UNCSD – United Nations Conference on Sustainable Development
ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
EIA – Energy Information Administration
OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development
CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
SEMADS – Secretaria de Assistência e Desenvolvimento Social
ECF – European Climate Foundation
EPA – Environmental Protection Agency
COPPE – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia,
da Universidade Federal do Rio de Janeiro
TCU – Tribunal de Contas da União
BEN – Balanço Energético Nacional
SIN – Sistema Interligado Nacional
ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção
RMSP – Região Metropolitana de São Paulo
RMRJ – Região Metropolitana do Rio de Janeiro



Lista de acrônimos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

UCCRN – Urban Climate Change Research Network

ANA – Agência Nacional de Água

ANPPAS – Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

DAEE – Departamento de Água e Energia Elétrica

OMS – Organização Mundial da Saúde

SETRANS – Secretaria de Estado de Transporte

SMAC – Secretaria Municipal de Meio Ambiente

IEA – Agência Internacional de Energia

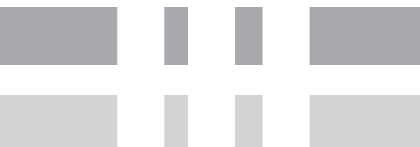
ANPET – Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

ACEEE – American Council For an Energy-Efficient Economy

WHO – World Health Organization





Lista de tabelas

- TABELA 1: Número de habitantes das dez maiores cidades brasileiras em 2014
- TABELA 2: Exemplos de serviços ecossistêmicos
- TABELA 3: Variação entre o consumo total de energia e o consumo de eletricidade previstos para 2030, em consequência das mudanças climáticas
- TABELA 4: Variação média da vazão anual em relação às projeções de referência: 2071 – 2100
- TABELA 5: Episódios de enchentes no Brasil ocorridos entre 2008 e 2012
- TABELA 6: Episódios de enxurradas no Brasil ocorridos entre 2008 e 2012
- TABELA 7: Episódios de deslizamentos no Brasil ocorridos entre 2008 e 2012
- TABELA 8: Quantidade de resíduos recebidas pelas unidades de processamento situadas nos municípios – ano de 2014.
- TABELA 9: Níveis de atendimento de esgoto de alguns municípios
- TABELA 10: Benefícios à saúde, atribuídos a ações de mitigação e adaptação
- TABELA 11: Principais impactos das mudanças climáticas em zonas costeiras
- TABELA 12: Emissão anual de GEE de importantes cidades brasileiras
- TABELA 13: Emissões de GEE nas cidades por setor
- TABELA 14: Potencial de transferência modal
- TABELA 15: Emissões evitadas considerando o Estado do Rio de Janeiro
- TABELA 16: Aumento de eficiência energética de equipamento residencial ao longo da década
- TABELA 17: Consumo de energia e eficiência energética no setor residencial (urbano e rural)
- TABELA 18: Consumo de energia e eficiência energética no setor comercial
- TABELA 19: Sumário da projeção de redução das emissões de GEE (tCO₂e)
- TABELA 20: Potencial de redução de emissão de GEE relacionados com uso da energia (tCO₂e)
- TABELA 21: Opções/ estratégias de adaptação para alguns setores
- TABELA 22: Estratégias de planejamento urbano como medidas de adaptação para os riscos às mudanças climáticas



Lista de figuras

FIGURA 1: Remanescente de cobertura vegetal (m^2) no município de São Paulo por habitante por distrito em comparação com a variação de temperatura aparente predominante da superfície na cidade.

FIGURA 2: Evolução da destinação final de resíduos (2010 – 2013)

FIGURA 3: Emissões diretas de CO_2 do transporte de passageiros (Mt)

FIGURA 4: Redução de emissões diretas de CO_2 do transporte rodoviário de passageiros (Mt)





Sumário executivo

Contribuição das cidades para as mudanças climáticas

A comunidade de pesquisa científica internacional sobre o clima aponta que as emissões antropogênicas de Gases do Efeito Estufa (GEE) são provavelmente a principal causa do aumento da temperatura desde meados do século XX, sendo as cidades um dos principais contribuintes dessas emissões. As cidades atualmente já consomem mais da metade da energia primária mundial com a consequente emissão de gases do efeito estufa, o que contribui para o agravamento do aquecimento global.

Hoje, mais da metade da população mundial (3,6 bilhões) vive em cidades. Em 2050, é esperado que a população urbana cresça de 5,6 para 7,1 bilhões, ou 64% para 69% da população mundial. Em termos globais, só a produção dos materiais necessários para suportar esse crescimento urbano resultará, até meados do século, na metade das emissões permitidas de carbono, ou seja, cerca de 10 bilhões de toneladas, caso se pretenda atender à meta de limite máximo de aumento de temperatura média do planeta de 2°C em 2100.

Reunindo mais da metade da população mundial, as cidades concentram ainda a maioria dos ativos construídos e das atividades econômicas, fatores que fazem com que esses ambientes estejam altamente vulneráveis às mudanças climáticas. Os impactos causados pelas alterações no clima já são sentidos nos centros urbanos e vêm aumentando nos últimos anos. Os principais problemas envolvendo mudanças climáticas e cidades são o aumento de temperatura, aumento no nível do mar, ilhas de calor, inundações, escassez de água e alimentos, acidificação dos oceanos e eventos extremos. A maioria das cidades brasileiras já tem problemas ambientais associados a padrões de desenvolvimento e transformação de áreas geográficas. Mudanças exacerbadas no ciclo hidrológico pelo aquecimento global tendem a acentuar os riscos existentes, tais como inundações, deslizamentos de terra, ondas de calor e limitações de fornecimento de água potável.

Há uma expectativa de que as cidades usem sua capacidade de liderança e influência política não só para que sejam cumpridas as propostas de redução de emissão de gases do efeito estufa dos países signatários do Acordo de Paris, mas também aumentando a ambição nos períodos de revisão, até porque os impactos da mudança climática irão afetá-las enormemente.

**Vulnerabilidade das cidades às mudanças climáticas**

A supressão de ecossistemas, desencadeada pelo crescimento urbano desenfreado, é um dos principais fatores de redução da resiliência das cidades, deixando-as mais vulneráveis aos problemas atuais e futuros, que poderão ser acentuados pelas mudanças climáticas, como o aumento das ilhas de calor, poluição do ar e inundações.

Os serviços ecossistêmicos mais importantes para o enfrentamento dos impactos das mudanças climáticas incluem o provisionamento de água potável, a regulação de eventos extremos, do clima local, da qualidade do ar e da água, da erosão e o sequestro de carbono. A falta de informação e conhecimento sobre a importância dos serviços ecossistêmicos pode levar a decisões equivocadas que envolvem perdas significativas de capital natural. Vale destacar que os custos de restauração são muito mais altos do que aqueles relacionados à preservação.

Os estresses climáticos poderão resultar em efeitos cascata ao longo dos diferentes sistemas urbanos de infraestrutura, que são interdependentes entre si, como os setores de água, saneamento, energia e transporte. A vulnerabilidade desses setores às mudanças climáticas varia de acordo com seu grau de desenvolvimento, resiliência e adaptabilidade. Assim, as variações do clima podem agravar pressões já existentes, principalmente nos países em desenvolvimento como o Brasil, onde grande parte da população ainda é desprovida de serviços básicos de saneamento, o tráfego das vias urbanas é caótico e a segurança energética está constantemente em discussão.

As modificações nos regimes das chuvas poderão influenciar a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos disponíveis para o abastecimento das cidades, já que estas são responsáveis pelo consumo de 22% do total da vazão de água captada no Brasil. É a maior demanda depois da irrigação, equivalente a 55% do total captado.

Em relação à energia, as cidades podem ser afetadas pela falta de oferta de energia no país, ligado ao aumento de consumo e indisponibilidade hídrica para geração de energia, como pelo impacto no sistema de distribuição devido à eventos climáticos extremos.

Assim como no caso de falta de água, a falta de energia pode impactar diretamente o funcionamento das cidades e sua economia. Para se ter uma ideia do tamanho da dependência das cidades à energia e água, basta estar atento aos diversos segmentos que são impactados em momentos de *blackout*/escassez nos centros urbanos: trânsito caótico, transporte público por trens e metrô paralisados, insegurança devido à queda na iluminação pública, serviços de telefonia, internet e saneamento interrompidos, hospitais paralisados e inúmeros estabelecimentos comerciais fechados.

Impactos na infraestrutura de transporte também são esperados devido a projeções relacionadas a mudanças no nível do mar, variações de temperatura, precipitação e a ocorrência de eventos climáticos extremos (incluindo chuvas intensas), que poderão acelerar a deterioração de estruturas, aumentar os riscos de interrupções no tráfego e acidentes, com consequente impacto na economia das cidades.

Esses episódios costumam ser acompanhados de inundações e alagamentos, cujo sistema de drenagem urbana não consegue conter, e resultam em bloqueio das vias urbanas e avarias a imóveis, entre outros transtornos.

Os danos que atualmente ocorrem são muitas vezes atribuídos a uma manutenção não adequada e a práticas antigas, que se for feita de forma correta podem representar medidas preventivas eficazes, como, por exemplo, manutenção de bueiros e sistemas de drenagem.

Sabe-se que as soluções tradicionais de drenagem urbana que incluem a canalização dos rios e redes pluviais acabam contribuindo para o agravamento das inundações ao transferir os alagamentos de montante para jusante, além de aumentar a velocidade de escoamento da água e a energia de arraste das enxurradas.



Ainda na ocorrência de fortes tempestades, os resíduos mal acondicionados e destinados de forma inadequada são espalhados e carregados para os sistemas de drenagem, contribuindo para a obstrução das galerias e canais e gerando mais alagamentos. Trata-se de um problema nacional, uma vez que apenas 58,5% do volume total de resíduos coletado no país é disposto de forma adequada em aterros sanitários.

Ainda em relação ao saneamento, a intensificação dos eventos extremos de precipitação pode aumentar o risco de alagamento de estações de tratamento de efluentes, principalmente naquelas mais próximas aos corpos receptores, como também gerar sobrecarga na rede de esgotos e drenagem. Os sistemas formais e informais de esgotamento sanitário têm capacidades diferentes de responder ao stress dos impactos das mudanças climáticas. Sistemas informais, tipicamente desenvolvidos com pouca organização e recursos, devem ser ainda menos capazes de suportar os impactos do clima com a possibilidade de agravamento da situação sanitária/ambiental já adversa.



Sumário executivo

Uma das preocupações mais tangíveis envolvendo o clima e a infraestrutura das cidades está relacionada às edificações. Em muitas cidades brasileiras, é comum o estabelecimento de moradias precárias em áreas de enchente e terrenos de alta declividade (ex.: encostas de morros). Durante eventos extremos de precipitação e fortes tempestades, esses assentamentos podem ser prejudicados pela ação direta das águas ou erosão do solo, com risco de deslizamentos e desabamentos. Além de gerarem perdas materiais, esses episódios ameaçam a integridade física da população sujeita à morte por afogamento ou soterramento.

Outra preocupação quanto às edificações diz respeito à resistência da infraestrutura urbana diante do aquecimento global e conforto térmico. Contudo, a vulnerabilidade das cidades não está somente na sua infraestrutura. A saúde da população urbana também pode ser bastante impactada, uma vez que elevadas temperaturas e forte radiação solar intensificam as reações fotoquímicas responsáveis pela liberação de gases e outras partículas poluentes na atmosfera, causando impactos indiretos na saúde cardiorespiratória da população. Além disso, a exposição ao calor extremo tem sido atribuída a casos de infartos, derrames, desidratações e até óbitos. Os principais grupos atingidos são idosos acima de 65 anos e crianças abaixo dos 5 anos de idade.

Alternativas de mitigação e adaptação em áreas urbanas

Visto que as cidades brasileiras são vulneráveis às mudanças climáticas e que possivelmente muitos serão os impactos que estas deverão enfrentar no futuro, faz-se necessária a definição de estratégias de mitigação e adaptação para torná-las resilientes.

Alternativas de mitigação estão relacionadas à limitação do aquecimento global, ou seja, referem-se às intervenções humanas que visam a redução das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), bem como a ampliação de seus sumidouros. Opções de mitigação estão disponíveis em todos os principais setores em cidades e podem ser mais eficientes se adotarem uma abordagem integrada que combine medidas para reduzir o consumo de energia e a intensidade dos gases do efeito de estufa do uso final dos setores, descarbonizar o fornecimento de energia elétrica, reduzir as emissões líquidas e aumentar os sumidouros de carbono em setores de atividades baseadas no uso da terra. Hoje, o maior potencial para redução das emissões em cidades no Brasil está no setor de energia, transporte e gestão de resíduos. Dentre as principais alternativas desses setores, podemos citar: edificações e equipamentos modernos e ecoeficientes, uso de tecnologias mais eficientes como a iluminação a LED nas áreas de iluminação pública, promoção do aumento da reciclagem de resíduos, aumento da coleta e tratamento de efluentes, utilização de resíduos na geração de energia e busca por um sistema de transporte mais sustentável, que inclui não apenas novas tecnologias, tanto de veículos como combustíveis e infraestrutura, mas também novas práticas e padrões de consumo.

Já adaptação é o ajustamento nos sistemas naturais ou humanos em resposta a estímulos climáticos reais ou esperados, ou seus efeitos, o que permite explorar oportunidades benéficas. Medidas de adaptação são fundamentais para o enfrentamento das mudanças climáticas já observadas e futuras. A literatura atual sobre o tema reforça a necessidade de cidades em todo o mundo agirem para se adaptarem aos efeitos adversos da mudança do clima, em especial as mais vulneráveis.

Uma ampla gama de opções de adaptação está disponível, mas é necessária uma abordagem mais extensa do que a que está atualmente ocorrendo para reduzir a vulnerabilidade às mudanças climáticas. Existem barreiras, limites e custos, que não são totalmente compreendidos. Contudo, assim como na questão da mitigação, não agir em adaptação custará muito mais no futuro. Dentre as principais alternativas de adaptação para infraestrutura urbana, destacam-se:

Alternativas de adaptação para a infraestrutura urbana

ENERGIA E TRANSPORTE	USO DO SOLO, EDIFICAÇÕES E ASSENTAMENTOS	RECURSOS HÍDRICOS
- Reforço da infraestrutura de distribuição e transmissão de energia. - Instalação de cabamentos subterrâneos na rede de distribuição. - Diversificação das fontes de energia, dando preferência às renováveis. - Mudanças nos projetos, substituição e adequação de estruturas (pontes, estradas, postes, fiação, pavimentos etc.). - Realocação e realinhamento de estradas, vias e linhas de distribuição. - Planos de emergência. Ex.: fechamento de vias durante eventos extremos, rotas alternativas, equipes de atendimento).	- Criação de espaços verdes para melhorar a drenagem e reduzir o efeito de ilha de calor urbana. - Proteção das barreiras naturais e artificiais. Ex: criação de diques, zonas pantanosas e úmidas como tampão para conter o aumento do nível do mar etc. - Revisão dos códigos de construção civil e regulamentos sobre o uso do espaço urbano. Ex: elevação dos edifícios em áreas sujeitas a inundações, uso de pavimentos permeáveis, obras de proteção às edificações, restringir a expansão de construções em áreas costeiras etc. - Construções ecoeficientes com ventilação passiva.	- Eficiência do uso da água; técnicas de armazenamento de água e conservação; reutilização da água; dessalinização; aproveitamento de águas pluviais. - Rever e modificar as fontes superficiais e subterrâneas de captação e transferências de água. - Aumentar instalações/capacidade de armazenamento. - Recuperação das bacias hidrográficas.



Sumário executivo

As dimensões principais para adaptação são o desenvolvimento de quadros de avaliação de riscos e de gestão que levem em conta os perigos climáticos urbanos, sensibilidade, capacidade de se adaptar e a consideração interativa de mitigação e adaptação em setores urbanos críticos – energia, água, transporte e saúde humana – e a inclusão de mecanismos abrangentes de integração de uso do solo urbano e governança. Do começo ao fim, o objetivo é contribuir para processos eficazes, em curso, e benéficos nas diversas cidades para responder aos riscos de extremos climáticos atuais e mudanças climáticas futuras. Essas respostas incluem o planejamento eficaz para salvaguardar todos os habitantes dos riscos climáticos de forma equitativa, enquanto mitiga as emissões de gases do efeito estufa, e assim, contribuindo para a redução da magnitude e impacto das mudanças futuras.

É importante que o planejamento das cidades inclua o conhecimento das vulnerabilidades existentes e riscos associados à ocorrência de eventos climáticos extremos. O ideal é que as cidades sejam remodeladas e planejadas de acordo com as prioridades existentes, visando torná-las resilientes às mudanças climáticas.

Respostas eficazes de adaptação e mitigação dependerão de políticas e medidas em várias escalas: internacionais, regionais, nacional e subnacional, apoiando o desenvolvimento de tecnologia, difusão e transferência, bem como financiamento para respostas às mudanças climáticas, que pode complementar e melhorar a eficácia das políticas que promovam diretamente adaptação e mitigação.

O poder público deve atuar na promoção de uma transição para um modelo urbano sustentável, com a definição de políticas que privilegiem a eficiência energética e melhor uso dos recursos naturais em todas as atividades urbanas, tais como medidas restritivas como pedágio urbano, nível mínimo de eficiência dos veículos, equipamentos e novas construções, apoio ao uso de energia renovável, entre outras. Medidas de incentivo também são bem-vindas, tais como: prioridade de circulação para veículos com ocupação completa, redução de impostos para residências e empreendimentos que utilizem energia renovável, por exemplo.

O sucesso dessas medidas implica uma mudança de comportamento da sociedade e no possível desbalanceamento entre o custo individual e o benefício coletivo. Isso significa que para que haja uma difusão de tecnologias mais eficientes e limpas, é necessário que se tenha uma política pública mandatária, como exigência de padrões mínimos de eficiência, taxaço, entre outros instrumentos econômicos.

A transição para uma economia de baixo carbono é inevitável. O mundo indubitavelmente caminha para um período com maiores restrições ambientais. Assim, o planejamento urbano sustentável não poderá ficar defasado do modelo de desenvolvimento do futuro.





Introdução

A mudança climática é o maior e mais complexo problema ambiental da atualidade. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) aponta que as emissões antropogênicas de Gases do Efeito Estufa (GEE) são provavelmente a principal causa do aumento da temperatura desde meados do século XX e, portanto, a maior responsável pelo desequilíbrio ambiental vigente (IPCC, 2013).

As projeções feitas pelo IPCC no Quinto Relatório de Avaliação (AR5) indicam que as mudanças ocorrerão mesmo em diferentes cenários de emissão e que, caso se mantenham os níveis atuais, a previsão para o final do século seria um aumento de 2,6 a 4,8 graus Celsius na temperatura média global, com incremento de 0,45 a 0,82 metro no nível do mar.

A comunidade de pesquisa científica internacional sobre o clima concluiu que as atividades humanas estão mudando o clima da Terra de forma que aumentam os riscos para as cidades. Essa conclusão baseia-se em diferentes tipos de evidências, incluindo a história do clima da Terra, observações de mudanças no registro recente de histórico de clima, emergindo novos padrões de extremos climáticos e modelos de clima global (ROSENZWEIG *et al.*, 2015).

Já é reconhecido que as cidades são as principais contribuintes para essas emissões. Os centros urbanos são responsáveis pelo consumo de 70% da energia disponível e por 40% das emissões de GEE (ECF, 2014; ROSENZWEIG *et al.*, 2011). Ademais, é nos grandes centros urbanos que se concentra mais da metade da população mundial.

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), em 2007, pela primeira vez na história, a população urbana ultrapassou a população rural em nível global. O processo de urbanização prosseguiu de maneira acelerada nos últimos 60 anos. Em 2014, 54% da população global era urbana, enquanto que em 1950 esse percentual era de apenas 30%. As estimativas apontam que em 2050 a população mundial urbana chegará a dois terços da população mundial, quase invertendo o quadro de 1950 no espaço de apenas um século.

O IPCC aponta que essa expansão vai acontecer principalmente em países em desenvolvimento, que não possuem a infraestrutura necessária para suportar esse crescimento sem grandes impactos sociais e ambientais (IPCC, 2014d). O Brasil, por exemplo, em 2015 já possuía 85,7% da população vivendo em áreas urbanas, com a previsão de que esse valor chegue a 91% em 2050 (ONU, 2014).

Reunindo mais da metade da população mundial, as cidades concentram ainda a maioria dos ativos construídos e das atividades econômicas, fatores que fazem com que esses ambientes estejam altamente vulneráveis às mudanças climáticas. Os impactos causados pelas alterações no clima já são sentidos nos centros urbanos e vêm aumentando nos últimos anos. Os principais problemas envolvendo mudanças climáticas e cidades são o aumento de temperatura, aumento no nível do mar, ilhas de calor, inundações, escassez de água e alimentos, acidificação dos oceanos e eventos extremos.



Foto: Tânia Rêgo/ Agência Brasil
(11/01/2016)

Vulnerabilidades decorrem da fragilidade dos assentamentos humanos em relação a fenômenos climáticos perigosos.

As vulnerabilidades decorrem da fragilidade dos assentamentos humanos em relação a fenômenos climáticos perigosos e estão ligadas a circunstâncias como localização – área de influência e capacidade de resistência – todos intrinsecamente ligados a diferentes condições ambientais, sociais, econômicas e políticas (PBMC, 2014a). A maioria das cidades brasileiras já tem problemas ambientais associados a padrões de desenvolvimento e transformação de áreas geográficas. Mudanças exacerbadas no ciclo hidrológico pelo aquecimento global tendem a acentuar os riscos de perigos existentes, como inundações, deslizamentos de terra, ondas de calor e limitações de fornecimento de água potável (PNA, 2015).

Como a maioria das atividades humanas atualmente está concentrada nas cidades, os centros urbanos têm um papel fundamental no enfrentamento das mudanças climáticas. Durante anos, o foco mundial em resposta às mudanças climáticas tem sido em estados nacionais, o que, na maioria das vezes, mostrou-se pouco efetivo em negociar acordos globais ou tomar medidas mitigatórias ou adaptativas. As cidades, por outro lado, estão preparando avaliações de risco, estabelecendo metas de redução de emissão de gases do efeito estufa, e comprometendo-se a agir (ROSENZWEIG et al., 2010).



Introdução

Ainda assim, os governos locais enfrentam muitos desafios em seus esforços para mitigar e se adaptar às mudanças climáticas. Nas cidades, o aquecimento global é apenas uma das diversas questões na agenda local. Os governos também são confrontados entre as prioridades atuais e os riscos no longo prazo, sendo essa situação agravada pelas incertezas que podem envolver a ocorrência e a gravidade dos impactos relacionados com o clima em uma cidade (ROSENZWEIG *et al.*, 2011b). Apesar de as cidades estarem desenvolvendo planos de ação do clima, ainda existe a necessidade de se trazer a mitigação e a adaptação às mudanças climáticas para ações de curto prazo, bem como para o processo de planejamento de longo prazo (ROSENZWEIG *et al.*, 2011b).

Nesse cenário, o relatório especial “Mudanças Climáticas e Cidades” apresenta uma contextualização sobre os possíveis impactos a que as cidades brasileiras estão expostas frente às mudanças climáticas, bem como as principais vulnerabilidades dos ambientes urbanos relacionadas à saúde, ecossistemas, zonas costeiras, edificações, transportes, energia, água, saneamento e resíduos sólidos. Com o objetivo de subsidiar a tomada de decisões por meio da compilação de dados disponíveis, o relatório ainda traz alternativas de adaptação e mitigação pertinentes ao atual contexto nacional.





Resiliência climática urbana

A urbanização é um processo multidimensional global, combinado ao aumento de incerteza devido às mudanças climáticas, migração de pessoas, e às mudanças na capacidade de apoiar os serviços ecossistêmicos (ERNSTSON *et al.*, 2010). As populações urbanas estão enfrentando desafios crescentes impostos por numerosas pressões, tanto naturais, como o aumento dos riscos de desastres naturais, como provocados pelo homem, tais como a rápida urbanização sem um planejamento adequado e a mudança climática (100 RESILIENT CITIES, 2014).

O termo Resiliência foi originalmente introduzido por Holling (1973) como um conceito para ajudar a compreender a capacidade dos ecossistemas em persistir no seu estado original, sendo esses sujeitos a perturbações. Esse conceito foi revisto por outros autores, como, por exemplo, Gunderson (2000); Barnett (2001); Carpenter *et al.* (2001); Gunderson e Holling (2002); Folke (2006); Scheffer (2009); Folke *et al.* (2010) e Jabareen (2013).

Inspirado no conceito de ecossistema resiliente, “resiliência significa a capacidade de um sistema, comunidade ou sociedade, exposta a riscos, de resistir, absorver, acomodar e se recuperar a partir dos efeitos de um perigo, num prazo adequado e de forma eficiente, com a preservação e restauração de suas estruturas básicas essenciais e funções” (UNISDR, 2010, p. 13).

Resiliência enfatiza o processo de recuperação, inovação e capacidade de aprender e transformar, focada em eventos futuros, enquanto a vulnerabilidade é uma condição anterior ao evento (ADGER, 2006; FOLKE, 2006; CUTTER *et al.*, 2008; OBERMAIER e ROSA, 2013).

A resiliência pode ser definida também como a capacidade do sistema de responder à mudança ou perturbações sem alterar o seu estado básico (WALKER e SALT, 2006; AHERN, 2011). Em algumas áreas, o termo resiliência foi tecnicamente usado num sentido estrito para se referir à taxa de retorno ao equilíbrio após uma perturbação, chamado de engenharia de resiliência por Holling em 1996 (FOLKE *et al.*, 2010).

No contexto urbano, o conceito de resiliência derivou de estudos sobre a maneira pela qual os sistemas ecológicos lidam com tensões e perturbações causadas por fatores externos (JABAREEN, 2013). Uma cidade resiliente tem a capacidade de resistir e de se recuperar mais facilmente frente aos impactos das mudanças climáticas (MEHROTRA *et al.*, 2009). Cidade resiliente descreve a capacidade das cidades para funcionar, onde as pessoas que vivem e trabalham nas cidades, particularmente os pobres e vulneráveis, sobrevivem e prosperaram, não importando qual o estresse ou choques com que eles se deparem (100 RESILIENT CITIES, 2014).



Resiliência climática urbana

Dois tipos de fatores que podem afetar a normalidade de uma cidade devem ser considerados numa estratégia de resiliência. São eles: choques e estresses crônicos. Os choques exigem uma ação imediata, devido aos possíveis impactos que podem perturbar a rotina de uma cidade. Já os estresses crônicos resultam de tendências de longo prazo, principalmente relacionadas ao clima, à área social, a situações demográficas e a mudanças econômicas (100 RESILIENT CITIES, 2014).

RESILIÊNCIA



É a capacidade de indivíduos, comunidades, empresas, instituições e cidades se adaptarem às condições de mudança e manterem ou recuperarem a funcionalidade e a vitalidade frente a estresses, choques e pressões crônicas, e emergirem mais fortes.

Em vários níveis – individual, famílias, comunidades e regiões –, através da resiliência, podemos manter condições habitáveis no caso de catástrofes naturais, perda de energia ou outras interrupções de serviços. Com relação à mudança climática, a resiliência envolve adaptação à ampla gama de impactos, localizados e regionais, que são esperados com um planeta mais aquecido: tempestades mais intensas, precipitação mais intensa, inundações costeiras e em regiões de baixa altitude como vales, secas mais longas e mais severas em algumas áreas, incêndios florestais, derretimento do solo de *permafrost* (solo perenemente congelado no Ártico) e geleiras e aumento de temperatura (100 RESILIENT CITIES, 2014).

Ser resiliente é agir de forma preventiva e eficiente, para que choques tragam o menor risco possível para a cidade. No caso de choques inevitáveis, as cidades devem deter de informações importantes e suficientes para agir, uma governança pronta para atuar, infraestrutura adequada, operações específicas e cidadãos capazes de se proteger e ajudar a outros. É o aprendizado constante que torna a cidade e os seus cidadãos menos frágeis (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2015). Aumentar a resiliência de uma cidade é, portanto, sofrer menos impacto com a recorrência de um determinado choque, e a adaptação deve acontecer em todos os setores, especialmente os mais vulneráveis.

Capacidade de resiliência também requer a construção de uma infraestrutura social adaptável a assegurar a participação significativa e alcançar a equidade em face de mudanças socioeconômicas e perturbações, e uma ampla participação das partes interessadas (atores-chave) no planejamento e nas decisões políticas.

Resiliência exige uma nova maneira de pensar a sustentabilidade. É mais estratégica do que um conceito normativo, porque, para ser eficaz, a resiliência deve ser explicitamente com base em, e informada por unidades ambientais, ecológicas, sociais e econômicas e dinâmicas de um determinado lugar, e deve ser integrada por meio de uma gama de escalas interligadas (PICKETT *et al.*, 2004; AHERN, 2011). Além disso, por definição, a resiliência depende de ser capaz de se adaptar a mudanças inesperadas e sem precedentes (AHERN, 2011). Assim, construir e monitorar o nível de resiliência em uma cidade tem que se considerar uma estratégia de planejamento urbano sustentável no longo prazo.



Fernando Frazão/ Agência Brasil
(29/02/2016)

A mudança do clima intensifica e amplia problemas que muitas vezes já são conhecidos numa cidade.

A mudança do clima intensifica e amplia problemas que muitas vezes já são conhecidos numa cidade, como a ocorrência de fortes chuvas com pontos de alagamento, inundações e deslizamentos, a expansão de doenças, com a presença de mosquitos vetores, como é o caso da dengue, zika e chikungunya, entre outras. Somado a esses problemas, surgem novos desafios como o desabastecimento de água causado por secas prolongadas, as ondas de calor mais frequentes e o aumento do nível do mar (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2015).

Há um avanço na literatura sobre as implicações das mudanças climáticas em áreas urbanas, particularmente em países em desenvolvimento, onde as cidades estão crescendo rapidamente e grande parte das populações urbanas é pobre, ou de outra forma, particularmente vulnerável a perturbações relacionadas com o clima (WILBANKS *et al.*, 2007; SATTERTHWAITTE *et al.*, 2007; BALK *et al.*, 2009; TYLER *et al.*, 2010).

Grande parte da abordagem existente sobre a redução do impacto climático urbano e adaptação está relacionada a respostas técnicas específicas para riscos climáticos particulares, tais como, uma infraestrutura solidificada ou padrões de design. Esta abordagem analítica é um passo inicial importante, mas geralmente



Resiliência climática urbana

não identifica impactos indiretos ou cumulativos, questões ligadas ao fracasso institucional e feedbacks entre os sistemas urbanos e agentes, ou faz o suficiente para contabilizar a incerteza (SCHIPPER, 2007; TYLER *et al.*, 2010).

Muitos impactos climáticos não surgem especificamente de riscos climáticos, mas a partir de uma combinação de fatores. Muitos outros fatores podem tirar a cidade da sua normalidade, por exemplo, no caso de New Orleans, os danos causados pelo furacão Katrina não foram causados apenas pela tempestade, mas há lapsos na manutenção do sistema de diques, a destruição de zonas não úmidas, a expansão de habitações urbanas em bairros de baixa altitude que nunca deveriam ser construídos, a falta de sistemas de comunicação e de transporte público para evacuar a população de baixa renda, idosa e populações marginalizadas nesses bairros, e a ausência da preparação de um plano eficaz para emergências em qualquer nível de governo. A ocorrência de um furacão de categoria 4 não era inesperado, e todos esses outros fatores tinham sido claramente identificados. O que faltava era uma estrutura preparada para que vários órgãos e jurisdições pudessem responder aos perigos combinados, considerando que esses eram esperados (BOURNE, 2004; FISCHETTI, 2001; TYLER *et al.*, 2010).

Incertezas climáticas e tendências de urbanização dinâmicas mostram cidades em desenvolvimento com novos e desconhecidos desafios de planejamento.



Incertezas climáticas e tendências de urbanização dinâmicas mostram cidades em desenvolvimento com novos e desconhecidos desafios de planejamento. Os países em desenvolvimento precisam investir numa infraestrutura urbana em um ritmo mais rápido para atender às necessidades de uma população pobre em expansão, de forma a permitir o investimento privado, que irá criar oportunidades econômicas para uma força de trabalho nacional em expansão.

Os investimentos em desenvolvimento urbano e infraestrutura são extremamente caros e em grande parte irreversíveis. Com os custos de suporte e social e as incertezas econômicas e climáticas, os tomadores de decisão enfrentam um dilema nas cidades: como orientar os investimentos para atender às diversas necessidades dos habitantes e da economia urbana, mesmo sob condições climáticas imprevistas e impactos indiretos inesperados (TYLER *et al.*, 2010).

A mudança climática causada pelo homem apresenta riscos significativos para cidades, além dos riscos familiares causados por variações naturais do clima e padrões climáticos sazonais. Ambos os tipos de riscos requerem atenção sustentada dos governos locais a fim de melhorar a resiliência urbana (ROSENZWEIG *et al.*, 2015).

A partir do conhecimento das vulnerabilidades climáticas, elas podem ser avaliadas considerando como os sistemas frágeis ou grupos marginalizados estão expostos a impactos climáticos diretos ou indiretos. Em seguida, é possível iniciar o processo de desenvolvimento de estratégias de resiliência para responder às vulnerabilidades identificadas. Finalmente, o processo de implementação de ações de construção de resiliência gera novos conhecimentos e leva a uma melhor compreensão das vulnerabilidades, bem como das características do sistema e capacidades do agente, a fim de melhorar as estratégias de forma iterativa (TYLER *et al.*, 2010).

Aumentar a resiliência das cidades envolve abordar redução da base de pobreza. Uma cidade resiliente é aquela que está preparada para os impactos climáticos atuais e futuros, limitando assim a sua magnitude e gravidade (PBMCM, 2014b).

Uma estratégia de resiliência é, por definição, de longo prazo. Devem-se incorporar novos conhecimentos científicos sobre mudanças climáticas, inovações urbanas, mudança de comportamento e perspectiva dos habitantes (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2015).



Uma estratégia de resiliência é, por definição, de longo prazo. Devem-se incorporar novos conhecimentos científicos sobre mudanças climáticas, inovações urbanas, mudanças de comportamento e perspectiva dos habitantes (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2015).

A estratégia de resiliência climática de uma cidade é usualmente um amplo documento de orientação de nível municipal preparado pelo governo local ou por uma organização pública ou privada especializada. Ela deve fornecer o contexto, as evidências e análises justificando ações para fortalecer a resiliência urbana às mudanças climáticas.



Resiliência climática urbana

Estratégias para melhorar a resiliência e gestão dos riscos em cidades incluem a integração da redução do risco de desastres com a adaptação às mudanças climáticas; planejamento urbano e no uso da terra, e *design* urbano inovador; instrumentos financeiros e parcerias público-privadas; gestão e valorização dos serviços ecossistêmicos; construir instituições fortes e desenvolvimento de capacidades em comunidades; recuperação resiliente pós-desastre e reconstrução (ROSENZWEIG *et al.*, 2015).

Enquanto as estratégias de resiliência das cidades serão diferentes entre si, dependendo das condições locais, vulnerabilidades climáticas e capacidade de resposta, elas devem responder a políticas de desenvolvimento existentes, procedimentos e planos (reconhecendo que, em muitos casos estes não são internamente consistentes), e devem estar ligadas a orçamentos e planos de trabalho das agências existentes, para que possam ser aplicadas prontamente.

A estratégia deve identificar ações de resiliência de alta prioridade que podem ser ligadas e coordenadas com outras iniciativas locais e financiadas por meio de recursos locais disponíveis ou fontes externas. Essa não é apenas uma questão de identificar “projetos”, mas também poderia incluir mudanças nas práticas existentes, a necessidade de novas práticas ou novas atividades distintas para responder a questões específicas.



Contribuições das cidades para o aquecimento global

Em 1900, quando a população global era de 1,6 bilhão, somente 13% da população vivia em áreas urbanas (cerca de 200 milhões). Hoje, mais da metade da população mundial (3,6 bilhões) vive em cidades. Em 2050, é esperado que a população urbana cresça de 5,6 para 7,1 bilhão, ou de 64 para 69% da população mundial.

A Organização das Nações Unidas estima que o Brasil terá 91% de sua população vivendo em áreas urbanas em 2050 (ONU, 2014). Isso significa a criação massiva de infraestrutura urbana com elevado consumo de energia. É importante notar que esse aumento se dará em quase sua totalidade nos países em desenvolvimento. Dependendo de como a política para o planejamento urbano for implementada, esse aspecto poderá tanto ser positivo, com modelos de urbanização modernos e sustentáveis, ou negativo, com a continuidade do crescimento caótico das cidades dos países mais pobres.

As cidades possuem um papel significativo nas emissões de gases do efeito estufa, em especial o dióxido de carbono (CO₂), pois atraem pessoas em busca de bens e serviços, oportunidades de emprego e qualificação profissional, aumentando a demanda por transportes, bem como a intensificação de seus impactos ambientais e sociais. O aumento populacional associado a uma elevada taxa de urbanização fará com que as cidades se tornem, portanto, os principais vetores do aumento das emissões de gases do efeito estufa.

As cidades estão bem preparadas para contribuir de forma significativa para a redução da emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE), pois elas têm uma forte e única influência sobre políticas fundamentais, como planejamento urbano e transporte público (BLOK *et al.*, 2012; GEA, 2012; C40 Cities, 2013; SETO e DHAKAL, 2014; SEI, 2014).

O ambiente construído ou os aspectos estruturais de cidades, como ruas, edificações e sistemas de infraestrutura, contribuem significativamente para as emissões de gases do efeito estufa, e podem amplificar impactos das mudanças climáticas (ROSENZWEIG *et al.*, 2011b).

Em termos globais, só a produção dos materiais necessários para essas construções resultará, até meados do século, na metade das emissões permitidas de carbono, ou seja, cerca de 10 bilhões de toneladas, caso se pretenda atender à meta de aumento máximo de temperatura média do planeta de 2°C em 2100 (IPCC, 2014c).

Contribuições das cidades para o aquecimento global

As cidades atualmente já consomem 70% da energia primária mundial com a consequente emissão de gases do efeito estufa, o que contribui para o agravamento do aquecimento global (ECF, 2014). Assim, os esforços na mitigação das emissões de gases do efeito estufa precisam contemplar o potencial das cidades e, em especial, o uso mais eficiente da energia e sua geração de forma distribuída, usando principalmente as fontes renováveis disponíveis.

A energia solar fotovoltaica distribuída, por exemplo, não traz apenas benefícios ambientais, uma vez que reduz a pressão pela energia gerada de forma centralizada, cada vez mais dependente de fontes fósseis. Traz também potenciais benefícios econômicos, já que seu custo de geração decresce rapidamente, tornando-a competitiva.

O que muito encarece a energia renovável, como o caso da energia solar, é a armazenagem, pois baterias ainda são extremamente dispendiosas. No entanto, quando se está conectado à rede de energia urbana, esse problema inexistente, pois, na ausência da fonte renovável, a energia vem da própria rede elétrica. A isso se soma o potencial de redução do consumo de energia, que é imenso nas edificações urbanas e iluminação pública.



Foto: Oswaldo Corneti/ Fotos Públicas
(20/05/2014)

O setor de transporte é outro que tem uma enorme contribuição nas emissões urbanas por conta do uso excessivo de veículos particulares na mobilidade

O setor de transporte é outro que tem uma enorme contribuição nas emissões urbanas por conta do uso excessivo de veículos particulares na mobilidade. O aumento da infraestrutura para oferta de transporte público e a melhoria de sua qualidade induziria a população a deixar de usar o carro em seus deslocamentos. Transporte é um dos setores que mais contribuem para as emissões de gases do efeito estufa nas cidades. No caso do Rio de Janeiro, esse setor representou 42% de todas as emissões de gases de estufa da cidade, em 2012 (SEA, 2010).

Recentemente, tanto o documento resultante da Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável, Rio + 20, denominado “O Futuro que Queremos” (UNCSD, 2012) como os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), incluem tópicos específicos em relação às cidades. No caso do Futuro que Queremos, o parágrafo 134 do documento explicita a importância das cidades para um futuro sustentável. O documento também reconhece que a mobilidade é um tema central para o desenvolvimento sustentável. O transporte sustentável auxilia no crescimento econômico e na acessibilidade, sendo, portanto, um meio de se atingir a equidade social, melhorar a saúde e a resiliência das cidades.

Sabemos que a mobilidade desempenha um papel crucial da qualidade de vida urbana e é um fator chave para a construção de uma cidade dita sustentável. A busca por um sistema de transporte adequado a uma nova realidade inclui novas tecnologias, tanto de veículos como combustíveis e infraestrutura, mas também novas práticas e padrões de consumo. Evidentemente não se encontrará uma única e satisfatória solução para melhoria da mobilidade urbana, mas sim o conjunto delas, dependendo do tamanho da cidade em questão, de suas características sócioeconômicas, geográficas, além dos aspectos culturais de seus habitantes.

O que facilita essa busca por um modelo sustentável de mobilidade é o fato de que, como mencionado anteriormente, a maior parte da expansão urbana esperada ainda não ocorreu, o que faz com que se tenha algum tempo restante para incorporar novas práticas. Assim, há uma expectativa de que as cidades usem sua capacidade de liderança e influência política para que sejam cumpridas as propostas de redução de emissão de gases do efeito estufa dos países signatários do Acordo de Paris, aumentando inclusive sua ambição nos períodos de revisão, até porque os impactos da mudança climática irão afetá-las enormemente. Os efeitos adversos do clima, como inundações, deslizamentos, aumento de temperatura e chuvas intensas, são todos mais percebidos pela população urbana.

De acordo com o Inventário Nacional de Emissões de GEE, as emissões do Brasil em 2012, eram de 1,2 Gt CO₂ e 41,1% menos do que o registrado em 2005 (MCTI, 2014). A principal razão para essa queda foi relativa ao setor de floresta, agricultura e mudança do uso do solo. Não há dúvida quanto à relevância desse setor, porém não se pode negligenciar o potencial significativo de redução das emissões que ocorrem no meio urbano.

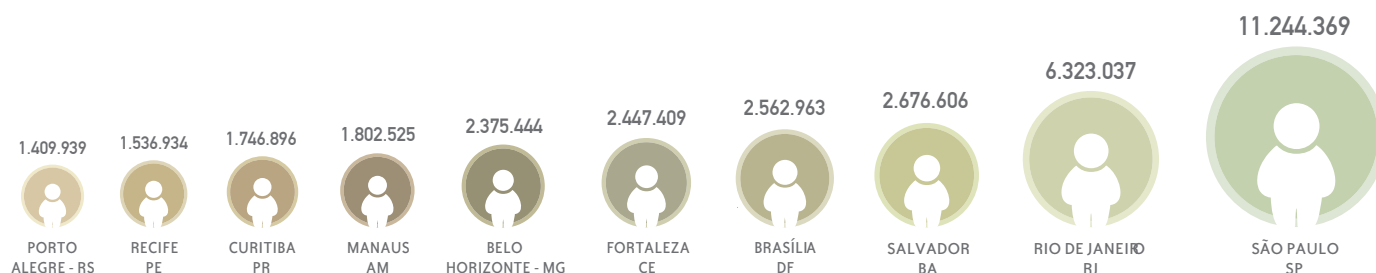
A população brasileira em 2014 foi estimada em 202,8 milhões, 6,3% a mais do que registrado no censo de 2010 (IBGE, 2014). A maior parte das pessoas reside em cidades médias com população entre 100 e 500 mil habitantes. No entanto, o Brasil também tem várias cidades com mais de 1 milhão de habitantes como mostra a Tabela 1.



Contribuições das cidades para o aquecimento global

Segundo o IBGE (2014), existem no Brasil 5.570 municípios, a maioria deles com menos de 100 mil habitantes. Porém, nesse universo, existem os grandes centros urbanos cujas populações passam de 1 milhão de habitantes. Abaixo, segue uma lista das maiores cidades do Brasil, ou seja, as mais populosas:

Tabela 1 - Número de habitantes das dez maiores cidades brasileiras em 2014.



A escolha dos materiais para a infraestrutura urbana, como concreto, aço, asfalto, entre outros, desconsidera a questão da intensidade de carbono. Também não se leva em conta a questão do efeito de aprisionamento de determinadas opções de uso do solo, transporte e habitação, pois, uma vez definida a opção, sua alteração torna-se muito custosa. Adicionalmente, ocorre o efeito albedo desses materiais, que reduzem a refletividade da radiação solar, aumentando, portanto, o calor retido. A infraestrutura tem vida útil longa, e, uma vez decidido um determinado caminho, fica muito mais custoso alterá-lo de forma a considerar tecnologias e materiais de baixa emissão de carbono. A infraestrutura de transporte no Brasil, por exemplo, favorece enormemente a modalidade rodoviária.

Assim, pode-se afirmar com segurança que o aquecimento global provocará impactos significativos em quatro setores na maioria das cidades: o sistema local de energia; demanda e fornecimento de água e tratamento de esgoto; transporte; e saúde pública (ROSENZWEIG *et al.*, 2011a). Com isso, as cidades se tornam cruciais para os esforços globais de mitigação e adaptação. A Agência Internacional de Energia estima em sua pesquisa mais recente que as áreas urbanas são responsáveis por 71% das emissões globais de carbono relacionadas a energia (EIA, 2008). Esse percentual vai crescer de acordo com as tendências de urbanização (ROSENZWEIG *et al.*, 2010; ROSENZWEIG *et al.*, 2011b).





Vulnerabilidades das cidades brasileiras às mudanças climáticas

A vulnerabilidade é o grau em que um sistema é suscetível e incapaz de lidar com os efeitos adversos das mudanças climáticas, inclusive variabilidade climática e os extremos. A vulnerabilidade é uma função do caráter, magnitude e taxa de mudança do clima e da variação a que um sistema está exposto, sua sensibilidade e sua capacidade de adaptação (PBMC, 2013b).

O conceito de vulnerabilidade refere-se às condições sociais, ambientais, econômicas e institucionais que determinam se uma sociedade tem a capacidade de evitar danos ou se está condenada a sofrer as consequências (KRELLENBERG *et al.*, 2014).

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, está prevista uma maior frequência de ondas de calor em áreas urbanas, com maior intensidade e duração. Além disso, pode-se prever uma deterioração da qualidade do ar e o aumento de áreas de risco, em especial nas cidades tropicais, cada vez mais sujeitas às chuvas intensas que podem provocar escorregamentos de encostas e alagamentos (RIBEIRO, 2008).

Conforme mencionado, mais da metade da população mundial vive em cidades, e estas enfrentarão muitos desafios relacionados à mudança climática, exercendo pressão sobre áreas urbanas por meio de aumento do número de ondas de calor, maior frequência e intensidade de secas, e chuvas com consequentes inundações, comprometendo o abastecimento de água; e, no caso de cidades costeiras, a elevação do nível do mar e a ocorrência de tempestades deverão gerar impactos sobre os habitantes, as infraestruturas e os ecossistemas (ROSENZWEIG *et al.*, 2011; SANTOS, 2014).

Globalmente, os impactos dos desastres relacionados com o clima estão aumentando. Esses podem ser exacerbados em cidades devido a interações das mudanças climáticas com os sistemas de infraestrutura urbana, as crescentes populações vivendo em centros urbanos e as atividades econômicas (ROSENZWEIG *et al.*, 2015). No caso do Brasil, o quadro social do país agrava os impactos socioambientais das mudanças climáticas nas cidades brasileiras (RIBEIRO, 2008).

Como a crescente urbanização tem implicações significativas para as mudanças climáticas, qualidade do ar, disponibilidade e qualidade da água, uso da terra e gestão de resíduos, se políticas certas são postas em prática, a atual onda de rápida urbanização oferece uma oportunidade sem precedentes para criar cidades sustentáveis, habitáveis e dinâmicas (OECD, 2014).

As cidades brasileiras são vulneráveis às mudanças climáticas e os possíveis impactos dessas alterações deverão ocorrer em diferentes escalas, de acordo com a vulnerabilidade e as características específicas de cada região do Brasil (PBMC, 2013b).

Algumas regiões do Brasil poderão apresentar alterações na temperatura e precipitação com o aquecimento global. Deverão ocorrer intensificações dos eventos severos, ocasionando impactos em cidades e áreas vulneráveis às mudanças climáticas (PBMC, 2013b).

Junto com a mudança dos padrões anuais de chuva, ou mesmo onde não houver alteração do total anual, deverão ocorrer intensificações dos eventos severos. Poderá ocorrer aumento de eventos extremos, principalmente de chuvas, nas grandes cidades brasileiras vulneráveis às mudanças climáticas, como São Paulo e Rio de Janeiro (NOBRE *et al.*, 2011; INPE, 2011; PBMC, 2013b).

Os impactos climáticos têm consequências potencialmente graves para a saúde humana e meios de subsistência, especialmente para a população urbana mais pobre, assentamentos irregulares e outros grupos vulneráveis. Quase todo o Nordeste, o noroeste de Minas Gerais e as regiões metropolitanas de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Salvador, Brasília e Manaus são as áreas do Brasil mais suscetíveis aos efeitos das mudanças climáticas que poderão ocorrer até o final deste século (PBMC, 2013b).

A elevação das temperaturas nas cidades, que devem ter dias e noites mais quentes em maior quantidade, repercute na qualidade de vida e exige uma revisão do uso das edificações, bem como seu redimensionamento. Parte expressiva da população brasileira que vive em áreas de risco estará mais sujeita aos impactos das mudanças climáticas. Por isso, combater a exclusão socioambiental é a primeira medida para evitar o pior: a perda de vidas humanas decorrentes do aumento de eventos extremos nas cidades brasileiras (RIBEIRO, 2008).

A maioria da população brasileira está sujeita a riscos e não tem condições de enfrentar os desafios que os cenários apontam. A adaptação às mudanças climáticas deve envolver investimentos em infraestrutura para a proteção da população e, também, a capacitação das pessoas, para que saibam atuar diante das situações de risco que deverão surgir com maior frequência nas cidades brasileiras (RIBEIRO, 2008).

Os impactos das mudanças climáticas deverão ocorrer em escala regional, concentrados nas regiões mais pobres do Brasil. Estratégias de adaptação se fazem necessárias para promover a resiliência das populações afetadas.



O capítulo 4 apresenta uma abordagem setorial para tratar as principais questões relacionadas às vulnerabilidades das cidades, os riscos e potenciais impactos das mudanças climáticas para as seguintes áreas: ecossistemas, infraestrutura urbana (energia, transporte, edificações, resíduos sólidos, recursos hídricos, efluentes e drenagem urbana), saúde e zonas costeiras.



4.1 Ecossistemas

Ecossistemas são definidos como complexos extremamente dinâmicos formados por plantas, animais, comunidades de microorganismos e elementos abióticos, interagindo como unidade funcional (MA, 2003). Suas funções incluem a provisão de habitat, a produtividade primária de insumos, decomposição de matéria morta, ciclagem de carbono e nutrientes, entre outros (HAASE *et al.*, 2014).

A conceituação de ecossistemas urbanos segue diferentes correntes na literatura disponível. Uma das vertentes, encontrada em Haase *et al.* (2014), associa o conceito aos benefícios que as áreas verdes trazem de forma direta ou indireta para as cidades. Tais espaços são definidos pelo Ministério do Meio Ambiente como o conjunto de áreas que apresentam cobertura vegetal, arbórea (nativa e introduzida), arbustiva ou rasteira (gramíneas) e contribuem para a qualidade de vida e o equilíbrio ambiental nas cidades (MMA, 2016). Assim, a partir de exemplos fornecidos por Haase *et al.* (2014), os “ecossistemas urbanos” podem ser atribuídos a uma diversa gama de usos da terra nas cidades, excetuando-se as áreas construídas. Estão incluídos parques, campos de esportes (como campos de futebol, golfe etc.), canais (de água), jardins e quintais, telhados verdes, jardins verticais, loteamentos, terrenos baldios, cemitérios, aterros, sítio industrial etc.

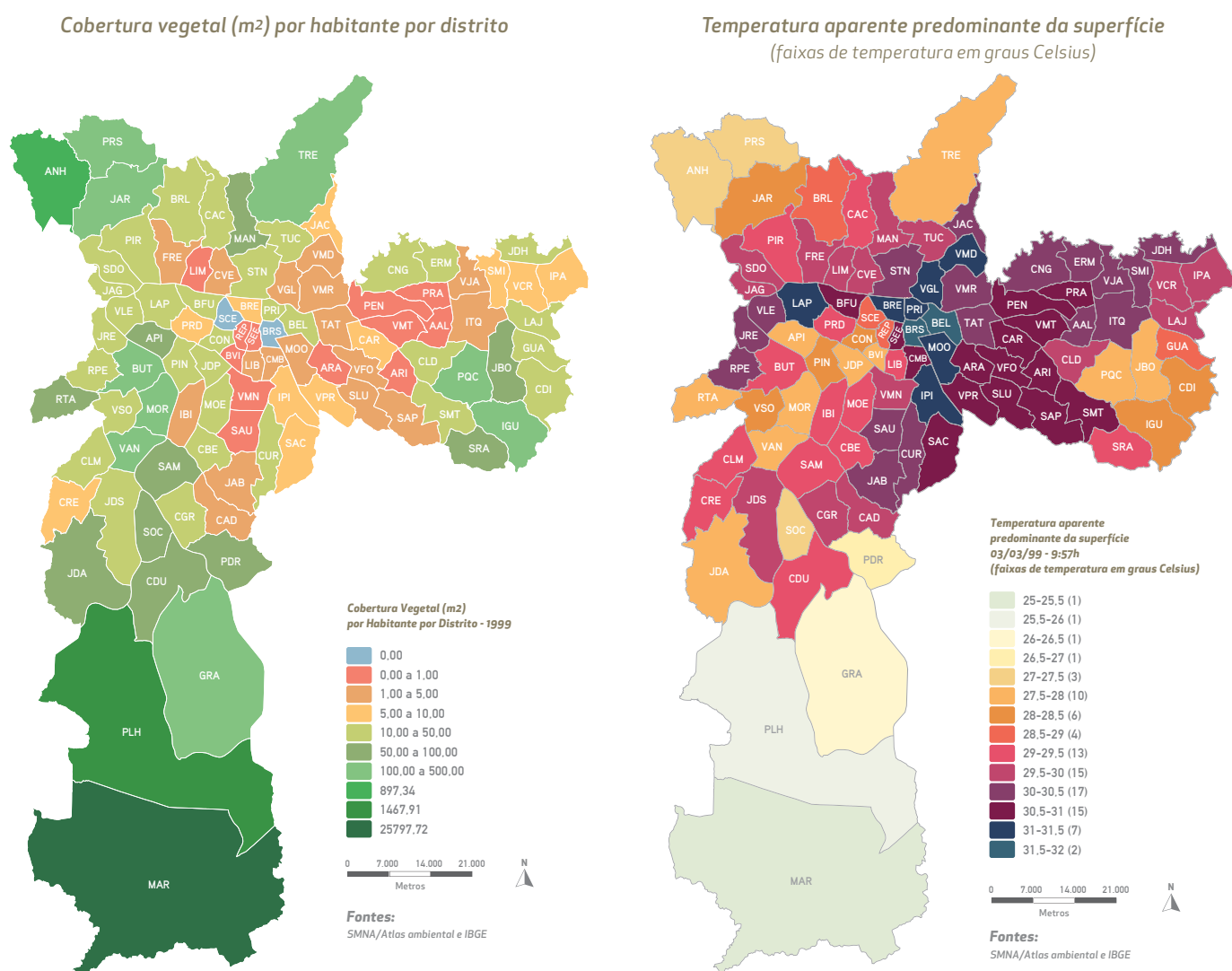
Por outro lado, Alberti (1999) considera que ecossistemas urbanos são compostos por vários subsistemas interligados (social, econômico, institucional e ambiental), cada um representando um complexo sistema próprio e afetando todos os outros em vários níveis estruturais e funcionais.

Neste relatório, foi escolhido o primeiro conceito pela importância de se apresentar como a supressão de ecossistemas, desencadeada pelo crescimento urbano desenfreado, reduz a resiliência das cidades. Um ecossistema bem definido possui fortes interações entre seus componentes, atuando de forma crucial na facilitação de transformações necessárias para manter o ambiente urbano saudável (MA, 2003; Haase *et al.*, 2014). Portanto, a falta de áreas verdes acaba deixando as cidades mais vulneráveis aos problemas atuais e futuros que poderão ser acentuados pelas mudanças climáticas, como o aumento das ilhas de calor, poluição do ar e inundações.

Ao mesmo tempo em que a ausência de ecossistemas aumenta o risco climático das cidades, “infraestruturas verdes” têm se mostrado uma estratégia relativamente rápida e barata para a adaptação das cidades frente às mudanças climáticas (NIELSEN *et al.*, 2016). Sua utilização vem ganhando destaque além do esperado em diversos projetos quando comparadas com medidas de engenharia convencional (“infraestrutura cinza”), por potencializarem os benefícios nos âmbitos social, econômico e ambiental, sendo vantajosas mesmo em um cenário de incertezas sobre a magnitude dos impactos das mudanças climáticas (CEBDS, 2015).

Um exemplo da influência que os ecossistemas podem exercer no clima local ocorre no município de São Paulo. A cidade avançou no processo de urbanização, dispersando sua mancha urbana e afetando os ecossistemas naturais, mantendo apenas remanescentes de vegetação. As áreas verdes estão desigualmente distribuídas e extremamente escassas, o que resulta numa variação de até 14°C nas diferentes regiões, o maior índice registrado no mundo (Figura 1).

Figura 1. Remanescente de cobertura vegetal (m²) no município de São Paulo por habitante por distrito em comparação com a variação de temperatura aparente predominante da superfície na cidade.



Fonte: Atlas Ambiental do Município de São Paulo (TAKIYA, 2002).

Dessa forma, no mosaico de paisagens urbanas onde predominam áreas impermeabilizadas, fragmentos de áreas verdes auxiliam na manutenção dos serviços ecossistêmicos, que podem ser definidos como os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas. Em outras palavras, serviços ecossistêmicos são as condições e os processos por meio dos quais os ecossistemas naturais, e as espécies que os constituem, sustentam e satisfazem a vida humana (MA, 2003; FISHER, TURNER e MORLING, 2009; RIBEIRO e FREITAS, 2010; DAW *et al.*, 2011). Dentre os serviços que o ecossistema pode oferecer para a população urbana, podemos citar:

Tabela 2. Exemplos de serviços ecossistêmicos

SERVIÇO ECOSSISTÊMICO	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	EXEMPLOS
PROVISIONAMENTO DE ÁGUA POTÁVEL 	Influência no fluxo, armazenamento e purificação da água; florestas e fragmentos florestais influenciam na quantidade de água disponível localmente.	Uma área de 4km ² em uma montanha na África do Sul foi a maior contribuinte, em relação à produção de água de todo o sistema hídrico da região. O benefício foi estimado entre US\$4,2 milhões a US\$66,6 milhões em 1997, diante da manutenção adequada do sistema (HIGGINS <i>et al.</i> , 1997).
REGULAÇÃO DE EVENTOS EXTREMOS 	Criação de amortecedores frente a eventos naturais e/ou resultantes das mudanças climáticas, como enchentes, tempestades, tsunamis, avalanches e deslizamentos de terra.	A bacia do rio californiano Napa (EUA) foi restaurada pela instauração de pântanos e regiões alagadas em torno da cidade, o que proporcionou um controle de inundações (ALMACK, 2010).
REGULAÇÃO DO CLIMA LOCAL E REGULAÇÃO DA QUALIDADE DO AR 	Existência de árvores e espaços verdes diminuem a temperatura nas cidades, além de regular a qualidade do ar, removendo os poluentes da atmosfera.	No Parque Cascine, em Florença, na Itália, o parque urbano apresentou capacidade de remoção de poluentes de cerca de 72,4kg/ha (variando de 3,4kg/ha a 69kg/ha depois de 19 anos). Dentre eles estavam O ₃ , CO, SO ₂ , NO ₂ e partículas poluentes, além do CO ₂ (PAOLETTI <i>et al.</i> , 2011).
REGULAÇÃO DO SEQUESTRO DE CARBONO 	Armazenamento de dióxido de carbono (CO ₂) por meio do sequestro pelas árvores e plantas, atuando como estoques de carbono e regulando o clima local.	Em 2002, o sequestro de carbono pelas árvores presentes no ambiente urbano dos Estados Unidos atingiu cerca de 22,8 milhões de toneladas por ano, equivalente à emissão de toda a população dos EUA em 5 dias. O serviço pode ser valorado em cerca de US\$460 milhões por ano (NOWAK; CRANE, 2001).
REGULAÇÃO DO TRATAMENTO DE ÁGUA 	Ecossistemas, tais como várzeas, têm a capacidade de filtrar efluentes por meio de microrganismos presentes no solo que destroem os resíduos e eliminam os patógenos.	Foi verificado que área de várzeas, em Lousiana (EUA), poderiam agir como alternativas a tratamento de águas residuais convencionais, gerando uma economia de US\$785 a US\$34.700 por hectare de terra de várzea (BREAUX; FARBER; DAY, 1995).
PREVENÇÃO DA EROSIÃO 	A erosão do solo é fator recorrente diante de processos de degradação das terras e desertificação. A cobertura vegetal provê um serviço de sustentação para o solo contra a erosão.	Um estudo estimou que investimentos para diminuir a erosão presente nos EUA para níveis aceitáveis custaria em torno de US\$8,4 bilhões, enquanto que os danos causados pela erosão já tinham atingido cerca de US\$44 bilhões por ano (PIMENTEL <i>et al.</i> , 1995).
REGULAÇÃO DO CONTROLE BIOLÓGICO 	Controle da dispersão de pragas e doenças transmitidas por vetores através de predadores e parasitas.	A dispersão de plantas agroparas foi controlada em Benin por meio da inserção de inimigos naturais da planta. O projeto teve um valor de US\$2,09 milhões, enquanto seu valor acumulado foi estimado em US\$260 milhões (assumindo que os benefícios permaneceriam constantes em 20 anos) (DE GROOTE <i>et al.</i> , 2003).

Tabela 2. Serviços Ecossistêmicos. São listados alguns dos serviços ecossistêmicos providos por ecossistemas naturais, seus benefícios e um exemplo de como ocorrem.



Vulnerabilidades das cidades brasileiras às mudanças climáticas

4.1 Ecossistemas

A falta de informação e conhecimento sobre a importância dos serviços ecossistêmicos pode levar a decisões equivocadas que envolvem perdas significativas de capital natural. Vale destacar que os custos de restauração são muito mais altos do que aqueles relacionados à preservação. Dessa forma, a manutenção e criação de novos ecossistemas urbanos deve fazer parte do planejamento das cidades como forma de diminuir as vulnerabilidades frente às mudanças climáticas (MADER *et al.*, 2010).

Além de exercer importante função na resiliência das cidades, os ecossistemas e serviços oferecidos por eles também podem ser impactados direta ou indiretamente pelas mudanças climáticas, com elevado grau de certeza, de acordo com o Quinto Relatório do IPCC (IPCC, 2014b). No que diz respeito à determinação da intensidade desses prejuízos, os estudos ainda se mostram incipientes, uma vez que os modelos matemáticos não levam em consideração diversas variáveis ambientais (barreiras geográficas naturais como empecilho a migrações, processos ecológicos evolutivos complexos como competição e mutualismo) (GIOVANINNI, 2011).

Assim, os impactos do clima passam a ser um grande desafio na manutenção dos ecossistemas, uma vez que poderão afetar a resiliência de áreas com alto número de espécies endêmicas e altamente ameaçadas pela perda de habitat e por outras atividades humanas, ou os chamados hotspots (HAASE *et al.*, 2014).

No caso da cidade do Rio de Janeiro, os ecossistemas terrestres mais afetados com as mudanças climáticas serão as encostas das serras e dos maciços litorâneos, onde são observados os remanescentes de vegetação nativa mais significativos. Em casos em que as cicatrizes de rupturas no manto florestal das encostas não se recomponham, novos processos de deslizamento de massa poderão ocorrer, potencializando a perda de habitats, nutrientes e alterações na composição das espécies.

E, em conjunto com a pressão antrópica, as mudanças climáticas não oferecem um futuro promissor à biodiversidade no Rio de Janeiro, por exemplo, em cujo atual cenário já existem espécies da fauna e flora vulneráveis ou criticamente ameaçadas de extinção. Espécies hoje consideradas “criticamente ameaçadas” poderão ser extintas num futuro próximo, ao passo que espécies “ameaçadas ou vulneráveis” irão se tornar muito mais raras (GIOVANINNI, 2011).

A proximidade de grandes cidades das zonas costeiras também pode aumentar a vulnerabilidade dos ecossistemas em relação ao aumento do nível do mar, por conta de riscos de erosão costeira e inundações (resultantes de eventos extremos como ressacas, ventos fortes e chuvas) (AVELAR; NETTO; DÓRSI, 2011).



4.1 Ecossistemas

Um ecossistema que pode ser impactado é o mangue, zona úmida definida como ecossistema costeiro que oferece diversos benefícios para o meio: retenção de sedimentos, ação depuradora e filtrante de partículas contaminantes, proteção da linha de costa, concentração de nutrientes, além de área de abrigo e descanso e alimentação de diversas espécies. A cada redução ou elevação do nível médio do mar há uma adaptação dos manguezais, evitando a sua extinção (SEMADS, 2001); porém, com os efeitos das mudanças climáticas, esse aumento torna-se constante, causando elevação da intrusão salina em zonas estuarinas e diminuição dos manguezais em função da disponibilidade de áreas de expansão. Pode ocorrer problema de captação de água salobra em locais que hoje captam água doce mais para montante (SOARES *et al.*, 2011).

No Brasil, além de estarem presentes em quase toda a extensão da costa brasileira, também podem ser encontrados no ambiente urbano, como, por exemplo, no Complexo Estuarino-Lagunar de Iguape-Cananéia e Paranaguá (entre os estados de São Paulo e Paraná) e na Baixada Santista (municípios de Santos, Cubatão, Bertioga, São Vicente, Guarujá, Praia Grande, Peruíbe e Itanhaém) (SANTOS; FURLAN, 2010).

Apesar de diversos estudos destacarem que a manutenção de ecossistemas urbanos saudáveis é uma importante ferramenta para aumentar a resiliência das cidades, conforme tratado no capítulo 2, infelizmente a grande maioria das cidades ainda não desenvolve estratégias de adaptação às mudanças climáticas, pois os riscos específicos ainda são uma incerteza, e outras prioridades, como a falta de serviços básicos (saúde, educação, transporte) e infraestrutura ultrapassada, tomam a frente das discussões (MEHROTRA *et al.*, 2009).

4.2 Infraestrutura urbana

O funcionamento das cidades depende de diversos sistemas de infraestrutura que possuem como objetivo comum assegurar as necessidades relacionadas à saúde e à qualidade de vida de seus residentes (ROSENZWEIG *et al.*, 2011b).

O complexo viário possibilita a entrega de alimentos, bens de consumo e o deslocamento humano; as diversas modalidades de transporte coletivo permitem o acesso ao trabalho e a outras atividades; as redes e serviços de saneamento básico fornecem água potável às residências e comércios, removem os esgotos, água pluvial e resíduos; a rede elétrica fornece a energia para a iluminação, conservação de alimentos perecíveis, climatização de ambientes etc. (ROSENZWEIG *et al.*, 2011b).

Segundo o IPCC, as alterações climáticas terão impactos profundos sobre o amplo espectro das funções, infraestruturas, serviços e edificações urbanas (IPCC, 2014a). A vulnerabilidade desses sistemas às mudanças climáticas varia de acordo com seu grau de desenvolvimento, resiliência e adaptabilidade (IPCC, 2007). Assim, as variações do clima podem agravar pressões já existentes, principalmente nos países em desenvolvimento como o Brasil, onde grande parte da população ainda é desprovida de serviços básicos de saneamento, o tráfego das vias urbanas é caótico e a segurança energética está constantemente em discussão (IPCC, 2014a).



Foto: Gov. Beto Richa/ANPr

Alterações climáticas terão impactos profundos sobre o amplo espectro das funções, infraestruturas, serviços e edificações urbanas.

Os estresses climáticos poderão resultar em efeitos-cascata ao longo dos diferentes sistemas urbanos de infraestrutura, que são interdependentes entre si (HUNT e WATKISS, 2011; IPCC 2014a). Por exemplo, os eventos climáticos extremos de precipitação, frequentemente associados a fortes vendavais, descargas elétricas atmosféricas, e atribuídos pelo IPCC às mudanças climáticas por ação antrópica, provocam danos na rede aérea de distribuição de energia, subestações e transformadores. A interrupção no fornecimento de energia nas cidades, por sua vez, tem impactos no transporte público e privado, devido a panes em metrô, trens e semáforos, no sistema hidráulico das redes de água e esgoto, nas residências, na economia etc. Esses episódios costumam ser acompanhados de inundações e alagamentos, cujo sistema de drenagem urbana não consegue conter, e que resultam em bloqueio das vias urbanas, avarias a imóveis e outros bens, danos à saúde das pessoas, entre outros transtornos.

A concentração populacional brasileira se distribui na forma de metrópoles, cidades grandes e médias, e a urbanização do Brasil é um fenômeno recente se comparado ao que ocorreu em países centrais. O processo de urbanização se deu de forma acelerada e desordenada, com ocupação em áreas de risco. Em relação à ocupação de encostas, por exemplo, metrópoles como São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Salvador e Recife apresentam elevada concentração populacional em vertentes com mais de 70 graus de declividade, o que é absolutamente inadequado. As edificações não obedecem a critérios técnicos e podem, muitas vezes, colocar em risco seus habitantes (RIBEIRO, 2008).



4.2 Infraestrutura urbana

Na maioria das cidades brasileiras, a urbanização de fundos de vales e rios tem ocorrido em tempos diferenciados. Atualmente, tais áreas assemelham-se climatologicamente a bacias aquecidas, produtoras de toneladas de poluentes originárias dos setores industriais, comerciais e de serviços, bem como da circulação de veículos (PBMC, 2014b).

A expansão urbana para além das planícies fluviais produziu bairros com altíssima densidade de pessoas e uma porcentagem muito pequena de áreas verdes. A supressão de vegetação refletiu em temperaturas mais elevadas nas superfícies edificadas (30oC a 33oC) e, ao mesmo tempo, essas áreas tornaram-se sujeitas a enchentes e inundações, devido à impermeabilização do solo (PMSP, 1999a; DAEE, 2009; PBMC, 2014b).

As cidades também são submetidas a múltiplas tensões e mudanças rápidas, e formam sistemas fortemente integrados, nos quais transportes, energia e infraestruturas de água têm que funcionar em conjunto. É importante projetar ações de adaptação setoriais na cidade, tendo em conta outras restrições (HALLEGATTE *et al.*, 2011; SANTOS, 2014).

Considerando essas conexões, este sub-capítulo tem como objetivo apresentar as vulnerabilidades associadas aos principais setores de infraestrutura cujos impactos interferem diretamente na vida dos habitantes das cidades. Para isso, será relatado como as mudanças climáticas podem afetar os serviços de saneamento básico, os recursos hídricos, as redes de energia, transporte e edificações urbanas, além das características das cidades brasileiras que as tornam mais vulneráveis e exemplos de impactos já enfrentados em eventos semelhantes aos previstos nos cenários do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas.

4.2.1 Energia

Conforme já destacado no capítulo 3, a infraestrutura urbana é responsável hoje por mais de 70% do consumo global de energia (ECF, 2014). A alta demanda por energia nas cidades tende a crescer ainda mais devido ao aumento da concentração populacional localizada nos grandes centros urbanos. As projeções apontam que a concentração populacional nas cidades brasileiras deve aumentar nas próximas décadas, chegando a 91% até 2050 (ONU, 2014).

Além do aumento populacional, outro fator que altera diretamente a demanda por energia nas cidades é o aquecimento global. O aumento da temperatura do ar intensifica o consumo de eletricidade na medida em que eleva a necessidade de condicionamento do ar. Nas cidades, a sensação térmica é ainda agravada pelo fenômeno de ilhas de calor, no qual a temperatura média nas regiões urbanas fica acima da temperatura observada nos municípios vizinhos, menos urbanizados. As ilhas de calor ocorrem, principalmente, devido à elevada quantidade de asfalto e concreto, materiais que concentram calor, em contraposição à quantidade de árvores e áreas verdes, que amenizam a temperatura. A temperatura do ar nas cidades pode chegar a ser 12°C acima da temperatura do ar em regiões adjacentes menos urbanizadas (EPA, 2016).

O setor energético pode ser afetado de diversas formas pelas mudanças climáticas, tanto no que diz respeito à base de recursos energéticos e aos processos de transformação, quanto aos aspectos de transporte e consumo de energia. Em termos de oferta de energia, praticamente todas as opções estão expostas a algum grau de vulnerabilidade às mudanças climáticas (PBMC, 2013b).

No Brasil, estima-se um aumento de 9% no consumo de eletricidade no setor residencial e de 19% no setor de serviços. Nacionalmente, avalia-se que o consumo total de energia elétrica pode subir até 8% acima do total projetado para 2030 (COPPE, 2008).

Tabela 3. Variação entre o consumo total de energia e o consumo de eletricidade previstos para 2030, em consequência das mudanças climáticas.

	2030	A2 (2080)	A2 (2090)	A2 (2100)	B2 (2080)	B2 (2090)	B2 (2100)
TOTAL (ktep)	402.821	406.202	407.304	409.304	405.697	404.146	404.008
RESIDENCIAL 	40.461	41.382	41.914	42.550	41.297	40.853	40.855
SERVIÇOS 	26.955	29.415	30.201	31.348	28.995	27.888	27.748
ELETRICIDADE (TWh)	947	986	1.001	1.022	980	962	960
RESIDENCIAL 	283	294	300	308	293	288	288
SERVIÇOS 	267	296	305	318	291	278	277

Fonte: COPPE (2008).

Cenários A2 e B2: Os dois cenários mais pessimistas dentre os quatro projetados pelo IPCC, sendo o primeiro mais pessimista do que o segundo.



4.2.1 Energia

As mudanças climáticas podem também afetar diretamente a oferta de energia no país. Em um cenário no qual o consumo de energia tende a aumentar significativamente, é necessário um planejamento visando a segurança energética. Configurando como as consumidoras majoritárias da energia global disponível, as cidades dependem da eletricidade para funcionar. Para se ter uma ideia do tamanho dessa dependência, basta estar atento aos momentos de *blackout* nos centros urbanos: o trânsito se torna caótico com a falta dos semáforos, o transporte público por trens e metrô fica impossibilitado, a insegurança cresce com a queda da iluminação pública, os serviços de telefonia, internet e saneamento são interrompidos, hospitais despreparados ficam impossibilitados de receber novos pacientes e tratar os pacientes já internados e inúmeros estabelecimentos precisam fechar as portas, como escolas, postos de gasolina e supermercados, trazendo incontáveis prejuízos e inconvenientes para toda a população.

A matriz energética no Brasil baseia-se primordialmente em fontes renováveis. De acordo com o Balanço Energético Brasileiro, 75,5% da energia elétrica gerada em 2015 foi de origem renovável, sendo 64% hidrelétricas, 8% biomassa, 3,5% eólica e 0,01% solar (EPE, 2016). Apesar de figurarem como uma alternativa na mitigação das mudanças climáticas, as fontes renováveis são extremamente sensíveis às alterações do clima, podendo ser potencializadas ou inviabilizadas, dependendo da região.

Gerada a partir do aproveitamento do fluxo das águas, a quantidade de energia produzida por meio da geração hidrelétrica está intrinsecamente ligada à disponibilidade de água. Os ciclos hidrológicos variam naturalmente durante os anos, impactando diretamente a geração de energia, como já aconteceu no Brasil durante o apagão em 2001. No entanto, com o advento das mudanças climáticas, essas variações tendem a ser mais frequentes e mais severas, podendo afetar de forma permanente a produção de energia no país.

O último relatório do IPCC prevê uma redução de até 22% nos padrões de precipitação na região Nordeste do Brasil, enquanto que o Sudeste do continente sul-americano pode vivenciar um aumento de até 25% (IPCC, 2014b). Estima-se uma redução de 1,0% a 2,2% na produção de energia hidráulica no Brasil, e os impactos serão maiores na região Nordeste, devido à queda na vazão do rio São Francisco, que pode chegar a registrar reduções da ordem de 24,6%, e consequente contração de 7% na produção de energia hidráulica (COPPE, 2008). O Sistema Interligado Nacional (SIN) contribui ativamente para reduzir os impactos das secas previstas à medida que concentra toda a energia produzida no país e distribui para todas as regiões do Brasil.

No entanto, quase 60% da potência instalada é composta por usinas a fio d'água (ONS, 2016). Essas usinas são caracterizadas pela ausência ou tamanho reduzido de reservatórios, e, embora sejam consideradas melhores do ponto de vista ambiental por exigirem menor área de alagamento – e, conseqüentemente, causarem menor impacto socioambiental –, os reservatórios são a única maneira de acumular potencial elétrico nos períodos de cheia, para continuar a transmissão de energia elétrica nos períodos de seca (ANEEL, 2008). Mesmo nas usinas com reservatório, ainda há o risco ligado à maior evaporação das águas devido ao aumento da temperatura, especialmente nas usinas de grandes dimensões (COPPE, 2008).



Tabela 4. Variação média da vazão anual em relação às projeções de referência: 2071 – 2100

BACIA	A2	B2
RIO PARANÁ	-2,4%	-8,2%
GRANDE	1,0%	-3,4%
PARANAÍBA	-5,9%	-5,9%
PARANAPANEMA	-5,0%	-5,7%
PARNAÍBA	-10,1%	-10,3%
SÃO FRANCISCO	-23,4%	-26,4%
TOCANTINS-ARAGUAIA	-14,7%	-15,8%
MÉDIA	-8,6%	-10,8%

Fonte: COPPE (2008).

Outra vulnerabilidade que o território brasileiro apresenta está relacionada à transmissão e distribuição de energia. Com o Sistema Integrado Nacional (SIN), que concentra e distribui energia para quase todo o território nacional, a distribuição de eletricidade pressupõe grandes quantidades de energia sendo transportadas por extensas linhas de transmissão. Esse modelo favorece a ocorrência de *blackouts* à medida que os longos trechos de transmissão estão mais vulneráveis ao clima do que trechos menores e o grande volume de energia transportado implica maior dificuldade para resolver eventuais problemas (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2014). Episódios de tempestades seguidas por quedas no fornecimento de energia são comuns nacionalmente. Em 2015, apenas um evento em São Paulo foi capaz de deixar mais de 800 mil residências sem eletricidade devido aos impactos gerados por uma forte tempestade que atingiu a região.



4.2.1 Energia

O Brasil conta com mais de 125 mil km de linhas de transmissão e distribuição, sendo a grande maioria linhas aéreas (ONS, 2014). Esse formato é o mais utilizado quando comparado às linhas subterrâneas, pela facilidade e, consequentemente, pelo custo reduzido de instalação. No entanto, as linhas aéreas estão expostas à ocorrência de eventos extremos que, de acordo com o IPCC, tendem a ser mais frequentes e intensos. Em São Paulo, apenas 11% da rede de distribuição é subterrânea. Esse percentual é ainda menor no Rio de Janeiro e em Belo Horizonte, com apenas 7% e 2%, respectivamente, da rede de distribuição tendo passado pelo processo de enterramento (AES, 2013).



Foto: Marcos Santos / USP Imagens

O Brasil conta com mais de 125 mil km de linhas de transmissão e distribuição, sendo a grande maioria, linhas aéreas (ONS, 2014).

A complexidade e a importância da energia elétrica no desenvolvimento e manutenção das cidades fazem deste um setor prioritário para ações de adaptação, e que necessita o envolvimento das esferas municipal, estadual e federal, a fim de reduzir sua vulnerabilidade frente às mudanças climáticas.

4.2.2 Transportes

O setor de transportes é vulnerável às condições de tempo e clima, e as avaliações concentram-se em mudanças nas condições meteorológicas que são diretamente relevantes para o setor (PBMC, 2013b).

As mudanças climáticas poderão afetar os sistemas de transporte (ferroviário, aéreo, rodoviário e aquaviário) em todos os países, impedindo potencialmente a mobilidade urbana, com consequência para o crescimento da economia e qualidade de vida das populações (SANTOS e BALASSIANO, 2014; SANTOS, 2014). Todos os modos de transporte costeiros são considerados vulneráveis, mas a exposição e os impactos podem variar por região, modo de transporte, localização e condição da infraestrutura de transportes (PBMC, 2013b; SANTOS, 2014).

Dependendo do aquecimento global futuro e da região, os modos de transporte e componentes do sistema podem ser afetados por uma ou várias mudanças simultâneas nas condições climáticas, incluindo verões mais quentes, eventos extremos de precipitação, aumento de tempestades e elevação do nível do mar (JRC, 2012).

Projeções de mudanças climáticas relacionadas com mudanças no nível do mar, variações de temperatura e precipitação, além do aumento na ocorrência de eventos climáticos extremos (incluindo chuvas intensas) irão afetar negativamente a infraestrutura de transporte (PBMC, 2013b). Os impactos referem-se a danos, interrupções ou redução do desempenho nos modos de deslocamento, podendo interferir no padrão de comportamento da população e na distribuição de insumos e serviços em uma cidade, além de aumentar a probabilidade de acidentes (SANTOS, 2014).

Mudança nas zonas costeiras e aumento do nível do mar poderiam, em longo prazo, demandar a realocação de estradas, linhas férreas, ou pistas de aeroportos, com consequências significativas para as instalações portuárias e para a navegação costeira. Túneis subterrâneos com sistemas de trânsito, estradas e ferrovias poderiam estar sujeitos a inundações mais frequentes ou mais graves (USDOT, 2002; SANTOS, 2014).

Se esses impactos não estão previstos no projeto de longo prazo da infraestrutura de transportes e manutenção, essas mudanças das condições meteorológicas poderiam, em algumas regiões, acelerar a sua deterioração, aumentar os riscos de danos graves, interrupção de tráfego e acidentes que podem, por sua vez, afetar as atividades econômicas. Dependendo da categoria do impacto, a distribuição geográfica do risco futuro é mais ou menos desigual (JRC, 2012).

A maioria das cidades brasileiras se caracteriza por operar sistemas de transporte coletivo de passageiros onde o ônibus é o principal, ou em alguns casos, a única opção existente. Além disso, a infraestrutura dos sistemas de transportes em muitas cidades é precária, sendo assim vulneráveis às mudanças de condições meteorológicas e climáticas.



4.2.2 Transportes

Sistemas de transportes urbanos são grandes emissores de gases do efeito estufa e são essenciais para o desenvolvimento de resiliência aos impactos climáticos. Ao mesmo tempo, as cidades precisam avançar rapidamente para adotar um novo paradigma que garanta o acesso a uma mobilidade limpa, segura e acessível para todos (ROSENWEIG *et al.*, 2015).

A infraestrutura de transporte está exposta a riscos decorrentes do aumento do nível do mar, tempestades e inundações (TRL, 2011; SANTOS, 2014), e pode se estender por milhares de quilômetros, podendo ser, portanto, exposta a uma série de eventos climáticos extremos. Os sistemas de transporte subterrâneos são específicos para as cidades e de grande importância para o funcionamento de muitas das grandes cidades. Eles podem ter vulnerabilidades específicas relacionadas a eventos extremos, e demandarem respostas de adaptação exclusivas (HUNT and WATKISS, 2011, p. 14; REVI *et al.*, 2014).

Os sistemas ferroviários são vulneráveis à variabilidade climática existente, e devem exigir um investimento considerável para resistir a temperaturas mais elevadas e eventos extremos mais frequentes (BAKER *et al.*, 2010). Estes podem ser mais vulneráveis à variabilidade climática do que o sistema rodoviário, onde o tráfego pode ser redirecionado mais facilmente no caso da ocorrência de um evento extremo (LINDGREN *et al.*, 2009; REVI *et al.*, 2014).

Estudo sobre a cidade de Chicago aponta que as mudanças climáticas podem aumentar os custos de manutenção e reparação da rede de transporte rodoviário (HAYHOE *et al.*, 2010; REVI *et al.*, 2014). Em Durban, pode ser necessária a revisão das normas de construção de estradas (ROBERTS, 2008; REVI *et al.*, 2014). Adaptação de estradas em zonas costeiras pode exigir o reforço com barreiras e a construção de estradas ou realocá-las para locais mais altos por conta do aumento do nível do mar (REGMI e HANAOKA, 2011; REVI *et al.*, 2014).

O planejamento de sistemas de transportes deve considerar a análise de risco para o aumento de temperatura, aumento da frequência e intensidade de precipitação, inundações e tempestades. Para isso, é importante uma integração das políticas de clima, transporte e desenvolvimento, bem como o monitoramento de dados climáticos e uma reavaliação das políticas, normas e padrões atuais para transportes (PBMC, 2013b).

Para garantir uma mobilidade mais eficiente e sustentável em nível municipal, os governos nacionais devem aprovar políticas que impactem diretamente a atratividade dos investimentos em infraestrutura de transporte urbano sustentável, bem como políticas que permitam aos governos locais implementarem suas próprias políticas para promover o transporte urbano sustentável (OECD, 2010; 2014).

Esforços de mitigação são essenciais para reduzir a ameaça das mudanças climáticas. Contudo, práticas de adaptação para aumentar a resiliência do setor e reduzir os impactos dos eventos climáticos extremos devem ser aceleradas. Com relação às medidas de adaptação em transportes, algumas experiências foram identificadas: realocação de estradas e vias; mudanças nos projetos e substituição e adequação de estruturas como pontes, estradas e pavimentos, de forma a suportar os possíveis efeitos que as condições meteorológicas e a mudança do clima poderão acarretar para o setor (PBMC, 2013b).

Quatro diferentes aspectos de estratégias de adaptação para o transporte podem ser destacados: manter e gerir; fortalecer e proteger; melhorar a redundância; e, quando necessário, a realocação. Cidades que desenvolveram planos de adaptação geralmente incluem atenção para sistemas de transporte mais resilientes (UN-HABITAT, 2011; REVI *et al.*, 2014). Dessa forma, duas abordagens sobre a adaptação das infraestruturas de transporte foram identificadas a partir revisão da literatura: por um lado, os desastres ou danos que atualmente ocorrem são muitas vezes atribuídos a uma manutenção não adequada e a práticas antigas, que se for feita de forma correta pode representar medidas preventivas eficazes (por exemplo, manutenção de bueiros e sistemas de drenagem); por outro lado, a longa vida da infraestrutura de transporte, combinada com a incerteza de clima futuro (mais de 20-100 anos), dificulta a tomada de decisão sobre estratégias de adaptação (JRC, 2012).

No caso do Brasil, a ausência de estudos sobre o conhecimento de vulnerabilidades, impactos das mudanças climáticas e necessidades de medidas de adaptação para transportes configura-se como uma lacuna na literatura nacional sobre mudanças climáticas (SANTOS, 2014).

No caso do Brasil, a ausência de estudos sobre o conhecimento de vulnerabilidades, impactos das mudanças climáticas e necessidades de medidas de adaptação para transportes configura-se como uma lacuna na literatura nacional sobre mudanças climáticas (SANTOS, 2014).



As oportunidades de adaptação para o setor de transporte podem estar associadas às ações de mitigação, que contribuirão para a melhoria da qualidade do ar e redução da emissão de GEE, com impacto positivo na saúde das populações, nas condições de transporte, a partir de transporte público mais eficiente, menos carbono intensivo e seguro (PBMC, 2014b). Todavia, investimentos na infraestrutura necessária e adequada ao contexto das mudanças climáticas e em novos modais de transporte também serão essenciais.



4.2.3 Edificações

Com déficit habitacional de 5.430.562 moradias (CBIC, 2015), os grandes centros urbanos brasileiros são marcados pelo seu crescimento rápido e desordenado. A ocupação de áreas de risco, desencadeada pela especulação imobiliária, por sua vez, fruto do desenvolvimento infrene das cidades, somados aos regimes de chuva intensos configuram um dos maiores problemas enfrentados pelos municípios anualmente.

Uma das preocupações mais tangíveis envolvendo o clima e as edificações está relacionada a episódios de fortes tempestades, responsáveis por inundações e desmoronamentos. Assim, assentamentos precários situados em áreas de enchentes e em terrenos de alta declividade estão sob o risco de destruição pela ação direta das águas ou erosão do solo após eventos extremos de precipitação. A alta energia de escoamento das águas superficiais pode causar o desabamento de moradias, o rompimento de obras de infraestrutura urbana, além de danos a outros bens e à integridade física da população.

As inundações e enxurradas são causadas pela combinação de precipitação extrema, áreas impermeabilizadas e sistemas precários de drenagem. Esses sistemas desembocam em rios e córregos que, com sua retificação e estreitamento, não possuem leitos capazes de suportar as cheias. O defasado sistema de drenagem frente ao crescimento acelerado das cidades configura-se ainda como causa principal das enchentes, em especial na região central do município de São Paulo (INPE, 2010).

De acordo com o IBGE, 37,1% dos municípios brasileiros foram atingidos por alagamentos entre 2008 e 2012, enquanto 895 municípios foram vítimas de desabamentos no mesmo período. Localmente, as regiões Sudeste e Sul respondem pela maior concentração de eventos de alagamentos, com 45,2% e 43,5%, respectivamente, destacando-se os estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e Santa Catarina. Já a região Nordeste lidera os eventos de deslizamentos e desabamentos, sendo responsável por 50,06% dos eventos, enquanto o Sudeste aparece em segundo lugar, com 45,32% dos incidentes. Nessas regiões, destacam-se os estados de Pernambuco, com 5.910 ocorrências, São Paulo, com 4.981 eventos, e Rio de Janeiro, com 4.969 incidentes (IBGE, 2013).

As tabelas abaixo, baseadas no Perfil dos Municípios Brasileiros 2013 divulgado pelo IBGE, mostram o grande impacto causado nas cidades devido aos episódios de enchentes, enxurradas e deslizamentos entre os anos de 2008 e 2012.



Tabela 5. Episódios de enchentes no Brasil ocorridos entre 2008 e 2012

OCORRÊNCIA	BRASIL	NORTE	NORDESTE	SUDESTE	SUL	CENTRO-OESTE
Número total de municípios	5.570	450	1.794	1.668	1.191	467
Total de municípios atingidos	1.543	142	403	577	360	61
Número total de ocorrências	8.942	496	2.344	4.515	1.316	271
Número total de ocorrências com edificações atingidas	1.406	130	381	527	313	55
Número total de edificações atingidas	655.589	105.228	84.506	246.418	216.158	3.279
Total de eventos com pessoas desalojadas ou desabrigadas	1.306	123	372	476	286	49
Total de pessoas desalojadas ou desabrigadas	1.406.713	253.947	394.826	396.189	337.364	24.387
Número total de ocorrências com óbitos	445	58	173	132	73	9

Fonte: Baseado em IBGE (2013).



Foto: Ricardo Giusti/ PMPA

O defasado sistema de drenagem frente ao crescimento acelerado das cidades configura-se ainda como causa principal das enchentes, em especial na região central do município de São Paulo (INPE, 2010).



4.2.3 Edificações



Tabela 6. Episódios de enxurradas no Brasil ocorridos entre 2008 e 2012

OCORRÊNCIA	BRASIL	NORTE	NORDESTE	SUDESTE	SUL	CENTRO-OESTE
Número total de municípios	5.570	450	1.794	1.668	1.191	467
Total de municípios atingidos	1.574	84	311	665	423	91
Número total de ocorrências	13.244	406	1.384	8.075	1.784	1.595
Número total de ocorrências com edificações atingidas	952	53	174	413	250	62
Número total de edificações atingidas	443.374	9.698	57.171	216.856	150.394	9.255
Total de eventos com pessoas desalojadas ou desabrigadas	722	43	141	324	176	38
Total de pessoas desalojadas ou desabrigadas	777.546	38.281	189.957	309.629	214.264	25.415
Número total de ocorrências com óbitos	128	3	28	63	27	7

Fonte: Baseado em IBGE (2013).



As inundações e enxurradas são causadas pela combinação de precipitação extrema, áreas impermeabilizadas e sistemas precários de drenagem.

Foto: Antonio Cruz/ Agência Brasil


Tabela 7. Episódios de deslizamentos no Brasil ocorridos entre 2008 e 2012

OCORRÊNCIA	BRASIL	NORTE	NORDESTE	SUDESTE	SUL	CENTRO-OESTE
Número total de municípios	5.570	450	1.794	1.668	1.191	467
Total de municípios atingidos	895	49	173	464	195	14
Número total de ocorrências	30.858	1.019	14.020	13.920	1.814	85
Número total de ocorrências com edificações atingidas	608	29	103	331	138	7
Número total de edificações atingidas	82.350	2.135	11.996	46.667	21.432	120
Total de eventos com pessoas desalojadas ou desabrigadas	504	27	85	282	105	5
Total de pessoas desalojadas ou desabrigadas	303.652	12.953	25.252	95.153	170.073	221
Número total de ocorrências com óbitos	103	5	19	58	20	1

Fonte: Baseado em IBGE (2013).

A região Nordeste lidera os eventos de deslizamentos e desabamentos, sendo responsável por 50,06% dos eventos, enquanto o Sudeste aparece em segundo lugar, com 45,32% dos incidentes.



O quadro, já crítico nos grandes centros urbanos, pode ser agravado com as mudanças climáticas. Chuvas acima de 50 mm/dia, que eram consideradas raras antes da década de 50, hoje ocorrem de duas a cinco vezes na cidade de São Paulo (INPE, 2010). O último relatório publicado pelo IPCC indica a possibilidade de aumento de até 25% nos padrões de precipitação no Sudeste da América do Sul até 2100. Outros estudos preliminares ainda sugerem que uma elevação de 2°C a 3°C entre 2070 e 2100 poderá aumentar o número de dias com chuvas intensas, com impactos significativos às populações que vivem em áreas de risco (IPCC, 2014b).



4.2.3 Edificações

No Brasil, foram identificados mais de 3 milhões de domicílios abrigados em 6.329 aglomerados subnormais em 2010, caracterizadas como uma área ocupada de forma irregular com oferta limitada de serviços urbanos. A região Sudeste é responsável por mais da metade dos aglomerados (55,5%) e também possui o maior número de domicílios nessas áreas (49,8%) (IBGE, 2010).

No Brasil, foram identificados mais de 3 milhões de domicílios abrigados em 6.329 aglomerados subnormais em 2010, caracterizadas como uma área ocupada de forma irregular com oferta limitada de serviços urbanos.



A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é a região que concentra o maior número de domicílios e pessoas em aglomerados subnormais, com 596.479 habitações, ou 18,9% do total nacional, e 2.162.368 moradores (IBGE, 2010), o que representa aproximadamente 19% do total de brasileiros que residem em situação irregular. Além de abrigar a maior concentração de aglomerados subnormais, a RMSP possui ainda a maior aglomeração de domicílios em áreas predominantemente de aclives acentuados, o que aumenta ainda mais a vulnerabilidade da região quanto ao risco de desabamentos (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2015).

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) também foi apontada como área sensível aos riscos de alagamento, enchente e desabamentos. Um mapa de ameaças múltiplas do Estado do Rio de Janeiro desenvolvido pela Defesa Civil estadual e divulgado em junho de 2016 mostra que os eventos de deslizamento e inundações são as duas maiores ameaças do Estado (DEFESA CIVIL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2016).

De acordo com o censo demográfico de 2010, a RMRJ abrigava 520.260 domicílios em aglomerados subnormais, concentrando 14,9% da população que vive em áreas irregulares, a segunda maior aglomeração do país. A região ainda possui a terceira maior concentração de domicílios localizados em áreas de aclive/declive acentuado, com 103.370 moradias (IBGE, 2010). Como resultado, no período de 2008 a 2012 o Rio de Janeiro registrou 4.969 ocorrências de deslizamentos, ficando atrás apenas de São Paulo na região Sudeste (IBGE, 2013).

O Rio de Janeiro também possui 88% de seus municípios afetados por alagamentos (IBGE, 2013). O estudo do INPE sobre Megacidades, Vulnerabilidades e Mudanças Climáticas, destaca as bacias do Rio Acari e do Rio Joana, por sua forte urbanização e alta exposição aos alagamentos (MIGUEZ *et al.*, 2011).

Outro ponto relevante envolvendo mudanças climáticas e edificações é a questão do conforto térmico. No Brasil, a preocupação com o bem-estar ambiental nas edificações veio em 2005 com a publicação da NBR 15.220 sobre o desempenho térmico de edificações, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A norma foi dividida em cinco capítulos: definições, metodologias de cálculo; zoneamento bioclimático brasileiro com diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social; e medições da resistência e condutividade térmica (ABNT, 2005). A NBR 15.220 auxiliou o setor da construção civil no desenvolvimento de materiais adequados para os diferentes tipos de clima e na adaptação dos projetos aos novos conceitos (ITAMBÉ, 2010).

Segundo o IPCC, a América do Sul poderá sofrer com um aumento entre 1,7°C e 6,7°C até o final do século (IPCC, 2014b). De forma a garantir o conforto térmico diante do cenário exposto, principalmente naqueles edifícios que ainda não se adaptaram à NBR citada, o uso de condicionadores de ar pode aumentar significativamente, e deve afetar a demanda por energia no país, conforme discutido no capítulo 4.2.1.

A região do semiárido no Nordeste brasileiro é a região seca mais populosa do mundo (MARENGO, 2008). Levando em conta sua vulnerabilidade socioambiental, o Nordeste é a região brasileira mais frágil quanto ao conforto térmico. O estudo de Santos e Melo (2010) que calculou os índices de conforto e desconforto térmico nas capitais nordestinas considerando os cenários do IPCC, indicou que, no cenário otimista, todas as capitais apresentariam desconforto devido ao calor. Já no cenário pessimista, Teresina chegaria a apresentar tendência para um desconforto próximo ao insuportável no índice de conforto térmico, e estresse devido ao calor no índice de desconforto térmico.

Outra preocupação quanto às edificações frente ao aquecimento global diz respeito à resistência da infraestrutura urbana diante do aquecimento global. Um dos eventos climáticos extremos mais inesperados ocorridos no Brasil aconteceu em março de 2004 na região sul brasileira. O Catarina, que deixou 9 mortos, diversos feridos e perdas da ordem de 1 milhão de dólares, foi o primeiro furacão documentado no oceano Atlântico Sul, região que até então era tida como livre desse tipo de evento (MARENGO, 2010). Com 400 quilômetros de extensão, o fenômeno atingiu 40 cidades com ventos de até 180 km/h, destelhando e destruindo 38 mil casas. Eventos como esses, apesar de raros, servem para alertar os tomadores de decisão quanto ao questionamento se a estrutura física das edificações das cidades brasileiras está preparada para um novo episódio.

4.2.3 Edificações

O clima, segundo Yuan e Jiang (2011) e Ribeiro (2013), é o principal fator na deterioração das estruturas. Considerando que grande parte da infraestrutura das cidades brasileiras não foi planejada levando em conta as mudanças futuras no clima, um dos impactos que poderão ser observados futuramente é a degradação mais acelerada das fundações e dos materiais de construção, o que eleva os custos de manutenção e reduz a segurança das construções (NSW GOVERNMENT, 2014).

Estudos convergem ao dizer que o concreto, um dos materiais mais utilizados na construção civil mundialmente, é sensível às variações climáticas. A elevação da temperatura ocasiona alterações volumétricas nas estruturas do concreto que, se não foram propriamente consideradas no momento da construção, podem resultar em fissuras. As fissuras em concretos também são resultados de variações bruscas no clima, à medida que a temperatura superficial e interior do concreto se ajustam em velocidades diferentes (LAPA, 2008).

Estudos convergem ao dizer que o concreto, um dos materiais mais utilizados na construção civil mundialmente, é sensível às variações climáticas.



As altas temperaturas influenciam também nos procedimentos de cura do concreto. A evaporação mais acelerada da água em climas mais quentes afeta a hidratação apropriada do cimento, o que reduz a resistência mecânica do concreto depois de endurecido (EVSTRÁTOV e CHTOL, 1987; RIBEIRO, 2013). A intensificação da incidência dos raios ultravioleta como consequência do aumento da temperatura ainda provoca a destruição da estrutura de plásticos, como o polietileno, do cloreto de polivinil e do poliestireno. Além disso, a maior intensidade de radiação propicia a deformação térmica, perda de coloração e descamação de pinturas expostas ao clima, bem como acelera a oxidação das tintas, liberando compostos voláteis dos betumes. Por fim, climas mais quentes propiciam a dilatação e consequente deformação dos painéis das paredes (RIBEIRO, 2013).

A construção civil movimenta centenas de bilhões de reais anualmente (CBIC, 2016). Ainda assim, são diversas as fragilidades encontradas nas cidades brasileiras: moradias precárias e localizadas em áreas irregulares, materiais de construção e infraestrutura não adaptados às mudanças climáticas etc. Os impactos que essas vulnerabilidades trarão por conta das mudanças climáticas são variados, assim como as medidas adaptativas necessárias, que passarão por políticas públicas, investimentos e incentivos ao setor.

4.2.4 Resíduos sólidos

Os resíduos sólidos representam um dos mais importantes subprodutos da vida nas cidades, destacando-se, junto com os gases do efeito estufa, entre os principais causadores de impactos ambientais oriundos da industrialização e urbanização. Segundo o Relatório “What a Waste” do Banco Mundial, os volumes de resíduos urbanos têm crescido globalmente de forma mais rápida que as taxas de urbanização. O documento mostra que, entre 2002 e 2012, o número de pessoas residentes em cidades no mundo aumentou de 2,9 bilhões para 3 bilhões enquanto a quantidade de resíduos sólidos urbanos (RSU) foi de 0,64 kg/hab./dia (0,68 bilhões de tonelada/ano) para 1,2 kg/hab./dia (1,3 bilhão de tonelada/ano) (WORLD BANK, 2012).

No Brasil, o cenário atual não é diferente, especialmente nos grandes centros urbanos. Cerca de 80% dos municípios do país, com até 30 mil habitantes geram em média 0,77 kg RSU/hab./dia. Por sua vez, nos municípios com população entre 1 e 3 milhões de habitantes, o indicador apresentado pelo Ministério das Cidades chega a 1,20kg/hab./dia, mesmo valor estimado pelo Banco Mundial em nível global. Extrapolando-se esses índices para o país inteiro, calcula-se um total estimado de 64,4 milhões de toneladas de resíduos domiciliares e públicos coletados ao ano, ou 176,4 mil toneladas/dia (SNIS, 2016b).

A tabela abaixo mostra os municípios que recebem a maior quantidade de resíduos no Brasil:



Tabela 8. Quantidade de resíduos recebidos pelas unidades de processamento situadas nos municípios - 2014.

MUNICÍPIOS	RESÍDUOS
SÃO PAULO	5.429.170,90
RIO DE JANEIRO	3.646.390,20
BRASÍLIA	3.537.149,20
SEROPÉDICA	3.287.232,30
CAUCAIA	2.261.740,80
JABOATÃO DOS GUARARAPES	1.372.893,50
MINAS DO LEÃO	1.151.561,50
GOIÂNIA	1.078.108,80
SALVADOR	1.074.055,90

Fonte: Sistema Nacional da Informações sobre Saneamento (SNIS, 2016c).

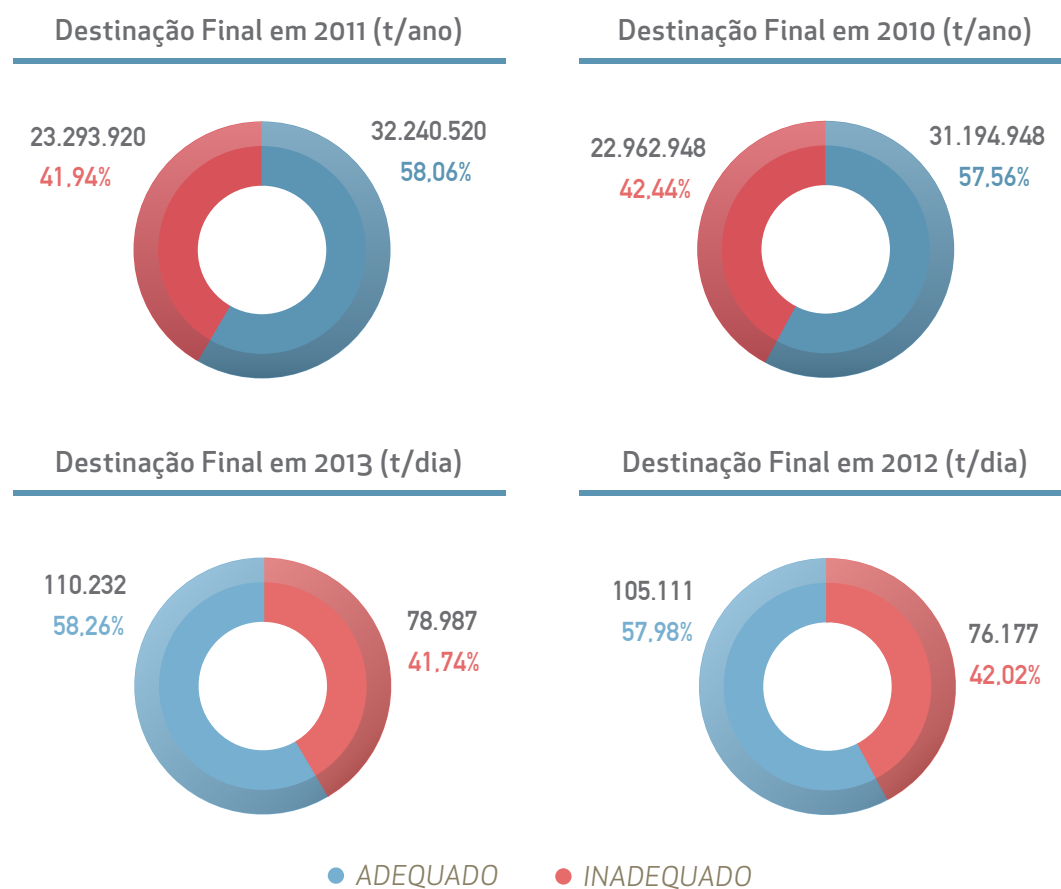


4.2.4 Resíduos sólidos

Nacionalmente, ainda existem muitos desafios em relação à gestão de resíduos sólidos urbanos e à universalização da coleta. De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, “não são sequer coletadas o equivalente a 100 gramas de lixo por habitante por dia” (ABRELPE, 2013). Segundo a mesma instituição, mais de 3.300 municípios utilizam destinações inadequadas para os resíduos sólidos urbanos, sendo que os vazadouros a céu aberto (“lixões”) são empregados por 50,8% dos municípios no Brasil (IBGE, 2011b).

Mesmo após a instituição da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) pela Lei Federal Nº 12.305/2010, uma das legislações mais avançadas sobre o tema, a gestão de resíduos ainda não tem avançado uniformemente nas diversas regiões do país (ABRELPE, 2013). Os dados referentes à geração e tratamento de resíduos apresentados pela ABRELPE de 2010 a 2013 indicam uma tímida evolução no período, com o acréscimo de apenas 0,7 ponto percentual na quantidade de resíduos destinada adequadamente (ABRELPE, 2011; 2013).

Figura 2. Evolução da destinação final de resíduos (2010 – 2013).



Fonte: ABRELPE (2011, 2013)

As deficiências de estruturação do setor também podem ser evidenciadas nos números apresentados pelo governo. Em seu diagnóstico anual de manejo de resíduos sólidos urbanos, o Ministério das Cidades calcula que 58,5% da massa total coletada no País é disposta de forma adequada em aterros sanitários, sendo os 41,5% restantes distribuídos em “lixões”, aterros controlados e, em menor escala, às unidades de triagem e unidades de compostagem (SNIS, 2016b).

Além de enfrentarem problemas de saneamento, as cidades brasileiras são marcadas por profundas desigualdades sociais que se refletem no desenvolvimento de assentamentos informais em áreas ilegais e de risco. Essas comunidades, popularmente chamadas de “favelas”, costumam ser instaladas em locais inacessíveis aos serviços de recolhimento de resíduos. Como resultado, o lixo produzido por elas é descartado pela própria população em encostas, rios, canais, logradouros e terrenos baldios, afetando diretamente a drenagem urbana durante eventos de precipitação extrema (MONTEIRO, 2011).

Entretanto, os impactos dos resíduos sobre a drenagem das cidades não se limitam apenas às áreas mais carentes. Nos bairros estruturados, o lixo muitas vezes é acondicionado de forma improvisada, o serviço de coleta é desprovido de regularidade e de pontualidade, o que aumenta a exposição dos resíduos e gera graves problemas para o sistema de limpeza pública das cidades (IBGE, 2011b).

Na ocorrência de fortes tempestades, os resíduos expostos no ambiente urbano são espalhados e carregados para os sistemas de drenagem, obstruindo galerias e canais e gerando alagamentos (MONTEIRO, 2011). Com as mudanças climáticas, essas situações podem ocorrer de forma mais frequente, visto que as previsões do IPCC indicam intensificação dos eventos extremos de precipitação, o que significa redução do tempo de recorrência e/ou aumento da intensidade de tempestades (IPCC, 2014c).

Assim como nas complicações relacionadas às inundações e alagamentos, as falhas na gestão dos resíduos sólidos, o que inclui deficiências no sistema de coleta e na disposição final, já podem ser atribuídas como a causa de diversos impactos ambientais, entre eles a poluição da água e dos solos. Na ausência de aterros sanitários devidamente projetados e compostos por mantas impermeabilizantes, a lixiviação do chorume tende a atingir lençóis freáticos utilizados como fonte de abastecimento de água pelas comunidades, gerando contaminação por metais pesados ou outros químicos.

Diante das vulnerabilidades existentes e dos impactos já enfrentados, as mudanças climáticas poderão torná-los mais intensos. De acordo com todas as projeções climáticas regionalizadas para os biomas brasileiros, é previsto um aumento da temperatura do ar na superfície entre 2°C e 6°C no período de 2040 a 2100 (AMBRIZZI *et al.*, 2007; MARENGO, 2009; PBMC, 2014b).



4.2.4 Resíduos sólidos

Com esse aquecimento, cresce também a probabilidade de maior ocorrência de eventos climáticos extremos, tais como tempestades severas e inundações (VINCENT *et al.*, 2005; MARENGO, 2009; PBMC, 2014a). Assim, a persistência das deficiências na gestão de resíduos sólidos, em um futuro mais quente e úmido, poderá resultar em maior risco de contato da população com substâncias perigosas, pragas e insetos vetores. Importante salientar que os mosquitos transmissores de doenças infecciosas encontram condições favoráveis para se desenvolver tanto em locais insalubres como os “lixões” quanto em ambientes mais quentes e com acúmulo de água parada, conforme será visto no capítulo de Saúde.

Conforme visto anteriormente, as mudanças climáticas poderão amplificar as pressões que as cidades já enfrentam relacionadas a fatores de *stress* tanto climáticos como não-climáticos, tais como falta de acesso a serviços públicos de saneamento, inexistência de planos de uso e ocupação do solo, ausência de políticas públicas de moradia e crescimento de população em situação de vulnerabilidade social (ROSENZWEIG *et al.*, 2011b). Ciente disso, o IPCC considera que a redução dos déficits relacionados à cobertura desses serviços básicos poderá diminuir significativamente a vulnerabilidade das cidades às mudanças climáticas, tornando-as mais preparadas para enfrentar esses novos desafios (IPCC, 2014a).

4.2.5 Recursos hídricos

As mudanças de temperatura e balanço de radiação na atmosfera interferem diretamente no ciclo hidrológico (PBMC, 2014b). Com a projeção de aquecimento da superfície terrestre ao longo do século XXI, prevista sob todos os cenários de emissões, o IPCC declara que é muito provável que eventos extremos de precipitação ocorram com maior frequência e intensidade, além de que, ondas de calor sejam mais prolongadas (IPCC, 2014c).

Essas modificações nos regimes das chuvas poderão influenciar a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos disponíveis para o abastecimento das cidades (VOLSCHAN JUNIOR, 2011). As secas reduzem o fluxo de água nos rios e a recarga dos aquíferos, comprometendo a capacidade de armazenamento dos reservatórios superficiais e subterrâneos (PITRE, 2005; EARMAN *et al.*, 2006; ROSENZWEIG *et al.*, 2011b). Em contrapartida, a intensificação no volume de chuvas e sua concentração em curtos espaços de tempo pode gerar aumentos súbitos de vazão, e, conseqüentemente, o transporte de sedimentos, enchentes, assoreamento de corpos hídricos e a redução da qualidade da água. Elevadas quantidades de chuva por períodos contínuos ou após meses de estiagem também aumentam o escoamento superficial (runoff) sobre os solos que apresentam permeabilidade já reduzida tanto por eventos extremos como pelas intervenções humanas. Isso pode resultar na saturação da infiltração de água, gerando ineficiência na recarga dos aquíferos subterrâneos / lençóis freáticos (VOLSCHAN JUNIOR, 2011).

O aumento de eventos extremos relacionados a secas ou tempestades não interfere somente na disponibilidade hídrica, mas também nos parâmetros que determinam a potabilidade da água. O IPCC aponta que as mudanças climáticas poderão reduzir a qualidade da água devido a interações entre altas temperaturas e variações de precipitação (médio nível de evidências e alta concordância) (IPCC, 2014b). O impacto poderá ocorrer pela redução da diluição dos poluentes provenientes do esgoto durante os períodos de estiagem ou elevação da turbidez e contaminação fecal da água, em decorrência do aumento de sedimentos e detritos arrastados por chuvas mais pesadas.

Além disso, as temperaturas mais altas também interferem no movimento de convecção das massas de ar na atmosfera, podendo indiretamente contribuir para condições meteorológicas adversas, tais como ciclones, furacões e tornados. Assim, as ilhas de calor das cidades tendem a acentuar essas correntes que desencadeiam fortes temporais, descargas elétricas e ventos ciclônicos (COTTON e PIELKE, 2006; ROSENZWEIG *et al.*, 2011b), com riscos à integridade das infraestruturas de saneamento básico. Os efeitos de inundação devido ao escoamento instantâneo do volume de água represado configuram um alto risco à segurança das barragens de nível, cujo rompimento pode gerar interrupções no abastecimento e acidentes ambientais (VOLSCHAN JUNIOR, 2011). É importante destacar que os projetos das barragens são baseados em dados históricos de máxima de vazão e não consideraram os efeitos futuros das mudanças climáticas.

As temperaturas mais altas também interferem no movimento de convecção das massas de ar na atmosfera, podendo indiretamente contribuir para condições meteorológicas adversas, tais como ciclones, furacões e tornados.



Os impactos relacionados à falta de água tendem a ser mais críticos nas áreas urbanas. Dentre os usos consultivos da água, ou seja, aqueles que reduzem sua disponibilidade, a quantidade destinada para o abastecimento urbano representa 22% do total da vazão retirada no Brasil. É a maior demanda depois da irrigação, equivalente a 55% do total captado (ANA, 2015). Na Região Sudeste, onde situam-se os maiores aglomerados urbanos do Brasil, o problema da escassez hídrica tornou-se evidente entre 2013 e 2014, durante um período de seca extrema. Pela primeira vez na história, a população de São Paulo, a maior cidade do país, esteve diante do risco de rodízio de 5 dias sem água e 2 dias com abastecimento. Por todo o período, as vazões médias mensais dos afluentes ao Reservatório Equivalente do Sistema Cantareira ficaram abaixo da média, com registro de vazão média anual de 8,70 m³/s, menor valor desde 1930 e cerca de 22% da média anual do histórico (39,44 m³/s). Para manter o abastecimento público foi necessário bombear a parcela armazenada abaixo das comportas do reservatório, chamada de “volume morto” ou “reserva técnica” (ANA, 2014).



4.2.5 Recursos hídricos

Após esse episódio, a preocupação sobre os possíveis impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos ganhou mais força. A cultura da abundância da água como recurso infinito, fundamentada pela grande oferta hídrica do Brasil, precisou ser revista. Tal concepção pode ser relativa, tendo em vista que existem significativas diferenças entre a oferta e a demanda de água nas regiões brasileiras.



A cultura da abundância da água como recurso infinito, fundamentada pela grande oferta hídrica do Brasil, precisou ser revista.

Foto: Fernando Frazão/ Agência Brasil

As regiões hidrográficas do Atlântico e do Paraná abrigam 83 das 100 maiores cidades do Brasil e aproximadamente 78% da população total, mas contemplam apenas 9% da disponibilidade hídrica do país (ANA, 2010; IBGE, 2016b; ANA, 2016). Por outro lado, a região da bacia hidrográfica amazônica que dispõe de 81% dessa disponibilidade é habitada apenas por 5% da população, com uma densidade demográfica de 2,51 hab/km². Nas megacidades brasileiras como o Rio de Janeiro e São Paulo, a concentração populacional chega a 3.000 e 2.000 hab/km², respectivamente (ANA 2010, 2016).

As situações de maior déficit ocorrem no Semiárido nordestino. Além de apresentar o menor nível de chuva do país e altas temperaturas, a região sofre grande influência de eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS). As elevadas taxas de evaporação e grande variabilidade interanual dos deflúvios proporcionam significativa oscilação na disponibilidade hídrica em superfície da região, cujo futuro climático também não é promissor (PBM, 2014b). Segundo o quinto relatório do IPCC, o nível de chuvas no Nordeste poderá diminuir cerca de 22% até 2100, com baixo grau de confiança, em face das atuais discordâncias entre os modelos climáticos para grande parte do país (IPCC, 2014b).

No entanto, os riscos relacionados com a falta de água não se limitam apenas ao futuro climático do Brasil, visto que ainda existem problemas estruturais de abastecimento. A Agência Nacional de Águas, por meio da iniciativa ATLAS Brasil, realizou um diagnóstico da situação de 5.565 municípios brasileiros no que se refere à disponibilidade hídrica, demanda urbana e capacidade de produção de água. Os dados apresentados pelo levantamento indicam que dentre os 29 aglomerados urbanos do país (regiões das 26 capitais, Distrito Federal, Campinas e Baixada Santista) apenas a região Metropolitana de Campo Grande possuía um abastecimento urbano satisfatório em 2010. Logo, a maior parcela das capitais e conglomerados, cerca de 55% e 35%, foram catalogados pelo estudo nas classes “requer novo manancial” ou “requer novo sistema de produção”, respectivamente. De acordo com o Atlas “a capacidade total dos sistemas produtores instalados e em operação no país era de aproximadamente 587 m³/s em 2010, bastante próxima às demandas da época (em torno de 543 m³/s), demonstrando que grande parte das unidades está no limite de sua capacidade operacional” (ANA, 2010).

Como parte do diagnóstico, o Atlas Brasil projetou um incremento de 45 milhões de habitantes nas cidades brasileiras entre 2005 e 2025, com um aumento de 28% na demanda média do abastecimento urbano de água. Isso se traduz na necessidade de adicionar uma média de aproximadamente 60m³/s de capacidade aos sistemas de produção a cada década, com investimentos de R\$ 22,2 bilhões nestes 20 anos. Vale ressaltar que esse contexto pode ser agravado pelas mudanças climáticas tanto em termos de demanda como de oferta de recursos hídricos. Com os cenários futuros de elevação da temperatura, o consumo *per capita* tende a crescer ainda mais devido à maior necessidade de refrigeração e consumo humano, além de aumentar as taxas de evaporação nos reservatórios de armazenamento.

Assim, é de suma importância o conhecimento de como as mudanças climáticas pode impactar o ciclo da água, assim como as vulnerabilidades já existentes no setor. Com isso, será possível realizar um planejamento de como sanar as deficiências atuais com projetos que também contemplem os problemas que poderão ser enfrentados no futuro. Os resultados apresentados no Atlas Brasil em conjunto com os dados consolidados durante o período de seca (2012 a 2014) são importantes ferramentas para indicar quais cidades necessitam de melhorias de infraestrutura ou fontes de água complementares. No entanto, ainda existem limitações para uma análise mais conclusiva a respeito da disponibilidade de água no futuro, principalmente em função da falta de concordância entre modelos climáticos para grande parte do território brasileiro, no que se refere às tendências de precipitação e vazões.



4.2.6 Efluentes

Além de indicarem maior ocorrência de secas em locais já vulneráveis (média confiança), as projeções do IPCC apresentam também a possibilidade de incremento da precipitação média anual em regiões de alta latitude por volta do final deste século (evidências robustas, alta concordância) – (IPCC, 2014a). Para a região Sudeste da América do Sul, o quinto relatório menciona a possibilidade de aumento de 25% no nível de chuvas até 2100, com baixo nível de confiança (IPCC, 2014b). Cenários semelhantes a esse, levariam a um significativo aumento das quantidades de efluentes e água pluvial que chegam às redes coletoras, com potencial sobrecarga no “sistema formal” de saneamento básico.

Esse tipo de sistema, concebido de forma planejada como parte da gestão pública das cidades, compreende redes de tubulações e estações de tratamento com as funções de coleta, transporte, tratamento e disposição dos esgotos domésticos e efluentes industriais. No entanto, nem todo o território das cidades brasileiras é coberto por soluções públicas e coletivas de esgotamento sanitário. De acordo com o Diagnóstico anual do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento de 2014, o índice médio de atendimento da rede de esgotos nas áreas urbanas é de 57,6%, enquanto o índice de atendimento da população total cai para 49,8%. Em relação ao tratamento, apenas 40,8% do total dos esgotos gerados são tratados (SNIS, 2016a). Isso significa que mais de 100 milhões de brasileiros não têm acesso a esse serviço (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2016). A tabela abaixo apresenta a situação de algumas cidades brasileiras quanto à coleta e o tratamento dos esgotos gerados:



Tabela 9. Níveis de atendimento de esgoto de alguns municípios

MUNICÍPIO	ÍNDICE DE ATENDIMENTO DA POPULAÇÃO C/ COLETA DE ESGOTO (%) IN056	ÍNDICE DE TRATAMENTO DOS ESGOTOS GERADOS (%) IN046
Brasil	49,8	40,80
Belo Horizonte	100,00	68,46
Curitiba	99,18	89,71
Rio de Janeiro	65,40	46,36
São Paulo	96,13	53,07
Salvador	78,49	96,15
Fortaleza	47,50	51,33
Recife	38,69	63,90

Fonte: SNIS (2014).

IN056: Índice de atendimento total de esgoto referido aos municípios atendidos com água

IN046: Índice de esgoto tratado referido à água consumida

Na ausência da infraestrutura pública, podem ser utilizadas soluções individualizadas de esgotamento sanitário, tais como fossas sépticas e poços “sumidouros”, combinadas ou não com um filtro anaeróbio, além de estações compactas para o tratamento localizado de esgotos (VOLSCHAN JUNIOR, 2011). Nas áreas mais carentes das cidades brasileiras, a falta de regulação e assistência do Estado levou ao desenvolvimento de sistemas “informais” de saneamento, onde o escoamento de esgotos é feito em conjunto com águas pluviais, em “valas negras” a céu aberto, com posterior lançamento difuso nos corpos d’água superficiais.

A prática de apenas afastar os esgotos sem tratá-los antes do lançamento nos rios também pode ocorrer das seguintes formas: pelo uso de sistemas “mistos” de saneamento temporariamente, galerias pluviais da rede de drenagem utilizadas para o transporte dos efluentes; ou quando existem deficiências estruturais e operacionais nas redes de separação absoluta, tais como “ligações clandestinas”, extravasores da rede, instalações prediais cruzadas etc. (VOLSCHAN JUNIOR, 2011). Importante salientar que o simples afastamento de esgotos constitui um grande risco de poluição aos mananciais responsáveis pelo abastecimento de água.

Os sistemas formais e informais de esgotamento sanitário têm capacidades diferentes de responder ao *stress* dos impactos das mudanças climáticas). Os sistemas públicos de saneamento tendem a ser providos de mais recursos intelectuais e financeiros, o que lhes confere uma posição vantajosa para o planejamento de medidas de adaptação. No entanto, sua capacidade de resposta pode ser prejudicada pela inflexibilidade nas estruturas de governança e/ou questões políticas). Por outro lado, os sistemas informais, tipicamente desenvolvidos com pouca organização e recursos, devem ser ainda menos capazes de suportar os impactos do clima, com a possibilidade de agravamento da situação sanitário-ambiental já adversa (ROSENZWEIG *et al.*, 2011b).

No âmbito dos sistemas formais de saneamento, as mudanças climáticas tendem a impactar as infraestruturas de esgotamento sanitário e drenagem urbana de diferentes formas. A intensificação dos eventos extremos de precipitação pode aumentar o risco de alagamento de estações de tratamento de efluentes, principalmente aquelas mais próximas aos corpos receptores, como também gerar sobrecarga no sistema (BRITTO e FORMIGA-JOHNSON, 2010; ROSENZWEIG *et al.*, 2011b).

Os impactos relacionados à sobrecarga iniciam-se com a elevação do nível do lençol freático, que aumenta as taxas de infiltração das águas subterrâneas para o interior da rede coletora de esgotos. Esse acréscimo tende a comprometer a capacidade hidráulica da infraestrutura, com possíveis extravasamentos para o sistema de drenagem e corpos receptores, refluxo interno de esgotos nos domicílios e outros prejuízos nos parâmetros de operação hidráulico-sanitária, entre eles a elevação das pressões internas nos coletores de esgotos, excesso de trabalho eletromecânico das estações elevatórias e sobrecarga hidráulica das estações de tratamento de esgoto (ETEs) (BRITTO e FORMIGA-JOHNSON, 2010).



4.2.6 Efluentes

De forma semelhante aos efeitos causados pela precipitação, a elevação do nível do mar poderá impactar o processo de destinação final, impedindo o escoamento hidráulico, e consequentemente levando à queda de desempenho de todo o processo de tratamento (VOLSCHAN JUNIOR, 2011).

É importante ressaltar que os sistemas formais de saneamento são operados mecanicamente por uma série de mecanismos de bombeamento, o que requer um alto uso de energia. Portanto, se os cenários climáticos levam a uma previsão de aumento do fluxo de esgoto, é importante também antecipar a necessidade de demanda energética adicional para atender ao crescimento da carga no sistema, uma vez que o serviço é essencial para manter boas condições sanitárias em uma cidade (ROSENZWEIG *et al.*, 2011b).

4.2.7 Drenagem urbana

Além de impactar o esgotamento sanitário, o aumento na intensidade e frequência das chuvas pelas mudanças climáticas poderá tornar as inundações mais frequentes e catastróficas. As inundações têm sua origem no fenômeno natural das enchentes, também denominadas cheias. Quando altos volumes de chuva aumentam o leito dos rios, há uma elevação do nível d'água que atinge a cota máxima do canal de drenagem, porém, sem extravasar (BRASIL, 2007; TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

Entretanto, o rápido crescimento das cidades ao longo do século XX provocou uma série de modificações no ambiente natural, entre elas o saneamento das várzeas, a supressão de matas nativas e a implantação de infraestruturas de concreto. Com a impermeabilização dos solos e a remoção da cobertura vegetal, perde-se a função de infiltração e retenção do escoamento de água, uma vez que as copas das árvores atuam como uma barreira natural para conter a velocidade das águas (MIGUEZ *et al.*, 2011). Essa combinação de fatores aumenta consideravelmente a contribuição do escoamento superficial para a vazão dos cursos d'água situados nas áreas urbanas, resultando no transbordamento das águas que atingem a planície de inundação ou área de várzea (BRASIL, 2007; TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

O processo de urbanização das principais cidades brasileiras, como Rio de Janeiro e São Paulo, pode ser usado como exemplo para o entendimento das vulnerabilidades urbanas frente às mudanças climáticas. Segundo o DAEE, até meados do século XIX, os rios e córregos na cidade de São Paulo podiam ser usados independentemente de quaisquer obras de infraestrutura. Com o crescimento exponencial da população a partir do século XX, houve a necessidade de realizar intervenções nos regimes hidrológicos para atender às necessidades humanas, o que provocou a destinação de certos corpos d'água para o abastecimento de água, e outros para outras finalidades consideradas menos nobres, como receptores de efluentes (DAEE, 2009; NOBRE *et al.*, 2011).

Em seguida, com o agravamento de problemas relacionados às inundações, a drenagem tornou-se mais uma variável a ser considerada nas intervenções. Enquanto isso, iniciava-se a instalação do sistema viário da cidade, resultando num processo de retificação e canalização dos rios e córregos na área urbana (NOBRE *et al.*, 2011). O estudo sobre as vulnerabilidades de São Paulo frente às mudanças climáticas aponta que “a situação de precariedade original dos córregos servia para legitimar a intervenção, visto que se prometia resolver problemas como proliferação de vetores de doenças, as inundações, redução do lixo acumulado nos córregos em curto prazo etc.”



Foto: Joao Paulo Engelbrecht/ Prefeitura

Com o agravamento de problemas relacionados às inundações, a drenagem tornou-se mais uma variável a ser considerada nas intervenções.

Na cidade do Rio de Janeiro, o desenvolvimento urbano foi caracterizado pela alteração significativa da paisagem original da região. Além da ocupação de áreas de margem de cursos d'água e planícies de inundação, áreas alagadiças foram dessecadas, lagoas e áreas das baías de Guanabara e Sepetiba foram aterradas e ocorreu um aumento significativo do grau de impermeabilização. A ocupação de encostas e o desmatamento faz com que a precipitação que cai nos morros que circundam a cidade desça como enxurrada, acumulando-se nas áreas mais baixas. Como solução para o problema foram implementadas as conhecidas intervenções tradicionais, que incluem redes de drenagem pluvial, retificação e canalização dos rios. No entanto, tais medidas acabam contribuindo para o agravamento das inundações ao transferir os alagamentos de montante (rio acima) para jusante (rio abaixo) e aumentar a velocidade da água nas estruturas cimentadas (MIGUEZ *et al.*, 2011).

Desse modo, a canalização de córregos, rios e do escoamento em geral, técnica de drenagem amplamente adotada nas cidades por afastar a água precipitada mais rapidamente, reduzir o espaço ocupado pelos cursos d'água e simbolizar melhor controle sanitário, não tem se mostrado como a solução mais adequada para resolver os problemas trazidos pelas chuvas. Como resultado dessa limitação, somado à falta de investimento e ampliação do sistema, diversas áreas das cidades brasileiras continuam enfrentando frequentes alagamentos após eventos extremos de precipitação, conforme será aprofundado ao longo deste estudo.



4.3 Saúde

As relações entre o clima e a saúde vêm sendo observadas desde os primórdios da civilização, até que evidências sobre o aumento na temperatura global nas últimas décadas levaram a Organização Mundial da Saúde (OMS) a reconhecer as mudanças climáticas como um dos maiores riscos à saúde humana no século XXI (WHO, 2002, 2016; ECHEGARAY e AFONSO, 2014). O impacto na saúde das pessoas pode ocorrer por diferentes vias, de forma direta ou indireta (OPAS, 2008). Um exemplo de impacto direto são as ondas de calor e temperaturas extremas, que afetam diretamente a fisiologia do corpo humano. Tempestades e ciclones extratropicais também impactam diretamente as pessoas à medida que podem gerar traumas físicos ou mortes por afogamentos e soterramentos. Já os impactos indiretos referem-se às mudanças do clima que impactam os elementos fundamentais à saúde humana (água, ar e alimentos), bem como o ciclo de vida de insetos vetores, favorecendo a dispersão de agentes infecciosos (IPCC, 2007).

Os efeitos das mudanças climáticas na saúde são predominantemente negativos e afetam mais fortemente países de baixa renda, onde a capacidade de adaptação é mais fraca, mas também sobre os grupos mais vulneráveis nos países desenvolvidos (HAINES *et al.*, 2006).

As projeções climáticas regionalizadas para o território brasileiro indicam um possível aumento de 2°C a 6°C na temperatura do ar no período entre 2071 a 2100 (AMBRIZZI *et al.*, 2007; MARENGO, 2009; PBMC, 2014b). Nesse cenário, os centros urbanos ficam mais suscetíveis aos impactos que as altas temperaturas podem causar na saúde. A retenção do calor pelas superfícies de concreto e elevada concentração de emissões atmosféricas, advindas de automóveis e indústrias, intensificam ainda mais o calor, afetando não apenas o conforto térmico da população, como também sua saúde cardiorrespiratória (FAJERSZTAJN; VERAS; SALDIVA, 2016).

A exposição ao calor extremo tem sido atribuída a casos de infartos, derrames, desidratações e até óbitos. Os principais grupos atingidos são idosos acima de 65 e crianças abaixo dos 5 anos de idade, faixas que possuem maior fragilidade nos mecanismos corporais termorreguladores. Em 2010, uma onda de calor atingiu a baixada santista, levando 32 idosos à morte. Todas as vítimas já possuíam problemas crônicos de saúde, mas, de acordo com a Secretaria de Saúde, a desidratação levou à piora dos quadros já existentes, levando ao óbito. No dia do incidente, os termômetros marcavam 39°C (Nobre *et al.*, 2011).

Além de provocarem impactos diretos no organismo, elevadas temperaturas e forte radiação solar intensificam as reações fotoquímicas responsáveis pela liberação de gases e outras partículas poluentes na atmosfera, causando impactos indiretos na saúde da população (IPCC, 2007). Atualmente, a poluição do ar e seus efeitos sobre as doenças do trato respiratório já representam uma grave questão de saúde pública nas grandes cidades como São Paulo (PBMC, 2014b). Durante os meses de inverno do Sudeste, quando ocorre o fenômeno de inversão térmica na atmosfera, grandes quantidades de poluentes provenientes dos veículos e indústrias concentram-se nas camadas de ar mais próximas da superfície. A falta de chuvas acentua o problema, pois dificulta a dispersão dessas substâncias, resultando no aumento de casos de asma, alergias, infecções bronco-pulmonares e sinusites durante os períodos mais secos (OPAS, 2008; PBMC, 2014a).

Outro impacto das mudanças climáticas na saúde e na vida das pessoas é a ocorrência de inundações e desabamentos. Avalia-se que o Brasil está entre os países mais atingidos por inundações e enchentes, com 112 desastres cadastrados no período de 1900 a 2012, 7.482 mortes e mais de 18 milhões de pessoas atingidas (EM-DAT, 2012; PBMC, 2014b). Em um cenário com temperaturas mais elevadas, essa situação pode se agravar, tendo em vista as projeções de aumento da frequência e intensidade de tempestades severas, vendavais e ciclones extratropicais (VINCENT *et al.*, 2005; MARENGO *et al.*, 2009; PBMC, 2014a).

Outro impacto das mudanças climáticas na saúde e na vida das pessoas é a ocorrência de inundações e desabamentos. Avalia-se que o Brasil está entre os países mais atingidos por inundações e enchentes, com 112 desastres cadastrados no período de 1900 a 2012, 7.482 mortes e mais de 18 milhões de pessoas atingidas (EM-DAT, 2012; PBMC, 2014b).



Grandes regiões metropolitanas e pequenos municípios, principalmente do Nordeste brasileiro, serão influenciados de forma direta por fenômenos climáticos. Especialmente em zonas urbanas, efeitos diretos como tempestades, inundações e elevação do nível do mar podem provocar mortalidade por afogamento, deslizamentos de terra e desabamentos de prédios ou por extremos de temperatura, como ondas de calor. Enchentes ou secas afetam a qualidade e o acesso à água e podem favorecer a incidência de doenças infecciosas como leptospirose, hepatites virais, doenças diarreicas e doenças não transmissíveis, como a desnutrição e doenças mentais (PBMC, 2014a,b).



4.3 Saúde

As consequências desses fenômenos, como inundações e desabamentos, afetam a saúde da população de maneira direta, dado que costumam atingir comunidades de baixo poder aquisitivo, concentradas em áreas de risco, causando mortes por soterramento e afogamento. Em janeiro de 2011, a região serrana do Estado do Rio de Janeiro sofreu o maior desastre natural de ordem climática da história do país. Durante um intenso período chuvoso com registros de até 222 mm de precipitação em apenas 12 horas, ocorreram enchentes e avalanches, com a remoção de solo, rochas e árvores. As cidades afetadas foram dominadas por um cenário de destruição, com o registro de cerca de 900 mortes, 427 desaparecidos, 9.000 desabrigados e mais de 11.000 desalojados, de acordo com o banco de dados internacional de desastres EM-DAT. A região é geologicamente instável e possui rios muito erosivos, no entanto, o número de pessoas que vivia em áreas de risco era enorme, devido ao crescimento desordenado e a falta de planejamento urbanístico (DERECZYNSKI *et al.*, 2011; PBMC, 2014b).



As consequências desses fenômenos, como inundações e desabamentos, afetam a saúde da população de maneira direta, dado que costumam atingir comunidades de baixo poder aquisitivo, concentradas em áreas de risco, causando mortes por soterramento e afogamento.

Foto: Gleilson Miranda/ Secom

Além de causar impactos diretos na integridade física das pessoas, as inundações favorecem a veiculação de doenças causadas pelo contato com água contaminada, como leptospirose, hepatite A, gastroenterite virótica, cólera, diarreias etc. (CONFALONIERI; MARINHO; BARATA, 2011; PBMC, 2014b). Originária de uma bactéria presente na urina de roedores, a leptospirose tem maior incidência nas épocas de chuvas. Um estudo feito por Coelho-Zanotti e Massad (2012) demonstrou que, na cidade de São Paulo, os meses de primavera e verão, principalmente fevereiro, estão mais relacionados à ocorrência da doença, podendo existir um aumento de aproximadamente 150% nas internações duas semanas após um evento crítico com mais de 100 mm de precipitação (PBMC, 2014b).

Da mesma forma que as variações de temperatura e umidade alteram a dinâmica da atmosfera, elas também interferem nos processos biológicos que regulam o metabolismo de pragas urbanas e insetos vetores transmissores de doenças infecciosas. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), temperaturas acima de 29°C provocam um acréscimo na capacidade vetorial do mosquito da dengue (*Aedes aegypti*), o que inclui as taxas de reprodução, sobrevivência, hábitos de alimentação e tempo de incubação. O desenvolvimento do protozoário transmissor da malária (*Plasmodium falciparum*), por sua vez, é cessado em ambientes abaixo de 16°C (WHO, 2014).

Diante disso, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação e a Fundação Oswaldo Cruz finalizaram em 2005 uma pesquisa sobre a vulnerabilidade das regiões do Brasil para a ocorrência de sete doenças endêmicas suscetíveis às alterações do clima. O Estudo conclui que “as doenças infecciosas endêmicas de maior relevância no Brasil, com relação à mudança climática, são a Febre da Dengue e a Malária” (FIOCRUZ, 2007). Outro trabalho produzido pela OMS fez a modelagem de estimativas de mortalidade causadas por essas doenças, considerando cenários futuros com e sem alterações climáticas. O resultado desse estudo mostra que, na região da América Latina, a dengue aparece como a doença infecciosa com maior projeção de óbitos (WHO, 2014).

No Brasil, tal risco é evidenciado nas estatísticas do Ministério da Saúde, que demonstram alta taxa de crescimento da dengue. Em 2015, foram cerca de 1,6 milhão de prováveis ocorrências de dengue, sendo 1,6 mil casos graves e 863 mortes pela doença (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2016a). Como a doença é transmitida por uma espécie de mosquito estritamente urbano, a dengue pode ter sua propagação favorecida pelo adensamento populacional associado à dificuldade no combate dos criadouros e deficiências no saneamento básico (FIOCRUZ, 2007). Inúmeras pesquisas demonstram maior ocorrência de casos nos meses chuvosos, devido ao acúmulo de água parada (SILVA *et al.*, 2008; PBMC, 2014b; CONFALONIERI; MARINHO; BARATA, 2011). Considerando as projeções de aumento de 25% no regime de chuvas da região Sudeste da América do Sul previstos pelo quinto relatório do IPCC (AR5) e a elevação de temperatura em geral, poderá ocorrer a migração e crescimento da doença em novas áreas, incluindo aquelas com clima temperado e subtropical, como a região Sul do país (MONZONI, 2009).

O *Aedes aegypti* ganhou ainda mais visibilidade internacional em 2015 por ser um dos vetores do vírus Zika, associado a 2.975 casos de microcefalia em recém-nascidos no Brasil. Esta doença tem graves consequências, e, assim como a dengue, também pode ser estimulada pelas mudanças do clima (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2016b).



4.3 Saúde

É importante ressaltar que “os registros epidemiológicos existentes no país sobre as relações entre clima e saúde pública referem-se a observações de impactos da variabilidade natural do clima, e não à mudança climática global” (CONFALONIERI; MARINHO; BARATA, 2011). Mesmo assim, se forem concretizadas as previsões de mudanças futuras do clima, é possível que os problemas hoje existentes sejam agravados e expandidos, aumentando assim a pressão sobre o sistema de saúde pública.

Medidas de mitigação e adaptação podem contribuir para a redução do risco de doenças e melhoria da qualidade de vida das populações que habitam as cidades. A Tabela a seguir apresenta alguns benefícios à saúde obtidos a partir da implementação de medidas de mitigação e adaptação.



Tabela 10. Benefícios à saúde, atribuídos a ações de mitigação e adaptação

AÇÕES DE MITIGRAÇÃO E ADAPTAÇÃO	BENEFÍCIOS À SAÚDE
Política de transporte ativo (ciclismo, caminhada)	Redução do risco de doenças como hipertensão, obesidade e diabetes.
Disposição e manejo adequado dos resíduos sólidos	Evita proliferação de agentes infecciosos que podem dar origem a doenças gastrointestinais e dérmicas.
Redução do consumo de alimentos de origem animal.	Redução das doenças cardíacas.

Fonte: Baseado em PBMC (2014b).

As estratégias de adaptação devem atenuar alguns dos efeitos adversos, mas vai representar dificuldades de implementação, particularmente em países de baixa renda. Como a mudança climática já está em andamento, há uma necessidade de avaliar as vulnerabilidades e identificar opções de intervenção/adaptação rentáveis no setor da saúde e de outros setores que possuem *links* diretos com a saúde humana. O planejamento antecipado pode ajudar a reduzir impactos adversos futuros na saúde e nas estratégias de mitigação, por exemplo, utilizando uma série de fontes de energia renováveis, pode melhorar a saúde, reduzindo a poluição do ar, bem como as mudanças climáticas (HAINES *et al.*, 2006).

Atualmente, a saúde pública no Brasil já enfrenta a insuficiência de recursos, sejam eles de estrutura física, equipamentos, materiais ou de medicamentos, devido a ineficiência da gestão e à falta de financiamento. Com o aumento da demanda pelos serviços de saúde devido aos efeitos das mudanças climáticas, a sobrecarga no sistema poderá levar a níveis de ocupação e degradação ainda mais elevados (CONFALONIERI *et al.*, 2009; NOBRE *et al.*, 2011). Ciente desta deficiência, é essencial que a redução do risco das doenças com ações de prevenção seja uma das prioridades das políticas de saúde, que precisam levar em consideração os impactos do clima nos planos nacionais dos próximos anos.

4.4 Zonas costeiras

De acordo com o Decreto Nº 5.300 de 7 de dezembro de 2004, zonas costeiras são classificadas como o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, o que inclui os recursos renováveis e não renováveis, e compreende uma faixa marítima, que se estende por doze milhas náuticas, e uma faixa terrestre, classificada como a área que engloba os municípios que sofrem diretamente a influência dos fenômenos incidentes na zona costeira, distantes até 50 km da linha da costa (BRASIL, 2004). A zona costeira brasileira se estende por mais de 8.500 km, abrangendo 17 estados e aproximadamente 400 municípios (MMA, 2016), o que, somado à faixa marítima, representa uma área de aproximadamente 514 mil km² (NICOLODI e PETERMANN, 2010).

Por atraírem pessoas e indústrias, e, ao mesmo tempo, serem alvo de mais intensos e mais frequentes eventos naturais, as zonas costeiras são as áreas de maior risco globalmente e serão os ambientes mais afetados pelas mudanças climáticas (KRON, 2008). Abrigando quase 37 milhões de pessoas, ou 22,96% da população brasileira (IBGE, 2011a), é de fundamental importância discutir os possíveis riscos e vulnerabilidades das zonas costeiras frente às mudanças climáticas.

Por atraírem pessoas e indústrias, e, ao mesmo tempo, serem alvo de mais intensos e mais frequentes eventos naturais, as zonas costeiras são as áreas de maior risco globalmente e serão os ambientes mais afetados pelas mudanças climáticas (KRON, 2008).



Dentre os efeitos das mudanças climáticas mais relevantes que afetam as áreas litorâneas, destaca-se a elevação do nível médio do mar (NMM), que pode aumentar a erosão costeira, gerar problemas de drenagem em águas interiores e intensificar o processo de intrusão salina, dentre outros impactos. Segundo o quinto relatório do IPCC, a elevação global no nível do mar prevista para 2100 pode variar entre 26cm e 55cm no melhor cenário e entre 52cm e 98cm no pior cenário (IPCC, 2013).



Vulnerabilidades das cidades brasileiras às mudanças climáticas

4.4 Zonas costeiras

A maior frequência de eventos extremos climáticos e a variação no clima de ondas e ventos também figuram entre as principais dificuldades que as zonas costeiras enfrentarão nesse novo cenário (MUEHE; ROSMAN, 2011), intensificando os fenômenos de erosão costeira, intrusão salina e inundações, bem como a destruição de benfeitorias públicas.

Na tabela abaixo, foram relacionadas as principais consequências das mudanças climáticas nas zonas costeiras:



Tabela 11. Principais impactos das mudanças climáticas em zonas costeiras

DRIVER	IMPACTO
Aumento do NMM	Translação de praias e cordões de dunas em direção à terra.
Aumento do NMM	Redução das faixas de areia, com risco de invasão de ondas e consequente destruição de benfeitorias públicas e perda de bens materiais.
Aumento do NMM	Problemas de macrodrenagem em águas interiores.
Aumento do NMM	Aumento da intrusão salina em zonas estuarinas, prejudicando ecossistemas e captação de água em algumas localidades.
Extremos Climáticos	Erosão costeira, devido à formação de ondas mais altas e marés meteorológicas mais elevadas.
Extremos Climáticos	Secas podem causar redução da vazão dos rios, que, juntamente com o aumento do nível do mar, contribuem para o aumento da intrusão salina.
Extremos Climáticos	Alagamentos e inundações mais frequentes.
Extremos Climáticos	Destruição de ruas, avenidas, muros e construções.
Mudança no clima de ondas e ventos	Realinhamento da linha de praia.

Fonte: Baseado em MUEHE; ROSMAN (2011).

Como apresentado na tabela, os impactos das mudanças climáticas em zonas costeiras podem afetar não apenas o ecossistema dessas regiões, mas também serviços essenciais à população residente dessas áreas, tais como saneamento, transporte e saúde. Em última instância, o aumento do nível do mar pode ainda inviabilizar a habitação em determinados locais em razão do avanço da linha da praia, afetando significativamente a economia e a dinâmica social dessas regiões (MUEHE; ROSMAN, 2011).

A vulnerabilidade de zonas costeiras frente a esses impactos pode ser aferida pela combinação de três critérios: riscos naturais, que combinam dados altimétricos e populacionais com sensibilidade da região frente às inundações; riscos sociais, que incluem dados de renda e número de domicílios carentes de serviços de saneamento básico; e riscos tecnológicos, que relacionam dados de indústrias, considerando número de trabalhadores e potencial poluidor. Nicolodi e Petermann (2010) identificaram num estudo as áreas mais vulneráveis da costa brasileira diante do aquecimento global, e concluíram que a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) é uma das áreas prioritárias para ação do poder público.

O Rio de Janeiro é uma das megacidades mundiais, com 15.989.929 habitantes em 2010 e 365,23 habitantes por km², o que configura a maior densidade demográfica do país (IBGE, 2016a). Além da questão populacional, a Região Metropolitana do Rio de Janeiro abriga o mais importante pólo petroquímico do Brasil, o que inclui refinarias, unidades de produção, dutovias, portos e campos de exploração. A disposição mais rebaixada da área do contorno interno da Baía de Guanabara confere ainda maior risco de inundações no caso de marés excepcionais acompanhadas de precipitações intensas. Somados os riscos sociais, naturais e tecnológicos expostos, calculou-se que a taxa de exposição populacional ao risco é de 78%, a maior do país (NICLODI e PETERMANN, 2010).

A região da Baixada Santista, em São Paulo, também foi classificada com grau de vulnerabilidade elevado por Nicolodi e Petermann (2010). Um dos principais fatores que levaram a tal classificação foi o fato de a região abrigar o maior porto marítimo do Brasil, além de complexos industriais localizados em planícies flúvio-marinhas. Ademais, entre os trechos de Santos (SP) e Macaé (RJ) estão localizados campos de extração, usinas de geração de energia térmica e nuclear, complexos químicos e terminais de petróleo e gás. As características socioeconômicas, somadas à significativa densidade demográfica da região, contribuíram para aumentar sua vulnerabilidade. Estima-se que mais de um milhão de pessoas estejam expostas ao risco social nos municípios de Santos, Cubatão, São Vicente e Guarujá (NICLODI e PETERMANN, 2010). Somente em 2016 foram registrados dois casos graves de ressaca, que culminaram no fechamento do porto de Santos, perda de bens materiais e destruição de benfeitorias públicas.

As características socioambientais e econômicas da região Norte do litoral brasileiro conferem-lhe um baixo grau de vulnerabilidade principalmente devido à reduzida concentração demográfica. Além disso, por ser caracterizada em grande parte pela ocupação de comunidades tradicionais extrativistas e coletoras, as intervenções nos ecossistemas são menos drásticas. Como exceções, o estudo destaca as capitais Belém (PA), Macapá (AP) e São Luís (MA). Nessas regiões, os processos de erosão costeira encontram-se em estágio acelerado em alguns trechos, enquanto outros vivenciam processos de progradação, processo que redesenha as linhas de praia. Ademais, foi identificado que a cobertura de coleta de lixo e saneamento básico no litoral norte é bem baixa quando comparada com o restante do país, o que resultou em uma taxa de exposição de 33,7% para a região (NICLODI e PETERMANN, 2010).



Vulnerabilidades das cidades brasileiras às mudanças climáticas

4.4 Zonas costeiras

No litoral Nordeste, localizado entre o norte do Piauí e o Sul da Bahia, destacam-se os centros urbanos de Natal, Fortaleza, Valença, Ilhéus, João Pessoa, Recife e Porto Seguro. Nessas cidades, o alto índice de vulnerabilidade está diretamente relacionado à densidade demográfica e à alta deficiência no sistema de saneamento básico. Salvador, além da taxa de concentração urbana elevada, abriga o polo industrial de Camaçari. O litoral paraibano também foi destacado como região com alto índice de vulnerabilidade, já que possui 42% de sua área submetida à erosão costeira (NICLODI e PETERMANN, 2010).

Por fim, a costa catarinense foi a região considerada mais vulnerável no litoral Sul brasileiro, devido principalmente à grande concentração populacional em altitudes inferiores a dez metros. Além disso, a região é marcada pela ocorrência de eventos extremos de alta magnitude, a exemplo do furacão Catarina, ocorrido em 2004. O município de Rio Grande também foi apontado pelo estudo como área de alta vulnerabilidade, com taxa de exposição de quase 100% da população, devido à carência de serviços básicos oferecidos e à baixa renda da população. Rio Grande ainda abriga um dos principais portos do país, além de um polo naval, industrial e petroquímico (NICLODI e PETERMANN, 2010).

Com mais de 8 mil quilômetros de linha de costa, o litoral é uma das regiões mais sensíveis do território brasileiro, sendo susceptível aos diversos fenômenos climáticos, que podem causar impactos diretos e indiretos aos mais de 50 milhões de habitantes (PORTAL BRASIL, 2014) e afetar alguns dos mais importantes polos econômicos e industriais do país. Dessa maneira, é imprescindível que o poder público esteja atento às vulnerabilidades de cada região, investindo no monitoramento e em ações de mitigação e adaptação na zona costeira brasileira.

Dada a importância do tema zonas costeiras para o Brasil e as cidades litorâneas, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas elaborou um relatório especial para avaliar e discutir de forma mais aprofundada os possíveis impactos, vulnerabilidades e adaptação das cidades costeiras brasileiras frente às mudanças climáticas.



Alternativas de mitigação em áreas urbanas

Responsáveis por 40% das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) e concentrando mais da metade da população mundial, as cidades figuram simultaneamente como grandes agentes das mudanças climáticas e locais onde os impactos do clima poderão ser mais catastróficos.



Foto: Embratur

As cidades figuram simultaneamente como grandes agentes das mudanças climáticas e locais onde os impactos do clima poderão ser mais catastróficos.

Uma das alternativas existentes para limitar o aquecimento global são as medidas mitigatórias que, de acordo com o IPCC, se referem às intervenções humanas que visam a redução da emissão de gases do efeito estufa, bem como a ampliação de seus sumidouros. Nesse cenário, é de extrema importância que o poder público, as empresas e a sociedade em geral tomem medidas que visem a redução das emissões de GEE e dos impactos que serão sentidos pela população no curto, médio e longo prazo (IPCC, 2014c).

Opções de mitigação estão disponíveis em todos os principais setores nas cidades. A mitigação pode ser mais rentável se estiver usando uma abordagem integrada que combina medidas para reduzir o consumo de energia e a intensidade dos gases do efeito de estufa do uso final dos setores, descarbonizar o fornecimento de energia elétrica, reduzir as emissões líquidas e aumentar os sumidouros de carbono em setores de atividade baseada no uso do solo (IPCC, 2014c).

Os Inventários de Gases Efeito Estufa Municipais de quatro grandes cidades brasileiras demonstram que os setores responsáveis pela maior parte das emissões são energia, incluindo transporte e consumo residencial, além de resíduos e indústria. As Tabelas 12 e 13 apresentam respectivamente o total das emissões de gases do efeito estufa (GEE) destas cidades e a composição das emissões por setor.

Alternativas de mitigação em áreas urbanas



Tabela 12. Emissão Anual de GEE de importantes cidades brasileiras¹

CIDADE	EMISSIONES	ANO
São Paulo	15 Mt CO ₂ e	2009
Rio de Janeiro	23 Mt CO ₂ e	2012
Curitiba	4 Mt CO ₂ e	2008
Belo Horizonte	3 Mt CO ₂ e	2007

Fonte: Prefeitura de São Paulo (2014), Prefeitura do Rio de Janeiro (2013), Prefeitura de Curitiba (2012) e Prefeitura de Belo Horizonte (2009).



Tabela 13. Emissões de GEE nas cidades por setor

SETOR	RIO DE JANEIRO	SÃO PAULO	CURITIBA	BELO HORIZONTE
Energia	79%	81,9%	86%	82%
Resíduos	10%	15,6%	13,76%	18%
Processos Industriais	10%	2,4%	-	-
Agricultura e mudança do uso do solo	0%	0,1%	0,1%	-

Fonte: Prefeitura de São Paulo (2014), Prefeitura do Rio de Janeiro (2013), Prefeitura de Curitiba (2012) e Prefeitura de Belo Horizonte (2009).

Ciente da importância do papel das cidades na redução das emissões de gases do efeito estufa, vários municípios criaram planos de mudanças climáticas, e, em alguns casos, definiram metas de redução de emissão de GEE, como foi o caso do Rio de Janeiro. A cidade do Rio de Janeiro, por meio da Lei Municipal nº 5.248 publicada em 27 de janeiro de 2011 estabeleceu metas de redução de emissões de GEE para os próximos anos, em relação às emissões registradas em 2005 pelo Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa. A partir dos dados de emissões somente para a capital, o inventário publicado pela Secretaria Municipal do Ambiente (SMAC) da cidade do Rio de Janeiro, estimou que 30% das emissões do município, ou mais de 6.753.770,00 tCO₂, estejam associadas ao setor de transportes (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2013). Nesse cenário, o transporte público tem importante peso, já que 70% das viagens urbanas motorizadas são realizadas em transporte coletivo (SETRANS-RJ, 2013).

¹ Os inventários não foram publicados num mesmo ano, por isso, as comparações entre cidades são limitadas.

No setor de transporte foi criado um programa em nível nacional para melhorar a mobilidade urbana que irá reduzir as emissões de GEE, uma vez que promoverá a diminuição da dependência do transporte individual. A Tabela 14 apresenta o potencial de transferência modal de usuários de carros particulares, ônibus e outros meios para outros modos mais eficientes de deslocamentos. As figuras 3 e 4 ilustram qual a expectativa de redução de emissões de GEE com os investimentos planejados pelo Governo Federal.

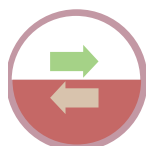


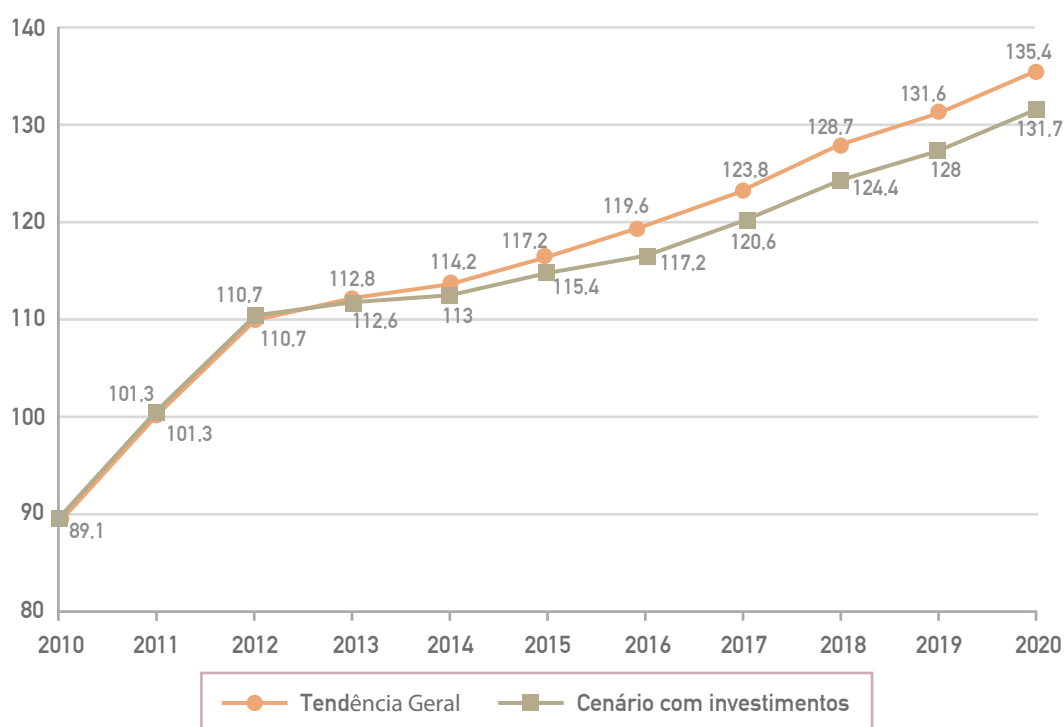
Tabela 14. Pontencial de transferência modal

MODO	ÔNIBUS	CARRO	OUTROS
BRT e VLT	69%	17%	14%
Metrô	76%	14%	10%
Corredor de ônibus	86%	-	14%

Fonte: Plano setorial de mobilidade (2013).



Figura 3. Emissões diretas de CO₂ do transporte de passageiros (Mt)



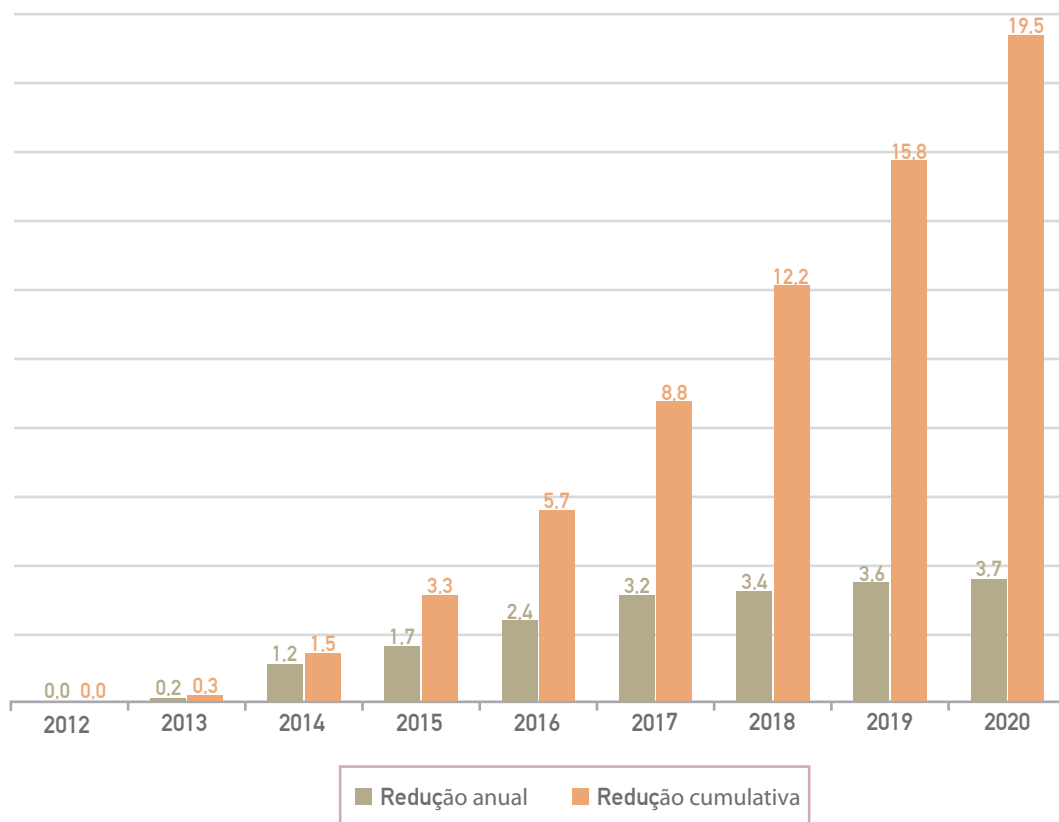
Fonte: Plano setorial de mobilidade (2013).



Alternativas de mitigação em áreas urbanas



Figura 4. Redução de emissões de CO₂ do transporte rodoviário de passageiros (Mt)



Fonte: Plano setorial de mobilidade (2013).

As alternativas de redução de emissão de gases do efeito estufa no setor de transporte podem ser resumidas a:

- promover a redução de viagens motorizadas, como aumento da densidade urbana, uso de tecnologia de informação e comunicação, consumo local (privilegiando os produzidos em áreas próximas, reduzindo o deslocamento das mercadorias), entre outras medidas;
- mudança de modal de transporte, priorizando os menos intensivos em energia de origem fóssil, tais como incentivo ao uso de bicicleta e transporte público, seja pela oferta de infraestrutura como modernização da existente, de forma a tornar o transporte coletivo mais atraente;
- diminuição da intensidade de energia de maneira a induzir a melhoria de desempenho dos veículos por meio de uso de materiais mais leves, aumento do seu fator de ocupação e tecnologias de motores mais modernas.

Adicionalmente a tais medidas, o aumento do uso de energia renovável, como biocombustíveis, no setor de transporte também traria benefícios ambientais locais no que diz respeito à qualidade do ar.

Como exemplo de mudança para modais de transporte mais eficientes, o BRT – Bus Rapid Transit – é uma importante estratégia de mitigação. Um sistema BRT apresenta capacidade de transporte superior aos ônibus convencionais, e somada a uma maior taxa de ocupação e utilização de combustível menos poluente, as emissões por passageiro transportado mostram-se consideravelmente menores (EMBARQ, 2013). A Agência Internacional de Energia (IEA, 2009) estima que, até 2050, seja possível obter reduções de emissões de GEE da ordem de 500 Gt de CO₂e por ano caso sistemas de BRT como o de Bogotá sejam implantados em largas extensões em 500 grandes cidades no mundo. Outro exemplo de projeto BRT bem-sucedido, onde se pode aferir os benefícios da sua implantação é o do Metrobús (BRT da Cidade do México). Seu impacto sobre as emissões evitadas em 2012 reduziu 110.000 tCO₂e por ano, ao mesmo tempo em que melhora a mobilidade de aproximadamente 200 milhões de passageiros por ano.

Usando novamente a capital fluminense como um caso para análise do potencial de redução de GEE na área de mobilidade, onde o sistema de transporte público movimenta 6,4 milhões de pessoas diariamente (SETRANS-RJ, 2013) e é composto por uma rede radial metroferroviária e uma rede capilar de ônibus municipais e intermunicipais conectando a Região Metropolitana, foram recentemente introduzidos corredores BRT. De acordo com (SANTOS e RIBEIRO, 2015), foi feita uma projeção da quantidade total de CO₂ evitada tomando como base o ano de 2015 até as datas de 2030 e 2020. A Tabela 15 apresenta os resultados que serão obtidos com a implantação dos 4 corredores.



Tabela 15. Emissões evitadas considerando o Estado do Rio de Janeiro

INSTÂNCIA	EMISSIONES tCO ₂ e	EVITADAS BRT tCO ₂ e	REDUÇÃO %
Estadual	12.000.000 (2010)	2.774.715 (15 anos)	23,1

Fonte: Baseado em Santos e Ribeiro (2015).

Estudo feito por Santos e Ribeiro (2015) afirma que, em 2016, a utilização de sistemas de transporte público de alta capacidade na cidade do Rio de Janeiro alcançaria até 60% (trem, metrô, BRT e VLT), e a implementação do sistema BRT na cidade do Rio de Janeiro evitaria 96.624 tCO₂ em 2015.

O uso de energia no setor residencial e no comércio é uma área que também tem enorme potencial de redução de emissões por meio de melhorias de eficiência energética, não só por meio dos materiais empregados, como já mencionado, mas também no uso final.



Alternativas de mitigação em áreas urbanas

Nesses setores, a eletricidade representa cerca de 50% do consumo total do Brasil e há um potencial substancial de redução desse consumo por meio de medidas de eficiência energética (EE). O emprego de novos padrões construtivos, de acordo com o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), tem condições de reduzir metade do consumo médio atual de cada edificação, enquanto técnicas de *retrofit* podem gerar até 30% de melhoria na eficiência (SIGNOR, 1994; EPE, 2015).

A política nacional de mudança climática dá grande importância à geração de energia renovável, deixando a eficiência energética em um plano secundário. Tanto é assim que o Brasil ocupa uma péssima posição no *ranking* de eficiência energética. Em estudo divulgado recentemente pela organização não governamental Conselho Americano para uma Economia Energeticamente Eficiente (ACEEE, na sigla em inglês), o país ficou na penúltima colocação entre as 16 maiores economias do mundo, melhor apenas do que o México (ACEEE, 2016).

Entre os pontos nos quais o Brasil tem bastante a melhorar, o ACEEE lembra que no país não existem padrões obrigatórios para instalações elétricas em prédios e residências, e que as exigências sobre eficiência energética só se aplicam a poucos equipamentos eletroeletrônicos (ACEEE, 2016). Os EUA e a União Europeia apresentam alguns exemplos interessantes para o Brasil, tanto em legislação, como em disponibilização de informações sobre Eficiência Energética (EE), como os portais do Departamento de Energia norte-americano Better Plants e Better Buildings e as bases de dados europeias ODYSEE e MURE (ACEEE, 2016).

Entre os pontos nos quais o Brasil tem bastante a melhorar, o ACEEE lembra que no país não existem padrões obrigatórios para instalações elétricas em prédios e residências, e que as exigências sobre eficiência energética só se aplicam a poucos equipamentos eletroeletrônicos (ACEEE, 2016).



Para que o potencial de eficiência energética estimado para o Brasil venha a se concretizar, será necessário um determinado conjunto de medidas capazes de incentivar ações nesse sentido. O objetivo de uma medida é aumentar a abrangência das ações de EE, fazendo com que mais unidades consumidoras (indivíduos ou empresas) tomem ações para reduzir seu consumo de eletricidade (CEBDS, 2016).

Um estudo encomendado pelo Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS) (CEBDS, 2016) indica os principais gargalos para um aumento da eficiência energética e consequentemente o aproveitamento de seu potencial de mitigação de emissões de GEE em áreas urbanas, a saber:

- Financiamento: inadequação das linhas de financiamento para ações de eficiência energética, como no caso da exigência de garantias bancárias muito restritivas ou da complexidade no atendimento de requisitos administrativos para a liberação do financiamento, agravada pela baixa qualidade técnica de muitos projetos.
- Priorização de investimentos: empresas podem ter um nível de endividamento elevado, de modo que os empréstimos e investimentos voltados para conservação de energia, que usualmente não é a atividade fim dessas empresas, não têm espaço no plano de ações.
- Aversão ao risco: gestores empresariais e consumidores residenciais temem riscos técnicos decorrentes de novas tecnologias que consumam menos energia.
- Custos adicionais: por vezes, a implantação de uma tecnologia nova exige adaptação da infraestrutura e capacitação adicional dos operadores, o que encarece indiretamente a medida de EE ou a torna menos atrativa.
- Falta de recursos humanos e de capital: os recursos humanos de uma empresa, seja de pequeno ou grande porte, comumente estão sobrecarregados, sendo difícil atribuir-lhes a função adicional de fomentar a EE. Além disso, muitas vezes faltam recursos para investir nesse segmento.

Apesar das dificuldades, ao longo do tempo houve um aumento de eficiência energética em equipamentos residenciais, como mostra a Tabela 16. As Tabelas 17 e 18 mostram dados sobre eficiência energética e consumo de energia no setor residencial e comercial no Brasil.



Apesar das dificuldades, ao longo do tempo houve um aumento de eficiência energética em equipamentos residenciais.

Foto: Marcos Santos/USP Imagens



Alternativas de mitigação em áreas urbanas



Tabela 16. Aumento de eficiência energética de equipamento residencial ao longo da década

EQUIPAMENTO	GANHO ANUAL (%)	RAZÕES
Ar condicionado	0,5	Mudanças tecnológicas e medida do fabricante para melhorar a eficiência
Refrigerador	0,5	
Freezer	0,5	
Máquina de lavar	0,5	
TV	0,3	
Iluminação	7,8	Troca de lâmpadas incandescentes
Chuveiro elétrico	-0,5	Tendência de compra de equipamento mais potente

Fonte: EPE (2015).



Tabela 17. Consumo de energia e eficiência no setor residencial (urbano e rural)

CONSUMO (GWh)	2013	2017	2022
Consumo sem conservação	122.831	153.655	196.718
Conservação de energia	941	8.127	18.059
Conervação de energia (%)	0,8	5,3	9,2
Consumo com conservação	121.890	145.528	178.659

Fonte: EPE (2015).


Tabela 18. Consumo de energia e eficiência no setor comercial

CONSUMO (GWh)	2013	2017	2022
Consumo sem conservação	84.006	107.353	145.757
Conservação de energia	776	2.966	6.779
Conservação de energia (%)	0,9	2,8	4,7
Consumo com conservação	83.230	104.387	138.978

Fonte: EPE (2015).

O CO₂ evitado das medidas de conservação de energia depende da intensidade de carbono da geração de energia. Nos últimos anos, a média de intensidade de carbono de toda a geração elétrica do Brasil foi de cerca de 0,1 t CO₂/MWh. No entanto, a intensidade de carbono das novas plantas que estão entrando em operação tem uma média superior de aproximadamente 0,3 t CO₂/MWh. Assim, dependendo da média de intensidade de carbono das novas fontes de energia elétrica e considerando uma conservação de 8,127 GWh de eletricidade no setor residencial em 2017, o potencial de redução de CO₂ ficará entre 0,8 a 2,4 Mt CO₂.

Outra área com significativo potencial de mitigação é a iluminação pública. Ela é essencial para a qualidade de vida, segurança da área urbana, uso noturno dos espaços públicos e controle e segurança do tráfego, além do embelezamento na iluminação de monumentos e paisagens. Tecnologias mais eficientes como a iluminação a LED podem trazer benefícios de até 30% de redução de consumo de energia. Desde 2000, mais de 2,5 milhões de unidades de iluminação pública foram substituídas em mais de 1.300 municípios brasileiros, a um custo de cerca de R\$ 500 milhões.

Resumidamente, pode-se elencar as alternativas de mitigação com base em eficiência energética da seguinte forma:

Comercial:

- substituição de lâmpadas incandescentes e fluorescentes por lâmpadas LED;
- substituição de equipamentos por tecnologias mais eficientes;
- otimização do sistema de refrigeração (vedação, uso de termostato, evaporador, posicionamento dos equipamentos e combate aos vazamentos).

² Electricity emissions factors reported here are drawn from "CO₂ emission factors for electricity generation in Brazil", <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/73318.html>



Alternativas de mitigação em áreas urbanas

Residencial:

- conscientização em relação a melhores hábitos de consumo, como desligar equipamentos quando não houver uso, manter fechados os ambientes com temperatura condicionada e dimensionar adequadamente velocidade de ventiladores e temperatura de condicionadores de ar;
- desligar aparelhos em *standby*. O uso de “tomadas inteligentes”, que possuem interruptores próprio,s pode facilitar essa ação;
- Substituir lâmpadas fluorescentes por LED;
- Instalar *boilers* solares para aquecimento de água de banho;
- Construir e reformar casas, considerando uma participação maior de iluminação natural e/ou novas tecnologias de reflexão de luz (que mantêm a mesma luminosidade com uma menor potência requerida de lâmpadas).

O setor de resíduos, no entanto, ainda apresenta inúmeros desafios. Menos da metade da população brasileira está conectada a um sistema de tratamento de esgoto sanitário. Dos resíduos coletados, apenas 40% é tratado, e, da mesma forma, cerca de 58% dos resíduos sólidos urbanos são adequadamente dispostos (ABRELPE, 2013).

No caso do Rio de Janeiro, o setor de resíduos é responsável por 10% das emissões da cidade. Como parte de um esforço na infraestrutura de serviços urbanos, pretende-se conectar mais 156 mil residências e promover a reciclagem, com o objetivo de aumentar a coleta para 25%. A Tabela 19 mostra este potencial.



Tabela 19. Sumário da projeção de redução das emissões de GEE (tCO₂e)

AÇÕES	2016	2020	2025
Captura e queima do biogás em Gramacho	329.000	-	-
Captura e queima do biogás em Seropédica	911.000	-	-
Redução de emissões/ Efluentes líquidos	-	-	-
Total de redução de emissões de resíduo sólido urbano	1.240,00	-	-

Fonte: PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2013.

Ainda usando a cidade do Rio de Janeiro como exemplo, a Tabela 20 mostra o potencial de mitigação considerando medidas no setor residencial e de transporte.



Tabela 20. Pontencial de redução de emissão de GEE relacionados com uso da energia (tCO₂e)

MEDIDAS	2016	2020	2025
Redução de emissão/energia (fontes fixas)	740	740	740
Instalação de iluminação de tráfego LED (32.000 unidades)	640	640	640
Projeto Minha casa, minha vida (1.000 unidades)	100	100	100
Redução de emissão/energia (emissões fugitivas)	17.000	11.400	11.400
Mudança na rede de gás	17.000	11.400	11.400
Redução de emissão/energia (fontes móveis)	525.00	529.700	530.400
BRT – TransOeste (150.000 passageiros/dia)	15.500	19.200	19.300
BRT – TransCarioca (380.000 passageiros/dia)	48.200	48.700	48.900
BRT – 2ª fase TransCarioca (150.000 passageiros/dia)	19.000	19.200	19.300
BRT – TransOlimpica (100.000 passageiros/dia)	12.700	12.800	12.900
BRT- Transbrasil (900.000 passageiros/dia)	115.700	115.900	116.100
BRS Copacabana	17.600	17.600	17.600
Metrô Jardim Oceânico (230.000 passageiros/dia)	85.500	85.500	85.500
Metrô – aumento de capacidade (+550.000 passageiros/dia)	204.400	204.400	204.400
Expansão de ciclovias (300km)	6.400	6.400	6.400
Total	542.740	541.840	542.540

Fonte: Inventário das emissões de gases do efeito estufa da cidade do Rio de Janeiro (COPPE, 2013).



Alternativas de mitigação em áreas urbanas

Vale lembrar da responsabilidade do poder público na promoção da transição para um modelo urbano sustentável. Cabe ao poder público a definição de políticas que privilegiem a eficiência energética e melhor uso dos recursos naturais em todas as atividades urbanas, como medidas restritivas como pedágio urbano, nível mínimo de eficiência dos veículos, equipamentos e novas construções, apoio ao uso de energia renovável, entre outras. Medidas de incentivo também são bem-vindas, tais como: prioridade de circulação para veículos com ocupação completa, redução de impostos para residências e empreendimentos que utilizem energia renovável, por exemplo.

Importante ressaltar que o sucesso de medidas de mitigação implica uma mudança de comportamento da sociedade. Poucos consumidores se preocupam com a análise do ciclo de vida do que consomem, o que leva a um desbalanceamento entre o custo individual e o benefício coletivo. Por exemplo, não há interesse em se comprar um veículo mais caro, porém mais eficiente, tampouco em se optar por um combustível mais limpo, a menos que haja alguma vantagem de curto prazo. Isso significa que, para que haja uma difusão de tecnologias mais eficientes e limpas, é necessário que se tenha uma política pública mandatária, como exigência de padrões mínimos de eficiência e taxaço, entre outros instrumentos econômicos.

Sabe-se que a chance de crescer da mesma forma que as cidades mais antigas e desenvolvidas não existe mais. A transição para uma economia de baixo carbono é inevitável. O mundo indubitavelmente caminha para um período com maiores restrições ambientais. Assim, o planejamento urbano sustentável não poderá ficar defasado do modelo de desenvolvimento do futuro.



Alternativas de Adaptação em áreas urbanas

Existe um amplo consenso de que a mudança climática global é inevitável e se configura como um dos grandes desafios que o mundo está enfrentando. Seus efeitos se manifestam, entre outros, com o aumento das temperaturas médias anuais, com impactos que também afetam a América Latina (IPCC, 2007; KRELLENBERG *et al.*, 2014). Principalmente devido às pressões das mudanças climáticas sobre os sistemas urbanos, espera-se que os riscos existentes se intensifiquem no futuro.

A mudança climática, definida pelo IPCC, refere-se a qualquer mudança do clima ao longo do tempo, seja devido à variabilidade natural ou como resultado da atividade humana. A vulnerabilidade é uma função do caráter, magnitude e taxa de mudança do clima e da variação a que um sistema está exposto, sua sensibilidade e sua capacidade de adaptação (PBMC, 2013b). A vulnerabilidade é uma variável complexa relacionada à interação entre a exposição, a susceptibilidade e a resiliência das sociedades. Isso implica uma perda de bens e recursos, e, conseqüentemente, a perda da capacidade de adaptação (KRELLENBERG *et al.*, 2014).

A mudança climática, definida pelo IPCC, refere-se a qualquer mudança do clima ao longo do tempo, seja devido à variabilidade natural ou como resultado da atividade humana. A vulnerabilidade é uma função do caráter, magnitude e taxa de mudança do clima e da variação a que um sistema está exposto, sua sensibilidade e sua capacidade de adaptação (PBMC, 2013b).



Adaptação é o ajustamento nos sistemas naturais ou humanos em resposta a estímulos climáticos reais ou aos seus efeitos, o que permite explorar oportunidades benéficas. Vulnerabilidade é o grau em que um sistema é suscetível e incapaz de lidar com os efeitos adversos da mudança do clima, inclusive variabilidade climática e os extremos (PBMC, 2013b).

Medidas de adaptação são fundamentais para o enfrentamento das mudanças climáticas já observadas e futuras. A literatura atual sobre o tema reforça a necessidade de cidades em todo o mundo agirem para se adaptarem aos efeitos adversos da mudança do clima, em especial as mais vulneráveis (SMIT *et al.*, 2000; ADGER *et al.*, 2003; ADGER *et al.*, 2005; PBMC, 2013b; IPCC, 2014d).

Adaptação às mudanças climáticas depende centralmente sobre o que é feito em centros urbanos que agora abrigam mais de metade da população mundial e concentram a maior parte dos seus ativos e atividades econômicas (WORLD BANK, 2008; REVI *et al.*, 2014). A adaptação à mudança do clima é cada vez mais observada em ambos os sistemas físicos e ecológicos, bem como em ajustes humanos na disponibilidade de recursos e no risco em diferentes escalas espaciais e sociais (IPCC, 2007, 2013b). Baseando-se no conceito de risco, a melhor estratégia de adaptação seria promover uma redução de vulnerabilidade e de exposição, além do monitoramento da evolução da ameaça ao longo do tempo. Todos esses três fatores (vulnerabilidade, exposição e ameaça) variam em função da localização geográfica e do tempo (MARENGO, 2010).

Os seres humanos têm mostrado uma capacidade de adaptar-se gradualmente a pressões externas, ambientais ou outras, que não estão necessariamente relacionadas com as mudanças climáticas. No entanto, os processos de adaptação têm um custo, e esse será maior no caso de medidas de adaptação tardias ou *ex-post*. No entanto, esta reação a posteriori pode ser considerada como um processo normal, e a sociedade poderá assumir que os custos de adaptação são custos sociais (KRELLENBERG *et al.*, 2014).

As cidades e seus cidadãos já começaram a sentir os efeitos das mudanças climáticas. Com isso, compreender e antecipar essas mudanças ajudará as cidades a se prepararem para um futuro mais sustentável. Isso significa tornar as cidades mais resilientes aos desastres relacionados ao clima e à gestão de riscos climáticos de longo prazo, de forma a proteger as pessoas e incentivar a prosperidade. Significa, também, melhorar as habilidades das cidades para reduzir as emissões de gases do efeito estufa (ROSENZWEIG *et al.*, 2015).



As cidades e seus cidadãos já começaram a sentir os efeitos das mudanças climáticas. Com isso, compreender e antecipar essas mudanças ajudará as cidades a se prepararem para um futuro mais sustentável.

As sociedades têm uma longa história na gestão dos impactos de eventos extremos e relacionados ao clima. No entanto, serão necessárias medidas de adaptação adicionais para reduzir os impactos adversos da mudança climática projetada e da variabilidade natural de clima, independentemente da escala de mitigação empreendida ao longo das próximas duas a três décadas (IPCC, 2007). Além disso, a vulnerabilidade às mudanças climáticas pode ser exacerbada por outros estresses (IPCC, 2007,2013; TYLER *et al.* 2010; KRELLENBERG *et al.*, 2014; PBMC, 2014b; ROSENZWEIG, *et al.*, 2015).

As cidades têm uma capacidade única para enfrentar os desafios globais das mudanças climáticas (OECD, 2014), além de serem também centros de riqueza e inovação, e por isso possuem as ferramentas e recursos com os quais é possível atuar em mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Ao mesmo tempo, há uma tendência natural de que as cidades sejam construídas na orla marítima ou em margens de rios, tornando-as assim particularmente vulneráveis aos efeitos das mudanças climáticas. Com isso, o aumento no nível do mar e grandes tempestades irá ameaçar a infraestrutura crítica (ROSENZWEIG *et al.*, 2010).

Cidades já enfrentam condições climáticas especiais que devem ser contabilizadas durante a elaboração de planos de adaptação às mudanças climáticas de longo prazo (OECD, 2014). Estes devem incluir: ilha de calor urbana – onde as cidades já tendem a ser mais quentes do que o entorno de áreas suburbanas e rurais devido à absorção de calor por concreto e outros materiais de construção, a remoção da vegetação e perda de superfícies permeáveis, as quais fornecem resfriamento evaporativo; poluição do ar – a concentração de atividades industriais, comerciais e residenciais, geração de eletricidade e atividades de transporte, principalmente pelos automóveis, contribui para a poluição do ar, levando a riscos à saúde, agudos e crônicos, para os residentes urbanos; extremos climáticos – principais sistemas de variabilidade como o El Niño Oscilação Sul e Oscilação Atlântico Norte (ROSENZWEIG *et al.*, 2011b).

Respostas à adaptação e mitigação são sustentadas por fatores favoráveis comuns. Estes incluem instituições e governança eficazes, inovação e investimentos em tecnologias e infraestrutura ambientalmente saudáveis, meios de subsistência sustentáveis e mudanças comportamentais e de estilo de vida. Algumas respostas de adaptação envolvem co-benefícios significativos, sinergias e trocas. O avanço das mudanças climáticas irá aumentar os desafios para muitas opções de adaptação (IPCC, 2014d).

Respostas eficazes de adaptação e mitigação dependerão de políticas e medidas em várias escalas: internacionais, regionais, nacional e subnacional. Políticas em todas as escalas apoiando o desenvolvimento de tecnologia, difusão e transferência, bem como financiamento para respostas às mudanças climáticas, podem complementar e melhorar a eficácia das políticas que promovam diretamente adaptação e mitigação (IPCC, 2014d).

Alternativas de Adaptação em áreas urbanas

As escolhas feitas hoje sobre a longa duração da infraestrutura urbana em cidades irão determinar a extensão e o impacto da mudança climática e nossa capacidade de alcançar reduções de emissões de gases do efeito estufa e de adaptação à evolução das circunstâncias (OECD, 2014).

Uma vez que a infraestrutura para a proteção da saúde é ausente em muitas cidades de países em desenvolvimento, as estratégias de adaptação às alterações climáticas devem incidir sobre os residentes urbanos mais vulneráveis. Tais estratégias devem promover co-benefícios de tal forma que eles possam amenizar os riscos existentes para a saúde urbana e, geralmente distribuídas de forma desigual, bem como ajudando a reduzir a vulnerabilidade aos impactos das mudanças climáticas. Trata-se de programas de saúde desenvolvidos em parceria com organizações e entidades públicas e privadas para orientar investimentos e escolhas tecnológicas que beneficiem a saúde atual dos residentes urbanos, e ao mesmo tempo, atuem como preparação e resposta às mudanças climáticas (ROSENZWEIG *et al.*, 2011b).

Uma ampla gama de opções de adaptação está disponível, mas é necessária uma adaptação mais extensa do que a que está atualmente ocorrendo para reduzir a vulnerabilidade às mudanças climáticas. Existem barreiras, limites e custos que não são totalmente compreendidos (IPCC, 2007; WALSH *et al.*, 2011).

Existem opções de adaptação em todos os setores, mas o seu âmbito de aplicação e potencial para reduzir os riscos relacionados ao clima difere entre setores e regiões. A Tabela 21 apresenta exemplos de opções de adaptação para alguns setores-chave (PBMC, 2014b).



Tabela 21. Opções/ estratégias de adaptação para alguns setores.

SETOR	MUDANÇA CLIMÁTICA E POSSÍVEIS IMPACTOS	OPÇÕES DE ADAPTAÇÃO
Transportes	Aumento da frequência de eventos extremos; aumento do nível do mar.	- Realocação e realinhamento de estradas e vias, mudanças nos projetos e substituição e adequação de estruturas, como pontes, estradas e pavimentos. - Rever os padrões de design e planejamento para estradas, ferrovias e outras infraestruturas para lidar com o aquecimento e drenagem.

Energia	Aumento da frequência de eventos extremos; aumento do nível do mar.	- Melhoria e reforço da infraestrutura de distribuição e transmissão de energia, realocação de linhas de distribuição, mudanças nos projetos e substituição e adequação de estruturas, cabeamentos subterrâneos na rede de distribuição etc. - Eficiência energética; uso de fontes renováveis; diversificação das fontes renováveis por conta de riscos na oferta de energia.
Uso do solo (Infraestrutura/ Assentamentos/ Edificações)	Aumento da frequência de eventos extremos.	- Parques lineares localizados na margem de córregos para minimizar os impactos de cheias. - Proteção das barreiras naturais existentes; criação de diques e barreiras para conter tempestades; reforço de dunas; criação de espaços verdes, melhorar a drenagem; criação de zonas pantanosas e úmidas como tampão para conter o aumento do nível do mar. - Edifícios com ventilação passiva e sistemas e refrigeração; construção eco-eficiente e uso de materiais sustentáveis.
Recursos Hídricos	Aumento da temperatura e redução dos volumes pluviométricos.	- Mais eficiência do uso da água (ex.: reuso); técnicas de armazenamento de água e conservação; reutilização da água; dessalinização; aproveitamento de águas pluviais. - Incentivo econômico (ex.: cobrança e regulamentação do uso da água), diminuindo o desperdício e aumentando a eficiência. - Aumento da capacidade de armazenamento, captações de cursos de água e transferências de água. - Recuperação das bacias hidrográficas.
Ecossistemas	Perda de biodiversidade	- Pagamento de serviços ambientais, REDD+³ e manejo comunitário.
Agricultura	Aumento das temperaturas e secas	- Desenvolvimento de novos cultivares (ex.: variedade de soja para condições de altas temperaturas e menor disponibilidade de água; espécie de cana de açúcar que demanda menor quantidade de água) desenvolvidos pela Embrapa.

Fonte: Baseado em IPCC (2007) e PBMC (2014b).

O setor energético pode ser afetado de diversas formas pelas mudanças do clima, tanto no que diz respeito à base de recursos energéticos e aos processos de transformação, quanto aos aspectos de transporte e consumo de energia. Os impactos de mudanças climáticas não são restritos à oferta de energia. O uso de energia pode também ser influenciado por variações em temperatura e precipitação (PBMC, 2014b).

³ Embora iniciativas como REDD+ e manejo comunitário por vezes sejam tratadas como mitigação, no capítulo 4.2 do volume 2 do RAN1 do PBMC são tratadas como adaptação por serem iniciativas que não só protegem a biodiversidade e os serviços ambientais associados, mas também auxiliam na redução de pobreza.

A infraestrutura de transporte e transferência de energia pode se estender por milhares de quilômetros, podendo ser, portanto, exposta a uma série de eventos climáticos extremos. Fenômenos que podem afetar linhas de transmissão e distribuição incluem ventos extremos, furacões, raios e alagamentos. Gasodutos e oleodutos podem ser afetados por deslizamentos, enchentes, entre outros eventos climáticos extremos (PBMC, 2014b).

Uma série de medidas de adaptação serão necessárias para garantir o abastecimento de água com quantidade e qualidade adequadas, especialmente em regiões costeiras, onde as fontes de água e infraestrutura estão sujeitas aos impactos do aumento do nível do mar, tempestades mais intensas, intrusão de água salgada e erosão de terras. As cidades estão a realizar uma série de estratégias para enfrentar esses desafios de água e esgoto, incluindo:

- reduzir água sem faturamento, o que constitui uma fração significativa da oferta em muitas áreas urbanas, por meio da detecção e reparo de vazamentos e redução de retiradas não autorizadas;
- rever e modificar as fontes de água superficiais e subterrâneas, instalações de armazenamento e as entradas, quando apropriadas para tornar o abastecimento menos vulnerável aos riscos induzidos pelo clima, como inundações e secas;
- implementar práticas inovadoras de abastecimento local sempre que possível, por meio de técnicas como a coleta de água da chuva e reúso de água, bem como da melhoria na contabilidade de água, de melhores redes de observação e modelagem holística;
- gestão da demanda prática por meio de preços adequados (incluindo os objetivos sociais, ambientais e econômicos), educação pública sobre o uso e conservação da água, melhoria de instruções em sanitários e chuveiros, atualizar os planos de gestão de secas, e objetivos de estratégias de uso da terra;
- encorajar o uso de processos eficientes de água em usos doméstico, industrial e agrícola.

Estratégias de mitigação e adaptação para os sistemas de transportes em cidades incluem:

- plano integrado de transporte e uso do solo para aumentar a densidade da porção urbanizada de lotes urbanizados, plano para desenvolvimento de uso misto e fortalecer a proximidade de passageiros ao trânsito e/ou para seus destinos, para reduzir distâncias de viagem de veículo;
- construir sistemas de transportes com materiais que são mais resistentes a altas temperaturas e ao efeito potencialmente corrosivo do aumento da exposição à água do mar pelo aumento do nível do mar e inundações costeiras;
- considerar a adequação do zoneamento como uma solução de adaptação, recuando a partir da costa, e a construção de novas instalações de transporte mais para o interior e em terrenos mais altos;
- proteger os sistemas de transporte do aumento da precipitação e de enchentes por meio do uso de bueiros maiores e bacias de captura, substituição da superfície de pavimentos impermeáveis por materiais permeáveis, superfície de telhados impermeáveis por telhados verdes;
- introduzir medidas operacionais, incluindo fechamento do tráfego durante eventos climáticos extremos; mover material circulante para área protegida de inundação e/ou locais protegidos do vento; fechar o tráfego em pontes altas durante ventos fortes; utilizar a mídia para indicar perigos em condições de estradas, rotas e modos de transporte alternativos mais seguros.

As agências de saúde podem contribuir para a melhoria do conhecimento dos efeitos das mudanças climáticas nas populações urbanas e trabalhar em conjunto com outras agências reponsáveis por reduzir as vulnerabilidades das cidades diante da variabilidade climática (ROSENZWEIG *et al.*, 2011b). Estratégias de adaptação, muitas relacionadas a outros setores, como planejamento do uso do solo e governança, incluem:

- expandir a vigilância da saúde e de sistemas de alerta precoce que utilizam ambas as redes tecnológicas e sociais, especialmente para os idosos, crianças e os mais pobres;
- reduzir o tamanho do efeito de ilha de calor urbana por meio de abordagens passivas, tais como o plantio de árvores, telhados verdes e reflexivos e pavimentos permeáveis, minimizando assim o estresse térmico sobre todos os cidadãos;
- enfatizar as estratégias de resiliência climática de água e sistema de energia, por causa do papel fundamental que desempenham na proteção das populações durante e após eventos climáticos extremos; regular os assentamentos em planícies de inundação para minimizar a exposição a tempestades costeiras e a inundações em cidades litorâneas.

Alternativas de Adaptação em áreas urbanas

Faixas de superfícies impermeáveis podem intensificar inundações e são diretamente determinantes ao efeito de ilha de calor. A presença ou ausência de árvores nas ruas e parques e da extensão dos sistemas de esgoto e drenagem pode impedir ou melhorar os processos naturais de evapotranspiração, além de amplificar os efeitos de inundações e secas (ROSENZWEIG *et al.*, 2011b).



Foto: Jardy Lopes/ Asscom Prefeitura de Tarauacá (31/01/2015)

Faixas de superfícies impermeáveis podem intensificar inundações e são diretamente determinantes ao efeito de ilha de calor.

Um cenário natural de uma cidade, sua forma urbana e ambientes construídos são fatores relativamente estáticos, mas estão sujeitos a modificação futura por meio de planejamento e gestão urbana. Rosenzweig *et al.* (2011b) apresentam como exemplo o caso de Shanghai, que tem procurado aumentar o nível de vegetação em torno do núcleo urbano para mitigar a ilha de calor urbana; desde 1990, a vegetação urbana *per capita* aumentou de 1,0 m² a 12,5 m², resultando em temperaturas decrescentes. Em Tóquio, o governo municipal tem se expandido de forma semelhante a Shanghai e os gastos são com o plantio de árvores, desenvolvimento de parques, e o uso de superfícies pavimentadas que bloqueiam o calor e absorvem a umidade.

Estocolmo está envolvida em uma iniciativa de planejamento de longo prazo tanto para mitigação como adaptação às mudanças climáticas. O *Stockholm Royal Seaport* é uma nova área de desenvolvimento de requisitos ambientais rigorosos para edifícios, ou seja, todos os edifícios deverão ser construídos 2,5m acima do nível médio do mar, materiais de construção terão especificações para resistirem à alta umidade e outros requerimentos exigem folhagens e plantas em telhados, paredes e quintais.

Rosenzweig *et al.* (2011b,2015) apresentam exemplos como ponto de partida inicial que autoridades locais podem utilizar desses exemplos para responder às mudanças climáticas. Estas iniciativas podem ser continuadas por meio de sistemas legais e políticos, departamentos de planejamento, zoneamento, infraestrutura e serviços urbanos, mercados imobiliários e regime fiscal. Outras iniciativas específicas de adaptação e mitigação relacionadas ao uso do solo urbano incluem:

- reduzir a expansão por meio do aumento da densidade populacional e de construção, misturando usos da terra para reduzir o tráfego de automóveis, e uma utilização mais frequente de transporte público;
- alterar códigos de construção civil para reduzir o consumo de energia para aquecimento e resfriamento;
- restringir o uso da terra em áreas sujeitas aos impactos das mudanças climáticas, como aumento do nível do mar e inundações ribeirinhas;
- alterar os códigos de construção civil e regulamentos sobre o uso do espaço urbano para reduzir os danos dos perigos das mudanças climáticas, por exemplo, elevando edifícios em áreas sujeitas a inundações;
- aumentar a cobertura de árvores urbanas e vegetação para reduzir o efeito de ilha de calor.

A tabela a seguir apresenta as principais estratégias de adaptação no planejamento urbano de acordo com o conhecimento dos riscos e vulnerabilidades existentes.



Tabela 22. Estratégias de planejamento urbano como medidas de adaptação para os riscos às mudanças climáticas

RISCOS CLIMÁTICOS	PRINCIPAIS ESTRATÉGIAS DE ADAPTAÇÃO NO PLANEJAMENTO URBANO
Temperatura, ondas de calor	Mudanças nos códigos de construção civil para resistir à maior carga de energia, tanto para aquecimento como resfriamento de ambientes como telhados verdes e reflexivos, pavimentos permeáveis, materiais que favoreçam a controle térmico etc. Serviços ecossistêmicos com o aumento da cobertura de árvores urbanas e criação de espaços verdes.
Precipitação, inundações e secas	Restringir o desenvolvimento em áreas propensas a inundações, deslizamentos, incêndios, mudança no código da construção civil para abranger uma maior drenagem, com o uso de pavimentos permeáveis etc.
Aumento no nível do mar e tempestades	Restringir o desenvolvimento ou a expansão de ambientes construídos em áreas costeiras. Mudança nos códigos de construção civil para reduzir impactos, ex.: elevar edificações, obras de proteção de construções/ edificações. No caso de áreas urbanas em zonas costeiras onde os esforços de proteção não sejam viáveis, desenvolver planos para a retirada das construções e populações e a criação de novos assentamentos.

Fonte: Baseada em Rosenzweig *et al.* (2011b,2015).

As informações sobre a mudança climática regional e seus impactos são valiosas para a adaptação. Os problemas associados a ondas de calor e água vão afetar muitas cidades, mas a expressão espacial de tais riscos e seus impactos sobre os indivíduos estão intimamente relacionados com padrões espaciais de vulnerabilidade, desigualdade social e sócioespacial e, portanto, exigem um nexo direto entre adaptação às mudanças climáticas, planejamento do uso urbano da terra e gestão de riscos. As políticas futuras de habitação devem incorporar esses elementos e, em certos contextos espaciais, também as futuras políticas de água, energia e segurança alimentar (KRELLENBERG *et al.*, 2014).

A literatura atual sobre o tema adaptação apresenta exemplos de casos de sucesso de medidas de adaptação em cidades. Essas medidas vão desde uma obra civil ao plantio de árvores, e estão associadas ao desenvolvimento sustentável das cidades, especialmente em países em desenvolvimento, e a investimentos em uma infraestrutura adaptada para resistir aos efeitos das mudanças climáticas.

É importante que o planejamento das cidades inclua o conhecimento das vulnerabilidades existentes e riscos associados à ocorrência de eventos extremos climáticos. Sabe-se que o custo associado ao desenvolvimento urbano em geral é alto. Contudo, assim como na questão da mitigação, não agir em adaptação custará muito mais no futuro. O ideal é que as cidades sejam remodeladas e planejadas de acordo com as prioridades existentes, visando torná-las resilientes às mudanças climáticas.





Referências

ABNT, 2005: NBR15220. Desempenho térmico de edificações. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Disponível em: < <http://www.slideshare.net/patricia Lopes9480/nbr-15220> >. Acesso em: Set. 2016.

ABRELPE (Org), 2011: Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2011. Associação Brasileira De Empresas De Limpeza Pública e Resíduos Especiais. São Paulo: Grappa Editora e Comunicação. 186 p.

ABRELPE (Org.), 2013: Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013. Associação Brasileira De Empresas De Limpeza Pública e Resíduos Especiais. São Paulo: Grappa Editora e Comunicação, 2013. 114 p.

ADGER et al., 2003: Adaptation to climate change in the developing world. Progress in Development Studies, 3 (2003), pp. 179–195.

ADGER, W. N, 2006. Vulnerability. Global Environmental Change, v.16, p.268-81.

ADGER, W.N; ARNELLA, N.W; TOMPKINS, E.L. 2005: Successful adaptation to climate change across scales. Volume 15, Issue 2, July 2005, Pages 77–86.

AES, 2013. Alternativas para viabilização da implementação de redes subterrâneas no Brasil. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Palestra_3_AES%20Eletropaulo.pdf>. Acesso em: Agosto/2016.

AHERN, J. 2011: From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. Landscape and Urban Planning 100 (2011) 341–343.

ALBERTI, M, 1999: Modeling the urban ecosystem: a conceptual framework. Environment And Planning li: Planning and Design, Washington, v. 26, n. 1, p.603-630, 14 out. 1998. Disponível em: <http://www.prism.washington.edu/lc/alberti_1999.pdf>. Acesso em: 4 out. 2016.

ALMACK, Kaitlin, 2010: Restoring Ecosystem Services to Prevent Flood Damage In Napa River Basin. The Economics Of Ecosystems & Biodiversity, USA, out. 10.



American Council for an Energy Efficient Economy (ACEEE), 2013. The International Energy Efficiency Scorecard. Disponível em: <<http://aceee.org/sites/default/files/pdf/country/2016/brazil.pdf>>. Acesso em: out.2016.

ANA, 2010a: ATLAS BRASIL - Abastecimento Urbano de Água: Panorama Nacional. Ministério do Meio Ambiente. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2010. 72 p.

ANA, 2014: Encarte Especial sobre a Crise Hídrica: Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil - Informe 2014. Agência Nacional das Águas. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, DF, 2015. 31 p.

ANA, 2015: Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil - Informe 2015. Agência Nacional das Águas. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: Ana, 2015. 88 p.

ANA, 2016: Bacias Hidrográficas. Disponível em: < <http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/default.aspx> Acesso em: 4 out. 2016.

AVELAR, André de Souza; NETTO, Ana Luiza Coelho; D'ORSI, Ricardo Neiva, 2011: Vulnerabilidades dos sistemas naturais: Monitoramento dos problemas de encosta na cidade do Rio de Janeiro frente às mudanças climáticas em curso e futuras. In: INPE. Megacidades, Vulnerabilidades e Mudanças Climáticas: Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Lab. de Geo-Hidroecologia – Dept. Geografia - UFRJ. Rio de Janeiro: Inpe, 2011. Cap. 4. p. 311-328.

BALK, D et al., 2009: Mapping Urban Settlements and the Risks of Climate Change in Africa, Asia and South America. Population Dynamics and Climate Change. International Institute for Environment and Development: London: 80-103.

BARNETT, J., 2001: Adapting to Climate Change in Pacific Island Countries: The Problem of Uncertainty. Word Development, 29(6), p. 977-993.

BLOK, K. et al., 2012: Bridging the greenhouse-gas emissions gap. Nature Climate Change, 2(7). 471-74. DOI:10.1038/nclimate1602. C40 Cities (2013). The Rio Numbers: C40 Cities Can Reduce Greenhouse Gas Emissions by over a Billion Tons per Year in 2030. Prepared by the Stockholm Environment Institute - U.S. Centre for the C40 Cities Climate Leadership Group, New York. Disponível em: <<http://www.c40.org/research>> Acesso em: set.2016.

BOURNE, C., 2004: Small States in the Context of Global Change, *Journal of Eastern Caribbean Studies*, 29(3), p 67-77.

BRASIL, 2004: Decreto nº 5.300, de 07 de Dezembro de 2004. Regulamenta a Lei no 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC, dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/D5300.htm>. Acesso em: 17 ago. 2016.

BRASIL, 2007. Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Brasília. 176 p.

BREAUX, Andree; FARBER, Stephen; DAY, John, 1995: Using Natural Coastal Wetlands Systems for Wastewater Treatment: An Economic Benefit Analysis. *Journal Of Environmental Management*. Pittsburgh, p. 285-291. 9 set. 1994. Disponível em: <https://www.fws.gov/GISdownloads/R4/LouisianaESO/Walther/WWTP/Breaux_Day_etal_Using Natural Coastal Wetlands Systems for Wastewater Treatment.pdf>. Acesso em: 10 set. 2016.

BRITTO, A.L; FORMIGA-JOHNSON, R.M., 2010: Mudanças climáticas, saneamento básico e governança da água na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. In: V ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 5, Florianópolis. Encontro Nacional da Anppas. Florianópolis: Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, 2010. p. 1 - 17.

CARPENTER et al., 2001: From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What. *Ecosystem*, 4(8), p 765-781.

CBIC, 2015: Déficit habitacional no Brasil. Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC). Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/deficit-habitacional/deficit-habitacional-no-brasil>. Acesso em: Set. 2016.

CBIC, 2016: PIB Brasil e Construção Civil. Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC). Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>>. Acesso em: Set. 2016.

CEBDS, 2015: Riscos Climáticos: Como o setor empresarial está se adaptando? Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro, 2015. 52 p.



CEBDS, 2016: Financiamento à Energia Renovável: Entraves, desafios e oportunidades. 90p. Disponível em: http://cebds.org/wpcontent/uploads/2016/05/CEBDS_SUM_FINANCIAMENTO_A_ENERGIA_RENOV%C3%81VEL-entraves_desafios_oportunidades_SITE.pdf.

COELHO-ZANOTTI, M.S.S; MASSAD, 2012: The impact of climate on Leptospirosis in São Paulo, Brazil. *International Journal of Biometeorology*, 55, 1-9, doi:10.1007/s00484-011-0419-4 Issn: 0020-7128.

CONFALONIERI, Ulisses E. C.; MARINHO, Diana P.; BARATA, Martha M. L., 2011: Vulnerabilidades Sócio-Econômicas: Vulnerabilidades em Matéria de Saúde Pública na Região Metropolitana Do Rio de Janeiro na Perspectiva Das Mudanças Climáticas. In: INPE (Org.). *Megacidades, Vulnerabilidades e Mudanças Climáticas: Região Metropolitana do Rio de Janeiro*. Fundação Oswaldo Cruz - Fiocruz: Inpe, 2011. Cap. 3. p. 201-225.

COPPE, 2008: Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (Coppe). Disponível em: <http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/CLIMA_E_SEGURANCA-EnERGETICA_FINAL.pdf >. Acesso em: Agosto/2016.

CUTTER, S. L. et al., 2008. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change*, v.18, p.598-606.

DAW, T. et al., 2011: Applying the ecosystem services concept to poverty alleviation: the need to disaggregate human well-being. *Environmental Conservation*, Volume 38, Issue 4 (Thematic section. Payments for Ecosystem Services in Conservation: Performance and Prospects). December 2011, pp. 370-379.

DE GROOTE, H. et al., 2003: Economic impact of biological control of water hyacinth in Southern Benin. *Ecological Economics*. Benin, p. 105-117. 2003.

DEFESA CIVIL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2016: Mapa de ameaças múltiplas do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://www.mindmeister.com/pt/696500912/mapa-de-amea-as-m-ltiplas-do-estado-do-rio-de-janeiro-2016>>. Acesso em: Set.2016.

DERECZYNSKI et al.,2011: Impactos sobre o meio físico: Clima e mudanças climáticas na cidade do Rio de Janeiro. In: INPE (Org). Megacidades, Vulnerabilidades e Mudanças Climáticas: Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Coppe – Universidade Federal do Rio de Janeiro (Rio de Janeiro): Inpe, 2011. Cap. 2. p. 43-73.

ECF, 2014: Climate Change: Implications for cities. European Climate Foundation (ECF). Disponível em: <http://www.iclei.org/fileadmin/PUBLICATIONS/Brochures/IPCC_AR5_Cities_Summary_FINAL_Web.pdf>. Acesso em: Setembro/2016.

ECHEGARAY, F.; AFONSO, M.H, 2014: Respostas às mudanças climáticas: inovação tecnológica ou mudança de comportamento individual? Estud. av. vol.28 no.82. São Paulo. Oct./Dec. 2014.

EDENHOFER et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York. Disponível em: <<http://www.mitigation2014.org>>. Acesso em: ago.2016.

EGLER, Claudio A. G.; GUSMÃO, Paulo P., 2011: Tendências De Uso e Ocupação do Território e Gestão Metropolitana Face às Mudanças Climáticas: Contexto Metropolitano. In: INPE. Megacidades, Vulnerabilidades e Mudanças Climáticas: Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Laboratório de Gestão do Território – Universidade Federal do Rio de Janeiro (Rio de Janeiro): Inpe, 2011. Cap. 1. p. 17-40.

EMBARQ, 2013: Social, Environmental and Economic Impacts on BRT Systems: Bus Rapid Transit Case Studies from Around the World. Disponível em: <http://thecityfixbrasil.com/files/2013/12/EMB13_HSBC_BRTimpacts_Executive_Summary_26_Nov_2013.pdf&sa=U&ei=cHRTU9KdLaTG2wXT6YDgBw&ved=0CCAQFjAB&usg=AFQjCNHBMa98Kpz-x-MPk-qLw6zxxTDmNQ>Acesso em: set.2016.

EPA, 2016: Heat Island Impacts. US Environmental Protection Agency (EPA). Disponível em: <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-impacts>. Acesso em Outubro de 2016.



EPE, 2015: Ministério de Minas e Energia. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015: Ano base 2014. Rio de Janeiro: 2015. 232 p. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202015.pdf>> Acesso em: set.2016.

EPE, 2016 (Comp.): Balanço Energético Nacional 2015: Ano base 2014. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. Brasília: 2015. 192p.

EPE, 2016 (Comp.): Balanço Energético Nacional 2016: Ano base 2015. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. Brasília: 2016. 294 p.

ERNSTSON et al., 2010: Urban Transitions: On Urban Resilience and Human-Dominated Ecosystems. *AMBIO*, 39, p 531-545.

FAJERSZTAJN, L.; VERAS, M.; SALDIVA, P.H.N., 2016: Como as cidades podem favorecer ou dificultar a promoção da saúde de seus moradores? *Estud. av.* vol.30 no.86 São Paulo Jan./Apr. 2016.

FBDS, 2016. Mudanças Climáticas e Eventos Extremos no Brasil. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS). Disponível em: <http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf>. Acesso em: Setembro/2016.

FGV-EPC, 2011: Propostas empresariais de políticas públicas para uma economia de baixo carbono no Brasil. 2011. Fundação Getúlio Vargas/ Plataforma Empresas pelo Clima. Disponível em: <http://intranet.gvces.com.br/cms/arquivos/recomendacoes_epc.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2011.

FIOCRUZ, 2007: Análise da vulnerabilidade da população brasileira aos impactos sanitários das mudanças climáticas. Plano Plurianual de Governo – PPA. Fundação Oswaldo Cruz. Programa Mudanças Ambientais Globais e Saúde. Resultados obtidos 2005. [Brasília]: Ministério da Ciência e Tecnologia, jan. 2007. 201 p.

FISCHETTI, M., 2001: Drowning New Orleans. Disponível em: <http://rapeutation.com/DROWNING%20NEW%20ORLEANS.pdf>. Acesso em: set.2016.

FISHER, R.; TURNER, R.K.; MORLING, P., 2009: Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics* 68 (2009) 643 – 653.

FOLKE, C., 2006: Resilience: The Emergence of a Perspective for Social-ecological Systems Analyses. *Global Environmental Change*, 16(3), p 253-267.

FOLKE, C. et al., 2010: Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*. 15(4): 20.

GEA, 2012: Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria. Disponível em: <www.globalenergyassessment.org>. Acesso em: set.2016.

GIOVANINNI, Luigi, 2011: Vulnerabilidades dos sistemas naturais: biodiversidade e unidades de conservação na Região Metropolitana do Rio de Janeiro: apreciação geral das vulnerabilidades face às mudanças climáticas. In: INPE (Org.). *Megacidades, Vulnerabilidades e Mudanças Climáticas: Região Metropolitana do Rio de Janeiro*. Coppe – Universidade Federal do Rio de Janeiro (Rio de Janeiro): Inpe, 2011. Cap. 4. p. 229-256.

GUNDERSON, L. H., 2000: Ecological Resilience: In Theory and Application. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31, p 425-439.

GUNDERSON, L. H; HOLLING, C. S, 2001: *Panarchy: understanding transformations in human and natural systems*, Island Press, Washington, DC.

HAASE, Dagmar et al, 2014: A Quantitative Review of Urban Ecosystem Service Assessments: Concepts, Models, and Implementation. *Ambio*. England, p. 413-433. abr. 2014.

HAINES et al., 2006: Climate change and human health: Impacts, vulnerability and public health. *Public Health*. Volume 120, Issue 7, July 2006, Pages 585–596.



Referências

HIGGINS, Steven I. et al, 1997: An ecological economic simulation model of: Dynamics, valuation and management. *Ecological Economics*, South Africa, v. 22, p.155-169, dez. 1996.

HOLLING, C. S., 1973: Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4, p 1-23.

IBGE, 2010: Censo Demográfico 2010: Aglomerados subnormais – Informações territoriais. 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/552/cd_2010_agrn_if.pdf>. Acesso em Setembro de 2016.

IBGE, 2011a: Atlas Geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil. 2011a. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv55263.pdf>>. Acesso em: 17/08/2016.

IBGE, 2011b: Atlas de Saneamento 2011. Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências. Rio de Janeiro, 2011. 268 p.

IBGE, 2013. Perfil dos municípios brasileiros. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Perfil_Municipios/2013/munic2013.pdf>. Acesso em: Agosto de 2016.

IBGE, 2014: Logística dos Transportes no Brasil 2014. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IBGE, 2016a: População do Rio de Janeiro. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=rj>>. Acesso em: 18/08/2016.

IBGE, 2016b: IBGE Cidades. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php?lang=>>>. Acesso em: 26 set. 2016.

INPE, 2010: Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: região metropolitana de São Paulo: Sumário Executivo / Carlos A. Nobre, coordenador. – São José dos Campos, SP. Disponível em: <http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/publicacoes/2010/SumarioExecutivo_megacidades.pdf>. Acesso em: Setembro de 2016.

INPE, 2011: Megacidades, Vulnerabilidades e Mudanças Climáticas: Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Disponível em: <http://www.laget.eco.br/index.php?option=com_content&view=article&id=77:megacidades-vulnerabilidades-e-mudancas-climaticas-regiao-metropolitana-do-rio-de-janeiro&catid=47:relatorio&Itemid=5>. Acesso em: Agosto de 2016.

INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2014: Qualidade do fornecimento de energia elétrica: confiabilidade, conformidade e prestação. Disponível em: http://www.acendebrasil.com.br/media/estudos/2014_WhitePaperAcendeBrasil_14_Qualidade_Fornecimento_Energia_Rev_0.pdf. Acesso em: Setembro de 2016.

INSTITUTO TRATA BRASIL (Brasil). Situação Saneamento no Brasil. 2016. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>>. Acesso em: 5 out. 2016.

IPCC, 2007: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

IPCC, 2014a: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 p.



IPCC, 2014b: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 688.

IPCC, 2014c: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC, 2014d: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>>. Acesso em: 20.jul.2016.

ITAMBÉ, 2010: Brasil persegue conforto térmico ideal. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/brasil-persegue-o-conforto-termico-ideal/>. Acesso em: Set. 2016.

JABAREEN, Y., 2013: Planning the resilient city: concepts and strategies for coping with climate change and environmental risk. *Cities*, 31, p.220-229.

JRC, 2012: Impacts of Climate Change on Transport: A focus on road and rail transport infrastructures. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies. Françoise Nemry, Hande Demirel (Eds.). ISBN 978-92-79-27037-6.

KRELLENBERG, K. et al., 2014: Adaptation to climate change in megacities of Latin America. Regional Learning Network of the research project Climate Adaptation Santiago (CAS). Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC), Nações Unidas.

KRON, W. Coasts, 2008: The riskiest places on Earth. In: Coastal Engineering, 2008. Proceedings of the 31st International Conference. Hamburg, Germany, v.1, n.31 2008. Disponível em: <http://www.asianscientist.com/wp-content/uploads/2012/07-new/9789814277426_001.pdf>. Acesso em: ago.2016.

LAPA J.S., 2008: Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto. Belo Horizonte, Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Patologia,%20Recupera%E3o%20e%20Reparo%20das%20Estruturas%20de%20Concreto.pdf>>. Acesso em: Set.2016.

MA, 2003 (Org.), 2009: Ecosystems and Human Well-being: a framework for assessment. Millennium Ecosystem Assessment. Washington, Dc: Dever Designs. 266 p.

MADER, André et al, 2010: TEEB Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management. European Commission And Various Governments: Disponível em: <http://www.teebweb.org/wp-content/uploads/Study_and_Reports/Additional_Reports/Manual_for_Cities/TEEB_Manual_for_Cities_English.pdf>. Acesso em: 10 out. 2016.

MARENGO, J.A., 2008: Vulnerabilidade, impactos e adaptação do clima no semiárido do Brasil. Parcerias estratégicas. Brasília, DF. N° 27, p 1-5, 2008.

MARENGO, J.A., 2009: Mudanças Climáticas e Eventos Extremos no Brasil. Rio de Janeiro: Dagema Comunicação. 76 p.

MARENGO, J. A., 2010: Mudanças Climáticas, Condições Meteorológicas Extremas e Eventos Climáticos no Brasil. FBDS (org) Mudanças Climáticas Eventos Extremos no Brasil. p: 05-19. FDBS & LLOYD'S. 2010.

MCTI (Org.), 2014: Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. 2. ed. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2014. 168 p.

MEHROTRA, Shagun et al, 2009: Framework For City Climate Risk Assessment. In: Fifth Urban Research Symposium, 50., 2009, Marselle. Urban Research Symposium. Disponível em: < <http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1256566800920/6505269-1268260567624/Rosenzweig.pdf>> Acesso em: ago.2016.



MIGUEZ, Marcelo Gomes et al., 2011: Vulnerabilidades Sócio-Econômicas: Vulnerabilidades da Infraestrutura de Drenagem Urbana e os Efeitos das Mudanças Climáticas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. In: INPE (Org.). Megacidades, Vulnerabilidades e Mudanças Climáticas: Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Escola Politécnica – Universidade Federal do Rio de Janeiro (Rio de Janeiro): Inpe, 2011. Cap. 3. p. 125-144.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2016a: Boletim Epidemiológico: Monitoramento dos casos de dengue, febre de chikungunya e febre pelo vírus Zika até a Semana Epidemiológica 52. 3. ed. Secretaria de Vigilância em Saúde. Ministério da Saúde. Brasília: Coordenação-geral de Desenvolvimento da Epidemiologia em Serviço/svs/ms. 10 p. (47).

MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2016b: Boletim Epidemiológico: Monitoramento dos casos de microcefalia no Brasil até a Semana Epidemiológica 51/2015. Secretaria de Vigilância em Saúde. Ministério da Saúde. Brasília: Coordenação-geral de Desenvolvimento da Epidemiologia em Serviço/svs/ms. 4 p. (47).

MINISTÉRIO DO TRANSPORTE, 2013: Plano setorial de transporte e de mobilidade urbana para mitigação e adaptação à mudança do clima. Brasília: Ministério do Transporte, 2013.

MMA, 2016: Parques e Áreas Verdes. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/areas-verdes-urbanas/parques-e-areas-verdes>>. Acesso em: 12 set. 2016.

MMA, 2016: Zona Costeira e Marinha. Ministério do Meio Ambiente. Ministério do meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-aquatica/zona-costeira-e-marinha>>. Acesso em: ago. 2016.

MONTEIRO, José Henrique Penido, 2011: Resíduos Sólidos Urbanos: Considerações Sobre a Situação da Região Metropolitana do Rio de Janeiro Face às Mudanças Climáticas: Vulnerabilidades Sócio-Econômicas. In: INPE. Megacidades, Vulnerabilidades e Mudanças Climáticas: Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Inpe, 2011. Cap. 3. p. 173-198.

MONZONI, M, 2009: Diretrizes para formulação de políticas públicas de mudanças climáticas no Brasil. Observatório do Clima e Centro de Estudos em Sustentabilidade da Eaesp - FGV (Org.) São Paulo: Dora Dias, 2009. 94 p.

MUEHE, Dieter; ROSMAN, Paulo C. C., 2011: Impactos sobre o meio físico: a orla costeira da região metropolitana do Rio de Janeiro impactos das mudanças climáticas sobre o meio físico. In: INPE (Org.). Megacidades, Vulnerabilidades e Mudanças Climáticas: Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Coppe/ufRJ (Rio de Janeiro): Inpe, 2011. Cap. 2. p. 77-105.

NICOLODI, J.L.; PETERMANN R.M, 2010: Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira no Brasil: Aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. Disponível em: http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-206_Nicolodi.pdf. Acesso em: Ago. 2016.

NIELSEN, Anders Busse et al, 2016: Spatial configurations of urban forest in different landscape and socio-political contexts: identifying patterns for green infrastructure planning. Urban Ecosystems, v. 19, p.1-14, 4 out. 2016.

NOBRE, Carlos et al, 2011: Vulnerabilidades das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo: Inpe, 2011. 192 p.

NOWAK, David; CRANE, Daniel, 2001. Carbon storage and sequestration by urban streets in the USA. Environmental Pollution, New York, v. 16, p.381-389, jul. 2001.

NSW GOVERNMENT, 2014: Towards a Resilient Sydney: Adaptation Review Paper. Disponível em: < <http://climatechange.environment.nsw.gov.au/Adapting-to-climate-change/Regional-vulnerability-and-assessment/Sydney>>. Acesso em: Set. 2016.

OBERMAIER, M.; ROSA, L.P, 2013: Mudança climática e adaptação no Brasil: uma análise crítica. Estudos avançados 27 (78), 2013.

OECD, 2010: Cities and Climate Change, OECD Publishing, Paris. Disponível em: <<http://www.citiesalliance.org/sites/citiesalliance.org/files/0410081e.pdf>>. Acesso em: out.2016.



Referências

OECD, 2014: Cities and Climate Change. National governments enabling local action. Policy Perspective. OECD Publishing. Set. 2014.

ONS, 2014: Dados Relevantes 2014. Operador Nacional do Sistema (ONS). Disponível em: <http://www.ons.org.br/download/biblioteca_virtual/publicacoes/DADOS2014_ONS/7_2.html>. Acesso em: Agosto/2016.

ONS, 2016: Diagrama esquemático das usinas hidrelétricas do SIN. Operador Nacional do Sistema (ONS). Disponível em: http://www.ons.org.br/conheca_sistema/mapas_sin.aspx#. Acesso em: Setembro/2016.

ONU, 2014: World Urbanization Prospects. Organização das Nações Unidas (ONU). Disponível em: <<https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf>>. Acesso em: Out. 2016.

OPAS, 2008: Mudanças climáticas e ambientais e seus efeitos na saúde: cenários e incertezas para o Brasil: Série Saúde Ambiental 1. Ministério da Saúde. Brasília: Organização Pan-americana da Saúde – Opas/oms, 44 p.

PAOLETTI, Elena et al., 2011: Air quality impact of an urban park over time. *Procedia Environmental Sciences: Urban Environmental Pollution, Italy*, v. 4, p.10-16, jan. 2011.

PBMC, 2014a: Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Ambrizzi, T., Araujo, M. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 464 pp.

PBMC, 2014b: Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Assad, E.D., Magalhães, A. R. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 414 pp.

PICKETT et al., 2004: Resilient Cities: Meaning, models, and metaphor for integrating the ecological, socio-economic, and planning realms. *Landscape and Urban Planning*, 69(4), p. 369-385.

PIMENTEL, David et al., 1995: Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. Science: New Series, v. 267, n. 5201, p.1117-1123. 24 fev. 1995.

PORTAL BRASIL. IBGE e Marinha lançam Atlas geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas. 2014. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/defesa-e-seguranca/2011/12/ibge-e-marinha-lancam-atlas-geografico-das-zonas-costeiras-e-oceanicas>>. Acesso em: Setembro/2016.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE, 2009: Inventário de emissões de gases de efeito de estufa Belo Horizonte. Disponível em: <http://www.pbh.gov.br/smpl/PUB_P015/Relat%C3%B3rio+Final+Gases+Estufa.pdf>. Acesso em: out. 2016.

PREFEITURA DE CURITIBA, 2012: Inventário de emissões de gases de efeito de estufa em Curitiba. Disponível em: <<http://multimedia.curitiba.pr.gov.br/2012/00118446.pdf>>. Acesso em: set. 2016.

PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2014: Inventário de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito de estufa no município de São Paulo. Disponível em: <http://www.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2014/02/18/F4A437CC-081C-4D9E-A34D-2196CF4C7FE4.pdf>. Acesso em: set. 2016.

PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2015: Distribuição das favelas: Município de São Paulo, Subprefeituras e Distritos Municipais. Disponível em: <http://infocidade.prefeitura.sp.gov.br/htmls/9_distribuicao_das_favelas_2015_516.html>. Acesso em: Ago 2016.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2013: Greenhouse gas emission inventory for Rio de Janeiro 2012. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/1712030/4114527/CRJ_InventarioGEE2012_resumo_tecnicoINGLESFINAL1.pdf> Acesso em: set. 2016.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2015: Rio Resiliente. Diagnóstico e áreas de foco. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/126674/4134832/Resiliencia.pdf>>. Acesso em: jul. 2016.



Referências

REVI, A. et al., 2014: Urban areas. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 535-612.

RIBEIRO R.L.S, 2013: Ações devidas ao clima sobre os materiais de construção em regiões tropicais. Recife. Disponível em: <http://repositorio.ufpe.br/bitstream/handle/123456789/12334/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Rafaela%20Larissa%20Santos%20Ribeiro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: Setembro/2016.

RIBEIRO, K.T.; FREITAS, L., 2010: Impactos potenciais das alterações no Código Florestal sobre a vegetação de campos rupestres e campos de altitude. Biota Neotrop. 10(4). Disponível em: <<http://www.biotaneotropica.org.br/v10n4/pt/abstract?article+bn04310042010>>. Acesso em: set. 2016.

RIBEIRO, W.C, 2008: Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Parcerias Estratégicas, v. 13, n 27.

ROSENZWEIG et al, 2010: Cities lead the way to climate-change action. 2010. Nature, volume 467, 909-911.

ROSENZWEIG, C., 2011: All climate is local: How mayors fight global warming. Sci. Amer., 305, no. 3, 70-73.

ROSENZWEIG, C. et al., 2011: Urban Climate Change in Context. Climate Change and Cities: First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network, C. Rosenzweig, W. D. Solecki, S. A. Hammer, S. Mehrotra, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 3-11.

ROSENZWEIG et al., 2015: ARC3.2 Summary for City Leaders. Urban Climate Change Research Network. Columbia University. New York.

SANTOS, Ana Lucia Gomes dos; FURLAN, Sueli Ângelo, 2010: Manguezais da Baixada Santista, São Paulo- Brasil: uma bibliografia. In: SEMINÁRIO IBERO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 2. 2010, Universidade de Coimbra (coimbra). Artigo. São Paulo: USP, 2010. p. 1 - 14.

SANTOS, A.S., 2014: A importância do Setor de Transporte para o Aumento de Resiliência das Cidades Frente à Mudança Climática: Uma proposta de Plano de Ação para a cidade do Rio de Janeiro/ Andrea Souza Santos – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE.

SANTOS, A.S.; BALASSIANO, R., 2014: Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas no setor de transportes. Capítulo 5.3.3.1. ed. Rio de Janeiro: COPPE/ UFRJ, 2014. v.2. 234-244p.

SANTOS, A.S.; RIBEIRO, S.K., 2015: The role of transport indicators to the improvement of local governance in Rio de Janeiro City: A contribution for the debate on sustainable future, Case Stud. Transp. Policy (2015). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cstp.2015.08.006>>. Acesso em: set.2016.

SANTOS, W.R.T; MELO M.L.D, 2010: Índices de conforto e desconforto térmico humano segundo os cenários climáticos do IPCC. Disponível em: <http://www.sbmet.org.br/cbmet2010/artigos/446_95127.pdf>. Acesso em: Set. 2016.

SATTERTHWAITE et al., 2007: Building Climate Change Resilience in Urban Areas and Among Urban Populations in Low- and Middle- Income Nations. Building for Climate Change Resilience. Center For Sustainable Urban Development. Disponível em: <http://csud.ei.columbia.edu/files/2012/04/Week2_Climate_IIED.pdf>. Acesso em: set.2016.

SCHEFFER, M. 2009: Critical Transitions in Nature and Society. Princeton University, 387p.

SCHIPPER, E., 2007: Climate Change Adaptation and Development: Exploring the Linkages. Disponível em: <http://www.preventionweb.net/files/7782_twp107.pdf>. Acesso em: set. 2016.

SEI, 2014: Advancing climate ambition: How city-scale actions can contribute to global climate goals. Stockholm Environment Institute, Working Paper 2014-06. Peter Erickson and Kevin Tempest (Eds.).

SEMADS, 2001: Manguezais: Educar para Proteger. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro: Femar, 2001. 97 p.



Referências

SETO, K. C.; DHAKAL, S., 2014: Human Settlements, Infrastructure, and Spatial Planning. Chapter 12. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

SETRANS-RJ, 2013: Plano Diretor de Transporte Urbano - RJ. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://thecityfixbrasil.com/files/2015/08/Rio-de-Janeiro_2013.pdf>. Acesso em: Out.2016.

SILVA, Luiz Roberto Arueira da; MANDARINO, Felipe Cerbella., 2011: Impactos Sobre o Meio Físico: Elevação do Nível do Mar e Redefinição da Linha de Costa na Região Metropolitana do Rio De Janeiro. In: INPE. Megacidades, Vulnerabilidades e Mudanças Climáticas: Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Inpe, 2011. Cap. 2. p. 109-122.

SMAC-RJ; COPPE, 2011: Inventário e Cenário de Emissões dos Gases de Efeito Estufa da Cidade do Rio de Janeiro.

SMIT, B et al., 2000: An anatomy of adaptation to climate change and variability Climatic Change, 45, pp. 223–251.

SNIS, 2016a: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2014. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2016. 212 p.

SNIS, 2016b: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2014. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS. Secretaria Nacional De Saneamento Ambiental. Ministério das Cidades. Brasília: 2016. 154 p.

SNIS, 2016c: Ministério das Cidades. Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2014: Planilha_Unidades_Fluxos_RS_2014. 2016. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2014>>. Acesso em: 23 set. 2016.

SOARES et al., 2011: Vulnerabilidade dos manguezais da região metropolitana do rio de janeiro face às mudanças climáticas. In: INPE (Org.). Megacidades, Vulnerabilidades e Mudanças Climáticas: Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Coppe – Universidade Federal do Rio de Janeiro (Rio de Janeiro): Inpe, 2011. Cap. 4. p. 259-289.

TAKIYA, H., 2002: Atlas Ambiental Do Município De São Paulo: Fase I: Diagnóstico E Bases Para A Definição De Políticas Públicas Para As Áreas Verdes No Município De São Paulo. São Paulo: Secretaria Municipal de Planejamento Urbano, 2002. 203 p.

TCU, 2009: Verificação do custo do apagão energético do 2001. Tribunal de Conas da União (TCU). Disponível em: <http://portal3.tcu.gov.br/portal/page/portal/TCU/imprensa/noticias/noticias_arquivos/Apag%C3%A3o.pdf>. Acesso em: Setembro de 2016.

TOMINAGA, Lidia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosangela (Org.), 2009: Desastres Naturais: Conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196 p.

TYLER et al., 2010: Planning for Urban Climate Resilience: Framework and Examples from the Asian Cities Climate Change Resilience Network (ACCCRN). Climate Resilience in Concept and Practice Working Paper Series. Boulder, Colorado.

UN-HABITAT, 2011: Cities and Climate Change: Global Report on Human Settlements 2011. Global Report on Human Settlements. London-Washington DC. p. 250.

UN, 2011: World Urbanization Prospects. 2011 Edition. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York. Disponível em: < http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/urbanization/WUP2011_Report.pdf> Acesso em: set.2016.

UN, 2014: World Urbanization Prospects: The 2014 Revision. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York. Disponível em: <<http://esa.un.org/unpd/wup/>> Acesso em: set.2016.

UNISDR, 2014: Annual Report 2014. Disponível em: <http://www.unisdr.org/files/42667_unisdrannualreport2014.pdf>. Acesso em: out. 2016.



VELLOSO, J. P. D. R.; LEVY, J. V. F., 2015: Diante da nova revolução industrial. Texto do livro: (VellosoLevy, [s.d.]). Bibliografia: Velloso, J.; Levy, J. Diante da nova revolução industrial. Tradução.

VOLSCHAN JUNIOR, Isaac., 2011: Vulnerabilidades sócio-econômicas: o saneamento ambiental frente aos cenários das mudanças climáticas: a aplicação do estado do conhecimento sobre a realidade da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. In: INPE (Org.). Megacidades, Vulnerabilidades e Mudanças Climáticas: Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Escola Politécnica - Universidade Federal do Rio de Janeiro (Rio de Janeiro): Inpe, 2011. Cap. 3. p. 147-169.

Walker, B. e Salt, D. 2006. In the loop: phases cycles and scales-adaptive cycles and how systems chang.Island press.

WALSH, C.L. et al., 2011: Assessment of climate change mitigation and adaptation in cities. Proceedings of the ICE – Urban Design and Planning, 164(2), 75-84.

WHO, 2014: Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s. World Health Organization. United Nations. Geneva, Switzerland. 2004. 128 p.

WHO, 2016: Climate change and human health: WHO Global Programme on Climate Change & Health. Disponível em: <<http://www.who.int/globalchange/mediacentre/news/global-programme/en/>>. Acesso em: 5 set. 2016.

WILBANKS, T.J et al., 2007: Industry, settlement and society. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 357-390.

WORLD BANK, 2008: World Development Report 2009: Reshaping Economic Geography. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, Washington DC, USA, 383 pp.

WORLD BANK (Org.), 2012: What A Waste: A Global Review of Solid Waste Management. Washington, DC, 2012. 116 p. (15).

WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2002: The world health report 2002: reducing risks and promoting healthy life. Geneva. WHO; 2002.

100 RESILIENT CITIES, 2014: Manual de estratégias. Desenvolvendo estratégias de resiliência de alto impacto. 100RC. Disponível em: [http://www.100resilientcities.org/page/-/100rc/pdfs/PEF-0019-16-210x280-Livro-Completo%20\(1\).pdf](http://www.100resilientcities.org/page/-/100rc/pdfs/PEF-0019-16-210x280-Livro-Completo%20(1).pdf). Acesso em: ago.2016.





Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-285-0344-9



9 788528 503449