

## CAPÍTULO 5

### AGLOMERADOS HUMANOS, INDÚSTRIA E INFRAESTRUTURA

**Autores principais:** Joaquim Bento de Souza Ferreira Filho – USP; Andréa Young – UNICAMP; Heloisa Costa – UFMG; André Frossad Pereira de Lucena – UFRJ; Andréa Souza Santos – UFRJ

**Autores colaboradores:** Gustavo Inácio de Moraes – PUC / RS; Nilo de Oliveira Nascimento – UFMG; Enio Bueno Pereira – INPE; Agostinho Ogura – IPT; Osório Thomaz – IPT; Diana Scabelo da Costa Pereira da Silva Lemos – UFRJ

**Autores revisores:** Alisson Flávio Barbieri – UFMG; Claudio Szlafstein – UFPA; Luiz Augusto Horta Nogueira – UNIFEI; Roberto Schaeffer – UFRJ; Ronaldo Balassiano – UFRJ

## ÍNDICE

<b>5.1 ÁREAS RURAIS</b>	<b>198</b>
<b>5.2. ÁREAS URBANAS</b>	<b>202</b>
5.2.1 INTRODUÇÃO	202
5.2.2 PANORAMA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	205
5.2.3 AS CIDADES BRASILEIRAS E O CLIMA URBANO	207
5.2.4 ONDE E COMO AS CIDADES BRASILEIRAS SÃO VULNERÁVEIS	209
5.2.5 OS PRINCIPAIS CENÁRIOS DE RISCO EM ÁREAS URBANAS	209
5.2.6 A NECESSIDADE DE AVALIAR QUESTÕES RELACIONADAS À MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO	211
5.2.7 DIRETRIZES PARA O DESENVOLVIMENTO DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO NO MEIO URBANO	211
5.2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	213
<b>5.3 SETORES ECONÔMICOS PRIORITÁRIOS</b>	<b>214</b>
5.3.1 SETOR ENERGIA	214
5.3.1.1 INTRODUÇÃO	214
5.3.1.2 IMPACTOS E VULNERABILIDADES DO SETOR ENERGÉTICO	214
5.3.1.3 OFERTA DE ENERGIA	214
5.3.1.4 TRANSMISSÃO, TRANSPORTE E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA	222
5.3.1.5 DEMANDA DE ENERGIA	222
5.3.1.6 ADAPTAÇÃO AOS IMPACTOS SOBRE O SETOR ENERGÉTICO	223
5.3.1.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	224
5.3.2 SETOR INDÚSTRIA	225
5.3.2.1 INTRODUÇÃO	225
5.3.2.2 ASPECTOS RELEVANTES SOBRE A MUDANÇA DO CLIMA	226
5.3.2.3 DESASTRES AMBIENTAIS NO BRASIL	227
5.3.2.4 BREVE PANORAMA SOBRE A DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DO PARQUE INDUSTRIAL BRASILEIRO	229
5.3.2.5 IMPACTOS POTENCIAIS EM ALGUNS SETORES DA INDÚSTRIA BRASILEIRA	231
5.3.2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	233
5.3.3 VULNERABILIDADES, IMPACTOS E ADAPTAÇÃO NO SETOR DE TRANSPORTES	234
5.3.3.1 INTRODUÇÃO	234
5.3.3.2 RISCOS, VULNERABILIDADES E POSSÍVEIS IMPACTOS	234
5.3.3.3 ALTERNATIVAS DE ADAPTAÇÃO PARA TRANSPORTES	241
5.3.3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS:	244
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>245</b>

## 5.1. ÁREAS RURAIS

No Brasil, os potenciais cenários climáticos nas próximas décadas fizeram aumentar o interesse, por parte de pesquisadores de diversas áreas, sobre as suas consequências para a economia, saúde, e população em geral. Em particular, destacam-se estudos que procuram associar as mudanças climáticas projetadas até o final do século com a dinâmica econômica, demográfica e de saúde no Brasil, utilizando uma perspectiva regional, de integração de impactos, vulnerabilidades e adaptação em áreas rurais e suas relações com áreas urbanas através de encadeamentos via fluxos de bens econômicos e de pessoas (migrações).

Um primeiro estudo, a nível nacional, financiado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, lançou as bases para o desenvolvimento de metodologias de análise de vulnerabilidade às mudanças climáticas no Brasil (Confalonieri *et al.*, 2005; Confalonieri *et al.*, 2009). Nesta ocasião, ainda não haviam sido produzidos cenários climáticos específicos para o território brasileiro.

O segundo estudo, denominado Migration, Climate Change and Public Health / Security, foi desenvolvido pelo Centro de Desenvolvimento e Planejamento regional da Universidade Federal de Minas Gerais (CEDEPLAR/UFMG) e pela Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), e contou com financiamento do Global Opportunities Fund, do Reino Unido. O projeto avaliou os impactos sociais e econômicos das mudanças climáticas sobre as populações localizadas na Região Nordeste – particularmente as mais vulneráveis às migrações internas no nordeste e consequências para a saúde pública (CEDEPLAR/FIOCRUZ, 2008; Barbieri *et al.*, 2010). O terceiro estudo, “Economia da mudança do clima no Brasil: custos e oportunidades” (Margulis, *et al.*, 2010) envolveu um consórcio de algumas das principais instituições públicas de pesquisa do Brasil e teve como objetivo principal avaliar as consequências econômicas (e suas implicações sociais e ambientais) dos cenários de mudanças climáticas previstas para o país até o final do século.

Um estudo mais recente desenvolveu indicadores quantitativos de vulnerabilidade sócio-ambiental e de saúde, para cada município do Estado do Rio de Janeiro, em função das projetadas mudanças do clima (Confalonieri *et al.*, 2011). Uma característica importante deste estudo, assim como do primeiro e segundo estudos mencionados acima, foi a criação de uma metodologia de downscaling dos cenários climáticos do INPE.

O segundo e terceiro estudos utilizaram como informação básica os cenários do INPE e da EMBRAPA (Pinto e Assad, 2008) sobre as consequências dos cenários A2 e B2 sobre a agricultura da região Nordeste, especialmente sobre a disponibilidade de terras para os principais cultivos da região. A partir destes cenários, foi elaborado um modelo de equilíbrio geral computacional denominado IMAGEM-B que gerou cenários econômicos de renda, emprego, produto e consumo das famílias em cenários tendenciais (sem os impactos climáticos) e com os impactos climáticos na agricultura. De acordo com o modelo proposto, tais impactos podem ser tanto diretos (diminuição na oferta de terra agricultável) quanto indiretos (impactos da redução de oferta de terras sobre os outros setores econômicos) (CEDEPLAR/Fiocruz 2008).

Os cenários econômicos indicaram que as mudanças climáticas no Nordeste do país, levariam a uma redução de 11,4% do PIB (Produto Interno Bruto) em relação ao crescimento esperado do PIB no cenário tendencial em 2050, no cenário A2 do IPCC (CEDEPLAR/FIOCRUZ, 2008; Barbieri *et al.*, 2010). Esse percentual de perda equivale a cerca de dois anos de crescimento da economia da região, tendo como base o desempenho verificado entre 2000 e 2005. Entre as reduções de oferta de terras aptas para a agricultura nos estados Nordestinos, esta seria mais drástica nos Estados do Ceará (-79,6%), Piauí (-70,1%), Paraíba (-66,6%) e Pernambuco (-64,9%).

Outros esforços de avaliação dos efeitos econômicos das mudanças climáticas na agricultura brasileira têm feito ampla utilização de modelos de equilíbrio geral computáveis. Isto se explica pelas características desta abordagem metodológica, que requer a integração de resultados setoriais com a economia

como um todo, permitindo a análise dos impactos de equilíbrio geral de fenômenos que, por suas características, têm efeitos que extrapolam os setoriais. Assim, em Domingues *et al.* (2008) consideram-se apenas os cenários de mudança climática no Nordeste, sendo o cenário base de análise obtido dos estudos produzidos por Pinto e Assad (2008). Desse modo, a variável que sofre o choque é a disponibilidade de terras para a agricultura, considerada a probabilidade de sucesso de oitenta por cento, correspondente aos níveis considerados para finalidade de seguro agrícola. Entretanto, neste estudo os efeitos não são diferenciados por cultura, sendo que a opção é um choque sobre o setor agropecuário agregado. Os resultados demonstram que o PIB agrícola da região pode cair até 13%, enquanto o emprego teria queda de 6% em 2050. Os resultados estaduais demonstram que Pernambuco seria o estado mais afetado (queda de até 18,6%) e Sergipe seria o estado menos afetado, podendo inclusive notar aumento do PIB no cenário B2. O modelo de equilíbrio geral computável utilizado foi o TERM.

O trabalho de Domingues *et al.* (2010) persegue nesta linha metodológica, agora com resultados por micro-região brasileira e um modelo regionalizado dinâmico, ou seja, com variações em períodos sucessivos. Como no trabalho anterior, neste artigo os dados de Pinto e Assad (2008) são as fontes primárias dos dados e são disponibilizados para oito culturas agrícolas além da pecuária. Note-se, entretanto que diferentemente de Domingues *et al.* (2008), esse novo estudo trabalha com outro modelo de equilíbrio geral computável, o B-MARIA.

O artigo de Moraes e Ferreira Filho (2010) também utiliza o modelo TERM-BR para estimar impactos econômicos a partir de perspectivas para oito culturas agrícolas, com cenários de queda de áreas aptas e produtividade agrícola derivados de Pinto e Assad (2008). O artigo adiciona novos aspectos ao debate, notadamente: (1) considera os possíveis efeitos benéficos de uma mudança climática branda (cenários 2020) sobre a cana de açúcar e a mandioca; (2) realiza uma ligação entre os efeitos esperados e a estrutura do mercado de trabalho, apontando tendências de transferências de região e atividades; (3) realiza, também, uma ligação entre os efeitos esperados e impactos no orçamento das famílias, demonstrando a intensidade dos impactos sobre o orçamento das famílias mais carentes. Os resultados de equilíbrio geral obtidos sugerem uma deterioração da renda das famílias que concentram trabalhadores menos qualificados, tanto pelo efeito da redução na demanda deste tipo de trabalho na agricultura das regiões afetadas, quanto pela elevação relativamente maior na cesta de consumo destas famílias, que concentra parcela maior de alimentos em geral.

Em comum, os resultados de todos esses estudos mostram que a Região Nordeste, por seu clima, e os estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, pela concentração da produção agrícola em soja seriam afetados em intensidades relevantes em suas economias. As quedas previstas seriam superiores a 5% do PIB para a maior parte dos estados mencionados. Estes resultados sugerem a necessidade de políticas compensatórias para aquelas regiões, como alternativas de renda. Tais políticas passam pela disponibilidade de tecnologia agrícola ou pela diversificação das atividades econômicas, o que exigiria a adaptação da mão-de-obra local e da logística regional.

Os exercícios de simulação de cenários econômicos considerando os efeitos das mudanças climáticas desenvolvidos nos estudos do CEDEPLAR/FIOCRUZ (2008) e Barbieri *et al.* (2010) foram utilizados na construção dos cenários de saldos migratórios e taxas líquidas de migração. Como os choques climáticos afetam a disponibilidade de terras para cultivo e pecuária, o setor agrícola é o que teria sua capacidade produtiva mais atingida nas próximas décadas, comprometendo a geração de renda e emprego. Haveria atração de trabalho para outras regiões do país e para setores menos afetados da economia, gerando migração e deslocamento de capital.

De forma geral, pode-se sugerir que as mudanças climáticas no cenário B2 não apontariam um processo drástico de redistribuição populacional, pelo menos no período de tempo considerado, entre 2030 e 2050. No Cenário A2 seriam bastante significativos no processo de redistribuição populacional do Nordeste, através de um incremento do processo emigratório na região. Os resultados indicam, no quinquênio 2035-2040, a perda líquida de mais de 246 mil pessoas da Região Nordeste; no quinquênio 2045-2050, a perda líquida seria de aproximadamente 236 mil pessoas. A migração projetada no cenário A2 é cerca de 18 vezes maior do que a projetada pelo

cenário B2 em 2035-2040, e 11 vezes em 2045-2050. Tendo em vista que o impacto do cenário A2 sobre as migrações é maior do que o tendencial e B2 juntos, o impacto final sobre a redução do tamanho populacional total do nordeste seria bem mais evidente.

Além da migração, os cenários populacionais até 2050 para o nordeste indicaram mudanças na estrutura demográfica que poderão ser importantes na definição das condições futuras de vulnerabilidade socioeconômica e de saúde, como, por exemplo, a maior proporção de idosos na população e uma proporção relativamente alta de crianças em regiões mais vulneráveis do ponto de vista socioeconômico, ou seja, em áreas mais pobres.

Os cenários de impactos das mudanças climáticas sobre a agricultura, desenvolvidos por Moraes e Ferreira Filho (2010) foram também utilizados por Ferreira Filho e Horridge (2010) em um estudo sobre os potenciais efeitos sobre a migração inter-regional no Brasil. Neste estudo os autores, após constatar a reversão dos fluxos migratórios tradicionais da região nordeste para o sudeste, investigam em que medida os impactos sobre a agricultura poderiam vir a modificar novamente as tendências migratórias recentes, uma vez que as atuais regiões de atração de migrantes seriam exatamente aquelas mais afetadas negativamente. Para isso, desenvolvem um modelo dinâmico de equilíbrio geral computável com um módulo específico para a análise da migração no Brasil, onde os efeitos dos choques sobre as disponibilidades de áreas aptas e produtividade agrícola são transmitidos para toda a economia. O modelo foi denominado TERMBR-MIG, e traz ainda uma desagregação inter-regional dentro do Brasil que permite a análise proposta.

No modelo acima, dois cenários são intercalados na simulação: o cenário A2 até 2025, e o B2 a partir daquele ano até o ano de 2070. Neste estudo, verifica-se que os choques analisados, embora importantes em termos de perda de área e produção agrícolas, representam parcelas relativamente pequenas do valor total das produções regionais consideradas. Os piores resultados aconteceriam nos estados do Maranhão e Piauí, na região nordeste, com queda de 2,5% no valor bruto da produção agregado da região em 2070, e o Mato Grosso do Sul, com queda de 3%.

Em termos agregados, o estudo mostra uma queda de 0,82% do PIB brasileiro em 2070, em relação ao cenário base estabelecido. As culturas mais afetadas pelos choques seriam as do café e da soja, impactando relativamente mais as regiões onde estas culturas se concentram. Em particular, estudo mostra uma queda no PIB regional do estado do Mato Grosso do Sul de 4,13% em 2070, e da região do Maranhão/Piauí de 2,9%, enquanto os demais estados da região nordeste apresentam perda de PIB da ordem de 1,5%. Estes resultados são comparáveis aos obtidos por Moraes e Ferreira Filho (2010) e Pinto e Assad (2008).

Em termos dos resultados sobre a migração inter-regional, o estudo mostra que os estados das regiões sudeste e sul voltariam a receber migrantes em termos líquidos, como resultado da queda na atividade econômica nas demais regiões afetadas, invertendo de fato os fluxos migratórios atuais. Os números envolvidos, contudo, não são de grande magnitude, sendo que o estado de São Paulo, o que mais atrairia novos migrantes, estaria recebendo, em termos líquidos, aproximadamente 34 mil novos migrantes em 2070. Estes migrantes, contudo, estariam concentrados na faixa de trabalhadores de menor qualificação, tendendo a repetir o que foi observado nas décadas anteriores<sup>1</sup>.

Queiroz e Barbieri (2009) mostraram, ainda, que os municípios do Nordeste que sofrerão os maiores impactos das mudanças climáticas também apresentam os piores indicadores sociais da região, medidos pelo baixo nível médio de educação, concentração de famílias abaixo da linha de pobreza, maior dependência em relação às transferências governamentais; e baixo acesso a serviços básicos de infraestrutura (água e esgoto). São, dessa forma, dotados de baixa capacidade de resposta e preparação

---

<sup>1</sup> Os autores chamam a atenção para o fato de que estes números referem-se apenas aos migrantes principais, ou seja, os efeitos oriundos do mercado de trabalho, não levando em consideração as famílias que eventualmente migrariam conjuntamente.

dos indivíduos e das instituições aos potenciais efeitos das mudanças do clima (CEDEPLAR/FIOCRUZ, 2008). Esses grupos apresentam, ainda, uma tendência maior de permanecerem em seus locais de origem devido à incapacidade de amortizar os custos associados à migração (Golgher, 2009), e dessa forma podem se tornar grupos mais vulneráveis às mudanças climáticas.

Os dois estudos acima trataram, também, de possíveis agravos à saúde populacional na região Nordeste. Em dois estudos recentes (CEDEPLAR/FIOCRUZ, 2008; Barbieri e Confalonieri, 2011), procurou-se associar dados históricos sobre agravos à saúde no nordeste capazes de serem influenciados, direta ou indiretamente, pelas mudanças climáticas e os cenários demográficos e econômicos descritos na seção anterior. A premissa principal foi a de que, a partir das indicações de um aumento futuro da aridez, a escassez de água e alimentos agravará o quadro sanitário e ensejará migrações capazes de não só redistribuir doenças no espaço como aumentar a pressão sobre os serviços de saúde, nas áreas de destino dos migrantes.

Os cenários climáticos, econômicos, demográficos e de saúde permitiram a construção de indicadores quantitativos que podem oferecer uma visão comparativa da vulnerabilidade por estado nordestino e as relações rurais/urbanas. Optou-se pelo desenvolvimento de um índice composto (ou agregado), capaz de refletir, em parte, algumas importantes relações causais no contexto “insegurança alimentar/migrações/saúde”. Com o objetivo de sumarizar, em um único índice, o grau de vulnerabilidade das unidades da federação do Nordeste brasileiro com relação ao impacto das mudanças climáticas na saúde foi desenvolvido, para cada estado nordestino, um Índice de Vulnerabilidade Geral (IVG), composto de quatro sub-indicadores (Barbieri e Confalonieri, 2010): a) Índice de Vulnerabilidade de Saúde (IVS), b) Índice de Vulnerabilidade à Desertificação (IVD); c) Índice de Vulnerabilidade Econômico-Demográfico (IVED), e d) Índice de Vulnerabilidade de Custo do SUS (IVC).

Pensando nos pontos comuns, os estudos acima têm levantado, como questão central, se eventuais reversões nas dinâmicas socioeconômicas regionais em função das mudanças climáticas implicariam uma reversão na tendência de crescimento econômico em regiões mais vulneráveis do ponto de vista socioeconômico, como o nordeste, levando à ativação de mecanismos históricos de emigração desta região, associados aos fatores econômicos de atração e expulsão, e fatores ambientais de expulsão. A rigor, pode-se concluir ainda que as mudanças climáticas, ao afetarem a economia, motivariam a migração humana em algumas circunstâncias, particularmente quando outros mecanismos de adaptação falham. As repercussões sobre a vulnerabilidade socioeconômica e de saúde e capacidade de adaptação seguem, nesse sentido, como a materialização das relações entre dinâmica climática, econômica e demográfica, condicionadas aos macrofatores políticos, institucionais e culturais.

A falha em mecanismos de adaptação constitui risco ao bem-estar das populações e pode atuar na elevação do nível de vulnerabilidade populacional, particularmente quando associada às populações migrantes de menor nível socioeconômico. Os estudos descritos acima, para a região Nordeste, sugerem, dentre as populações mais vulneráveis, um destaque para as populações migrantes, em que a emigração rural-urbana, ou de pequenas áreas urbanas para áreas urbanas maiores no nordeste ou para as regiões mais desenvolvidas do país são motivadas por uma combinação de períodos severos de seca e melhores oportunidades econômicas fora da região.

Porém, mesmo assumindo a importância de se distinguir status migratório como uma importante categoria de qualificação da vulnerabilidade populacional, e como um mecanismo importante de adaptação às mudanças climáticas, tal relação não tem sido discutida com profundidade suficiente na literatura brasileira, particularmente em áreas não urbanizadas e em um enfoque regional. A mobilidade populacional, como um mecanismo efetivo de adaptação às mudanças climáticas, depende da habilidade de grupos populacionais vulneráveis de se moverem no espaço em busca de melhores oportunidades de renda e bem-estar, ou de disporem, no local onde vivem de mecanismos facilitadores de adaptação às mudanças climáticas. Particularmente no nordeste brasileiro, a mobilidade rural-urbana tem sido amplamente empregada como um mecanismo de redução de vulnerabilidade populacional, reproduzindo um padrão de outras partes do mundo. A migração para cidades de médio e grande

porte, onde maior renda e recursos são disponíveis e geram economias de escala e aglomeração, podem reduzir a situação de vulnerabilidade, assumindo uma eficiência mínima no acesso a esses recursos e renda.

Isto posto, políticas de adaptação em áreas rurais e em suas articulações com áreas urbanas, devem passar, inevitavelmente, pela identificação da heterogeneidade de graus de vulnerabilidade pertinentes a diferentes grupos populacionais. Isso, por sua vez, requer a identificação e compreensão do potencial padrão migratório e de redistribuição populacional emergente das mudanças climáticas. São precisamente essa identificação e compreensão, associadas aos potenciais de capacidade adaptativa de uma população, que permitem discutir se os cenários apresentados nos estudos citados conformariam um peso proporcionalmente maior aos fatores ambientais de expulsão nas causas de mobilidade, aproximando-a de um tipo involuntário como a que define os “refugiados ambientais”. Por outro lado, a criação de oportunidades econômicas e de inserção social, mediadas por fatores institucionais como políticas de transferência de renda, seguridade social e qualificação de capital humano, podem, mesmo na presença de choques exógenos como as mudanças climáticas, minimizar a mobilidade não voluntária como um mecanismo de adaptação das populações.

Em uma perspectiva global, cenários futuros que apontem agravamento de desigualdades entre países com capacidades adaptativas díspares poderão induzir, em algumas regiões grandes crises humanitárias e estímulos à migração internacional. A princípio tal cenário não parece provável no Brasil, dadas às perspectivas de crescimento e desenvolvimento socioeconômico nas próximas décadas e o potencial de capacidade adaptativa. Porém, um possível descompasso entre essas perspectivas e a velocidade das mudanças ambientais e o aumento na intensidade dos extremos pode configurar um cenário não tão inimaginável de “migração forçada” caso não se avance, de forma efetiva, na redução das profundas iniquidades regionais e diferenças de renda no país.

Motta *et al.* (2011) reforçam, todavia, que a questão central para a tomada de decisão em políticas de mudanças climáticas reside em entender os benefícios e custos da mitigação comparados aos benefícios e custos da adaptação, incluindo-se a variável de maior dificuldade de projeção, a tecnologia. Os autores reforçam a incerteza associadas aos diversos estudos econômicos, destacando o permanente diálogo que deve ser mantido com as demais ciências, notadamente naturais. Assim, como concluem os autores, o princípio da precaução é importante, mas tomá-lo em exagero pode ser um importante constrangimento ao desenvolvimento socioeconômico.

A despeito da discussão sobre o grau de mobilidade de grupos com diferentes níveis de vulnerabilidade socioeconômica, espera-se, de qualquer forma, que a migração em função das mudanças climáticas seja em parte representativa dos grupos sociais e economicamente mais vulneráveis da população como, por exemplo, pequenos produtores agrícolas que não dispõem de bens de produção ou mecanismos de adaptação dos sistemas produtivos, ou daqueles que possuem meios suficientes para realocarem trabalho ou capital no espaço, de um local de maior risco, para um local de menor risco aos indivíduos e suas famílias.

## **5.2. ÁREAS URBANAS**

Essa Seção busca descrever os possíveis impactos das mudanças do clima em áreas urbanas, identificando lacunas e destacando áreas do conhecimento fundamentais para o desenvolvimento de pesquisa científica.

### **5.2.1. INTRODUÇÃO**

Segundo Marengo *et al.* (2009), uma das perguntas mais importantes relacionadas às mudanças climáticas e conseqüentemente aos eventos extremos é se a sua ocorrência está aumentando ou diminuindo

ao longo do tempo. Ondas de calor, chuvas intensas, secas, entre outros fenômenos climáticos têm afetado o território brasileiro em todas as estações e seus impactos variam regionalmente. Estes eventos estão provocando impactos cada vez mais significativos no meio urbano e seus riscos vêm sendo potencializados. Em geral, significativas transformações no clima local são geradas pelo modo como essas áreas urbanas se desenvolvem, por meio de intervenções desconexas com intensa verticalização, compactação e impermeabilização do solo, supressão de vegetação e cursos d'água (Ross, 2004).

O relatório do IPCC (2012) ressalta que desastres poderão ocorrer com maior frequência em virtude dos impactos de eventos climáticos extremos. Eventos extremos ocorrem quando valores, frequência e associação temporal das observações registram um aumento ou uma diminuição significativa durante um determinado estado climático (Marengo, 2009).

Eventos extremos ocorrem em escalas temporais que variam de dias a milênios. Os mais importantes para as atividades humanas são possivelmente os eventos extremos de curto prazo (relacionados com o tempo) e os de médio prazo (relacionados com o clima), já que apresentam potencial de impacto mais significativo. *“Os eventos extremos de tempo e clima constituem um aspecto integral da variabilidade climática. Nas regiões onde os eventos extremos de tempo serão mais intensos e/ou mais frequentes, os custos econômicos e sociais dos impactos desses eventos aumentarão, sendo substanciais em áreas urbanas”* (Marengo, 2009).

A confiabilidade das projeções das mudanças em relação à magnitude e direção dos eventos extremos depende de muitos fatores: do tipo de extremo; da região e da estação do ano; da quantidade e qualidade dos dados observacionais; do nível de entendimento dos processos e das simulações através de modelos (IPCC, 2012).

As mudanças projetadas para as variáveis precipitação e temperatura implicariam possíveis mudanças em termos de inundações, embora, as projeções ainda sejam consideradas de “baixa confiabilidade”. A confiança é baixa devido a evidências limitadas e porque as causas das alterações regionais são complexas (ex. uso e cobertura da terra, urbanização). Ainda que exceções existam, existe uma confiabilidade média que projeta aumentos de chuvas relacionados a aumento de inundações locais em algumas bacias ou regiões (IPCC, 2012),

Desse modo, a utilização de modelos para apoiar as observações na tentativa de entender a probabilidade dos extremos sob a ótica das mudanças climáticas é necessária, como por exemplo, através do cálculo do aumento do risco de um extremo atribuível a alterações climáticas, realizado por Stott *et al.* (2004) para a onda de calor na Europa no verão de 2003.

Paralelamente, destaca-se o fato de que em 2008 mais de 50% da população mundial passou a viver em cidades (United Nations, 2008). Isso quer dizer que aproximadamente 3,3 bilhões de pessoas se concentram em áreas urbanas e esse percentual pode chegar a 80% em 2030. A maior parte deste crescimento ocorrerá em países em desenvolvimento (Martine, 2007).

No Brasil, observa-se um processo de urbanização cada vez mais intenso, ainda que com variações regionais importantes. De acordo com IBGE (2010), desde a última década, com exceção das regiões Norte e Nordeste que apresentavam taxas de urbanização de cerca de 70%, em todas as demais regiões, mais de 80% da população vivem em áreas urbanas (Quadro 5.2.1).



### Quadro 5.2.1. Taxa de urbanização do Brasil e regiões – 1940 - 2010

Região/Ano	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
BRASIL	31,24	36,16	45,08	55,94	67,59	75,59	81,23	84,36
Centro-Oeste	21,52	24,38	34,22	48,04	67,79	81,28	86,73	88,80
Norte	27,75	31,49	37,38	45,13	51,65	59,05	69,87	73,53
Nordeste	23,42	26,40	33,89	41,81	50,46	60,65	69,07	73,13
Sul	27,73	29,50	37,10	44,27	62,41	74,12	80,94	84,93
Sudeste	39,42	47,55	57,00	72,68	82,81	88,02	90,52	92,95

Fonte: IBGE/Censos demográficos de 1940, 1950, 1960, 1970, 1980, 1990, 2000 e 2010

Os padrões de urbanização resultantes variam significativamente entre as regiões brasileiras e devem ser mais bem estudados na medida em que influenciam as possibilidades de adaptação e de mitigação a serem desenvolvidas ou em desenvolvimento. Apesar da diversidade de formas e configurações espaciais, a urbanização expressa à desigualdade da sociedade brasileira, tanto na coexistência entre áreas formais e informais, ricas e pobres, com padrões urbanísticos adequados e de risco às populações.

Estudo realizado pelo Centro de Estudos da Metrópole (Marques, 2007) abrangendo todos os municípios com mais de 150 mil habitantes e de regiões metropolitanas, o que correspondeu a 54,3% dos domicílios brasileiros, identificou que 13% dos domicílios eram inadequados ou precários, sendo que na região norte este índice eleva-se para 29%. A localização da população no espaço urbano, dada pelo seu local de moradia, segue a lógica da distribuição espacial do preço da terra, que por sua vez reflete o conjunto de investimentos públicos e privados no ambiente construído, daí resultando as conhecidas formas de segregação sócio espacial das cidades brasileiras, nas quais as áreas acessíveis à população de mais baixa renda são as de baixa qualidade socioambiental, as áreas inadequadas para urbanização e/ou de risco (Maricato, 2000).

Do ponto de vista das concepções urbanísticas, são décadas de produção do espaço nas quais a percepção dos atributos naturais ou coletivos esteve subordinada à lógica privatista de maximização dos ganhos imobiliários e fundiários (Costa e Monte-Mór, 2002); nas quais as soluções técnicas prevaleceram sobre soluções ambientalmente mais consistentes, a exemplo do tradicional tratamento dos cursos d' água em meio urbano. Um exemplo a ser citado é a cidade do Rio Janeiro que nos próximos 30 anos, é a que mais sofrerá, entre os municípios do Estado, com o aumento do nível do mar, chuvas intensas, inundações, perda de biodiversidade, além do aumento de casos de doenças induzidas pelas mudanças climáticas.

Em termos do crescimento e da expansão urbana recente, assiste-se a um duplo processo. Nas áreas já consolidadas, há uma crescente verticalização das regiões centrais e mais valorizadas, assim como um permanente adensamento das periferias, agravando as já precárias condições de salubridade socioambiental, permeabilidade do solo, coabitação e uso intensivo dos lotes. Nas áreas de expansão urbana, observa-se um crescente processo de fragmentação e dispersão da urbanização sobre espaços rurais e produtivos, bem como sobre localidades com importantes funções ambientais como áreas de proteção de mananciais e encostas, de recarga de aquíferos, entre outras, pressões estas que podem tornar mais graves a desigualdade social e a degradação ambiental.

Assim, as interações entre o processo de urbanização e as alterações climáticas geram impactos que podem ser agrupados em duas categorias: aqueles originários em áreas urbanas e que têm efeitos negativos sobre as mudanças climáticas; e as mudanças climáticas que têm efeitos negativos sobre as áreas urbanas (Xiaopei *et al.*, 2006).

Densas, vastas e complexas, a maioria das cidades impõe desafios em uma escala sem precedentes para toda a sociedade, os responsáveis pelo fornecimento de serviços básicos e infraestrutura, e particularmente os prefeitos, os administradores, e os urbanistas (Denig, 2007).

Seguindo a lógica de Ross (2004), observa-se que de fato significativas transformações no clima local são geradas pelo modo como as áreas urbanas se configuram, através de intervenções pouco articuladas entre si e com as diretrizes urbanísticas em vigor, resultando usualmente em intensa verticalização, compactação, impermeabilização do solo, supressão de vegetação e canalização dos cursos d'água. Considerando o acelerado processo de expansão urbana, sua natureza desigual que se reflete em espaços de habitação precária com níveis acentuados de vulnerabilidade e o atraso na implantação de infraestrutura adequada ao ritmo de crescimento das cidades, as cidades não se encontram preparadas para enfrentar os desafios impostos pela mudança climática.

Este capítulo discute algumas considerações sobre a forma como as cidades brasileiras têm-se tornado cada vez mais vulneráveis em termos socioambientais e sugere ainda medidas de adaptação, que envolvem um conjunto de ações que os municípios e suas instituições públicas e privadas deverão enfrentar em busca de respostas diante dos impactos. Entre estas, estão maior controle e fiscalização sobre construções presentes em áreas de risco, investimentos em transportes coletivos, sobretudo o ferroviário, garantias de preservação dos recursos naturais como as várzeas e áreas de proteção permanente ao longo dos rios, através da implantação de parques lineares, investimentos em pesquisas voltadas para a modelagem do clima, e quantificação de benefícios decorrentes de medidas de adaptação às mudanças climáticas, entre outras.

## 5.2.2. PANORAMA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Considerando os eventos extremos já citados, as desigualdades sociais (intra e inter regionais) impõem uma série de desafios. A grande maioria das cidades brasileiras já apresenta inúmeros problemas socioambientais associados a padrões de desenvolvimento e transformação do espaço, agravados pelas mudanças no comportamento dos eventos climáticos extremos.

Segundo Marengo (2009), estudos sobre tendências climáticas têm demonstrado um aumento da temperatura do ar que pode ser causado por fatores naturais, como por exemplo, o aquecimento do Atlântico Sul observado desde 1950, ou fatores antropogênicos (ex: ilhas de calor associada ao processo de urbanização). Para ter noção do futuro climático, especialistas do Centro de ciências do Sistema Terrestre do INPE analisaram, além dos índices de eventos extremos, as projeções de mudanças na precipitação anual e temperatura média anual até 2100. A temperatura média anual, projetada no cenário de altas emissões globais de gases de efeito estufa para o final deste século, indica um aumento de 2° C a 3° C, podendo atingir 4° C.

*“Em muitas áreas da América do Sul, a frequência de eventos de precipitação intensa tem aumentado, consistentemente com o aquecimento, e em várias regiões mudanças em extremos de temperatura têm sido observadas nos últimos 50 anos” (IPCC, 2007a, b). Nas regiões sul e sudeste do Brasil, “registros climáticos têm mostrado um aumento na frequência de eventos de chuva intensa, que em parte explicam o número crescente de desastres naturais como deslizamentos de terras, enchentes e inundações, responsáveis por um número alarmante de mortes nas grandes cidades” (Marengo et al., 2009).*

Estudos realizados por Marengo et al., (2009), referentes as pesquisas de Vincent et al. (2005), Haylock et al. (2006), Caesar et al. (2006), Alexander (2006), Tebaldi et al. (2006), Dufek e Ambrizzi (2007), revelam que “os dias frios, as noites frias e as geadas ficaram menos frequentes; enquanto os dias quentes, as noites quentes, e as ondas de calor ficaram mais frequentes”. Mudanças nos eventos extremos geram impactos significativos em diversos setores como na agricultura (sub. cap. 5.1.), saúde (sub. cap. 6.1.), desenvolvimento e planejamento urbano e gerenciamento de recursos hídricos (sub. cap. 4.1.).

No Sul do Brasil, chuvas intensas afetaram o Estado de Santa Catarina em 2008, causando “severas inundações e deslizamentos que resultaram em 120 vítimas e 69.000 pessoas desabrigadas. Os deslizamentos e as inundações causadas pelas tempestades bloquearam quase todas as estradas da região e interromperam a distribuição de água e eletricidade em milhares de casas. Foi reportado pelas autoridades locais e amplamente divulgado na imprensa em geral, que a maior parte das fatalidades foi causada pelos deslizamentos que atingiram casas e grande parte do setor de comércio” (Marengo, 2009).

As regiões metropolitanas de São Paulo (RMSP) e do Rio de Janeiro (RMRJ), que concentram mais de 30 milhões de habitantes (cerca de 16% da população do país), sofrem constantemente os efeitos dos extremos de precipitação, que causam enchentes, deslizamentos de terra e perdas de vida (Nobre et al., 2011a). A RMRJ e o Estado, de um modo geral, têm sido castigados por eventos de chuvas intensas que geram tragédias e grandes transtornos à população. Os exemplos mais recentes e também mais dramáticos ocorreram em 2010 e 2011. No início de abril de 2010, a RMRJ foi atingida por sistemas de tempestades associados ao deslocamento de uma frente fria. Os totais pluviométricos atingiram 323 mm em 24 horas, provocando deslizamentos que causaram 167 mortes em Niterói e 66 no Rio de Janeiro, deixando mais de 3 mil desabrigados e 11 mil desabrigados (Nobre et al., 2011b).

Conforme relatado pela imprensa, em janeiro de 2011, a região serrana do Estado do Rio de Janeiro foi devastada por chuvas intensas ocasionadas pela chegada de um sistema frontal. Em apenas 12 horas, foram registrados 222 mm de precipitação. De acordo com o banco de dados internacional de desastres, com sede na Bélgica, foi o desastre natural mais severo da história do país, com cerca de 900 mortes (em Nova Friburgo, Teresópolis, Petrópolis, Sumidouro, São José do Vale do Rio Preto e Bom Jardim, sendo as duas primeiras as cidades com maior número de vítimas), mais de 9.000 desabrigados e mais de 11.000 desalojados. As fortes chuvas deflagraram movimentos de massa em encostas e enchentes que removeram solos, rochas e árvores, gerando um cenário de destruição nos locais afetados (Nobre et al., 2011b).

Para exemplificar uma das situações presentes no sudeste, uma síntese das projeções climáticas derivadas do modelo regional Eta-CPTEC 40 km para a RMSP é apresentado no Quadro 5.2.2. Através das setas podemos observar as variações nos períodos analisados (Marengo et al., 2009).

**Quadro 5.2.2.** Sumário das projeções climáticas derivadas do modelo regional Eta-CPTEC 40Km para RMSP.

	Presente Observ.	Presente Simulado	2030-40	Conf.	2050-60	Conf.	2080-90	Conf.
TEMP	➔	➔	➔	Alta	➔	Alta	➔	Alta
NOITES QUENTES	➔	➔	➔	Alta	➔	Alta	➔	Alta
NOITES FRIAS	➔	➔	➔	Alta	➔	Alta	➔	Alta
DIAS QUENTES	➔	➔	➔	Alta	➔	Alta	➔	Alta
DIAS FRIOS	➔	➔	➔	Média	➔	Alta	➔	Alta
ONDAS DE CALOR	Não observado	➔	➔	Média	➔	Média	➔	Alta
CHUVA TOTAL	➔	➔	➔	Alta	➔	Alta	➔	Alta
PRECIP. INTENSA	➔	➔	➔	Média	➔	Média	➔	Alta
PRECIP. > 95th	➔	➔	➔	Média	➔	Média	➔	Alta
DIAS PRECIP. > 10 MM	➔	➔	➔	Média	➔	Média	➔	Alta
DIAS PRECIP. > 20 MM	➔	➔	➔	Média	➔	Média	➔	Média
DIAS SECOS CONSECUTIVOS	➔	➔	➔	Média	➔	Média	➔	Alta

Fonte: Nobre et al., 2011a.

No que se refere aos problemas relacionados à seca, *“uma estação chuvosa fraca, acompanhada por relativas altas temperaturas devido a anomalias de temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico tropical (El Niño, La Niña), ou no Atlântico tropical ou subtropical, podem ter fortes impactos sobre o território brasileiro e conseqüentemente sobre a população e setores econômicos, dependendo da disponibilidade de água.”* Os períodos de seca estariam impactando áreas agrícolas (sub. cap. 5.1.) e hidrelétricas (sub. cap. 5.3.1.). *“Com a redução persistente da precipitação nessas áreas, lagos secam, as vazões dos rios diminuem e o abastecimento de água potável é reduzido, dificultando as opções de conservação e esgotando das reservas de água potável”* (Marengo, 2009).

Ainda segundo Marengo (2009), observa-se que nas áreas do território brasileiro onde ocorre predominantemente esse tipo de evento, *“espera-se que a mudança climática leve à salinização e desertificação de terras agrícolas, assim como também diminuição da produtividade do gado e de algumas colheitas importantes”*. Tais eventos trariam conseqüências adversas para a segurança alimentar (sub. cap. 4.5.) afetando diretamente as áreas urbanas. *“Áreas como o Nordeste brasileiro podem sofrer um decréscimo em seus recursos hídricos, com aumento da variabilidade da precipitação (com mais veranicos e secas), e também um decréscimo na recarga das águas subterrâneas. Além disso, o crescimento populacional e a conseqüente demanda por água intensificaria a vulnerabilidade da população em relação à deficiência no abastecimento. Essas situações foram detectadas durante anos de seca no clima atual, e poderiam ficar mais frequentes em um clima mais quente e seco”* (Marengo, 2009).

Segundo Marengo (2009), *“em 2005, grandes zonas do sudoeste da Amazônia experimentaram uma das secas mais intensas dos últimos cem anos. A seca afetou severamente a população ao longo do canal principal do Rio Amazonas e os seus afluentes ao oeste e sudoeste, os rios Solimões e o Madeira, respectivamente.”* No Brasil, o número de estudos sobre os impactos das mudanças climáticas em ecossistemas naturais e agroecossistemas, zonas costeiras, energias renováveis, recursos hídricos, megacidades e saúde ainda não supera o número de problemas (Assad e Pinto, 2008; CEDEPLAR e FIOCRUZ, 2008; Marengo *et al.*, 2009, Nobre *et al.*, 2011 a,b).

### **5.2.3.AS CIDADES BRASILEIRAS E O CLIMA URBANO**

Na maioria das cidades brasileiras, a urbanização de fundos de vales e rios tem ocorrido em tempos diferenciados. Atualmente, estas 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. 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 (30°C a 33°C) e, ao mesmo tempo, estas áreas tornaram-se sujeitas a enchentes e inundações devido à impermeabilização do solo (PMSP, 1999a; DAEE, 2009).

A densa urbanização constitui importante fonte de calor. As partes mais densas da maioria das cidades, principalmente de médio e grande porte, costumam apresentar temperaturas mais elevadas, diminuindo à medida que a densidade urbana decresce (PMSP, 1999a).

A área central das cidades, com seus edifícios altos e próximos uns dos outros, ruas estreitas e pátios confinados, forma tipicamente o centro de uma “ilha” urbana de calor. Nesta região central, a capacidade térmica das áreas cobertas por edifícios e pavimentação<sup>2</sup> é maior e a circulação de ar é menor. O fenômeno da “ilha” de calor torna-se menos pronunciado sob condições de nebulosidade e intensifica-se quando ocorre uma situação de inversão térmica (Lombardo, 1985; Spirm, 1995).

---

<sup>2</sup> Sabe-se que a pavimentação irradia 50% a mais de calor do que superfícies cobertas por vegetação (SPIRN, 1995).

## 5.2.4. ONDE E COMO AS CIDADES BRASILEIRAS SÃO VULNERÁVEIS

A vulnerabilidade tem origem na exposição de populações, lugares e instituições, portanto, a fragilidade dos assentamentos humanos, relacionada a determinado fenômeno perigoso com dada severidade, está conectada a fatores como localização, área de influência, resiliência; todos intrinsecamente ligados a diferentes condições ambientais, sociais, econômicas e políticas. Nesse sentido, as comunidades locais necessitam de melhores representações espaciais dos riscos e vulnerabilidades associadas (Cutter *et al.*, 2000; Cutter, 2003).

Com a transformação das áreas naturais ou de uso agrícola em áreas urbanas, os solos originalmente cobertos por vegetação e cursos d'água foram recobertos por asfaltos e construções, alterando-se as contribuições térmicas originais, uma vez que, materiais impermeáveis e com alta capacidade de armazenar calor foram acrescentados à superfície (Oke, 1987; Spirn, 1995).

No que se refere ao ciclo hidrológico, as áreas urbanas produzem alterações significativas, tanto em termos de mudanças de regime hidrológico causadas pela impermeabilização de solos e pela implantação de infraestrutura convencional de drenagem urbana, quanto em termos de pressões de demanda por recursos hídricos para o abastecimento de água e para o destino final de águas servidas. Os meios receptores são muito impactados pelo lançamento de esgotos sanitários e industriais não tratados, ou tratados em um nível insuficiente, bem como por poluição difusa de origem pluvial, comprometendo mananciais por extensões significativas a jusante dos trechos de lançamento dos efluentes urbanos. As áreas impactadas por grandes cidades ultrapassam em muito os limites urbanos. Mudanças no regime de chuvas e outras alterações no ciclo hidrológico podem contribuir para agravar este quadro, comumente associado ao risco de inundações, comprometimento do sistema de abastecimento de água, comprometimento de produções agrícolas, qualidade de água e disponibilidade hídrica de meios receptores (Nascimento *et al.*, 2006).

No tocante à infraestrutura viária e de saneamento, o urbanismo brasileiro foi muito influenciado pelo conceito de avenidas sanitárias, sistemas viários localizados em fundos de vale aos quais se associam diferentes redes de distribuição de serviços urbanos (ex. água de abastecimento, interceptores de esgotos sanitários, infraestrutura de drenagem pluvial, redes de distribuição de energia elétrica, redes de comunicação e outros). Geralmente atividades de comércio e serviços, bem como algumas atividades industriais se localizam nestas áreas. O conceito de avenida sanitária frequentemente conduz à canalização de cursos d'água como forma de absorver e transferir para jusante os escoamentos excedentes gerados pela impermeabilização de solos. Os cursos d'água são, portanto, meios receptores de escoamentos superficiais, de cargas de poluição difusa de origem pluvial, bem como de outras cargas poluentes oriundas de carências ou insuficiências em outros serviços urbanos, como a gestão de resíduos sólidos, a conexão cruzada entre sistemas pluviais e de esgotamento sanitário e a inexistência de interceptores de esgotos (Nascimento *et al.*, 2006; Baptista e Nascimento, 2002).

Há risco significativo de morte, em muitos casos, em razão das respostas rápidas de bacias urbanas altamente impermeabilizadas a eventos de precipitação intensa, resultando em inundações com características de "flash floods", durante as quais as vias tornam-se caminhos preferenciais de escoamentos de elevada energia, capazes de desequilibrar e transportar pessoas bem como veículos mesmo com profundidades de inundação relativamente baixas (DAEE, 2009).

Embora exista correlação entre a densidade de ocupação e as taxas de impermeabilização (Tucci e Marques, 2001), existem algumas alternativas urbanísticas que comportam densidades elevadas com taxas de impermeabilização compatíveis com objetivos de controle de impactos sobre escoamentos ou sobre o clima local, bem como criação de áreas verdes e de lazer (Fouchier, 1997). No tocante ao manejo de águas pluviais em meio urbano, desde os anos 1970 são desenvolvidas e aplicadas técnicas de redução de impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico que envolvem ações difusas no espaço urbano, como dispositivos de infiltração (ex. trincheiras de infiltração, planos de infiltração), de armazenamento (ex. valetas, micro reservatórios), de armazenamento e evapotranspiração

(ex. coberturas verdes, jardins de chuva), bem como concentradas (ex. parques lineares em fundos de vale, bacias de retenção). Essas técnicas são vistas como significativamente mais resilientes aos efeitos de mudanças climáticas quando comparadas com soluções convencionais de drenagem pluvial (Gersonius *et al.*, 2011; Siekmann e Müller, 2011; Nielsen *et al.*, 2011). No Brasil, publicações relativamente recentes enfatizam o emprego dessas técnicas (Righetto, 2009; Baptista *et al.*, 2005) e alguns municípios as incorporam em seus instrumentos de planejamento, regulação urbana e programas, como por exemplo, Porto Alegre (Porto Alegre, 2005) e Belo Horizonte (Costa *et al.*, 2009; Nascimento *et al.*, 2008), embora seu emprego por cidades brasileiras ainda seja pouco difundido.

A prevalência de modelos convencionais de drenagem pluvial decorre de inúmeros fatores (Baptista e Nascimento, 2002):

- Baixa capacidade de inovação e atualização tecnológica das equipes municipais responsáveis por tais serviços;
- Carência de recursos financeiros e/ou de continuidade em programas de investimento;
- Dificuldades (ou desinteresse) dos municípios em regular a ocupação urbana (ex. evitar a ocupação em zonas de risco, controlar a impermeabilização de solos);
- Dificuldade dos municípios em planejar e executar atividades de manutenção e recuperação de sistemas de infraestrutura;
- Pouca experiência em cooperação intermunicipal para gerir problemas comuns de provisão de serviços e de regulação urbana.

Nesse sentido, o sistema de drenagem urbana é um fator de extrema relevância para as áreas urbanas. No Brasil, as soluções técnicas empregadas não foram capazes de absorver a totalidade dos impactos causados pelo processo de impermeabilização do solo e de canalização de córregos e rios da maioria das cidades (Ross, 2004; DAEE, 2009; Travassos, 2010).

Paulatinamente o sistema hídrico da maioria das cidades foi transformado em sistema viário. Apesar de todas as intervenções realizadas, as enchentes aumentaram ao longo dos anos, em frequência e intensidade, pois medidas relativas ao planejamento urbano e controle do uso do solo não foram executadas em paralelo com as obras de engenharia compatíveis com as características locais da maioria das regiões brasileiras. (Ross, 2004; DAEE, 2009; Travassos, 2010).

## 5.2.5.OS PRINCIPAIS CENÁRIOS DE RISCO EM ÁREAS URBANAS

### Enchentes e inundações

Este cenário de risco caracteriza-se pelo transbordamento e refluxo das águas dos rios para as planícies adjacentes, quando ocorrem enchentes e inundações das margens e várzeas ocupadas ao longo dos principais cursos d'água. Apesar dos investimentos que têm sido realizados ao longo dos últimos anos para aumentar a capacidade de vazão dos principais cursos d'água ou para prover o amortecimento de cheias por meio de áreas de armazenamento (ex. bacias de retenção), prevê-se que a inundação das planícies fluviais urbanizadas continuará a ocorrer em razão do crescimento populacional, da impermeabilização não controlada de solos, da ocupação das margens e áreas de várzeas, da dinâmica natural das cheias e das grandes intervenções nos cursos d'água (canalização dos rios e córregos) (PMSP, 1999b; DAEE, 2009).

Os impactos atingem habitações, atividades industriais, comerciais e de serviços (públicos e privados), bem como o sistema de transporte urbano e rodoviário, particularmente considerando o tempo de permanência da água nos locais atingidos. A tendência de aumento da frota de veículos em circulação e a expansão das vias em áreas de várzea para atender esse crescimento da demanda de tráfego tendem a aumentar o grau de veículos e pessoas expostas aos riscos de enchentes e inundações (PMSP, 1999b; DAEE, 2009).

### **Enchentes e inundações com alta energia de escoamento**

As condições geomorfológicas e climáticas presentes em locais de relevo mais acidentado, principalmente nos compartimentos geomorfológicos de maciços, morros e morrotes em diversas regiões do país, permitem a ocorrência de escoamento superficial de alta energia, ou seja, grande volume e velocidade das águas, em razão das altas declividades dos terrenos marginais das porções de cabeceira de drenagem em vales encaixados, deflagrados por eventos localizados de chuva com elevados índices de pluviosidade instantânea (Ministério das Cidades/IPT, 2007; Nobre *et al.*, 2011a).

Enchentes desse tipo podem causar a destruição de edificações, de obras de infraestrutura urbana (barragens, reservatórios), colocando em risco a integridade física das pessoas residentes em áreas ribeirinhas. Assentamentos humanos ao longo de cursos d'água podem ser afetados gravemente. Além disso, a energia erosiva destes processos tende a causar o assoreamento dos trechos de jusante nos cursos d'água, propiciando condições para a ocorrência de inundações (Ministério das Cidades /IPT, 2007; Nobre *et al.*, 2011a).

### **Enxurradas com alto potencial de arraste**

No Brasil, políticas públicas de canalização de córregos e construção de vias públicas em fundos de vale deram origem aos cenários de risco de processos de enxurradas ao longo de vias públicas, em sub-bacias urbanizadas, onde ocorre a concentração das águas superficiais. Os processos de enxurradas ocorrem tanto nas áreas consolidadas quanto nas áreas periféricas, e se caracterizam pelo grande poder de acumulação das águas superficiais e alto poder destrutivo e de arraste (Ministério das Cidades /IPT, 2007; Nobre *et al.*, 2011a).

Cenários de risco hidrológico dessa natureza expõem as pessoas e seus bens a condições de alto risco. As maiores vulnerabilidades associadas a perdas humanas localizam-se em bairros periféricos, enquanto as maiores vulnerabilidades associadas a perdas econômicas e materiais se dão nos bairros consolidados. Escoamentos pluviais concentrados ao longo dos cursos d'água ou em vias públicas são responsáveis pela maior parte das mortes em eventos hidrológicos, quando pessoas são levadas pela energia das águas (Ministério das Cidades /IPT, 2007; Nobre *et al.*, 2011a).

### **Alagamentos**

Processos de alagamentos localizados ocorrem de forma generalizada em diversos pontos do Brasil, quando chove, principalmente por deficiências do sistema de drenagem urbano. Os alagamentos são geralmente acumulações rasas de lâminas d'água que geralmente atingem as vias públicas, causando transtornos momentâneos para a circulação de pedestres e veículos. Muitos domicílios lançam lixo diretamente nos cursos d'água, contribuindo para sua obstrução e assoreamento. Além disso, detritos sólidos são carregados pelas enxurradas e levados para os trechos de menores declividades do leito, onde são depositados (DAEE, 2009).

O lixo acumula-se, geralmente, nas margens dos rios, córregos e ribeirões, com declividades acentuadamente mais baixas. Com o aumento de eventos com precipitações cada vez mais intensas, mais detritos são carregados e os reservatórios de retenção tendem a sofrer sérios danos se não forem projetados com dispositivos que dificultem a entrada dos sedimentos de fundo e próprio do lixo. Outro aspecto importante é o fato de que as calhas dos rios acabam sofrendo com o processo de assoreamento, perdendo sua profundidade original (DAEE, 2009).

### **Movimentos de massa em encostas**

As áreas sujeitas a risco de deslizamentos ou movimentos de massa em encostas localizam-se principalmente em terrenos de relevo mais acentuado (íngreme) e cuja dinâmica de processos superficiais é bastante intensa (alta energia). Em geral, as ocupações desconsideram as normas de parcelamento

e uso do solo que regem a ocupação do território brasileiro. Com o processo de urbanização intenso, na medida em que se esgotam as terras apropriadas para a ocupação, os arruamentos penetravam em áreas de solos frágeis, de alta declividade e com condições impróprias para usos urbanos (Nobre *et al.*, 2011a).

Dentre os acidentes naturais que ocorrem em território brasileiro, os associados aos escorregamentos são os que causam o maior número de mortes. Dados de levantamento sistemático realizado pelo Núcleo de Monitoramento de Riscos Geológicos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), no período de 1988 a 2009, mostram um total de 1.457 mortes por escorregamentos no Brasil (Nobre *et al.*, 2011a).

Há uma clara correlação entre maior incidência histórica de eventos chuvosos, superiores a 100 mm, com os terrenos de topografia mais acidentada, o que pode ser explicado pela influência de elevações topográficas na geração das chuvas. A análise das projeções climáticas mostra que a incidência de eventos severos, superiores a 100 mm, deverá ser maior em algumas regiões, com um aumento da concentração de áreas de risco de escorregamentos, o que incrementará a condição de vulnerabilidade dessas localidades (Nobre *et al.*, 2011a).

### **5.2.6.A NECESSIDADE DE AVALIAR QUESTÕES RELACIONADAS À MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO**

Como é possível observar a variabilidade climática já impõe um desafio importante à sociedade, e futuras mudanças no clima parecem inevitáveis. Isto torna o desenvolvimento de estratégias de adaptação necessárias, chamando a atenção para questões éticas e de justiça: *“as pessoas que provavelmente mais sofrerão com os impactos da mudança climática global são justamente aquelas que menos contribuirão para que esta ocorra”* (Marengo, 2009). Tal afirmação é confirmada quando se determina as emissões de GEE por diferentes faixas de renda, descritas no Capítulo 3.4, do Grupo de Trabalho II, do PBMC.

Apesar de todos estarem sendo afetados de alguma forma, os impactos das mudanças climáticas atingem fortemente os mais pobres. *“Algumas comunidades e assentamentos empobrecidos já se encontram sob o estresse da variabilidade climática e dos eventos extremos, e estes podem ser especialmente vulneráveis às mudanças climáticas porque se concentram nas áreas de risco relativamente alto, com limitado acesso a serviços e a outros recursos para solucionar os danos.”* (Marengo, 2009).

Onde a carência de recursos e capacidades de resposta requer rápida adaptação às condições mais severas do clima, o problema provavelmente será agravado. Isto requer uma colaboração interinstitucional e integrada sem precedentes para criar programas de adaptação eficazes de longo alcance em todo o país.

### **5.2.7.DIRETRIZES PARA O DESENVOLVIMENTO DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO NO MEIO URBANO**

Como se observa, não só os lugares, mas também as pessoas apresentam vulnerabilidades distintas. Diferentes grupos sociais são expostos a riscos diferenciados e com recursos distintos para responder a estas situações (Hogan, 2001). É necessário, portanto, identificar esses grupos, localizá-los no espaço urbano e descrevê-los social e demograficamente para uma política pública mais eficiente. Há uma necessidade de projetos destinados a integrar as projeções das mudanças climáticas a modelos socioeconômicos, tal que uma análise integrada dos impactos econômicos desses fenômenos possa ser produzida (Nobre *et al.*, 2011a,b). Com base nisto, poderiam ser simuladas políticas de adaptação no meio urbano para regiões distintas. Neste sentido, algumas diretrizes são sugeridas:

○ poder público deverá estabelecer a obrigatoriedade de avaliação da dimensão climática nos processos decisórios referentes às políticas públicas, de forma a estabelecer:



- Ampliação da capacidade de observação sistemática e modelagem climática, geração de cenários climáticos futuros causados pelo aquecimento global e influência relativa do processo de urbanização;
- Implantar Sistemas de Prevenção e Alerta a Enchentes, Inundações e Deslizamentos, envolvendo a população, a defesa civil e órgãos competentes;
- Implantação de redes de monitoramento e formatação de banco de dados climáticos (informações históricas e registros atuais) nas cidades brasileiras principalmente aquelas mais afetadas por problemas relativos a eventos extremos;
- Avaliação dos impactos das mudanças climáticas sobre a saúde humana, promovendo medidas para prevenção e redução dos impactos em áreas urbanas;
- Desenvolvimento de estudos sobre “ilhas de calor urbano” para fins de planejamento urbano e regional;
- Implementação do Plano de Macro e Micro drenagem nos municípios brasileiros mais afetados, levando-se em conta a necessidade de atualização tecnológica em manejo de águas pluviais (com apresentação de custos comparativos entre obras de engenharia visando à canalização e a implantação de soluções alternativas);
- Aplicação de recursos destinados à pesquisa científica no estudo das causas e consequências do aumento de temperatura e mudanças dos regimes climáticos e hidrológicos, especialmente os extremos de determinadas regiões; bem como em pesquisa tecnológica visando à busca de alternativas para a redução da poluição atmosférica, poluição dos corpos d’água e do solo, elaboração de modelos hidrológicos e estudos integrados sobre os sistemas de captação, distribuição, drenagem e escoamento superficial, descarga de efluentes, assentamentos humana nos em áreas de mananciais; e,
- Implantação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos do Ministério do Meio Ambiente, com propostas que reflitam a interface entre diversos setores da economia compatibilizando crescimento econômico com desenvolvimento sustentável.

### **Instrumentos de Acompanhamento e Monitoramento**

Através de uma ação conjunta da Defesa Civil, Prefeituras e Órgãos Municipais deverão ser criados instrumentos de restrição à impermeabilização das áreas urbanas<sup>3</sup>, tais como:

- Criar, implementar e fiscalizar, mecanismos regulatórios que coíbam novas construções em áreas com declividade acentuada e de preservação permanente através do controle de alvarás e licenças, e embargos de obras;
- Introduzir nos regulamentos de outorga já existentes, que caberia ao órgão responsável pelos sistemas de drenagem das bacias de determinada região a responsabilidade pelo embargo de obras civis que possam resultar em impactos sobre o regime de deflúvios superficiais<sup>4</sup>; e,
- Estabelecer as condições para implementação de políticas habitacionais públicas, comunitárias e privadas, que gerem alternativas adequadas e permanentes para as populações que ocupam áreas de vulnerabilidade extrema.

### **Instrumentos econômicos**

- As Secretarias da Fazenda e Planejamento municipais e estaduais (dependendo da jurisdição) deverão proceder à quantificação dos benefícios decorrentes das medidas de adaptação às mudanças climáticas, uma vez que esta constitui uma alternativa extremamente necessária para a viabilização de ações. As questões relativas aos custos e benefícios decorrentes, por exemplo, da redução nos índices de doenças e mortalidade (causadas por inundações, deslizamentos e períodos de seca), impactos positivos na paisagem (em função das melhorias visando equilíbrio das condições climáticas) devem ser identificadas, quantificadas e ampla mente divulgadas no orçamento participativo de cada município; e,

<sup>3</sup> Para uma discussão sobre o uso de instrumentos do Estatuto da Cidade para controle de impermeabilização e uso de técnicas compensatórias de drenagem pluvial ver Baptista *et al.*, 2005.

<sup>4</sup>Para uma discussão sobre uso de instrumentos de outorga para alterações de regime hidrológico decorrentes de urbanização ver Castro, (2007).

- Há um potencial para a aplicação de instrumentos econômicos e de valoração ambiental para promover, por exemplo, a adoção de áreas verdes e parques lineares (ex. CNT, 2010), bem como o controle de impermeabilização de solos (ex. Cançado *et al.*, 2006).

### 5.2.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As alterações nos regimes hidrológicos e sistemas de drenagem urbana, bem como a poluição dos rios, somadas ao uso inadequado do solo e a impermeabilização das cidades, tem resultado em sérios problemas relativos a enchentes e inundações. Da mesma forma, o avanço sobre terrenos com declividade acentuada, também tem provocado o aumento de riscos relativos a deslizamentos de terra. A poluição atmosférica tem se agravado com os problemas relativos aos períodos de seca e vice-versa.

Como mencionado, os vales ocupados se assemelham climatologicamente a bacias aquecidas, produtoras de toneladas de poluentes originárias das indústrias, comércio, serviços e da circulação de veículos. Esta é uma questão estrutural que deverá persistir, pois resulta de sucessivas opções políticas progressas e vigentes. As projeções climatológicas mostram que novas áreas de risco surgirão e a vulnerabilidade se intensificará tanto em relação a enchentes, inundações, secas e deslizamentos, se o atual padrão de uso e ocupação do solo se propagar por todo o Brasil.

Dessa forma, as políticas que sustentam o parcelamento, uso e ocupação do solo e as práticas urbanísticas que viabilizam estas ações têm papel fundamental na definição de metas que conduzam as cidades em direção a um desenvolvimento compatível com a disponibilidade de recursos e características naturais, que incluam o clima.

Conforme amplamente divulgado nos relatórios do IPCC (2007 a, b; 2012), os riscos e sua magnitude dependerão da severidade, frequência, distribuição e agentes deflagradores de eventos relativos ao clima, entretanto, como já evidenciado, a escala e a frequência com que os fenômenos climáticos se reproduzem ainda não foram definidas com precisão. As escalas dos modelos climáticos não são compatíveis com as escalas urbanas e as aproximações ainda não possibilitam precisar o número de eventos extremos futuros.

São necessárias aproximações cada vez mais precisas, com a elaboração de modelos hidrológicos, a realização de medições meteorológicas contínuas, a comparação com séries históricas, entre outras ações. Desse modo, tal conhecimento poderia auxiliar o entendimento sobre a relação entre o agravamento dos problemas causados pelas mudanças climáticas e os padrões de expansão urbana que afetam, por exemplo, a ação de órgãos como a defesa civil, prefeituras, entre outros setores envolvidos.

Até o presente momento, estudos realizados sobre vulnerabilidade urbana têm sido incipientes, logo se faz necessário o aprofundamento sobre o gerenciamento da forma urbana, ou seja, do processo de ocupação e produção dos espaços urbanos e sua eficiência climática, que contemplem o balanço entre as características da paisagem e as demandas locais.

Em essência, as recomendações aqui indicadas são generalizadas e por isso merecem especial atenção as características de cada região. O funcionamento dos sistemas urbanos é distinto e com diferentes níveis de interação com o ambiente e o clima local. Dessa forma, a promoção de estudos locais em escala nacional é crucial para capacitar as instituições públicas e privadas para o desenvolvimento de medidas de enfrentamento dos impactos e perigos das mudanças climáticas no espaço urbano brasileiro.

---

<sup>5</sup> Mudanças climáticas podem, também, ter efeitos indiretos através de outros setores econômicos, por exemplo através da competição por recursos, como terra e água.

## **5.3 SETORES ECONÔMICOS PRIORITÁRIOS**

### **5.3.1 SETOR ENERGIA**

#### **5.3.1.1 INTRODUÇÃO**

Essa Seção busca descrever os possíveis impactos que as mudanças climáticas podem ter sobre os setores de energia, transportes e indústria, consolidando a literatura existente sobre o assunto nos âmbitos internacional e nacional. Busca-se, também, identificar lacunas no conhecimento sobre os possíveis impactos no país, apontando para áreas relevantes para desenvolvimento de pesquisa adicional.

#### **5.3.1.2 IMPACTOS E VULNERABILIDADES DO SETOR ENERGÉTICO**

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<sup>5</sup>. Um número crescente de estudos de impactos de mudanças climáticas sobre o setor energético vem sendo produzido, e alguns autores já realizaram revisões sobre o assunto – por exemplo: Pryor e Barthelmie (2010) sobre energia eólica; Kopytko and Perkins (2011) sobre energia nuclear; Lucena *et al.* (2009a) sobre energias hidroelétrica e eólica; Mideksa e Kallbekken (2010) sobre o mercado (oferta e demanda) de energia elétrica. Uma revisão regional ampla dos impactos de mudanças climáticas sobre o sistema energético foi, também, feita para os Estados Unidos (CCPS, 2007). Finalmente, uma revisão da literatura sobre o assunto pode ser encontrada em Schaeffer *et al.* (2012).

A descrição dos possíveis impactos que as mudanças climáticas podem ter sobre o sistema energético brasileiro está organizada nesta Seção segundo a própria cadeia do setor: oferta – considerando tanto os recursos energéticos, quanto sua transformação –, transporte e o uso final de energia.

O primeiro estágio da cadeia diz respeito ao total de energia primária disponível e as tecnologias de conversão em fontes finais. No caso de combustíveis fósseis, recursos referem-se a um estoque cujo acesso pode ser impactado pelas mudanças climáticas. No caso de energias renováveis, os recursos energéticos referem-se a um fluxo que, em geral, está intimamente ligado às condições climáticas. Nesse sentido, espera-se que fontes renováveis sejam mais susceptíveis a mudanças do clima. O segundo e terceiro estágio referem-se, respectivamente, ao transporte de energia ao consumidor final e ao uso energético para atender os diferentes serviços demandados pela sociedade.

#### **5.3.1.3. OFERTA DE ENERGIA**

A distinção aqui feita entre recursos energéticos e oferta de energia baseia-se no fato de que o primeiro refere-se a um uso em potencial, que pode ou não ocorrer. Informações sobre os recursos energéticos de um país/região são fundamentais para o planejamento da expansão do sistema energético. Recursos energéticos referem-se ao estoque de energia fóssil (carvão, petróleo e gás natural) disponível para aproveitamento ou aos fluxos associados às fontes renováveis.

Recursos energéticos precisam ser convertidos em fontes de energia final para que possam ser utilizados para atender às necessidades humanas. Por também serem susceptíveis à variabilidade do clima, tecnologias de transformação de energia podem ser vulneráveis às mudanças climáticas, podendo afetar a capacidade do sistema em suprir energia para consumidores. A seguir, será investigado como diferentes fontes podem ser impactadas por mudanças do clima. Por fim, avalia-se a vulnerabilidade da geração termoelétrica, isoladamente, já que diferentes fontes podem ser usadas para esse propósito.

## Energia Hidroelétrica

O potencial de geração hidroelétrica depende diretamente da disponibilidade de recursos hídricos passíveis de serem explorados<sup>6</sup>, sendo, portanto, afetado diretamente pelo ciclo hidrológico. Uma grande variedade de modelos hidrológicos foram utilizados para avaliar os impactos que cenários climáticos futuros (projetados por *General Circulation Models* – GCM – ou em cenários hipotéticos) poderiam ter sobre os recursos hídricos de diversas regiões do mundo (Dvorak *et al.*, 1997; Boorman e Sefton, 1997; Arnell, 1999 e 2004; Jiang *et al.*, 2007), inclusive para o Brasil (Salati *et al.*, 2007 e 2009). A metodologia normalmente utilizada para avaliar impactos de mudanças climáticas sobre geração hidroelétrica faz uso desses modelos para projetar possíveis variações na hidraulicidade que alimentam aproveitamentos hidroelétricos.

Em localidades onde não há informação técnica/econômica disponível, o uso do potencial hidroelétrico<sup>7</sup> pode fornecer indicativos sobre possíveis tendências para variações no hidroelétrico (Lehner *et al.*, 2005). Contudo, esse indicador não permite avaliar com precisão perdas de potencial de geração hídrica, uma vez que não considera a viabilidade técnica ou econômica de se aproveitar essa energia. Para se analisar impactos de variações na vazão natural afluente dos rios, onde aproveitamentos hidroelétricos são factíveis, são necessários dados sobre os parâmetros técnico-econômicos das alternativas de geração hidroelétrica. Devido à importância da hidroeletricidade na matriz elétrica brasileira, há dados disponíveis sobre aproveitamentos hidroelétricos em potencial no país, estando a maior parte disponível na região norte do país (EPE, 2007). Portanto, no caso brasileiro, é mais relevante avaliar como diferentes cenários de variação de vazão podem afetar a operação do sistema nacional (atual e/ou projetado).

A quantidade de energia produzida por usinas hidroelétricas depende não somente da capacidade de geração instalada – dada pelo potencial de aproveitamento –, mas também de variações na vazão natural afluente aos reservatórios dessas usinas. A variabilidade climática natural já tem grande influência sobre a operação de sistemas hidroelétricos, o que pode ser exacerbado por mudanças climáticas. Esses sistemas são construídos e operados com base em registros históricos de padrões climáticos, em especial do comportamento da vazão dos rios. Assim, a quantidade de energia gerada disponível, assim como sua variabilidade, é projetada a partir de um determinado padrão climático que pode num contexto de mudanças do clima, ser alterado. De fato, as mudanças climáticas globais podem somar incerteza à já incerta operação de sistemas hidroelétricos. Isso pode afetar não somente a operação do parque de geração existente, mas também comprometer a viabilidade econômica de novos empreendimentos.

A abordagem metodológica para analisar impactos de mudanças climáticas sobre geração hidroelétrica faz uso de projeções de vazão sob novas condições climáticas em modelos de despacho hidroelétrico (por exemplo, Hamlet *et al.*, 2010 e Lucena *et al.*, 2009b). Alguns estudos vão além, ao incluir avaliações econômico/financeiras (por exemplo, Harrison e Whittington, 2002; Vicuña *et al.*, 2006)<sup>8</sup>. A modelagem utilizada para analisar os impactos de mudanças climáticas depende, em última instância, da complexidade do sistema hidroelétrico estudado. Dois fatores são relevantes nesse sentido. Primeiro, diz respeito a qual a importância relativa do setor hidroelétrico para a matriz de geração do país/região. Se a hidroeletricidade complementa outras fontes de geração, mudanças na energia média gerada pelo sistema pode ser uma medida razoável para avaliar os impactos de mudanças climáticas. Por outro lado, sistemas de geração predominantemente baseados em energia hidroelétrica devem ser avaliados segundo uma medida mais conservadora, como, por exemplo, energia firme<sup>9</sup>, para minimizar o risco de racionamentos.

---

<sup>6</sup> Podendo ser definido como potencial técnico, econômico ou de mercado.

<sup>7</sup> Definido como o total de energia que estaria disponível anualmente caso toda vazão em todas localidades pudesse ser aproveitada sem perdas (Lehner *et al.*, 2005), o que é diretamente calculado a partir de dados de disponibilidade hídrica e elevação.

O segundo fator relevante está relacionado à dispersão geográfica e o nível de integração do sistema via transmissão. A transmissão de energia pode ter papel importante no aproveitamento de diferenças climáticas regionais quando há regimes sazonais distintos ou até mesmo complementares. Isso requer que a modelagem seja feita de maneira integrada, uma vez que impactos regionais negativos podem ser atenuados por eventuais acréscimos na geração em outras localidades.

O caso brasileiro é bastante particular, pois engloba as duas questões apresentadas acima. Em 2009, a hidroeletricidade correspondeu a cerca de 82% da geração elétrica no país (MME, 2010). Ademais, sazonalidades hídricas complementares ajudam a otimizar a quantidade de energia gerada pelo sistema. Nesse caso, assim como a geração em várias hidroelétricas em cascata ao longo de um mesmo rio não pode ser analisada por usina, individualmente, a integração regional em países como o Brasil faz com que a análise de impactos deva ser feita considerando, na operação, a racionalidade de um operador central.

As características individuais das usinas também influenciam a vulnerabilidade do sistema hidroelétrico às mudanças climáticas. Em especial, é importante a capacidade de acumulação dos reservatórios das usinas, que permite ao sistema regularizar a produção de energia frente a variações na vazão afluente. Usinas a fio d'água oferecem pouca flexibilidade operativa e são, portanto, mais susceptíveis a impactos de mudanças climáticas. Reservatórios de acumulação podem regularizar variações sazonais ou até mesmo anuais de vazão, ajudando a prevenir eventuais impactos climáticos. Embora o sistema brasileiro instalado atualmente conte com hidroelétricas com reservatórios de grande porte, espera-se que a expansão do sistema se dê fundamentalmente por usinas a fio d'água devido a uma crescente preocupação com impactos ambientais locais<sup>10</sup>.

Para o Brasil, alguns estudos buscaram avaliar o impacto de determinados cenários climáticos sobre a geração hidroelétrica nas usinas do Sistema Interligado Nacional (SIN), como sumariza a Tabela 5.3.1. No curto-médio prazo (até 2040), Lucena *et al.* (2010c) apontam que o impacto sobre a geração de energia elétrica no Brasil não seria negativo, segundo os cenários climáticos analisados. Entretanto, outros estudos (Lucena *et al.*, 2009b; Schaeffer *et al.*, 2010) para o setor com cenários climáticos diferentes indicam impactos negativos em prazos mais longos (2070-2100). Assim sendo, é importante que a análise destes resultados seja feita com prudência, tendo em vista que são estudos com diferentes metodologias, cenários climáticos e horizontes de tempo. Tal comparação de resultados reforça a necessidade de aprofundamento de estudos sobre o impacto do clima futuro no setor energético. Diferentemente de projeções, cenários representam possibilidades de futuro plausíveis, construídas a partir de premissas a respeito do comportamento de variáveis chave. Assim, cenários indicam caminhos possíveis, na tentativa de reduzir incerteza ao cobrir grande leque de possibilidades e diminuir a chance de surpresas indesejáveis.

De fato, por utilizarem dados do modelo do Hadley Centre, os resultados dos estudos apresentados na Tabela 5.3.1 representam projeções pessimistas, visto que esse modelo projeta temperaturas mais quentes e uma menor disponibilidade hídrica quando comparado a outros GCMs (Marengo, 2007).

---

<sup>8</sup> Tais estudos, no entanto, apresentam um conjunto adicional de incertezas relacionadas ao comportamento de longo prazo de parâmetros econômicos (como custos, taxas de desconto e preço da energia).

<sup>9</sup> Energia firme pode ser definida como a quantidade máxima de energia que o sistema de geração hidroelétrico pode garantir o tempo todo, sendo igual à energia gerada nas piores condições hidrológicas já ocorridas.

<sup>10</sup> Cabe destacar que a maior parte do potencial hidroelétrico remanescente do Brasil encontra-se na região Amazônica.

**Tabela 5.3.1.** Resultados dos Estudos sobre Impactos de Mudanças Climáticas sobre Geração Hidro-elétrica

	Lucena <i>et al.</i> (2010c)	Lucena <i>et al.</i> (2009)	Schaeffer <i>et al.</i> (2010)
Cenários Emissão	A1b	A2 e B2	A2 e B2
GCM	HadCM3	HadAM3P	HadAM3P
Downscaling	ETA	PRECIS	PRECIS
Horizonte	2011-2040	2071-2100	2025-2100*
Modelagem Hidrológica	Balanço Hídrico	Estatístico	Balanço Hídrico/Estatístico
Modelagem Energética	MSUI	SUISHI-O	SUISHI-O
Resultados	Energia Média (+12 a 16%); Energia Firme (+14 a 20%); Impactos Negativos Regionais (At. Leste e Parnaíba)	Energia Média (+12 a 16%); Impactos Negativos Regionais (N/NE)	Energia Média (-1 a 3%); Energia Firme (-29 a 32%); Impactos Negativos Regionais (N/NE)

\*: Período 2025-2070 feito por interpolação pelo CPTEC/INPE.

Fonte: Lucena *et al.* (2010c)

### Energia da Biomassa

O potencial para produzir energia da biomassa, em especial biocombustíveis líquidos, também pode ser afetado pelas mudanças climáticas. Alterações em variáveis climáticas, como temperatura e precipitação, têm efeitos sobre as condições edafoclimáticas das culturas agrícolas voltadas para a produção de etanol e biodiesel. Isso, por sua vez, pode influenciar a produtividade agrícola, sua distribuição regional, a incidência de pestes e, até mesmo, a disponibilidade de terras propícias às culturas energéticas. Conforme descrito por Siqueira *et al.* (2001), as mudanças climáticas podem afetar a agricultura das seguintes formas:

- Aumentos de temperatura podem modificar as condições do solo, refletindo na sua fertilidade e produtividade. Isso pode, até certo ponto, ser compensado por uma maior atividade fotossintética;
- Concentrações mais altas de CO<sub>2</sub> podem ter impactos positivos sobre culturas agrícolas mais sensíveis, aumentando a fotossíntese;
- Cada planta possui um espectro de temperatura propício para seu crescimento. Aumentos de temperatura podem causar modificações na distribuição regional agrícola;
- A atividade agrícola pode, também, ser afetada por alterações no regime hídrico. Isso inclui não somente variações em precipitação, mas também maiores taxas de evapotranspiração induzidas por temperaturas mais altas;
- Temperaturas mais elevadas afetam o metabolismo de insetos, acelerando sua reprodução, aumentando, assim, a probabilidade de incidência de pestes;
- Eventos climáticos extremos, como secas, enchentes e geadas, também podem afetar culturas agrícolas.

Ainda, segundo Brodrigg *et al.* (2009) e Betts *et al.*, (2007), a relação entre aumento de temperatura e evapotranspiração é alterada pelo aumento no CO<sub>2</sub>. Num ambiente com maior concentração de CO<sub>2</sub> as plantas se tornam mais eficientes no uso da água durante a evapotranspiração.

Os estudos que investigaram os efeitos de mudanças climáticas sobre culturas energéticas focam em cana-de-açúcar e algumas oleaginosas utilizadas na produção de biodiesel<sup>11</sup>. Em termos de potencial de produção, os impactos de mudanças climáticas se dariam através de alterações na disponibilidade de terras propícias ao cultivo dessas plantas.

Para o Brasil, Lucena *et al.* (2009b) avaliaram a disponibilidade de terras para o cultivo de cana-de-açúcar (para produção de etanol) e quatro oleaginosas (girassol, dendê, mamona e soja, para a produção de biodiesel) frente a cenários de mudanças climática produzidos pelo CPTEC/INPE. Os impactos foram projetados com base em alterações de temperatura, sem considerar efeitos de outras variáveis climáticas. Utilizando os mesmos cenários, Pinto e Assad (2008) realizaram um estudo mais completo para diversas culturas, incluindo também os efeitos de mudança no regime de precipitação e uma maior resolução geográfica. No que tange às culturas energéticas, ambos os estudos alcançaram resultados similares, que apontam para: nenhum impacto agregado para cana-de-açúcar, embora com algumas mudanças na distribuição regional dessa cultura; e impactos sobre oleaginosas que, embora variem de acordo com cada cultura, apontam para uma queda na quantidade de terras propícias ao cultivo energético, com impacto especialmente negativo na região nordeste.

Não somente as mudanças climáticas podem restringir a disponibilidade de terras propícias ao cultivo de culturas energéticas, como também afetar a produtividade dessas culturas nas regiões que permanecem como produtoras. Os impactos sobre produtividade advêm de alterações climáticas (como aumentos de temperatura, variações de precipitação e frequência de eventos extremos como secas e geadas) assim como em mudanças na concentração atmosférica de CO<sub>2</sub>.

### **Energia Eólica**

A disponibilidade e nível de confiança nas informações sobre dados e produção de energia eólica mantém forte dependência com fatores meteorológicos e climáticos, já que essa energia renovável é oriunda do vento. O vento é gerado por gradientes de pressão atmosférica que, por sua vez, são gerados pelo aquecimento diferencial da Terra em combinação com sua rotação. Efeitos de segunda ordem, mas não menos importantes, tais como a orografia, rugosidade e uso do solo, obstáculos, fenômenos de mesoescala provocam distorções nos campos de vento planetários. O principal mecanismo de impacto das mudanças climáticas globais sobre os regimes de vento e, por conseguinte, nos potenciais de geração eólica são aqueles que provocam mudanças na distribuição do escoamento dos ventos em altos e baixos níveis. Por exemplo, estudos realizados por Valverde e Marengo (2010) com base no modelo do Hadley Centre suscitam a possibilidade de um deslocamento do sistema de baixa continental (associado à baixa do Chaco) para o sudoeste da sua posição climatológica (1961-1990), e da Alta da Bolívia para o nordeste para o final do século, o que poderá deslocar a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) mais para o norte do continente sulamericano. Novamente, deve-se ressaltar a necessidade de verificar os resultados baseados em outros modelos climáticos. Parece também haver consenso no enfraquecimento da Alta do Atlântico Sul. Anomalias nas temperaturas dos oceanos têm forte influência na circulação de ar sobre os oceanos Atlântico e Pacífico. O aquecimento global pode levar a mudanças nos padrões de variabilidade de grande escala oceânica e atmosférica. Por exemplo, as projeções de diversos modelos indicam eventos *El Niño-Oscilação Sul (ENSO)* mais intensos e há evidências observacionais que suportam essa projeção (Boer *et al.*, 2004, Nobre *et al.*, 2007). O *ENSO* está associado com algumas das mais pronunciadas variabilidades interanuais dos padrões climáticos em muitas partes do mundo.

A velocidade do vento varia fortemente com a altura. Projetos de exploração da energia eólica levam esse efeito em consideração realizando estudos para estimativas da velocidade do vento à altura das turbinas projetadas para o projeto do parque eólico. Contudo, como a velocidade do vento mantém forte dependência com a rugosidade e obstáculos do terreno, mudanças na ocupação do solo podem

---

<sup>11</sup> Alguns estudos também investigaram efeitos sobre o milho, que é utilizado também para a produção de etanol, por exemplo, nos Estados Unidos (CCPS, 2007).

causar impactos importantes na geração eólica. As alterações climáticas podem ter impactos sobre a cobertura vegetal (Nobre *et al.*, 2007) e, portanto, afetam a avaliação do impacto de vento de potencial de geração de energia.

Vários estudos tem sido publicados sobre os impactos das mudanças climáticas globais sobre os recursos de energia eólica empregando tanto dados de modelos de circulação geral (GCM's) como dados de séries históricas em estações meteorológicas de coleta de dados. Contudo os resultados ainda contêm elevados níveis de incerteza e são, muitas vezes, inconsistentes (Breslow e Sailor, 2002; Thomas *et al.*, 2008; Eichelberg *et al.*, 2008; McVicar *et al.*, 2008; Pryor *et al.*, 2009; Atkinson *et al.*, 2006; Thomas *et al.*, 2009; Brázdil *et al.*, 2009).

Estudos de tendências realizados para o Brasil foram publicados por Lucena *et al.* (2010a) e indicam que o potencial eólico no Brasil será beneficiados pelas mudanças climáticas esperadas do próximo século devido a uma tendência de ventos crescentes para a maior parte do território. O estudo foi resultado da análise das saídas do modelo GCC HadCM3, do Hadley Centre for Climate Prediction and Research, na Inglaterra. As saídas do modelo empregou os cenários A2 e B2 descritos no relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2000). Pesquisas mais recentes ainda em andamento no INPE empregando um conjunto de 19 estações meteorológicas localizadas nas regiões do sul e do nordeste brasileiro, selecionadas através de controle de qualidade e com dados de séries históricas superiores a 30 anos, revelaram tendências variadas conduzindo a resultados inconclusivos empregando a metodologia estatística não-paramétrica de estudos de tendências em séries temporais de dados descrita por Kendall e Edgeworth (1968). Algumas séries apresentaram tendências positivas, outras negativas e outras resultados estatisticamente não significativos. Isso foi atribuído a problemas com a qualidade dos dados disponíveis e com a inexistência de registros de campo contendo o histórico de calibração, substituição de sensores e alterações de localização da estação e do uso do solo no entorno. O mesmo estudo empregou saídas de modelo HadCM3 regionalizados pelo modelo de mesoescala Eta para três períodos futuros (2010-2040; 2041-2070 e 2071-2100) considerando o cenário A1B de alteração do clima definido pelo IPCC em razão do aumento da concentração de gases do efeito estufa. Os resultados foram referenciados as rodados do mesmo modelo regionalizado para um período de referência entre 1961 a 1990. Os resultados revelaram tendências de crescimento da densidade de potência eólica em quase todo o território brasileiro, principalmente na região norte-nordeste. A média anual da densidade de potencia eólica foi de até 10% em relação ao período de referência para quase toda a região Sul. As variações na densidade de potência para todos os estados do nordeste se mostraram bem superiores, mostrando aumentos de mais de 40% para a região que compreende os estados do Pará, Tocantins, Piauí e Maranhão<sup>12</sup> (Pereira *et al.*, 2013).

O estudo de confiabilidade e validação dos prognósticos foi realizado no INPE (ainda não publicado) através do emprego de redes neurais artificiais. O treinamento de redes neurais foi feito para ajustar as estimativas fornecidas pelos modelos Eta-HadCM3 para o período de referência 1961-1990, minimizando o erro sistemático observado nos valores dos desvios mean bias Error (MBE). O preditores utilizados foram os valores de vento e outras variáveis meteorológicas fornecidas pelos modelos Eta/HadCM3. As medidas de séries históricas de vento em um conjunto de 19 estações de coleta selecionadas através de critérios de controle de qualidade dos dados foram utilizadas para treinamento e validação das redes neurais. As redes neurais desenvolvidas foram então aplicadas às estimativas produzidas pelos modelos Eta/HadCM3 para os três períodos futuros produziram novos prognósticos corrigidos e com maiores níveis de confiabilidade. Os prognósticos corrigidos para as estações selecio-

---

<sup>12</sup> É importante destacar que esses resultados são limitados pela resolução do modelo de downscaling ETA que é insuficiente para identificar precisamente o potencial eólico por não resolver a topografia com o detalhamento necessário.



nadas continuaram apresentando tendências ao crescimento dos potenciais eólicos nas duas regiões, porém mostraram aumentos bem mais modestos com até 63% das estações com tendências positivas ao redor de 1-2% mas chegando em alguns casos raros a 35%.

Muito embora tanto o potencial eólico (assim como o solar, investigado a seguir) quando comparados ao hídrico sejam vulneráveis aos impactos negativos das mudanças climáticas, estes sistemas possuem um ciclo de vida mais curto, o que garante maior capacidade de adaptação às mudanças a longo prazo. A decisão de construir uma usina hidrelétrica envolve não somente recursos financeiros e ambientais elevados como também constitui implica em uma enorme estrutura permanente com ciclo de vida e econômico muito longos.

## Energia Solar

As alterações climáticas podem afetar os recursos de energia solar, alterando o conteúdo de vapor d'água atmosférico, a nebulosidade, a carga de aerossóis na atmosfera e até mesmo as características das nuvens. Tudo isso afeta transmissividade da radiação solar na atmosfera (Martins e Pereira, 2006; Cutforth e Judiesh, 2007; Martins *et al.*, 2008), e pode ter efeitos sobre a produção de eletricidade a partir de energia fotovoltaica e energia solar concentrada (CSP). Os das mudanças climáticas globais sobre essas variáveis e, conseqüentemente sobre os recursos de energia solar. Impactos positivos levando ao aumento da radiação solar em algumas situações como, por exemplo, se relatou um aumento na radiação solar de 5,8% no Sudeste da Europa (Bartók, 2010) e os impactos negativos em termos de diminuição da radiação solar, por exemplo, uma tendência de decréscimo na radiação solar incidente em algumas regiões do Brasil (Pereira *et al.*, 2006).

Estudos realizados por Ohmura e Lang (1989), Russak (1990), Wild *et al.* (2007), Ye *et al.* (2009), entre outros, mostraram com base em séries históricas selecionadas de dados de irradiação medidos em superfície um tendência ao declínio da irradiação solar incidente nas últimas décadas em várias regiões do hemisfério norte. Já Pinker *et al.*, (2005) através de estudos realizados por satélite geoestacionário revelou a continuidade da tendência negativa sobre os continentes mas uma ligeira tendência inversa sobre os oceanos. No entanto, Gilgen *et al.* (2009) demonstram que a partir de dos anos 1980 parece estar ocorrendo um recuperação dessa tendência negativa em algumas regiões enquanto as tendências negativas ainda persistem na costa da Europa, nordeste da China, partes da Índia e África.

Andreae *et al.* (2005) consideram que se a tendência à diminuição da radiação solar incidente for global e persistente teria o poder de atenuar o efeito do aquecimento global e, portanto aumentar as incertezas nos cenários futuros gerados pelos prognósticos dos modelos GCM.

No Brasil, estudos realizados por Pereira *et al.* (2006) com base em uma série de 12 anos de dados de satélite, indicam uma tendência ao decréscimo dos níveis de irradiação solar incidente entre 1% a 2,5% ao ano para todas as regiões do Brasil com exceção da região sul onde os resultados não mostraram significância estatística. Veissid e Pereira (2000) e Veissid (2002) utilizou dados do experimento célula solar do satélite brasileiro SCD-II e revelou tendências tanto ao crescimento como decréscimo dos níveis de irradiação incidente sobre parte do território brasileiro. No entanto o curto intervalo de tempo analisado não permitiu obter resultados climatologicamente significativos.

Sistemas de geração fotovoltaica (PV) normalmente têm seus fatores de capacidade reduzidos com a temperatura crescente (Emery *et al.*, 1996). Assim, um aumento na temperatura média global terá impactos negativos na produção PV. No entanto, essa dependência depende, dentre outros fatores, da composição da célula PV e a tecnologia tem evoluído muito nessa área. Por outro lado, efeitos tais como aumento da nebulosidade e da carga de aerossóis na atmosfera terão efeitos negativos na produção PV. Em particular, no caso da energia solar concentrada (CSP), o efeito dos aerossóis é preponderante já que afetam os níveis de radiação direta normal.

A capacidade nacional de geração anual de energia solar é gigantesca, cerca de 220 GWh por metro quadrado para a geração fotovoltaica, mas ainda totalmente inexplorada (Pereira *et al.*, 2006). O emprego de sistemas de geração elétrica fotovoltaica interligada nas áreas urbanas e de sistemas híbridos PV em áreas remotas através de mini-redes pode trazer benefícios para o meio ambiente e para o sistema elétrico nacional. A principal vantagem técnica é a possibilidade da geração local de energia limpa e renovável diretamente para os consumidores, principalmente em edifícios ou em zonas urbanas.

### **Petróleo e Gás**

Embora as mudanças do clima não alterem diretamente a quantidade de recursos de óleo e gás existentes, elas podem afetar nosso conhecimento acerca de sua existência, assim como o acesso a esses recursos. Em outras palavras, embora os recursos de óleo e gás não sejam afetados, suas reservas podem ser, na medida em que se pode alterar a viabilidade técnica e econômica de sua exploração.

Um exemplo de impactos são os custos crescentes para proteger estruturas de produção *offshore* de eventos climáticos extremos. A infraestrutura de produção de petróleo e gás *offshore*, assim como instalações costeiras, pode ser afetada por eventos climáticos extremos (como furacões, assim como enchentes e erosão causadas pelo aumento do nível do mar), que podem levar à necessidade de desligamentos para evitar danos ao meio ambiente e aos trabalhadores. Os furacões no Golfo do México em 2004 e 2005, por exemplo, resultaram em um grande número de estruturas *offshore* danificadas ou destruídas: mais de 115 plataformas foram destruídas e outras 52 extensamente danificadas (MMS, 2006). Segundo o IPCC (2007), eventos climáticos extremos podem se tornar mais freqüentes e intensos, afetando a infraestrutura de petróleo e gás.

O refino de petróleo, por ser uma atividade intensiva no consumo de água, pode também ser afetado por eventuais reduções na disponibilidade hídrica causadas pelas mudanças climáticas. Ademais, a demanda por água em refinarias pode aumentar em função de temperaturas mais altas, uma vez que a maior parte da demanda de água de uma refinaria é para resfriamento (cerca de 50% - Szklo, 2005). Algumas refinarias nacionais já enfrentam problemas de competição por recursos hídricos, como, por exemplo, a REPLAN, maior refinaria do país. Mudanças climáticas podem, portanto, agir como um elemento adicional de restrição.

### **Geração Termoelétrica (óleo, gás natural, carvão e nuclear)**

Mudanças climáticas globais podem causar impactos sobre a geração termoelétrica ao afetar a eficiência termodinâmica e a demanda por água de resfriamento das usinas térmicas (Arrieta e Lora, 2005; CCPS, 2007). Os impactos derivam dos requerimentos de aquecimento e resfriamento dos ciclos Rankine e Brayton, que variam de acordo com condições ambientais, como temperatura, pressão e umidade, além de temperatura e disponibilidade de água para resfriamento. Todos os ciclos térmicos utilizam o ambiente como fonte fria, dependendo geralmente de água para resfriamento no caso dos ciclos a vapor (Rankine e ciclos combinados). Desse modo variações na temperatura ambiente e na disponibilidade hídrica são relevantes sobre seu desempenho. No caso dos ciclos a gás (Brayton) o efeito da temperatura ambiente é sensível sobre a densidade do ar utilizado, afetando tanto o rendimento térmico como a potência das unidades. Entre as tecnologias afetadas estão a geração a partir do carvão mineral, gás natural, energia nuclear e de resíduos sólidos urbanos e de biomassa.

Os efeitos de variações em temperatura ambiente em plantas a carvão mineral e termonucleares são similares, visto que ambas operam sob o ciclo Rankine. Embora esses efeitos possam ser relativamente pequenos, em regiões onde há uma alta dependência nessas fontes pode-se experimentar impactos significativos. Isso, entretanto, não é o caso do Brasil.

Plantas a gás natural operando através do ciclo Brayton (plantas operando em ciclo aberto ou ciclo combinado) podem ter sua eficiência e potência máximas afetadas por variações em temperatura e umidade ambiente (Tolmasquim *et al.*, 2003). Aumentos de temperatura elevam o volume específico de ar, aumentando o consumo de energia do compressor e reduzindo a quantidade de energia gerada pela turbina. Isso pode levar tanto a perdas de geração quanto a aumentos no consumo de combustíveis (Schaeffer *et al.*, 2008). Uma análise de possíveis impactos sobre a geração termoelétrica a gás natural no Brasil sob os cenários climáticos A2 e B2 do IPCC (2000) foi conduzida por Schaeffer *et al.* (2008). Seus resultados indicam que o requerimento extra de energia gerado por temperaturas mais altas não ultrapassaria 2%. Frente à pequena participação dessa fonte na matriz energética do país, isso não acarretaria em grandes impactos para o setor energético.

Usinas termoelétricas requerem uma grande quantidade de água para resfriamento (Feeley *et al.*, 2008), o que as pode tornar vulneráveis em cenários de redução de disponibilidade hídrica (Koch e Vögele, 2009). De acordo com Bull *et al.* (2007), cada kWh de eletricidade gerado por ciclos a vapor usa cerca de 90-100 litros de água. Caso as mudanças climáticas acarretem em reduções na disponibilidade hídrica, esse tipo de geração elétrica pode passar a ter um papel relevante na competição pelo uso da água.

#### **5.3.1.4. TRANSMISSÃO, TRANSPORTE E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA**

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.

#### **5.3.1.5. DEMANDA 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. Dentre os estudos que buscaram avaliar os impactos das mudanças do clima sobre a produção e consumo de energia, grande parte concentra-se na projeção dos impactos sobre a demanda. Especificamente, tais estudos buscam avaliar os efeitos de mudanças de temperatura decorrentes das GCM - *General Circulation Models* sobre o uso de energia para aquecimento ou resfriamento de ambientes.

De forma geral, projeções climáticas são usadas como fatores determinantes no uso de energia em modelos de uso final ou econométricos. O efeito de variações de temperatura é geralmente medido através do uso de graus-dias (*degree-days*), definidos como a soma de dias cuja temperatura excede uma temperatura limite para o acionamento dos aparelhos de condicionamento de ar para um dado período de tempo. Projeções de aumento no uso de aparelhos de condicionamento ambiental através do conceito e graus-dias, entretanto, podem ser bastante limitadas (Guan, 2009). Esse método somente é apropriado em casos onde a eficiência do equipamento, assim como a taxa de utilização das edificações, permanece constante. De fato, impactos de temperatura não estão restritos a esse efeito. Como a energia útil é proporcional à variação em temperatura, mantendo-se o coeficiente de performance (COP<sup>13</sup>) do aparelho constante, aumentos em temperatura elevariam o tempo de trabalho dos aparelhos (compressores) para alcançar uma determinada temperatura ambiente. Isso elevaria o consumo de energia do aparelho.

---

<sup>13</sup> Que representa a relação entre a energia útil produzida e a energia final consumida em aparelhos elétricos, como compressores de ar condicionados.

Schaeffer *et al.* (2008) fizeram uma análise do aumento no uso de ar condicionado nos setores residencial e de serviços brasileiro com base na combinação do efeito graus-dias com o aumento no consumo dos aparelhos em função de temperaturas mais altas a partir de um modelo de uso final. Considerando o cenário com temperaturas mais altas, o aumento do consumo de energia elétrica do setor residencial ficaria em torno de 9%, e no setor serviços, de 19% em 2030.

O consumo de energia no setor de transportes também pode ser influenciado por mudanças climáticas. De acordo com Parker (2005 *apud* Scott e Huang, 2007), o uso de ar condicionado reduz a eficiência de veículos em aproximadamente 12% em velocidades de auto-estrada. Estudos que investigam os efeitos do clima sobre o consumo de energia no setor de transportes, entretanto, geralmente não têm foco em mudanças climáticas, como é o caso, por exemplo, de Roujol e Joumard (2009), que acharam uma relação positiva entre temperatura ambiente e consumo de combustível em veículos.

A demanda de energia no setor industrial não é particularmente sensível a mudanças do clima (Scott e Huang, 2007), pois o diferencial de temperatura necessário em processos industriais é muito superior às variações em temperatura ambiente. Porém, alguns processos industriais, como processamento e armazenamento de alimentos, trabalham com diferenciais de temperatura relativamente baixos e são, portanto, mais vulneráveis à temperatura ambiente.

Finalmente, mudanças climáticas podem afetar a demanda por eletricidade através de uma maior demanda por água, seja no setor industrial (para uso direto e/ou refrigeração) ou na agricultura (para irrigação). Uma maior demanda por água nesses casos implicaria em uma maior demanda de eletricidade para bombeamento de água.

### **5.3.1.6. ADAPTAÇÃO AOS IMPACTOS SOBRE O SETOR ENERGÉTICO**

As mudanças climáticas incorrem em custos (ou benefícios) que são difíceis de serem medidos/quantificados. Esses custos incluem não somente o dano direto causado pelos impactos das alterações no clima, mas também custos de adaptação às novas condições climáticas, ou seja, os custos dos esforços para se atenuar ou evitar os impactos das mudanças climáticas (Kundzewicz *et al.*, 2007). A identificação das vulnerabilidades do setor energético às mudanças climáticas é essencial para a formulação de políticas de adaptação, ao mesmo tempo em que a preocupação com impactos pode afetar a percepção e avaliação das alternativas tecnológicas e a formulação de políticas energéticas em um país (Wilbanks *et al.*, 2007).

Medidas de adaptação diretamente voltadas para impactos de mudanças climáticas – como diques contra aumento no nível do mar, reforço de estruturas contra tempestades e furacões, investimento em capacidade de geração elétrica complementar, etc. – em geral implicam em projetar impactos e comparar os custos destes com os custos de eventuais medidas de adaptação. Porém, estimativas abrangentes dos custos e benefícios da adaptação são, até o momento, escassas e a literatura a esse respeito ainda é bastante limitada e fragmentada em termos setoriais e regionais<sup>14</sup> (Adger *et al.*, 2007).

---

<sup>14</sup> Existem alguns estudos a respeito dos custos e benefícios da adaptação, focando, principalmente, em aumento do nível do mar (e.g., Fankhauser, 1995; Yohe e Schlesinger, 1998; Nicholls e Tol, 2006) e agricultura (e.g., Rosenzweig e Parry, 1994; Adams *et al.*, 2003; Reilly *et al.*, 2003).

Poucos estudos de adaptação focam no setor energético. Na verdade, grande parte das sugestões de adaptação para o setor energético vem como apêndices a estudos que focam nos impactos das mudanças climáticas sobre o setor. Além de escassa, a literatura sobre medidas de adaptação para o setor energético se restringe a discussões praticamente qualitativas, faltando uma abordagem mais sistemática e carecendo de um desenvolvimento de metodologias para análise de opções de adaptação.

Um exemplo de estudo sistemático das opções de adaptação aos impactos de mudanças climáticas sobre o setor energético brasileiro foi conduzido por Lucena et al. (2010b). Esse estudo fez uso de instrumentos de planejamento energético integrado para modelar as opções de menor custo para adaptar o sistema energético brasileiro a eventuais impactos negativos sobre geração hidroelétrica, térmica, além de aumentos na demanda de eletricidade nos setores residencial e de serviços.

### 5.3.1.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Buscou-se, ao longo desta Seção, identificar as diversas formas através das quais as mudanças climáticas podem ter efeitos sobre sistemas energéticos, levantando a literatura internacional sobre o assunto e indicando os principais segmentos relevantes para o país. Devido à grande concentração em determinadas fontes de energia, alguns segmentos do setor energético (como hidroeletricidade e biomassa) devem ser melhor investigados para aprofundar a base de informações para tomada de decisões de política energética. No que tange à expansão do sistema, opções renováveis vulneráveis às mudanças do clima, como a energia eólica, também devem ser investigadas para que o país possa estar mais apto a conciliar os interesses de redução de emissão de gases de efeito estufa com segurança energética.

O planejamento da operação e expansão do sistema energético baseia-se em tomada de decisões sob incertezas, onde variabilidade climática é um elemento entre vários<sup>15</sup>. Assim, no planejamento energético é utilizada uma série de modelos em que incorpora-se a incerteza climática, entre outras. Contudo, assume-se, no planejamento energético convencional, que as variáveis climáticas são estacionárias, o que pode não ser o caso devido às mudanças climáticas. Analisar as vulnerabilidades do setor energético e incorporá-las ao planejamento da expansão e operação do sistema é, portanto, fundamental para garantir a segurança energética e lidar com os requerimentos para combater as mudanças climáticas. Só recentemente a comunidade científica internacional percebeu a necessidade de se investigar os impactos que as mudanças climáticas podem ter sobre a produção, transporte e consumo de energia. Dessa forma, a base de conhecimento formal sobre o assunto é ainda muito limitada (Willbanks et al., 2007).

Portanto, o desenvolvimento de metodologias para a avaliação de impactos sobre os diversos segmentos do setor energético deve ser incentivado. Isso inclui, também, o uso de uma gama maior de cenários climáticos futuros para que se possa ter maior embasamento na condução de políticas energéticas voltadas para garantir a segurança energética frente às mudanças do clima. Finalmente, deve-se desenvolver, também, a análise dos impactos de eventos climáticos extremos sobre setores de energia, assunto que ainda não foi tratado de maneira formal na literatura científica internacional.

---

<sup>15</sup> Outros elementos de incerteza estão relacionados à disponibilidade de recursos, demanda futura, parâmetros técnico-econômicos de tecnologias de extração, transporte e conversão de energia, etc

## 5.3.2. SETOR INDÚSTRIA

### 5.3.2.1. INTRODUÇÃO

As atividades industriais, basicamente, são realizadas a partir de uma cadeia integrada que articula a exploração de recursos naturais (ex. extração de minério, madeira, utilização de recursos hídricos, etc.) com meios de produção (tecnologia e mão de obra) e o sistema de transporte para escoamento da produção (ex. rodovias, ferrovias, portos, e aeroportos). Cada etapa desse processo tem enormes impactos sociais, econômicos, ambientais e climáticos, que precisam ser analisados de maneira sistêmica.

Segundo relatório da CETESB (2010), a qualidade do ar, por exemplo, é significativamente *“influenciada pela distribuição e intensidade das emissões de poluentes atmosféricos de origem veicular e industrial” que afetam diretamente o clima. “As emissões veiculares desempenham um papel de destaque no grau de poluição do ar dos grandes centros urbanos, ao passo que as emissões industriais afetam significativamente a qualidade do ar em regiões mais específicas”*

Obviamente, que as características regionais (ex. topográficas, meteorológicas, hídricas, etc.) exercem papel fundamental nas características climáticas, variando de modo significativo em diferentes regiões brasileiras. Outro aspecto importante se refere à atuação de fenômenos de escala global como *El Niño* e *La Niña*, que em 2010 influenciaram as condições meteorológicas, principalmente na região sudeste do país, provocando ocorrências de precipitações acima da média nos primeiros meses do ano e, entre os meses de julho a setembro, períodos de estiagem, com baixos índices de umidade relativa (em torno de 20% ou inferiores) e dias com altas concentrações de partículas inaláveis (MP10) e de ozônio (O<sub>3</sub>), principalmente no Estado de São Paulo (CETESB, 2010).

Ainda de acordo com a CETESB (2010), em polos petroquímicos como de Cubatão, por exemplo, *“a qualidade do ar é determinada por fontes industriais de poluição, caracterizando um problema totalmente diferente dos grandes centros urbanos (fato confirmado pelos baixos níveis de poluentes veiculares, como o monóxido de carbono)”*. Os poluentes comumente monitorados em regiões industriais se referem a material particulado, dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), ozônio (fonte indireta), partículas totais em suspensão, partículas inaláveis e inaláveis finas, fumaça, entre outros. Particularmente, as emissões de SO<sub>2</sub> estão relacionadas a teores de sulfatos (subprodutos associados), bem como os fluoretos (sólidos e gasosos) que podem causar danos irreversíveis a vegetação.

*“O ozônio, por seu caráter altamente oxidante, é capaz de modificar o equilíbrio ambiental de ecossistemas e alterar a bioquímica de espécies vegetais (plantas), podendo afetar inclusive a produção agrícola de forma relativamente discreta, mas economicamente significativa”* (CETESB, 2010).

Devido a sua extensão, o Brasil apresenta características regionais, econômicas e vocações industriais bem distintas, que demandam diferentes formas de monitoramento e controle das fontes de poluição e degradação ambiental. É necessário analisar as interfaces-chaves, como a relação entre uso da terra e processo produtivo. De acordo com o Programa de Apoio à Gestão do Setor Energético (2010), o desmatamento é a maior fonte de emissões do Brasil. O desmatamento nas regiões da Amazônia e do Cerrado é atribuído à expansão agrícola e a pecuária que, por sua vez, estão atreladas à agroindústria. Entretanto, este fato representa apenas a “ponta do iceberg”, uma vez que outros setores industriais estão relacionados ao desmatamento, como mineração, exploração de madeira, carvão, petróleo e gás.

Ainda segundo este relatório, *“a terra alocada para usos produtivos aumenta 7% — passando de 257 para 276 milhões de hectares de 2008 a 2030 — com um quarto desse crescimento ocorrendo na Região Amazônica. Em 2030, como em 2008, as terras de pastagem devem ocupar boa parte dessa*

área (aumentando de 205 para 207 milhões de hectares). A vegetação nativa é convertida para uso produtivo principalmente nas regiões fronteiriças, como Região Amazônica os estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia, visando acomodar esse crescimento.”

Mas, os problemas relacionados ao setor industrial não se referem apenas às emissões de carbono, estes se tornam cada vez mais complexos devido à localização inadequada de atividades industriais em áreas sujeitas a riscos de enchentes, inundações, deslizamentos de terra, secas, aumento do nível do mar, entre outros. Situações de desastre frequentemente afetam o ambiente e a infraestrutura social, bem como as comunidades que dependem ou estão localizadas nas proximidades dessas instalações. Os efeitos causados por desastres industriais podem ser devastadores, com sérias implicações quando combinados a fatores como a falta de prevenção e a localização de assentamentos populacionais (densamente ocupados) em áreas de risco. Desastres gerados por atividades humanas podem ser tão graves quanto desastres naturais, mas a associação de ambos pode gerar catástrofes significativas, principalmente em países onde estes não ocorriam e passaram a ocorrer com frequência devido a presença de eventos extremos climáticos cada vez mais intensos.

No Japão, em 2011, um terremoto associado a tsunami atingiu a estação de energia nuclear Fukushima, causando explosões em quatro reatores devido a falhas no sistema de segurança. Durante os procedimentos para conter as explosões ocorreram contaminações da água e da atmosfera. Este tipo de incidente evidencia a fragilidade de sistemas operacionais industriais, tanto em termos de evacuação (em curto período de tempo) como paralizações dos sistemas de transporte e energia, congestionamentos, destruição de portos, aeroportos, entre outros, produzindo um “efeito em cascata”, pois toda a infraestrutura e serviços locais são afetados (Takeda, 2011).

Atrelados aos riscos de desastres ambientais relacionados ao setor industrial estão também os setores de comércio e serviços, que podem ser drasticamente afetados por efeitos distintos (diretos e indiretos), como por exemplo, a paralisação temporária do sistema de produção e distribuição de mercadorias. No presente capítulo são levantadas algumas questões a fim de estabelecer conexões entre a mudança climática global e seus impactos sobre as indústrias, considerando que estas são particularmente suscetíveis e enfrentam um duplo desafio: (1) a necessidade de reduzir a suas contribuições para as alterações climáticas e consequentes desastres; (2) a necessidade de se adaptar.

### **5.3.2.2. ASPECTOS RELEVANTES SOBRE A MUDANÇA DO CLIMA**

Segundo o IPCC (2007; 2012), o aquecimento global causará o aumento de eventos extremos com a intensificação das chuvas, elevação do nível do mar e prolongamento dos períodos de secas. É difícil estimar todos os impactos causados pela mudança do clima precisamente, uma vez que as mudanças regionais observadas nos sistemas naturais e antrópicos são complexas, devido à variabilidade do clima natural, aos efeitos provocados por estas interações, inclusive com a presença de fenômenos não naturais como o uso da terra.

Uma das principais preocupações da atualidade tem sido como estimar as alterações climáticas considerando o potencial e a variabilidade de eventos extremos (ex. frequência, intensidade), bem como a ocorrência de fenômenos de grande escala (ex. ENSO, NAO<sup>16</sup>, siglas em Inglês) associados a estes eventos. Conforme mencionado anteriormente, ondas de calor, chuvas intensas, secas, aumento do nível do mar, entre outros eventos tem atingido o território brasileiro, variando regionalmente (Marengo et al., 2010).

Para Neves e Muehe (2008), o aumento do nível do mar é particularmente relevante, influenciado por fatores oceânicos, atmosféricos e continentais. “As consequências das mudanças de temperatura da atmosfera e dos oceanos, e as respectivas interações são bem mais complexas e certamente ainda não foram suficientemente investigadas em todas as suas dimensões. O problema não se resume ao simples aumento do volume de água dos oceanos em decorrência do derretimento das geleiras continentais”.

Segundo Neves e Muehe (2008), infelizmente, as evidências sobre a magnitude e frequência dos eventos ainda não são totalmente precisas devido à confiabilidade dos registros (que incluem dados a partir de estações meteorológicas deficientes, ausência de padrão das medições atmosféricas, dificuldades para a análise da erosão costeira e aumento do nível do mar no território nacional). Existem muitos problemas relativos à falta de monitoramento e escassez de informação de âmbito local.

Não há dúvida também, que a rápida urbanização e industrialização do país impuseram múltiplos problemas: poluição do ar e da água, aumento do consumo de energia, utilização dos recursos naturais de maneira desequilibrada, falta de saneamento, tratamento e disposição de lixo de forma inadequada, degradação ambiental generalizada, desmatamento e deterioração da qualidade de vida, principalmente em grandes centros urbanos (Nobre *et al.*, 2011).

Para o Department of Climate Change and Energy Efficiency (2011), em geral tanto as regiões industrializadas como as rurais se desenvolveram sem considerar a interface com o ambiente e o clima local, aumentando os riscos e os desafios impostos pela mudança climática. Diversos setores da indústria como turismo, mineração, navegação, transporte, pesca, produção de alimentos, combustíveis, gás, entre outros já estão enfrentando as consequências dessas mudanças.

### **5.3.2.3. DESASTRES AMBIENTAIS NO BRASIL**

Para Mendiondo (2006), *“os desastres ambientais têm magnitudes amplas e variadas, fundamentalmente pela falta de alocação de recursos e pela escassez de documentos técnicos que orientem a fase de prevenção. Isso é um fato que preocupa órgãos nacionais e internacionais e que alerta para a necessidade de focar na formação, treinamento e preparação pré-evento”*

Embora o tema constitua fonte de preocupação em várias partes do mundo, o Brasil ainda demanda estudos e a produção de documentos que reúnam avaliações sobre diferentes aspectos e dimensões relativas a desastres ambientais, principalmente aqueles atrelados aos setores produtivos. Considerando Tatham *et al.* (2012), ainda que a necessidade de melhoria dos sistemas de informação sobre desastres seja reconhecida, estudos sobre prevenção, logística e gestão de emergência são significativamente incipientes.

De acordo com Kobiyama *et al.* (2006) *“No Brasil, os desastres ambientais têm sido tratados de forma segmentada entre os diversos setores da sociedade. Nos últimos anos vem ocorrendo um aumento dos prejuízos causados por estes fenômenos devido à falta de planejamento adequado das áreas urbanas e a intensificação de eventos climáticos”*. Esses acontecimentos têm pressionado os setores empresariais e industriais a considerar, com maior empenho e comprometimento, os impactos causados por suas atividades.

Segundo Tominaga *et al.* (2009), no território brasileiro os principais fenômenos relacionados a desastres naturais se referem a enchentes, inundações, escorregamentos de terra e secas. As chuvas ocorrem normalmente associadas a eventos pluviométricos intensos e as secas a períodos de estiagem prolongados; ambos relacionados a variações climáticas distintas dependendo da região considerada.

De acordo com EM-DAT (2012), o Brasil encontra-se entre os países do mundo mais atingidos por inundações e enchentes, tendo registrado 112 desastres cadastrados no período de 1900 a 2012, com 7.482 mortes e mais de 18 milhões de pessoas atingidas (desabrigados/desalojados).

Para Tominaga *et al.* (2009), constata-se um crescimento significativo das ocorrências de desastres ambientais no Brasil a partir da década de 1960, entretanto os dados disponíveis ainda estão longe

---

<sup>16</sup> The North Atlantic Oscillation (NAO) index is based on the surface sea-level pressure difference between the Subtropical (Azores) High and the Subpolar Low.



da realidade. Os municípios mais atingidos por desastres ambientais localizam-se nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo, Santa Catarina, Paraná, Bahia, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Paraíba e Ceará (Kobiyama *et al.*, 2006).

Este aumento na incidência de desastres ambientais está associado ao intenso processo de industrialização e urbanização verificado nas últimas décadas, que conduziu ao crescimento das cidades em áreas impróprias para uso e ocupação, devido às características geológicas e geomorfológicas desfavoráveis (Tominaga *et al.*, 2009).

O desmatamento provocado por muitas indústrias propicia a exposição e compactação do solo, aumentando o escoamento superficial e acelerando o processo de perda das camadas superficiais do solo, resultando no assoreamento dos cursos d'água. Na região de "baixada" ou nas planícies, o carreamento intenso de sedimentos provoca o assoreamento dos córregos, rios e canais, favorecendo a ocorrência de enchentes e inundações.

O lixo de muitas empresas, depositado de forma inadequada em terrenos inapropriados prejudica o escoamento das águas de chuva, entupindo bueiros, canais e tubulações que levariam as águas pluviais diretamente para os rios. Na própria calha do rio, o lixo industrial "in natura" também pode funcionar como uma forma de represamento.

Ao longo da orla marítima do Brasil, diversas indústrias estão sujeitas a eventos de ressaca ou maré de tempestade (*storm surge*), que é o termo utilizado para caracterizar a sobre elevação do nível do mar durante eventos de tempestade associado a ventos fortes. Ela resulta do empilhamento da água oceânica induzido pelo cisalhamento do vento e pela presença de gradientes de pressão atmosférica (Carter, 1988). Já a maré de tormenta é a combinação da maré astronômica e da maré meteorológica (NOAA, 2012).

Kobiyama *et al.* (2006) destaca o estudo realizado por Calliari *et al.* (2000) sobre as ressacas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, que estão associadas às passagens de frentes frias e ciclones extratropicais. Também é ressaltado o estudo realizado por Innocentini e Arantes (2001) sobre as regiões Norte e Nordeste, onde as ressacas são pouco estudadas, mas também causam danos.

Pesquisadores como Guidicini e Nieble (1984) e Augusto Filho (1994), buscam entender a dinâmica de fenômenos como deslizamentos de terra através de modelagens e mapeamentos das áreas de risco. Muitos pesquisadores têm analisado os riscos de deslizamentos, que incluem Antonini *et al.* (2002); Chau *et al.* (2004); Hervás (2007); Ardizzone *et al.* (2008); Guzzetti *et al.* (2009); Reichenbach e Günther (2010); Brunetti *et al.* (2010); Martelloni *et al.* (2011). Entretanto, todos introduziram um "fator de incerteza" que não pode ser prontamente avaliado e explicitamente incorporado nas fases de avaliação de risco de deslizamento de terra.

Segundo Augusto Filho (1994), no que se refere a desastres relacionados a deslizamentos de terra, tanto os rotacionais ou translacionais são movimentos muito rápidos (m/h a m/s) denominados "corridas", que devido às características do material transportado se comportam como fluidos altamente viscosos, que podem provocar estragos maiores que os escorregamentos.

Para Bigarella *et al.* (1996), apesar dos danos causados pelos escorregamentos, este fenômeno é natural e faz parte da evolução da paisagem, trata-se de um dos mais importantes processos geomorfológicos modeladores da superfície terrestre.

No entanto, para Kobiyama *et al.* (2006), "os escorregamentos, principalmente em encostas urbanas vêm ocorrendo com uma frequência alarmante nos últimos anos. A principal causa estaria relacionada à ocupação inadequada das áreas com declive acentuado, que apresentam elevada susceptibilidade a escorregamentos"

Um fenômeno relativamente raro no Brasil, mas que tem merecido atenção é o tornado, que de acordo com Glickman (2000), trata-se de uma coluna de vento (cilhamento) vertical. Para Kobiyama et al. (2006) *“se origina na base de nuvens do tipo cumulonimbus, estendendo-se até o solo como uma intensa coluna de ar giratória, normalmente visível como uma nuvem funil, sendo que os ventos que formam o fenômeno causam danos na superfície terrestre.”*

No Brasil, os tornados são freqüentemente registrados nas Regiões Sul e Sudeste, principalmente no Estado de Santa Catarina. Em 30 de Setembro de 1991, foi registrado um tornado da categoria F3 para F4 no interior do estado de São Paulo. De acordo com os registros existentes, a tempestade se formou no início da noite, com fortes ventos, percorrendo uma distância de 60 km, destruindo muitas áreas do município de Itu, sendo que no seu auge superou a velocidade de 300 km/h. Em sua trajetória o tornado passou pelos municípios de Salto, Cabreúva e se dissipou na Serra do Japi, em Jundiá (Clima Tempo, 2011).

Silva Dias (2011) ressalta que uma possível causa para o aumento no número de relatos de tornados, principalmente na região sul do Brasil poderia estar associada a uma mudança na variabilidade climática a partir da década de 1970.

Segundo Kobiyama et al. (2006), *“o número de registros poderia ser maior se não houvesse confusão na classificação do fenômeno. Muitos tornados foram registrados e classificados erroneamente como vendaval, ciclone, furacão ou simplesmente como uma tempestade. Faz-se necessário conhecer as características peculiares dos tornados para não seja confundido, principalmente como vendaval”*

Em 28 de março de 2004, o ciclone extratropical Catarina atingiu a região sul do país com ventos de até 150 km/h que percorreram os Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, desde o município de Laguna (SC) até Torres (RS). Quarenta municípios catarinenses foram atingidos, sendo que o ciclone também passou pelo município de São Joaquim, na região do planalto serrano, onde causou muitos danos (APOLO 11, 2004; NASA, 2004).

Resumidamente, desastres naturais são provocados pelo impacto de fenômenos naturais extremos, causando sérios danos e prejuízos a sociedade de maneira geral, podendo inclusive exceder sua capacidade de resposta.

Assim, diante da grande destruição provocada por desastres ambientais, registrados pela imprensa nacional nos últimos anos, principalmente entre 2008 e 2012, em vários estados do país (Santa Catarina, São Paulo, Rio de Janeiro, Alagoas, Pernambuco, Minas Gerais, entre outros), torna-se premente a necessidade de estudos mais detalhados com a finalidade de empreender ações rápidas, coordenadas e direcionadas aos setores produtivos, através da compreensão dos mecanismos deflagradores de desastres ambientais por meio de registros históricos, mapeamentos de risco, diagnósticos atualizados, modelagens e monitoramento.

#### **5.3.2.4. BREVE PANORAMA SOBRE A DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DO PARQUE INDUSTRIAL BRASILEIRO**

Segundo Lemos et al. (2009), o parque industrial brasileiro se concentra nos estados do Centro-Sul, porém nas últimas décadas, vem passando por um processo de dispersão espacial, que acontece à medida que a infraestrutura de transportes, energia e comunicações se expandem e o poder público oferece benefícios fiscais para atrair investimentos.

De modo geral, as indústrias brasileiras se concentravam inicialmente entre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro, mas com as políticas de desconcentração se espalharam por outras regiões como Minas Gerais e o Nordeste (em função de terem sediado importantes ciclos econômicos até meados do séc. XIX.), Paraná, Rio Grande do Sul, entre outros. Também merece destaque Manaus (AM),

com a Zona Franca, que motivou a presença de um importante polo montador de bens de consumo eletrônicos desde 1967, e que ainda se mantém (Pacheco, 1998).

A ocupação do território brasileiro ocorreu primeiramente no sentido dos núcleos costeiros e posteriormente no sentido interior. No contexto de uma economia voltada para integração do mercado nacional, a desconcentração e migração do capital produtivo constituíram um processo de abertura de fronteiras regionais, criando oportunidades de expansão dos investimentos (Pacheco, 1998).

Nos últimos quinze anos observa-se uma tendência à maior dispersão geográfica do setor industrial brasileiro, mas ainda é forte a concentração na Região Sudeste, onde os maiores pólos industriais se encontram nas Regiões Metropolitanas de São Paulo, do Rio de Janeiro e de Belo Horizonte. Destacam-se também a Baixada Santista (Cubatão), o Vale do Paraíba, a Região de Campinas e crescimento do setor na Região de Vitória, Triângulo Mineiro, além de várias cidades no oeste paulista e sul de Minas Gerais.

Na região Sul do país, as Regiões Metropolitanas de Curitiba e Porto Alegre são muito importantes, além do Vale do Itajaí (SC) e Serras Gaúchas. Já na Região Nordeste, as maiores concentrações industriais estão em suas regiões metropolitanas como a de Salvador, Recife e Fortaleza. A região Norte é pouco industrializada destacando-se a Zona Franca de Manaus e a Região de Belém. No Centro-Oeste os efeitos dessa dispersão industrial ainda não atingiram uma escala significativa (Lemos *et al.*, 2009).

A maioria dos parques industriais brasileiros localiza-se em extensas áreas das planícies fluviais e costeiras, e muitas das instalações e infraestruturas existentes têm emergido como áreas suscetíveis a riscos de desastres ambientais causados por eventos climáticos extremos. Tal estruturação concentrou uma parcela significativa da população no litoral, que apresenta um quadro preocupante em relação à degradação ambiental.

Segundo Neves e Muehe (2008), inúmeras baías e estuários estão com seus *habitats* naturais comprometidos pela poluição e exploração dos recursos naturais. Impactos ambientais também se intensificaram em outras regiões, onde o desenvolvimento espacial ocorreu na forma de eixos, acentuando tendências de concentração populacional em pólos de desenvolvimento (Motta, 2004).

A relação entre industrialização e urbanização é fundamental para explicar parte dos problemas relativos a riscos ambientais. Se no início as cidades tinham populações reduzidas e funções voltadas para o comércio e a distribuição de mercadorias, a presença do setor industrial alterou esse quadro, com a produção em grande escala e o aumento populacional (causado pela atração/migração), conduzindo a elevação da demanda e do consumo por produtos industrializados (Ribeiro, 2008).

Segundo Ribeiro (2008), a indústria não é uma atividade econômica qualquer, ela exige uma série de serviços (intra e inter) urbanos para poder se instalar e operar, além de mão de obra especializada. Para receber a instalação industrial são projetadas vias/rodovias, sistemas de distribuição de água e energia e toda uma rede de apoio que é estruturada para que o respectivo setor possa desenvolver suas atividades. Quase sempre a infraestrutura existente, como estradas, pontes, sistemas de drenagem e de abastecimento de água não atendem totalmente as necessidades gerando conflitos significativos entre demanda e disponibilidade (De e Soni, 2009).

As indústrias, de maneira geral, provocam impactos significativos sobre o ambiente com instalações inadequadas, deposição de resíduos sólidos, poluição do ar, contaminação da água, entre outros. Brennan (1994) já ressaltava, quase vinte anos atrás, que o abastecimento de água e o fornecimento de energia estavam entre os mais graves problemas da contemporaneidade. Além disso, as emissões de gases de efeito estufa (GEEs) industriais são responsáveis por cerca de três quartos das emissões antropogênicas, sendo que o restante corresponde ao desmatamento (Cafaro, 2012).

Segundo IPCC (2007), a vulnerabilidade das indústrias está atrelada principalmente a sua localidade, por exemplo, em planícies costeiras, áreas ribeirinhas, fundos de vales e localidades cujas economias estão intimamente ligadas ao clima, como recursos florestais, produção agrícola, água, turismo, entre outros.

A elevação do nível do mar associada a eventos extremos como tempestades de ventos, deverá aumentar os riscos de enchentes e inundações na zona costeira, ameaçando os sistemas de transporte, telecomunicações, fornecimento de água e energia (Rosenzweig *et al.* 2011), afetando direta e indiretamente os parques industriais instalados, portos e aeroportos.

Um aspecto importante a ser considerado é a questão do transporte de carga, aéreo e marítimo, tendo em conta a rede de fornecimento, que é vital para a exportação e importação de produtos. São necessários estudos bem orientados sobre a vulnerabilidade dos portos e infraestrutura de transportes nas zonas costeiras, tendo como base o levantamento de dados mais consistentes para avaliar os impactos da mudança do clima e desenvolver propostas de adaptação (Nações Unidas, 2009).

O alcance e magnitude dos impactos variam de acordo com as condições locais, o tipo de indústria instalada, os sistemas de transporte, projetos e políticas atrelados, bem como a capacidade de adaptação para minimizar custos e riscos de acidentes. Os impactos diretos estão relacionados a infraestruturas de transporte, operação e manutenção. Entretanto, também podem ser afetados indiretamente, em função das mudanças nos padrões de demanda induzidas por efeitos sobre as decisões comerciais e de investimentos nacionais e internacionais (Nações Unidas, 2009).

### **5.3.2.5.IMPACTOS POTENCIAIS EM ALGUNS SETORES DA INDÚSTRIA BRASILEIRA**

O setor siderúrgico do Brasil está entre os dez maiores produtores de aço no mundo. A maior parte das siderúrgicas brasileiras concentra-se na região Sudeste devido à proximidade do ferro e manganês do Quadrilátero Ferrífero (MG), da rede de transportes (ferrovias, proximidade de portos) e do mercado consumidor (representado pelas indústrias que consomem o aço).

O ciclo de produção do aço envolve basicamente quatro grandes etapas: (1) a extração do minério de ferro; (2) a produção de ferro gusa; (3) a produção de aço semi-acabado; e (4) a transformação do aço semi-acabado em aço laminado. A mineração do ferro e do carvão mineral tem uma série de impactos sociais e ambientais (Milanez e Porto, 2008).

O setor das guseiras é muito pulverizado, embora concentrado regionalmente em Minas Gerais, Carajás (que engloba Pará e Maranhão), Espírito Santo e Mato Grosso do Sul (Milanez e Porto, 2008).

Os principais problemas estão relacionados à produção de carvão vegetal e seu uso na transformação do minério de ferro em ferro-gusa. Existem outros impactos importantes da produção de aço relacionados ao consumo de energia, a poluição atmosférica e de recursos hídricos (Milanez e Porto, 2008). De acordo com Milanez e Porto (2008), com relação às emissões atmosféricas, são vários os poluentes gerados pelas siderúrgicas. O dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ ) contribuem para o aumento da quantidade de carbono na atmosfera. Além deles, óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ) e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) reagem com a umidade presente no ar e formam, respectivamente, ácidos de enxofre e ácidos de nitrogênio.

De forma geral, os efluentes líquidos apresentam alta concentração de contaminantes, como amônia, benzeno, óleos, cobre, chumbo, cromo e níquel. A preocupação se refere justamente a uma possível coincidência de contaminação causada por esses produtos associada a eventos de chuvas intensas e enchentes prolongadas, contaminando corpos d'água, solos agricultáveis e atingindo populações vizinhas.

A indústria química é outro setor importante, que está em fase de ampliação e modernização no Brasil; sua produção é crescente, com grande destaque para o setor petroquímico.

Segundo o IPCC (2007), o modo de produção e de consumo de combustíveis fósseis, fundado na lógica de consumo ilimitado, gera uma acelerada degradação do ambiente, com o esgotamento dos recursos ambientais e impactos como a liberação do carbono para a atmosfera, elevando a temperatura do planeta.

Os campos de extração de petróleo e gás natural do Brasil se estendem desde o litoral do Rio Grande do Norte até o Paraná. A região Sudeste concentra as principais atividades de produção, transporte e estocagem do produto (Silva *et al.*, 2008). Paralelamente, os ambientes marinhos e costeiros do Brasil vêm sofrendo nos últimos anos um considerável processo de degradação ambiental, gerado pela crescente pressão sobre os recursos naturais (marinhos e continentais) e pela capacidade limitada desses ecossistemas absorverem os impactos resultantes da produção industrial (Muehe, 2010).

Ao longo do litoral, alternam-se mangues, campos de dunas e falésias, baías e estuários, recifes e corais, praias e costões, planícies intermarés e outros ambientes importantes do ponto de vista ecológico. Em tal zona se localizam as maiores manchas residuais da Mata Atlântica, inclusive sua maior manifestação contínua, envolvendo as encostas da Serra do Mar, nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná (Neves e Muehe, 2008).

Esses diferentes ambientes, em função de suas características e atributos, são utilizados para diversas atividades como: petrolífera, portuária, agroindústria, extração mineral, extração vegetal, extrativismo, pecuária, pesca, salinas, recreação e turismo.

Em geral são ocupadas as planícies fluviais e costeiras, que apresentam características geológicas e geomorfológicas propícias para a expansão das indústrias em virtude da disponibilidade de terrenos planos.

A contaminação dessas áreas poderá ser agravada com o aumento do nível do mar e conseqüente intrusão salina nos estuários, prejudicando ainda mais os manguezais, atingindo rios de água doce e os lençóis freáticos (Neves e Muehe, 2008).

As atividades portuárias devem estar aqui associadas, já que treze portos brasileiros de maior movimento (Belém/PA, Itaquí/MA, Aratu/BA, Vitória-Tubarão/ES, Rio de Janeiro/ RJ, Sepetiba/RJ, Angra dos Reis/ RJ, São Sebastião/SP, Santos/SP, Paranaguá/PR, São Francisco do Sul/SC, Porto Alegre/RS e Rio Grande/ RS) estão localizados ou intimamente articulados com as regiões metropolitanas brasileiras mais industrializadas do país.

A maioria dos portos brasileiros não possui estrutura adequada para um sistema de gestão ambiental, nem no que se refere ao controle de resíduos e impactos ambientais, ou aos planos de contingência para acidentes causados por eventos do clima. Segundo a Diretoria de Portos e Costas da Marinha do Brasil, os portos brasileiros movimentam mais de 400 milhões de toneladas por ano, o que é significativo em termos mundiais, podendo estimar que cerca de 40 milhões de toneladas de água de lastro de navios sejam descarregadas por ano no país (IBAMA, 2002).

Já no caso da indústria de mineração para extração do calcário do setor cimenteiro, as frentes de lavra são embocadas em maciço rochoso ou em encosta, e os processos variam de mecanizados, semi mecanizados a manuais, dependendo do porte da empresa. As frentes de lavra geralmente apresentam bancadas únicas, cuja altura pode atingir até 60 metros de inclinação vertical, o que dificulta a extração e resulta em maior consumo de explosivos e aumento dos riscos de desastres ambientais (Oliveira *et al.*, 1999).

O cimento é produzido em diversas Unidades da Federação, destacando-se o Estado de Minas Gerais

como o maior produtor nacional, São Paulo, Paraná, Rio de Janeiro e demais estados. Segundo Oliveira *et al.* (1999), a quantidade de energia elétrica utilizada como força motriz na indústria de transformação tem relação direta com a quantidade produzida de cimento, fato importante nos estudos de desempenho do setor e principalmente dos impactos gerados por esse tipo de queima.

Os setores de produção da cal virgem e hidratada têm nas rochas calcárias seu principal insumo mineral. Neste setor as tentativas de diversificação, inovação tecnológica, melhoria da qualidade do produto e preços praticados no mercado, têm sido feitas de maneira pontual e isolada Oliveira *et al.* (1999).

Neste caso, tanto as chuvas intensas de curta duração quanto de longa duração fornecem condições propícias para a diminuição da resistência do solo, atuando como um dos principais agentes deflagradores de movimentos de terra nas encostas (áreas propícias para o desenvolvimento das atividades mencionadas).

Outro setor industrial importante no Brasil é o automobilístico, que passou por transformações significativas. Resumindo, Lemos *et al.* (2009) aponta que inicialmente com forte concentração na região do ABC, sofre um processo de dispersão geográfica a partir dos anos 70, deslocando-se para Betim – MG (FIAT) e para o interior do estado de São Paulo - Região Metropolitana de Campinas (Sumaré) e Vale do Paraíba (Taubaté e São José dos Campos). As mudanças empreendidas na década de 90 alteram bastante o perfil desse setor. A entrada de novas montadoras no Paraná e São Paulo, entre outros (como a Renault, Peugeot, Toyota, Mitsubishi e Audi) diversifica a oferta de produtos e aumenta a produção. A preocupação está justamente no fato de que o crescimento deste setor tem intensificado os problemas relativos às emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), principalmente em regiões metropolitanas e grandes centros urbanos, em virtude do aumento do número de veículos particulares que circulam diariamente nestas regiões.

A indústria têxtil, por sua vez, enfrentou uma série de dificuldades com a progressiva abertura do mercado asiático, mas mesmo assim promove uma modernização administrativa e do sistema de produção, com maior concentração nas regiões Sul e Sudeste. O sector têxtil ainda apresenta potencial poluente elevado, através de efluentes líquidos, emissões de gases e partículas poluentes, resíduos sólidos, águas residuais, odores e ruídos (Silva, 2005). Todos estes fatores podem ser intensificados em períodos de estiagem.

Na indústria alimentícia a produção brasileira é muito diversificada e conta com a presença de algumas grandes multinacionais. Também se encontra bastante dispersa pelo território com maior concentração no Sul e Sudeste (maior mercado consumidor). É um setor com fortes ligações com a agropecuária, sendo que a exportação de alimentos industrializados tem apresentado crescimento. Essa indústria reúne o setor do açúcar, leite e derivados, óleos vegetais, massas, bebidas (como sucos, refrigerantes, vinho e aguardente), carne e derivados. Em condições climáticas adversas (ex. períodos de estiagens), estas indústrias geram impactos significativos, principalmente quando resíduos (sólidos e líquidos) são lançados in natura.

### **5.3.2.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

○ Brasil começa a se tornar uma plataforma de produção mais estruturada, voltada não só para o mercado interno como externo, entretanto muitos setores ainda necessitam ser renovados e tecnicamente aparelhados, principalmente no que se refere aos desafios impostos pela mudança do clima.

Os impactos causados por desastres industriais podem ser devastadores, com sérias implicações quando combinados a fatores como a falta de mapeamento das áreas de risco e planos de prevenção.

Estudos correlacionando estas duas áreas, desenvolvimento industrial e mudança climática, ainda

são raros. Portanto, são necessários levantamentos sistemáticos e análises integradas a respeito do clima e das instalações industriais.

Nesse sentido, mapeamentos das concentrações industriais e de aspectos do meio físico são fundamentais para que se torne possível estabelecer parâmetros mais adequados.

O processo de adaptação é inevitável e, para tanto, ajustes e regulamentações legais serão fundamentais. O grande desafio será justamente o de proporcionar a melhoria do desempenho industrial para garantir o abastecimento interno e conseguir manter os superávits na balança comercial, sem excluir as possibilidades de riscos de origem climática.

### **5.3.3. VULNERABILIDADES, IMPACTOS E ADAPTAÇÃO NO SETOR DE TRANSPORTES**

#### **5.3.3.1 INTRODUÇÃO**

Este item trata dos impactos, vulnerabilidades e adaptação no setor de transporte diante da variabilidade natural de clima e da mudança global do clima, caracterizada pela ocorrência de eventos extremos, tais como variações de temperaturas extremas, aumento da intensidade de precipitação, tempestades e inundações.

A literatura atual disponível sobre o tema apresenta que os transportes são sensíveis às condições de tempo e clima e as avaliações concentram-se em mudanças nas condições meteorológicas que são diretamente relevantes para o setor. As projeções de parâmetros meteorológicos ou climáticos para transportes são baseadas nos resultados dos modelos climáticos globais.

De acordo com *IPCC* (2012), a vulnerabilidade também pode ser entendida em termos de funcionalidades relacionada a transportes. A infraestrutura de transporte é vulnerável a condições extremas de temperatura, precipitação, enchentes e tempestades, que pode levar a danos no transporte rodoviário, ferroviário, aeroportos e portos.

As mudanças climáticas poderão afetar os sistemas de transporte (ferroviário, aéreo, rodoviário e hidroviário) em todos os países, impedindo potencialmente a mobilidade urbana, com consequência para o crescimento da economia e qualidade de vida das populações.

Todos os modos de transporte costeiros são considerados vulneráveis, mas a exposição e os impactos podem variar, por exemplo, por região, modo de transporte, localização/ elevação e condição da infraestrutura de transportes (*IPCC*, 2012).

Enquanto os esforços de mitigação são essenciais para reduzir a ameaça das mudanças climáticas, práticas de adaptação para aumentar a resiliência e a proteção dos impactos ambientais devem ser aceleradas (Oswald e Mcneil, 2012). 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.

#### **5.3.3.2 RISCOS, VULNERABILIDADES E POSSÍVEIS IMPACTOS**

Koetse e Rietveld (2007) consideram que são escassos os estudos que enfocam diretamente os impactos das mudanças climáticas ou da variação sazonal das condições meteorológicas em transportes. Segundo *USDOT* (2002), poucos estudos sobre impactos climáticos têm sido realizados nos Estados Unidos com foco no transporte, mas avaliações vêm sendo realizadas pelo Canadá e Reino Unido e, em larga escala, as avaliações do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - *IPCC* sugerem profundas implicações nos sistemas de transportes.

Yevdokimov (2010) estudou os impactos das mudanças climáticas no Canadá e destaca em seu estudo que a mudança do clima afetará o transporte, principalmente, por meio do aumento dos diversos tipos de eventos meteorológicos e climáticos extremos, tais como dias muito quentes, eventos de precipitação intensa, furacões, secas e elevação do nível do mar, juntamente com tempestades e deslizamento de terras. Os impactos vão variar de acordo com o modo de transporte e região, mas eles vão ser generalizados e de alto custo, tanto em termos humanos, como econômicos e irão exigir mudanças significativas no planejamento, desenho, construção, operação e manutenção de sistemas de transporte.

Oswald e McNeil (2012) apresentam uma metodologia para integrar os esforços de adaptação no processo de planejamento de transporte de longo alcance e descreve uma ferramenta, *Climate Change Adaptation Tool for Transportation (CCATT)* para ajudar os planejadores. Um estudo de caso revelou a eficácia da metodologia para a real aplicação em todo o mundo e da necessidade de adaptação do transporte em resposta às mudanças climáticas.

Variabilidade de clima e mudanças climáticas relacionadas às altas temperaturas afetam principalmente os transportes ao impactar nas condições físicas dos materiais que compõem a infraestrutura, com destaque para temperaturas de pavimentos que podem exceder significativamente às temperaturas do ar acima de 32 °C (Peterson *et al.*, 2006).

Mudanças de clima moderadas podem pouco impactar nos transportes. No entanto, mudanças climáticas e extremos climáticos podem gerar impactos significativos. Algumas mudanças são susceptíveis de gerar impactos positivos, e outras podem gerar impactos negativos sobre os transportes (Peterson *et al.*, 2006). Os autores relatam que a abertura da rota comercial da passagem do Noroeste no mar Ártico, devido ao degelo, resultaria num claro benefício para o transporte marítimo. Contudo, os impactos observados, em geral, são adversos ao setor de transportes.

Segundo Peterson *et al.* (2006), com a mudança do clima, baixas temperaturas extremas devem diminuir de acordo com as projeções existentes. Condições mais amenas de inverno podem provavelmente melhorar a segurança para o transporte ferroviário, aéreo e marítimo. Altas temperaturas extremas, por outro lado, devem aumentar, segundo as mesmas projeções. Essas mudanças provavelmente aumentariam o número de danos na infraestrutura de ferrovias, como trilhos, e impactariam adversamente o trabalho de manutenção destas.

As mudanças climáticas afetarão a forma como os profissionais de transporte gerenciam sua infraestrutura de transporte multimodal. A capacidade de uma região ou cidade se adaptar a suas operações e infraestrutura de transporte vulnerável aos impactos relacionados ao clima vai determinar a capacidade de resiliência do sistema de transporte daquela comunidade (Koch e MacArthur, 2013).

Projeções de mudanças climáticas relacionadas com mudanças no nível do mar, padrões meteorológicos, temperaturas e precipitação, e um aumento de eventos climáticos extremos (incluindo tempestades tropicais e furacões) irão afetar negativamente a infraestrutura de transporte e a tomada de decisão (USDOT, 2002; Lindquist, 2007).

É projetado para algumas regiões do planeta um aumento na ocorrência de eventos extremos como intensa precipitação, fortes tempestades, incluindo furações, o que pode causar inundações locais. Com isso, a infraestrutura de transporte costeiro é vulnerável aos efeitos combinados de tempestade e aumento do nível global do mar (Peterson *et al.*, 2006).

Projeta-se que o litoral fique exposto a maiores riscos, inclusive à erosão, em consequência da mudança do clima e da elevação do nível do mar (IPCC, 2007). Inundações têm impactos negativos importantes em uma variedade de setores econômicos, incluindo transporte (IPCC, 2012). Além disso, os impactos da inundação incluem dano temporário ou permanente destruição de infraestrutura para a maioria dos modos de transporte (Zimmerman e Faris, 2010; IPCC, 2012).



Mudanças na precipitação e no nível do mar como consequência da mudança global do clima poderão afetar a infraestrutura de transporte, antecipando a vida média da infraestrutura construída. Os efeitos das mudanças dos níveis de precipitação poderão afetar fundações e pavimentações, especialmente quando os níveis de precipitação aumentar significativamente em relação aos níveis atuais (Meyer, 2008). O planejamento de transportes opera em diversas escalas de tempo. Os planejadores de estradas tipicamente consideram a escala de tempo de 25 anos. Planejadores de ferrovias consideram 50 anos. Pontes e túneis subterrâneos geralmente são concebidos considerando um horizonte de 100 anos. Em todos os casos, o planejamento que leve em consideração prováveis mudanças será importante (Lindquist, 2007). Para o autor, a infraestrutura de transporte é projetada para suportar as condições ambientais em que é construída e, no geral, a manutenção da infraestrutura é tida em conformidade. No entanto, os ambientes estão mudando e, segundo o IPCC, o aquecimento global é inequívoco. Com o aumento da ocorrência e intensidade de eventos climáticos extremos a infraestrutura deverá ser adaptada para suportar as novas condições adversas como forma de promover resiliência no setor de transporte às mudanças climáticas.

Meyer (2008), em seu estudo sobre a implicação das mudanças climáticas para a infraestrutura de transportes nos Estados Unidos, identifica que as pontes da cidade de Seattle são vulneráveis aos impactos devido à expansão térmica causada por temperaturas mais elevadas, ocasionando o aumento da erosão nas fundações das pontes e deterioração da pavimentação, decorrente também do aumento da precipitação e do nível do mar.

No que diz respeito ao conhecimento de vulnerabilidades dos transportes, estudos realizados para a cidade de Nova Iorque concluíram que os sistemas de transporte da cidade poderão ser afetados por inundações e pelo aumento do nível dos lençóis freáticos, especialmente devido a muitas das instalações estarem localizadas em túneis subterrâneos (Jacob *et al.*, 2007; Meyer, 2008).

Mudanças de temperatura afetam de alguma forma todos os componentes de projeto de infraestrutura de transporte, porque os materiais utilizados para construir as estruturas, geralmente, apresentam alguma contração e expansão de forma a resistir a mudanças de temperatura, tanto altas quanto baixas temperaturas e o intervalo entre estas (Meyer, 2008).

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 sujeitas a inundações mais frequentes ou mais graves (USDOT, 2002).

Estradas, ferrovias, pistas de aeroportos, terminais de transporte, canais e pontes são exemplos de instalações e estruturas necessárias para a prestação de serviços de transporte, e que permitem a movimentação de passageiros e mercadorias. Eventos meteorológicos e de clima poderão afetar o planejamento, projetos, construção, manutenção e desempenho da infraestrutura ao longo de sua vida útil (USDOT, 2002).

Estudo feito por Koetse e Rietveld (2007) apresenta uma visão geral da literatura sobre o impacto das mudanças climáticas e mudanças nas condições meteorológicas para o setor de transportes. Segundo os autores, o relatório Stern analisa danos econômicos para setores de recursos hídricos, agricultura, setores de saúde e seguros. Contudo, um setor que recebe pouca atenção é o setor de transportes, o que não é totalmente surpreendente, já que, até o momento, as consequências das mudanças climáticas no sistema de transportes não receberam muita atenção na literatura, conforme mencionado anteriormente.

Até recentemente, a maioria dos resultados de pesquisas sobre clima e transportes apresentada foi relacionada à mitigação, com questão central sobre a eficácia e eficiência das medidas para reduzir os impactos ambientais dos transportes (Koetse e Rietveld, 2007; IPCC, 2007).

No que se refere à necessidade de pesquisa em transportes, a tabela 5.3.3.1 apresenta o sumário das prioridades de pesquisa em transportes no âmbito nacional.

**Tabela 5.3.3.1.** Sumário das prioridades de pesquisa para Sistema de transporte

<b>Desafio de pesquisa</b>	<b>Necessidades específicas de pesquisa</b>
Incertezas sobre a ciência da variabilidade climática e efeitos das mudanças de clima	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dados e modelos para estimativas em nível nacional, regional / local;</li> <li>- Melhor desenvolvimento de cenários climáticos;</li> <li>- Conhecimento das vulnerabilidades;</li> <li>- Efeitos sobre a infraestrutura, padrões de desenvolvimento, operações e serviços.</li> </ul>
Integração dos planos de transporte, ambiental e de clima	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melhor compreensão das interações, mudanças na qualidade do ar e da água;</li> <li>- Necessidade de reduzir emissões e aumentar resiliência;</li> <li>- Identificação e divulgação das melhores práticas;</li> <li>- Busca de estratégias de transporte ambientalmente benéficas.</li> </ul>
Barreiras Institucionais e tomada de decisão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análise comparativa entre governo, setor público e privado;</li> <li>- Como elevar a conscientização sobre o impacto do clima nos transportes;</li> <li>- Integração de políticas públicas;</li> <li>- Melhor comunicação com os tomadores de decisão.</li> </ul>
Como avaliar o risco	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construção de cenários, pesquisas, estudos de caso;</li> <li>- Identificação dos ativos vulneráveis;</li> <li>- Exploração de experiência na indústria de seguros.</li> </ul>

**Fonte:** Elaboração própria com base em USDOT (2002).

Segundo o Departamento de Transporte dos Estados Unidos, enquanto o sistema de transporte americano é muito confiável e bastante robusto, os impactos graves de clima e inundações causam interrupções, impactos econômicos e inconvenientes que se tornam muito graves para determinadas regiões. Considerando que as informações estão apenas começando a surgir sobre como a mudança climática pode levar a ocorrência de extremos climáticos, uma gama de tipos de impactos parece possível, incluindo alguns que são dependentes da localização e alguns que são eventos específicos (USDOT, 2002).

Segundo Peterson *et al.* (2006), mudança climática no Noroeste Pacífico da América é susceptível de trazer precipitações de invernos mais frequentes e intensas com o aumento da temperatura. Essas mudanças nos padrões de precipitação têm implicações significativas na hidrologia, e setores socioeconômicos poderiam ser afetados por essas. Infraestrutura de transporte e padrões de viagem também são vulneráveis às possíveis mudanças nos regimes de escoamento e fluxo da geomorfologia.

É conhecido que os sistemas de transporte, em geral, apresentam um pior desempenho em condições climáticas adversas e extremas, especialmente em regiões densamente povoadas, onde um único evento pode levar a uma cadeia de reações que influenciam grande parte do sistema de transporte (Koetse e Rietveld, 2007).

A infraestrutura de transporte está exposta a riscos decorrentes do aumento do nível do mar, tempestades e inundações. Os impactos das mudanças climáticas podem adversamente afetar a mobilidade através dos eventos extremos (TRL, 2011).

Nas atividades de transporte, condições meteorológicas adversas implicam num aumento no tempo médio de viagem, em congestionamentos e numa maior probabilidade de ocorrência de acidentes. Por isso, os custos generalizados de transporte são afetados (Koetse e Rietveld, 2007).

Segundo Repetto (2008), o Programa americano de Ciência das Mudanças Climáticas iniciou recentemente um estudo sobre os potenciais impactos, vulnerabilidades e respostas de adaptação às mudanças climáticas na infraestrutura de transporte utilizando a área central da Costa do Golfo como

um estudo de caso. Constatou vulnerabilidades substanciais onde, por exemplo, tempestades associadas a furacões poderiam facilmente ocasionar ondas de 7 metros. Com isso, mais da metade das principais rodovias da região, sendo 64% interestaduais e 57 % estaduais, quase metade das ferrovias, 29 aeroportos e praticamente todos os portos estão sujeitos a inundações.

Em se tratando de segurança rodoviária, fluxo de tráfego e congestionamento, as condições meteorológicas têm um efeito sobre a segurança rodoviária e muitas variáveis parecem ser importantes. Koetse e Rietveld (2007) mencionam estudo desenvolvido por Stern e Zehavi (1990) que investigam a relação entre o tempo quente e acidentes de trânsito. O estudo conclui que o risco de um acidente aumenta com condições de estresse térmico decorrente do aumento da temperatura. Afirmam que a variável mais importante é a precipitação, onde evidência empírica sobre o impacto da chuva e da neve na frequência e a gravidade dos acidentes rodoviários é abundante.

Embora estudos apresentem uma variedade de métodos para obtenção dos resultados quantitativos em relação ao número de acidentes, a maioria deles indica uma relação entre precipitação e frequência (intensidade) dos acidentes rodoviários (Koetse e Rietveld, 2007).

Por sua vez, os acidentes rodoviários afetam o fluxo e a velocidade do tráfego, tornando a relação entre clima, segurança rodoviária, fluxo de tráfego e velocidade de tráfego interessante, mas complexa (Koetse e Rietveld, 2007).

O setor de transporte apresenta forte interação com as mudanças climáticas, e gera impactos que podem ser agrupados em duas categorias: aqueles originários pelo setor, tais como as emissões de gases de efeito estufa e poluentes (efeitos negativos sobre o aquecimento global), e aqueles causados pelas mudanças climáticas sobre o setor de transporte.

As inter-relações entre o setor de transporte e as mudanças climáticas, seja na contribuição do setor para o aquecimento global, como nos possíveis efeitos que a mudança e a variabilidade de clima podem ocasionar sobre a mobilidade e a infraestrutura de transportes correspondente, sinalizam para a importância dos instrumentos de planejamento em diversos níveis, como medidas necessárias para o êxito de ações de mitigação e adaptação.

No transporte de passageiros, a escassez de sistema de transporte de alta capacidade provoca aumento de consumo de combustível excessivo tanto por conta da ineficiência do carro, como pelo congestionamento crescente, que impacta indiretamente, assim, o número de acidentes.

No Brasil, projeções indicam que, se a tendência histórica de expansão for mantida na Região Metropolitana de São Paulo, por exemplo, a mancha urbana será o dobro da atual em 2030, aumentando os riscos de enchentes, inundações e deslizamentos, atingindo cada vez mais a população como um todo e, sobretudo, os mais pobres. Principalmente, porque essa expansão deverá ocorrer na periferia, em loteamentos e construções irregulares, e em áreas frágeis, como várzeas e terrenos instáveis, com grande pressão sobre os recursos naturais (INPE, 2010).

Os riscos serão potencializados pelo aumento do número de dias com fortes chuvas. Estudos preliminares sugerem que, entre 2070 e 2100, uma elevação média na temperatura da região de 2°C a 3°C poderá dobrar o número de dias com chuvas intensas (acima de 10 milímetros) na capital paulista (INPE, 2010).

A intensificação das ilhas de calor pelo aumento da temperatura prejudica a dispersão de poluentes. Com isso, espera-se que alguns poluentes tenham a sua concentração ambiental aumentada, notadamente os gases e partículas gerados a partir de processos fotoquímicos atmosféricos, aumentando a mortalidade por conta de doenças respiratórias, entre outras.

Com o aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, muitos poderão ser os impactos das mudanças climáticas na infraestrutura de transportes. No caso de ocorrência de fortes chuvas, enchentes e inundações, um sistema de transporte eficiente facilitaria a evacuação da população da área afetada, bem como o acesso a prestação de socorro a vítimas de desastres naturais e acidentes.

No caso de risco de desastres, por exemplo, a evacuação é usada quando há aviso para realocação temporária para áreas fora da rota de perigo por tempestades tropicais, inundações e incêndios florestais. Evacuações coletivas nem sempre é possível, dada a localização, o tamanho da população, as redes de transporte, bem como o rápido início do evento (IPCC, 2012).

Em se tratando de revisão da literatura sobre o impacto das alterações climáticas na demanda de transporte, há muito pouca evidência empírica sobre mudanças no comportamento de viagem devido a condições adversas de clima. A maioria dos estudos foca na mudança modal, com foco no uso da bicicleta sob condições meteorológicas diversas e apresentam, por exemplo, a redução no percentual de viagens de bicicletas em dias frios e chuvosos e aumento percentual em dias com condições meteorológicas favoráveis (Richardson, 2000; Koetse e Rietveld, 2007). Segundo os estudos, temperaturas baixas, vento forte e precipitação impactam negativamente sobre o uso da bicicleta, que refletem no aumento pela procura do automóvel como forma de transporte.

Koetse e Rietveld (2007) se referem em seu estudo a uma pesquisa feita por Khattak e De Palma (1997) sobre as decisões por modos de viagens de passageiros em Bruxelas, em 1992. Os resultados mostram que 69% dos entrevistados, considerando o seu modo primário de transporte, têm acesso a um modo de transporte alternativo, mas que apenas 5% realmente o fazem, em função da estação do ano. Isto sugere que mudanças nos padrões climáticos do verão para o inverno têm apenas um pequeno impacto na escolha modal, uma vez que apenas uma pequena porcentagem dos viajantes utiliza bicicleta para chegar ao trabalho.

Os resultados sugerem que a substituição do carro pelo transporte público no inverno é limitada. No entanto, as respostas às perguntas sobre as decisões de viajar sob condições climáticas adversas revelam que mais da metade dos usuários de automóveis mudam seu modo, a sua hora de partida ou a escolha de rota em condições climáticas adversas. Destas três possibilidades, as mudanças na hora da partida foram mais frequentemente mencionadas a ser uma opção importante em condições meteorológicas adversas (Koetse e Rietveld, 2007).

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 e padrões atuais para transportes.

Considera-se que a infraestrutura de transporte, em todos os modos, possa ser vulnerável aos impactos das mudanças climáticas, mesmo em um futuro próximo. Grande parte dos debates sobre mudanças climáticas mudança do clima e transporte tem sido focada em mitigação dos impactos das emissões de gases de efeito estufa de automóveis. Lindquist (2007) relata que nos Estados Unidos, no entanto, a necessidade de vincular a mudança climática e a ciência da variabilidade (incluindo modelagem, análise e avaliação de riscos, avaliação de impactos regionais, projeções e probabilidades), com estratégias de adaptação, independentemente da causa, aumentou na agenda de decisão do departamento de transporte dos Estados Unidos e do Conselho de pesquisa em transporte.

A tabela 5.3.3.2 apresenta uma síntese das condições e variações climáticas que afetam o sistema de transporte, mencionadas na literatura. A tabela 5.3.3.3 uma síntese dos impactos e das vulnerabilidades relacionadas ao sistema de transporte.

**Tabela 5.3.3.2.** Síntese das condições e variações climáticas que afetam o sistema de transporte.

Referência	Eventos de precipitação mais intensos	Variação de temperatura	Tempestades	Elevação do nível do mar	Deslizamento de terras	Inundações	Dias muito quentes e ondas de calor
USDOT (2002)	x	x	x	x			
Meyer (2008)	x	x	x	x		x	
Peterson <i>et al.</i> (2006)			x			x	
Koetse e Rietveld (2007)	x	x	x				
Lindquist (2007)	x	x	x	x			
Repetto (2008)	x	x	x			x	
Chang <i>et al.</i> (2009)		x	x				
TRL (2011)			x	x		x	
Yevdokimov (2010)		x	x	x	x		
IPCC (2012)	x	x	x	x		x	
Oswald e McNeil (2012)	x			x			x
Koch e MacArthur (2013)	x	x	x	x		x	

**Fonte:** elaborado a partir da revisão dos trabalhos mencionados.

**Tabela 5.3.3.3.** Síntese dos impactos e das vulnerabilidades relacionadas ao sistema de transporte.

Referência	Econômicos	Humano	Sobre as estruturas/pavimentos e trilhos	Inundações de Túneis subterrâneos	Segurança viária	Mobilidade urbana	Planejamento e projeto da infraestrutura
USDOT (2002)	x			x		x	x
Meyer (2006)			x	x			
Peterson et al. (2006)			x				
Koetse e Rietveld (2007)	x				x	x	
Lindquist (2007)			x	x		x	
Repetto (2008)			x	x			
Chang et al. (2009)			x			x	
Yevdokimov (2010)	x	x					
IPCC (2012)	x	x				x	x

**Fonte:** elaborado a partir da revisão dos trabalhos mencionados.

Apesar dos trabalhos existentes na literatura não serem conclusivos em relação ao tema tratado, observa-se convergência para as condições e variações climáticas que afetam o sistema de transporte, dentre elas: variação de temperatura, temperaturas elevadas e muito baixas, tempestades (precipitação intensa), elevação do nível do mar e inundações associadas às tempestades.

Verifica-se ainda, em relação aos impactos sobre o sistema de transporte, maior consenso sobre a vulnerabilidade da totalidade das obras de infraestrutura de transporte (rodoviária, ferroviária, portuária, aeroportuária, túneis e pontes) em todos os seus aspectos: pavimentos, trilhos, fundações, dentre outras.

Assim, as mudanças e variações climáticas afetam a acessibilidade proveniente da infraestrutura de transporte e impactam negativamente sobre a mobilidade, tanto no padrão de viagens, quanto no incremento dos congestionamentos.

### 5.3.3.3 ALTERNATIVAS DE ADAPTAÇÃO PARA TRANSPORTES

Atualmente é possível observar uma tendência em que os tomadores de decisão começam a aceitar o fato da mudança climática e da necessidade de explorar estratégias de adaptação relacionadas, tais como, a implementação de medidas políticas para reduzir os custos dos danos potenciais relacionados (Koetse e Rietveld, 2007). Segundo o estudo, uma observação importante é que as medidas de mitigação e estratégias de adaptação estão inter-relacionadas: grandes oportunidades de mitigação têm implicações para a urgência de se implementar medidas de adaptação.

A infraestrutura de transporte é construída para enfrentar uma ampla variação das condições meteorológicas e de clima. A perspectiva de mudanças climáticas antropogênicas significa que certas suposições sobre condições atmosféricas futuras podem estar erradas, resultando possivelmente na deterioração prematura ou falha da infraestrutura. Felizmente a vida útil é suficientemente curta

para muitos tipos de infraestrutura de transporte (por exemplo, menos de 25 anos) para facilitar a relação custo-benefício de substituição usando projetos melhorados. Em outros casos, como pontes e instalações portuárias, mudanças esperadas no clima poderão ocorrer previamente, durante a vida útil esperada, possivelmente forçando a reconstrução com custos elevados, recuperação ou realocação (USDOT, 2002).

Um ajuste de longo prazo para transportes é que projetos de infraestrutura devam considerar as características relevantes das condições meteorológicas, tais como, o desempenho dos diversos modos em condições meteorológicas extremas, como altas ou baixas temperaturas, chuvas fortes, nevoeiro, vento forte, etc. É preciso estar ciente de que condições meteorológicas e de clima poderão afetar não apenas o lado da demanda no mercado dos transportes, mas também o lado da oferta. A oferta também pode ser afetada em curto prazo por variações climáticas, por exemplo, quando as operações de empresas, como ferroviárias e aeroportuárias, são interrompidas devido a condições de vento extremo (Koetse e Rietveld, 2007).

Experiência sobre estratégias de adaptação em transporte nos Estados Unidos foi apresentada por Lindquist (2007), que relata que estratégias de adaptação às mudanças climáticas em grande escala nos Estados Unidos serão principalmente tratadas em nível subnacional. Em se tratando de infraestrutura de transporte, essa adaptação terá que ocorrer nos seguintes níveis: 1) departamentos de transporte (DOT, sigla em Inglês) em cada um dos 50 estados americanos, e 2) Organizações de Planejamento Metropolitano (MPOs, sigla em Inglês), planejamento de transportes regionais e agências de apoio. Segundo o autor, grande parte dos impactos da variabilidade poderão ser sentidos em todos estes níveis, com implicações negativas caso não desenvolvam estratégias de adaptação.

De acordo com estudo realizado por Koch e MacArthur (2012), as agências federais americanas abriram o caminho para adaptar vários modos de transporte para as mudanças climáticas. O estudo destaca 17 agências que realizam atividades de adaptação à mudança climática, principalmente como parte de projetos-piloto financiados pelo governo federal. No entanto, agências de trânsito estão enfrentando impactos causados pelas condições climáticas atuais e de futuras mudanças climáticas. Foi avaliado como as agências estavam envolvidas em atividades de adaptação às mudanças climáticas, quais atividades atualmente estão empenhadas em avaliar os potenciais impactos do clima e das mudanças climáticas em suas instalações e operações e a importância relativa de diferentes recursos para avaliar a eficácia destes impactos. Entre as barreiras mais comuns para as atividades de adaptação foram destacadas a falta de financiamento, falta de acesso a informações e ferramentas (incluindo dados de escala regional) e falta de prioridade organizacional.

A respeito do potencial de perda de bilhões de dólares, a possibilidade de impactos das mudanças climáticas sobre a infraestrutura de transporte tem recebido pouca atenção. Grande parte do foco sobre clima e transporte tem sido sobre os impactos ao meio ambiente, causados por fontes de transporte, tais como emissões de automóveis. No entanto, considerações sobre adaptação aos impactos potenciais do aumento do nível do mar, mudanças na precipitação e temperatura, aumento na magnitude e frequência de tempestades severas são igualmente importante, a forma como a infraestrutura de transporte e seus sistemas associados de governança irão responder às mudanças vem sendo relegado ao segundo plano. Isto é particularmente importante em áreas vulneráveis à elevação do nível do mar, tempestade e inundações (Lindquist, 2007).

Estudo desenvolvido pela Universidade de Cambridge avaliou o efeito das mudanças climáticas e seus impactos no sistema de transporte da costa do golfo, e conclui que os projetos de infraestrutura de longo prazo, principalmente para pontes, deverão considerar os impactos das altas temperaturas no futuro. Segundo o estudo, os impactos do aumento do nível do mar serão significativos para algumas regiões, e rodovias situadas em áreas de risco deverão ser redesenhadas para adaptar às mudanças como parte de estratégia de redesenho urbano. Os efeitos mais intensos sobre as rodovias serão devido ao aumento no número de tempestades severas, que poderão ser tão intensas que esforços de identificar e proteger as pontes devem ser uma prioridade (US TRB, 2008).

Estudos têm identificado os principais setores vulneráveis às mudanças climáticas que podem reduzir significativamente os danos evidenciados. Tais estudos indicaram que os problemas causados à agricultura, silvicultura e outras atividades econômicas podem ser reduzidos se os agentes econômicos se adaptarem de forma eficiente (Repetto, 2008).

Segundo Koetse e Rietveld (2007), a maioria dos estudos relacionados a clima e transporte tem foco no impacto das condições climáticas atuais, embora haja também alguns onde os padrões sazonais são estudados. Com relação ao potencial de longo prazo dos efeitos da mudança do clima para o transporte, os padrões sazonais podem ajudar quanto aos ajustes de longo prazo a essa mudança, contribuir para medidas de adaptação futuras e aumentar a resiliência do setor.

O planejamento de transportes deverá considerar medidas de adaptação para garantir a mobilidade das populações. Mobilidade resiliente se refere à necessidade de aumentar a resiliência climática dos sistemas de transporte (TRL, 2011). Sistemas de transporte resilientes podem também apoiar nos esforços de evacuação e prestação de ajuda no caso de ocorrência de desastres e adaptação à possível mudança do clima futura.

O Brasil já vem experimentando em determinadas regiões episódios de danos causados às ruas e estradas em função de enchentes e deslizamentos de terra, cenário que só tende a agravar-se com a intensificação do fenômeno (INPE, 2010).

O próprio planejamento urbano está intimamente relacionado com o tema. A opção por cidades mais ou menos compactas, a definição da capacidade das vias de circulação para fins de tráfego, bem como, o estudo da localização do traçado, levando-se em conta critérios de drenagem pluvial e áreas de risco, são exemplos que refletem a imprescindibilidade da inserção da variável climática na estruturação das cidades (INPE, 2010).

A falta de integração dos diferentes modos no sistema de transporte constitui uma vulnerabilidade. Países em desenvolvimento como o Brasil, precisarão investir na integração dos diversos modos de transporte, criando assim uma mobilidade resiliente.

Estudo desenvolvido por Meyer (2008) sobre padrões para projetos de infraestrutura de transporte nos Estados Unidos avalia medidas de engenharia para adaptar ao contexto de mudanças ambientais como as mudanças climáticas. Segundo o autor, muitos estudos avaliaram os possíveis efeitos das mudanças climáticas nos projetos de infraestrutura e instalações de transporte. Numa perspectiva regional, três cidades norte americanas foram avaliadas e foi possível concluir que os sistemas de transporte poderão ser impactados especialmente por inundações. Os seguintes componentes do sistema de transporte são mais vulneráveis às mudanças climáticas e eventos climáticos extremos (So Hoo, 2005; Meyer, 2008) e deverão ser considerados em estratégias e medidas de adaptação:

- Pontes e bueiros (aumento da precipitação média anual, aumento da intensidade de eventos de precipitação, aumento do nível do mar),
- Calçadas e estradas costeiras (aumento do nível do mar e aumento da frequência e intensidade de tempestades),
- Superfícies de pavimento (aumento médio da temperatura anual),
- Drenagem superficial (aumento da intensidade de eventos de precipitação), e
- Estabilidade de encostas (aumento médio da precipitação anual e aumento da intensidade de eventos de precipitação).



Adaptação aparece como um co-benefício do transporte sustentável, e deve contribuir para o aumento da mobilidade. Os sistemas de transportes devem ser eficientes com base na integração modal. O IPCC já adverte para a necessidade de adoção de medidas de adaptação consistentes em novos traçados ou realocação de vias, normas para projetos e planejamento de estradas, ferrovias e outras estruturas, drenagem dos solos, para fazer frente ao aquecimento global (IPCC, 2007).

É importante considerar a adaptação dos sistemas de transporte, seja na integração dos diversos modos, proporcionando assim o aumento da mobilidade. As ferrovias são uma alternativa de significativa importância para redução do número de veículos do sistema viário, reduzindo a queima de combustíveis e a emissão de poluentes. Nesse sentido, investimentos na ampliação das linhas de metrô e trens interurbanos deveriam ser mantidos, uma vez que transportam grandes quantidades de passageiros e reduzem o número de veículos nas ruas e avenidas (INPE, 2010).

#### **5.3.3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS:**

As relações entre transportes e mudança do clima, seja na contribuição do setor para o aquecimento global, como nos efeitos que a mudança climática acarretará sobre a mobilidade e a infraestrutura de transportes correspondente, sinalizam para a importância dos instrumentos de planejamento em diversos níveis, como medidas necessárias para o êxito de ações de mitigação e adaptação.

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 e seguro. Todavia, investimentos na infraestrutura e em novos modais de transporte também serão essenciais.

Com relação à adaptação dos sistemas de transportes, as ferrovias são uma alternativa importante para redução do número de veículos do sistema viário, reduzindo a queima de combustíveis e a emissão de poluentes. Nesse sentido, investimentos na ampliação das linhas de metrô e trens interurbanos deveriam ser mantidos, uma vez que transportam grandes quantidades de passageiros e reduzem o número de veículos nas ruas.

No caso do Brasil, embora não seja a opção ideal em termos de mitigação de gases de efeito estufa, a implantação de sistemas de ônibus de alta capacidade operando em faixas exclusivas e segregadas poderiam também contribuir no aumento da mobilidade urbana.

Constata-se a necessidade de elaboração de novos estudos e pesquisas da relação da mudança climática com a vulnerabilidade da infraestrutura de transporte que permitam trazer subsídios mais conclusivos, que possam ser aplicados nas políticas públicas e que contribuam para estratégias alternativas em planejamento no setor de transporte.

A ausência de estudos sobre vulnerabilidades, possíveis impactos das mudanças climáticas e alternativas de adaptação para transportes no Brasil configura-se como uma lacuna na literatura nacional sobre mudança do clima e transportes. O conhecimento de vulnerabilidades associadas às previsões climáticas, os possíveis impactos e medidas de adaptação poderão subsidiar a elaboração e implementação de políticas públicas para transportes, bem como a integração com políticas de desenvolvimento e ambientais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adams, R.M. *et al.*, 2003: The effects of spatial scale of climate scenarios on economic assessments: an example from US agriculture. *Climatic Change*, 60, 131-148.

Adger, W.N. *et al.*, 2007: Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity, pp. 717-743. In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Parry, M.L. *et al.* (Eds.)]. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Alexander, L.V., 2006: Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, *J. Geophys. Res.*, 111.

Andreae, O.M. *et al.*, 2005: Strong present-day aerosol cooling implies a hot future, *Nature*, 435(7046), 1187-1190, doi:10.1038/nature03671.

Antonini, G. *et al.*, 2002: Surface deposits and landslide inventory map at the area affected by the 1997 Umbria-Marche Earthquakes, pp.843-853. *Boll. Sociology Geology*. Special Volume, Number 1, Parte II.

Apolo11.com, 2004: Furacão Catarina: ciclone ou furacão extratropical. [http://www.apolo11.com/furacao\\_catarina.php](http://www.apolo11.com/furacao_catarina.php).

Ardizzone, F. *et al.*, 2008: Landslide hazard assessment: estimation and risk evaluation at the Basin Scale, pp. 70-74. *Proceedings of The First World Landslide Forum*, United Nations University, Tokyo, November, ISDR.

Arnell, N.W., 1999: Climate change and global water resources. *Global Environmental Change*, 9 (Supplement 1), S31-S49.

Arnell, N.W., 2004: Climate change and *global water resources*: SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, 14(1), 31-52.

Arrieta, F.R.P. e E.E.S. Lora, 2005: Influence of ambient temperature on combined-cycle power-plant performance. *Applied Energy*, 80(3), 261-272.

Assad, E. e H.S. Pinto, 2008: Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. Embrapa-Cepagri, São Paulo, 82 pp.

Atkinson, N. *et al.*, 2006: Long-term wind speed trends in Northwestern Europe. *BWEA 28 Conference Proceedings*. British Wind Energy Association (BWEA), Glasgow. Disponível em <http://www.docstoc.com/docs/27944172/LONG-TERM-WIND-SPEED-TRENDS-IN-NORTHWESTERN-EUROPE>

Augusto Filho, O. 1994: *Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 167 pp.

Australia, 2011: *Climate Change Risks to Australia's Coast, A First Pass National Assessment*. Australian Government Report, Department of Climate Change and Energy Efficiency, Sydney, Australia, 172 pp.

Baptista, M. e N. Nascimento, 2002: Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 7(1), 29-49.

- Baptista, M. *et al.*, 2005: *Técnicas compensatórias em drenagem urbana*. Porto Alegre: EdiçõesABRH, 266 pp.
- Barbieri, A. *et al.*, 2010: Climate change and population migration in Brazil's Northeast: scenarios for 2025 2050. *Population and Environment*, 31(5), 344-370.
- Barbieri, A. F. e U. Confalonieri, 2010: Migrações e saúde: cenários para o Nordeste brasileiro, 2000-2050, pp. 45-65. In: *Viabilização do semiárido do Nordeste: um enfoque multidisciplinar* [Batista Filho, M. e T.C. Miglioli. (Org.)]. Recife, PE: Linceu.
- Barbieri, A. F. e U. Confalonieri, 2011: Climate change, migration and health: exploring potential scenarios of population vulnerability in Brazil, pp. 49-73. In: *Migration and Climate Change* [Piguet E. *et al.* (Orgs.)]. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Barbieri, A. F.: 2011: Mudanças climáticas, mobilidade populacional e cenários de vulnerabilidade para o Brasil. *Rev. Interdiscip. Mob. Hum. (REMHU)*, 36, p. 95-112.
- Barbieri, F.A., 2011: Vulnerabilidade às mudanças climáticas: perspectiva regional de impactos demográficos e socioeconômicos. *SNT*, 8 pp.
- Bartók, B., 2010: Changes in solar energy availability for South-Eastern Europe with respect to global warming. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35(1-2), 63-69.
- Betts, R.A. *et al.*, 2007: Biogeophysical effects of land use on climate: model simulations of radiative forcing and large-scale temperature change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 142(2-4), 216-233.
- Bigarella, J.J. *et al.*, 1996: *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais*, vol. 2. Florianópolis, SC: Editora da UFSC, 448 pp.
- Boer, G.J. *et al.*, 2004: Is there observational support for an *El Niño*-like pattern of future global warming? *Geophys. Res. Letters*, 31(L06201), 1-4, doi:1029/2003GL018722.
- Boorman, D.B. e C.E. Sefton, 1997: Recognising the uncertainty in the quantification of the effects of climate change on hydrological response. *Climatic Change*, 35(4), 415-34.
- Brasil, 2007. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios / Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, organizadores – Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007 176 p.  
ISBN 978-85-60133-81-9
- Brázdil, R. *et al.*, 2009: Climate fluctuations in the Czech Republic during the period 1961-2005. *Int. J. Climatol.*, 29(2), 223-242, doi:10.1002/joc.1718.
- Brennan, E., 1994: Megacities management and innovation strategies: regional views, pp. 233-255. In: *Mega-city Growth and the Future* [Fuchs, R.J. *et al.* (Eds.)]. Bookwell Publications (New Edition, September, 2002), 436 pp.
- Breslow, P.B. e D.J. Sailor, 2002: Vulnerability of wind power resources to climate change in the continental United States. *Renewable Energy*, 27(4), 585-598.
- Brodribb, T.J., 2009: Xylem hydraulic physiology: The functional backbone of terrestrial plant productivity. *Plant Science*, 177(4), 245-251.

Brunetti, M.T. *et al.*, 2010: Rainfall thresholds for the possible occurrence of landslides in Italy. *Natural Hazards Earth System Science*, 10,447-458.

Bull, S.R. *et al.*, 2007: Effects of climate change on energy production and distribution in the United States, Chapter 3, pp. 30-72. In: *Effects of Climate Change on Energy Production and Use in the United States* [Thomas, J.W. *et al.* (Eds.)]. A Report by the US Climate Change Science Program (CCPS) and the Subcommittee on Global Change Research. Expert Peer Review Draft, Washington, DC. Disponível em [http://web.ornl.gov/sci/sap\\_4.5/energy\\_impacts/sap4.5draft.pdf](http://web.ornl.gov/sci/sap_4.5/energy_impacts/sap4.5draft.pdf)

Caesar, J. *et al.*, 2006: Large-scale changes in observed daily maximum and minimum temperatures: creation and analysis of a new gridded data set. *J. Geophys.Res.*, 111(D5), D05101, doi:10.1029/2005JD006280.

Cafaro, P., 2012: Climate ethics and policy. *WIREs Climate Change*, 3, 45-61, doi:10.1002/wcc.153.

Calliari, L.J. *et al.*, 2000: Classificação da costa gaúcha com base nos padrões de refração de ondas de tempestades e evidências geomorfológicas de erosão costeira, pp.195-198. Anais, Simpósio Brasileiro Sobre Praias Arenosas: Morfodinâmica, Ecologia, Usos, Riscos e Gestão, Univali, Itajaí, SC, 3-6 de setembro.

Cançado, V. *et al.*, 2006: Cobrança pela drenagem urbana de águas pluviais: bases conceituais e princípios metodológicos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 11, 135-147.

Carter, R.W.G., 1988: Coastal environments. An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines. Academic Press, 617 pp.

Castro, L.M.A., 2007: *Proposição de metodologia para avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos de água*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

CCPS, 2007: *Effects of Climate Change on Energy Production and Use in the United States*. A Report by the US Climate Change Science Program (CCPS) and the Subcommittee on Global Change Research [Thomas, J.W. *et al.* (Eds.)]. Department of Energy, Office of Biological, Environmental Research, Washington, DC, USA, 160 pp.

Cedeplar e Fiocruz, 2008: Mudanças climáticas, migrações e saúde: cenários para o Nordeste Brasileiro, 2000-2050. Relatório de Pesquisa: Belo Horizonte, Cedeplar/Fiocruz, Julho de 2008.

Cedeplar/ Fiocruz, 2008: Mudanças climáticas, migrações e saúde: cenários para o Nordeste brasileiro, 2000-2050. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz). Relatório de Pesquisa. Belo Horizonte, MG.

Cetesb, 2010: Qualidade do ar no Estado de São Paulo. Série de Relatórios. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), Secretaria do Meio Ambiente. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>.

Chang, H. *et al.*, 2009: Potential impacts of climate change on urban flooding: implications for transportation infrastructure and travel disruption, pp. 72-79. Road Ecology Center, eScholarship, University of California, Davis, CA, USA. Disponível em <http://escholarship.org/uc/item/0xr0p0ff> Acessado em 28/07/2010.

Chang, H. *et al.*, 2009: Potential impacts of climate change on urban flooding: implications for transportation infrastructure and travel disruption, pp. 72-79. Road Ecology Center, eScholarship, University of California, Davis, CA, USA. Disponível em <http://escholarship.org/uc/item/0xr0p0ff>. Acessado em 28/07/2010

Chau, K.T. *et al.*, 2004: Landslide hazard analysis for Hong Kong using landslide inventory and GIS. *Computers and Geosciences*, 30, 429-443.

Climatempo, 2011. Disponível em <http://climatempo.uol.com.br/>.

CNT, 2010: The value of green infrastructure. A guide to recognizing its economic, environmental and social benefits. Center for Neighborhood Technology (CNT). Disponível em <http://www.cnt.org/repository/gi-values-guide.pdf> Acessado em 2010.

Confalonieri, U.C e M. Barata, 2011: Mapa de vulnerabilidade da população do Estado do Rio de Janeiro aos impactos das mudanças climáticas nas áreas social, saúde e ambiente. Relatório 4, versão final. Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), 162 pp. Disponível em [http://download.rj.gov.br/documentos/10112/1312228/DLFE-56321.pdf/04\\_relatório\\_vulnerabilidade.pdf](http://download.rj.gov.br/documentos/10112/1312228/DLFE-56321.pdf/04_relatório_vulnerabilidade.pdf)

Confalonieri, U.E.C. (Coord.), 2005: Análise da vulnerabilidade da população brasileira aos impactos sanitários das mudanças climáticas. Resultados obtidos. Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) e Associação Brasileira de Pós-Graduação em Saúde Coletiva (Abrasco), Plano Plurianual de Governo (PPA), Programa de Mudanças Climáticas, Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília, 201 pp. Disponível em <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/50785.html>

Confalonieri, U.E.C. *et al.*, 2009: Public health vulnerability to climate change in Brazil. *Climate Research*, 40, 175-186.

Costa, G.M. *et al.*, 2009: The role of municipal committees in the development of an integrated urban water policy in Belo Horizonte, Brazil. *Water Science and Technology*, 60(12), 3129-3136.

Costa, H.S.M. e R.L.M. Monte-Mór, 2002: Urbanization and environment, pp. 127-146. In: Rio+10: Population and Environment in Brazil [Hogan, D. *et al.* (Orgs.)]. Campinas: CNPD/ABEP/NEPO.

Cutforth, H.W. e D. Judiesch. 2007: Long-term changes to incoming solar energy on the Canadian Prairie. *Agricultural and Forest Meteorology*, 145(3-4), 167-175.

Cutter, S.L., 2003: GI science, disasters, and emergency management. *Transactions in GIS*, 7(4), 439-445.

Cutter, S.L. *et al.*, 2000: Revealing the vulnerability of people and places: a case study of Georgetown County, South Carolina. *Annals of the Association of American Geographers*, 90(4), 653-831.

DAEE, 2009: Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê. Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) do Governo de São Paulo, São Paulo, SP.

De, U.S. e V.K. Soni, 2009: Climate change, urbanization. What citizens can do? *Journal of Indian Geophysical Union*, 13(1), 43-48.

Denig, S. (Org.), 2007: Megacity challenges: a stakeholder perspective. GlobeScan, MRC McLean Hazel, Siemens AG Corporate Communications (CC), Gareth Lofthouse, Economist Intelligence Unit, Toronto, Canada. Disponível em [http://sd-cite.iisd.org/cgi-bin/koha/opac\\_detail.pl?biblionumber=37508](http://sd-cite.iisd.org/cgi-bin/koha/opac_detail.pl?biblionumber=37508)

Domingues, E.P. *et al.*, 2008: Cenários de mudanças climáticas e agricultura no Brasil: impactos econômicos na região Nordeste. Belo Horizonte: Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Texto para Discussão, 340, 25 pp.

- Domingues, E.P. *et al.*, 2010: Impactos econômicos da mudança do clima no Brasil. 38º Encontro Nacional de Economia, Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia (Anpec), Salvador, BA. Disponível em <http://www.anpec.org.br/encontro2010/inscricao/arquivos/000-7b-96492838d085e952fcb78337f4ce23.pdf>
- Dufek, A.S.e T. Ambrizzi, 2008: Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 93(3-4), 167-178.
- Dvorak, V. *et al.*, 1997: Climate change hydrology and water resources impact and adaptation for selected river basins in the Czech Republic. *Climatic Change*, 36, 93-106.
- Eichelberger, S. *et al.*, 2008: Climate Change Effects on Wind Speed. *North American Windpower*, July, 2008, pp. 1-4.
- EM-DAT, 2012: Emergency Events Database (EM-DAT). Centre for Research on the Epidemiology of Disasters Cred. Disponível em <http://www.emdat.be/country-profile>
- Emery, K. *et al.*, 1996: Temperature dependency of photovoltaic cells, modules and systems, *Record of the 25th IEEE*, pp. 1275-1278. Photovoltaic Specialists Conference, Washington, DC, 13-17 May, doi:10.1109/PVSC.1996.564365.
- EPE, 2007: Plano Nacional de Energia 2030. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Rio de Janeiro, RJ. Disponível em <http://www.epe.gov.br/PNE/Forms/Empreendimento.aspx> Acessado em agosto de 2007.
- Fankhauser, S., 1995: Protection versus retreat: the economic costs of sea-level rise. *Environ. Plann. A*, 27(2), 299-319.
- Feeley, T.J *et al.*, 2008: Water: a critical resource in the thermoelectric power industry. *Energy* 33(1), 1-11.
- Ferreira Filho, J.B.S. e M.J. Horridge, 2010: Climate change impacts on agriculture and internal migrations in Brazil In: 2010 *Conference Papers*, Thirteenth Annual Conference on Global Economic Analysis, Penang, Malaysia.
- Fouchier, V., 1997: Les densités urbaines et le développement durable: le cas de l'Île de France et des Villes Nouvelles. Paris: Éditions du Secrétariat Général du Groupe Central des Villes Nouvelles.
- Gersonius, B. *et al.*, 2011: Accounting for climate change in urban drainage and flooding: contrasting alternative approaches to devising adaptive strategies. *Proceeding of the IWA-IAHR 12th International Conference on Urban Drainage*, Porto Alegre, RS: ABRH.
- Gilgen, H. *et al.*, 2009: Decadal changes in shortwave irradiance at the surface in the period from 1960 to 2000 estimated from Global Energy Balance Archive Data. *Jour. Geophys. Res. A*, 114(D10), doi:10.1029/2008JD011383.
- Glickman, T.S., 2000: *Glossary of Meteorology*. Boston: American Meteorological Society, 855 pp.
- Golgher, A.B. e P. Slaviero, 2009: The selectivity of migration and poverty traps in rural Brazil. In: XXVI IUSSP Annals, International Population Conference 26, Marrakesh, Morocco. Disponível em <http://iussp2009.princeton.edu/papers/92128>
- Guan, L., 2009: Preparation of future weather data to study the impact of climate change on buildings. *Building and Environment*, 44(4), 793-800.

- Guidicini, G. e C.M. Nieble, 1984: *Estabilidade de taludes naturais e de escavação*. São Paulo, SP: 2a ed., Edgard Blücher, 194 pp.
- Guzzetti, F. *et al.*, 2009: Central Italy seismic sequences-induced landsliding: 1997-1998 Umbria-Marche and 2008-2009, L'Aquila Cases. The Next Generation of Research on Earthquake-induced Landslides: An International Conference in Commemoration of 10th Anniversary of the Chi-Chi Earthquake, *Proceedings*, number 300, published by the National Central University, September National Central University, Taiwan.
- Hamlet, A.F. *et al.*, 2010: Effects of projected climate change on energy supply and demand in the Pacific Northwest and Washington State, Chapter 4: Energy, pp. 165-90. In: *The Washington Climate Change Impacts Assessment. Evaluating Washington's Future in a Changing Climate* [Littell, J.S. *et al.* (Eds.)]. Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (Jisao) Climate Impacts Group, University of Washington, Seattle, 2010. Disponível em <http://ces.washington.edu/cig/files/waccia/ch4energy.pdf>
- Harrison, G.P. e H.B.W. Whittington, 2002: Susceptibility of the Batoka Gorge hydroelectric scheme to climate change. *Journal of Hydrology*, 264(1-4), 230-241.
- Haylock, M.R. *et al.*, 2006: Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, 19, 1490-1512.
- Hervás, J., 2007: Guidelines for mapping areas at risk of landslides in Europe. *Proceedings of the Experts Meeting*, October, Institute for Environment and Sustainability Joint Research Centre (JRC), Ispra, Italy, 50 pp.
- Hogan, D.J., 2001: Demographic aspects of global environmental change: what is Brazil's contribution? pp.15-41. In: *Human Dimensions of Global Environmental Change* [Hogan, D.J. e M.T. Tolmasquim, (Eds.)]. Rio de Janeiro, RJ: Academia Brasileira de Ciências.
- IBAMA, 2002. GEO Brasil 2002 – Perspectivas de meio ambiente no Brasil. Organizado por Thereza Christina Carvalho Santos e João Batista Drummond Câmara. - Brasília: Edições IBAMA 440p.: il. ISBN 85 - 7300 - 144 – 5 Disponível em [https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/site\\_cnia/geo\\_brasil\\_2002.pdf](https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/site_cnia/geo_brasil_2002.pdf)
- IBGE, 2010: CENSO 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro (IBGE), RJ. Disponível em [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/primeiros\\_resultados/default\\_primeiros\\_resultados.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/primeiros_resultados/default_primeiros_resultados.shtm)
- Innocentini, V. e F.O. Arantes, 2001: Ondas do mar: conhecer para explorar. *Ciência Hoje*, 1(39). 40-46.
- Inpe, 2010: Vulnerabilidade das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. Sumário Executivo. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), 32 pp. Disponível em [http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/publicacoes/2010/SumarioExecutivo\\_megacidades.pdf](http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/publicacoes/2010/SumarioExecutivo_megacidades.pdf). Acessado em 28/07/2010.
- Inpe, 2010: Vulnerabilidade das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. Sumário Executivo, pp. 27-28. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). Disponível em <http://www.planetaverde.org/mudancasclimaticas/index.php?ling=por&cont=documentos>. Acessado em 28/07/2010
- IPCC, 2000: *IPCC Special Report on Emission Scenarios. Summary for Policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Vienna, Austria.

IPCC, 2007: Climate change impacts, adaptation and vulnerability. In: *Climate Change 2007, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report (AR-4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* [Parry, M.L. et al. (Eds.)]. Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 976 pp.

IPCC, 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. In: *Climate Change 2007. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report (AR-4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, [Parry, M.L. et al. (Eds.)]. Cambridge, UK, e New York, NY, USA: Cambridge University Press, 976pp.

IPCC, 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. In: *Climate Change 2007. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report (AR-4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* [Parry, M.L. et al. (Eds.)]. Cambridge, UK, e New York, NY, USA: Cambridge University Press, 900 pp.

IPCC, 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. In: *Climate Change 2007, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report (AR-4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* [Parry, M.L. et al. (Eds.)]. Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 976 pp.

IPCC, 2007a: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. *Climate Change 2007, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report (AR-4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, 18 pp.

IPCC, 2007b: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers. *Climate Change 2007, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report (AR-4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, 23 pp.

IPCC, 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Field, C.B. et al. (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, e New York, NY, USA, 582 pp.

IPCC, 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Field, C.B. et al. (Eds.)]. Cambridge, UK, e New York, NY, USA: Cambridge University Press, 582 pp.

IPCC, 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B. et al. (Eds.)]. Cambridge, UK, e New York, NY, USA: Cambridge University Press, 582 pp.

IPCC: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Field, C.B. et al. (Eds.)]. Cambridge, UK, e New York, NY, USA: Cambridge University Press, 582 pp.

Jacob, K. et al., (2007, in press): Vulnerability of the New York City Metropolitan Area to coastal hazards, including sea level rise. Inferences for urban coastal risk management and adaptation policies, Chapter 9. In: *Managing Coastal Vulnerability: Global, Regional, Local* [McFadden, L. et al. (Eds.)]. Amsterdam, London, New York: Elsevier Science.

Jacob, K. et al., (2007, in press): Vulnerability of the New York City Metropolitan Area to Coastal Hazards, Including Sea Level Rise – Inferences for Urban Coastal Risk Management and Adaptation Policies, Chapter 9. In: *Managing Coastal Vulnerability: Global, Regional, Local* [McFadden, L. et al.



(Eds.). Amsterdam, London, New York: Elsevier Science.

Jiang, T. *et al.*, 2007: Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the Dongjiang Basin, South China. *Journal of Hydrology*, 336, 316-333.

Kendall, M.G. e F.Y. Edgeworth, 1968: 1845-1926. *Biometrika*, 55(2), 269-275.

Kobiyama, M. *et al.*, 2006: Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos. Curitiba, PR: Editora Organic Training, 124 pp.

Koch, H. e S. Vögele, 2009: Dynamic modelling of water demand, water availability and adaptation strategies for power plants to global change. *Ecological Economics*, 68(7), 2031-2039.

Koch, J. e J. MacArthur, 2013. Assessing public transportation agencies' climate change adaptation activities and needs. Submitted for presentation and publication to the 92th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Disponível em <http://docs.trb.org/prp/13-4525.pdf>

Koch, J. e J. MacArthur, 2013. Assessing public transportation agencies' climate change adaptation activities and needs. Submitted for presentation and publication to the 92th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Disponível em <http://docs.trb.org/prp/13-4525.pdf>

Koetse, M.J. e P. Rietveld, 2007: Climate change, adverse weather conditions, and transport: a literature survey. Disponível em [http://ced.berkeley.edu/faculty/ratt/readings/ClimateChange\\_Sea\\_LevelRise-references/Koetse\\_Rietveld\\_2007.pdf](http://ced.berkeley.edu/faculty/ratt/readings/ClimateChange_Sea_LevelRise-references/Koetse_Rietveld_2007.pdf)

Koetse, M.J. e P. Rietveld, 2007: Climate change, adverse weather conditions, and transport: a literature survey. Disponível em [http://ced.berkeley.edu/faculty/ratt/readings/ClimateChange\\_Sea\\_LevelRise-references/Koetse\\_Rietveld\\_2007.pdf](http://ced.berkeley.edu/faculty/ratt/readings/ClimateChange_Sea_LevelRise-references/Koetse_Rietveld_2007.pdf)

Kopytko, N. e V Perkins, 2011: Climate change, nuclear power, and the adaptation-mitigation dilemma. *Energy Policy*, 39(1), 318-333.

Kundzewicz, Z.W. *et al.*, 2007: Freshwater resources and their management, pp. 173-210. In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [Parry, M.L. *et al.*, (Eds.)]. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Lehner, A.B. *et al.*, 2005: The impact of global change on the hydropower potential of Europe: a model-based analysis. *Energy Policy*, 33, 839-855.

Lemos, M. B. *et al.*, 2009: Perspectivas do investimento na dimensão regional. Relatório final do estudo transversal, integrante da pesquisa Perspectivas do Investimento no Brasil, Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro e Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas. Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 241 pp.

Lindquist, E., 2007: Climate change and adaptive strategies in sub-national transportation planning agencies in the United States. Prepared for presentation at the 2007 Amsterdam Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change, Amsterdam, Netherlands, Vrije Universiteit, May 24-26, 8 pp.

Lindquist, E., 2007: Climate Change and Adaptive Strategies in Sub-national Transportation Planning Agencies in the United States. Prepared for presentation at the 2007 Amsterdam Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change, Amsterdam, Netherlands, Vrije Universiteit, May 24-26, 8 pp.

- Lombardo, M.A., 1985: *Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*. São Paulo, SP: Editora Hucitec, 210 pp.
- Lucena, A.F.P. et al., 2009b: The vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil. *Energy Policy*, 37, 879-889.
- Lucena, A.F.P. et al., 2009a: Renewable energy in an unpredictable and changing climate. *Modern Energy Review*, 1, 22-25.
- Lucena, A.F.P. et al., 2010a: The vulnerability of wind power to climate change in Brazil. *Renewable Energy*, 35, 904-912.
- Lucena, A.F.P. et al., 2010b: Least-cost adaptation options for global climate change impacts on the Brazilian electric power system. *Global Environ. Change*, 20, 342-350.
- Lucena, A.F.P. et al., 2010c: Estudo de vulnerabilidade do sistema hidroelétrico brasileiro às mudanças climáticas. Relatório Técnico para a Segunda Comunicação Nacional para a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. GEF-PNUD/Brasil-MCT.
- Marcelino, E.V., 2008: Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos. Caderno Didático nº 1, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe)/ Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS), Santa Maria, RS: Inpe /CRS.
- Marengo, J.A. et al., 2010: An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: historical trends. *Climatic Change*, 98, 509-529.
- Marengo, J.A., 2007: Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Brasília, DF, 2007.
- Marengo, J.A., 2009: Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the precis regional climate modeling system. *International Journal of Climatology*, 15, 2241-2255.
- Marengo, J.A., 2009: Impactos de extremos relacionados com o tempo e o clima – Impactos sociais e econômicos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Ciências do Sistema Terrestre, São Paulo, Brasil. Boletim do Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas (GPMC), 8(Edição especial), 1-5.
- Margulis, S. et al., 2010: Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades / editado por Sergio Margulis e Carolina Burle Schmidt Dubeux; coordenação geral Jacques Marcovitch. – São Paulo: IBEP Gráfica, 2010. 82 p.
- Maricato, E., 2000: As ideias fora do lugar e o lugar fora das ideias. Planejamento urbano no Brasil, pp. 121-192. In: A cidade do pensamento único: desmanchando consensos [Arantes, O. et al. (Eds.)]. Petrópolis, RJ: Editora Vozes.
- Marques, E. (Coord.), 2007: Assentamentos precários no Brasil urbano. Centro de Estudos da Metrópole/Cebrap; Secretaria Nacional de Habitação (SNH) do Ministério das Cidades.
- Martelloni, G. et al., 2011: Rainfall thresholds for the forecasting of landslide occurrence at regional scale. *Landslides*, 9(4), 485-495.

- Martins, F.R. e E.B. Pereira, 2006: Parameterization of aerosols from burning biomass in the Brazil-SR radiative transfer model. *Solar Energy*, 80(3), 231-239, doi:10.1016/j.solener.2005.03.008.
- Martins, F.R. *et al.*, 2008: The influence of cloud cover index on the accuracy of solar irradiance model estimates. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 99(3-4), 169-180, doi:10.1007/s00703-007-0272-5.
- McVicar, T.R. *et al.*, 2008: Wind speed climatology and trends for Australia, 1975-2006: Capturing the stilling phenomenon and comparison surface reanalysis output. *Geophys. Res. Letters*, 35(20), doi:10.1029/2008GL035627.
- Mendonço, E.M., 2005: Flood risk management of urban waters in humid tropics: early-warning, protection and rehabilitation. In: *Workshop on Integrated Urban Water Management in Humid Tropics*, Unesco IHP-VI (Int. Hydrol. Program), 2-3 April, Foz de Iguaçu, Brazil, [C. Tucci e J. Goldenfum (Orgs.)].
- Meyer, M. D., 2008: Design Standards for U.S. Transportation Infrastructure: The Implications of Climate Change. Georgia Institute of Technology, Atlanta, 30 pp. Transportation Research Board of the National Academies, TRB Publications Index. Disponível em <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr/sr290Meyer.pdf> Acessado em 28/09/2010.
- Meyer, M.D., 2008: Design standards for US transportation infrastructure: the implications of climate change. Georgia Institute of Technology, Atlanta, 30 pp. Transportation Research Board of the National Academies, TRB Publications Index. Disponível em <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr/sr290Meyer.pdf> Acessado em 28/09/2010.
- Mideksa, T.K. e S. Kallbekken, 2010: The impact of climate change on the electricity market: a review. *Energy Policy*, 38(7), pp. 3579-3585.
- Milanez, B. e M.F.S. Porto, 2008: A ferro e fogo: impactos da siderurgia para o ambiente e a sociedade após a reestruturação dos anos 1990. IV Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade (Anppas). Brasília, DF, 4-6 de junho. Disponível em <http://anppas.org.br/encontro4/cd/ARQUIVOS/GT6-61-8-20080509163054.pdf>
- MME, 2010: Balanço Energético Nacional 2010, ano base 2009. Ministério de Minas e Energia (MME), Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Rio de Janeiro, RJ: EPE.
- MMS, 2006: Impact Assessment of Offshore Facilities from Hurricanes Katrina and Rita. Minerals Management Service (MMS), Bureau of Ocean Energy Management (BOEM) News Release.
- Moraes, G.I e J.B.S. Ferreira Filho, 2010: Impactos econômicos de cenários de mudança climática na agricultura brasileira. In: *Anais, 48º Congresso da Sober. Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (Sober)*, 48, Campo Grande, MS, 25 a 28 de julho. Disponível em <http://www.sober.org.br/palestra/15/381.pdf>
- Motta, D.M., 2004: As metrópoles e os desafios das políticas urbanas, pp.127-156. In *Metrópoles: entre a coesão e a fragmentação, a cooperação e o conflito* [Lago, L.C. *et al.* (Orgs.)]. São Paulo, SP: Editora Fundação Perseu Abramo, 432 pp.
- Motta, R.S. *et al.* (Orgs.), 2011: Mudança do clima no Brasil: aspectos sociais, econômicos e regulatórios. Instituto de Pesquisas Econômicas (IPEA) Brasília, DF. Disponível em [http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&id=10196](http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&id=10196)

- Muehe, D., 2010: Brazilian coastal vulnerability to climate change. *Pan-American Journal of Aquatic Science*, 5(2), 173-183.
- Nasa, 2004: The Nameless Hurricane. Disponível em [http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2004/02apr\\_hurricane](http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2004/02apr_hurricane).
- Nascimento, N. *et al.*, 2006: Long term uncertainties and potential risks to urban waters in Belo Horizonte. SWITCH Project. First SWITCH Scientific Meeting, University of Birmingham, UK, 9-10 Jan 2006. Disponível em [http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/CBEL\\_PAP\\_Uncertainties\\_and\\_risks\\_to\\_urban\\_waters\\_BH.pdf](http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/CBEL_PAP_Uncertainties_and_risks_to_urban_waters_BH.pdf). Acessado em outubro de 2011.
- Nascimento, N. *et al.*, 2008: Integrated urban water management in Belo Horizonte, Brazil. Semana Temática: Agua y ciudad. Expo-Zaragoza 2008. Zaragoza, España. Disponível em <http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/cajaAzul/9S2-P3-NiloNascimentoACC.pdf>
- Neves, C. e D. Muehe, 2008: Mudanças do clima e zonas costeiras brasileiras. In: *Mudança do clima no Brasil: vulnerabilidade, impactos e adaptação*. Parcerias Estratégicas, número 27, Brasília-DF.
- Nicholls, R.J. e R.S.J. Tol, 2006: Impacts and responses to sea-level rise: a global analysis of the SRES scenarios over the 21st Century. *Philos. T. Roy. Soc. A*, 364, 1073-1095.
- Nielsen, J.B. *et al.*, 2011: Decoupling of road runoff water as a tool to ensure climate adaptation and development of recreative areas. *Proceeding of the IWA-IAHR 12th International Conference on Urban Drainage*, Porto Alegre: Edições ABRH.
- NOAA, 2012: Storm Surge Overview. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Disponível em <http://www.nhc.noaa.gov/ssurge/>. Acessado em fevereiro de 2012.
- Nobre, C. *et al.*, 2007: Mudanças climáticas e Amazônia. *Ciência e Cultura (SBPC)*, 59, 22-27.
- Nobre, C.A. e A.F. Young (Eds.), 2011: Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas. Relatório Final. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe)/ Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), São Paulo, SP, Brasil, 178 pp. Disponível em [http://megacidades.ccst.inpe.br/arquivos/megacidades\\_web.pdf](http://megacidades.ccst.inpe.br/arquivos/megacidades_web.pdf).
- Nobre, C.A. e A.F. Young (Eds.), 2011: Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas. Relatório Final. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe)/ Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), São Paulo, SP, Brasil, 178 pp. Disponível em [http://megacidades.ccst.inpe.br/arquivos/megacidades\\_web.pdf](http://megacidades.ccst.inpe.br/arquivos/megacidades_web.pdf)
- Nobre, C.A. *et al.*, 2011a: Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana de São Paulo, Capítulo 13, pp. 233-258. In: *Mudança do clima no Brasil: aspectos sociais, econômicos e regulatórios* [Motta, R.S. *et al.* (Eds.)]. Brasília, DF: IPEA.
- Ohmura, A. e H. Lang, 1989: Secular variation of global radiation in Europe, pp. 298-301. In: *Current Problems in Atmospheric Radiation* [Lenoble, J. e Geleyn, J.-F. (Eds.)]. Hampton, VA, USA: Deepak Publ., 635 pp.
- Oke, T.R., 1987: *Boundary Layer Climates*. Second edition. New York, NY, USA: Routledge.
- Oliveira, L.M. *et al.*, 1999: Perfil da indústria de rochas calcárias. Programa de Desenvolvimento da Indústria Mineral Paranaense. Paraná Mineral, Curitiba, PR. Disponível em [http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/relatorios\\_concluidos/05\\_relatorios\\_concluidos.pdf](http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/relatorios_concluidos/05_relatorios_concluidos.pdf)

Oswald, M.R. e S. McNeil, 2013: Methodology for integrating adaptation to climate change into the transportation planning process. *Public Works Management & Policy* 18(2), 145-166. Disponível em <http://pwm.sagepub.com/content/18/2/145.full.pdf+html>

Oswald, M.R. e S. McNeil, 2013: Methodology for Integrating Adaptation to Climate Change into the Transportation Planning Process. *Public Works Management & Policy*, 18(2), 145-166. Disponível em <http://pwm.sagepub.com/content/18/2/145.full.pdf+html>

Pacheco, C.A., 1998: Fragmentação da nação – 30 anos de economia. Instituto de Economia da Universidade Estadual e Campinas (Unicamp). Fapesp.

Parker, D.S. e T.C. Stedman, 2005: Energy efficient transportation for Florida. Florida Solar Energy Center, University of Central Florida, Cocoa, FL, USA. Energy Note FSEC-EN-19. Disponível em <http://infohouse.p2ric.org/ref/12/11355.pdf>.

Pereira, E.B. *et al.*, 2006: *Atlas brasileiro de energia solar (Brazilian Atlas of Solar Energy)*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). São José dos Campos, SP: Inpe, 60 pp.

Pereira, E.B. *et al.*, 2012: The impacts of global climate changes on the wind power density in Brazil. *Renewable Energy*, 49(1-4), 107-110, doi:10.1016/j.renene.2012.01.053. Disponível em [http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/periodicos/RENE\\_4564.pdf](http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/periodicos/RENE_4564.pdf).

Peterson, T.C. *et al.*, 2006: Climate Variability and Change with Implications for Transportation, 90 pp. Transportation Research Board of the National Academies, TRB Publications Index. Disponível em <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr/sr290Many.pdf> Acessado em 28/09/2010.

Peterson, T.C. *et al.*, 2006: Climate Variability and Change with Implications for Transportation, 90 pp. Transportation Research Board of the National Academies, TRB Publications Index. Disponível em <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr/sr290Many.pdf> Acessado em: 28/09/2010.

Pinker R.T. *et al.*, 2005: Do satellites detect trends in surface solar radiation? *Science*, 308(5723), 850-854, doi:10.1126/science.1103159.

Pinto, H.S. e E. Assad (Coords.), 2008: Aquecimento global e cenários futuros da agricultura brasileira. Relatório de Pesquisa. Contrato FCO-GOF: PGL GCC 0214, Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura da Universidade Estadual de Campinas (Cepagri/Unicamp) e Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para a Agricultura da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CNPTIA/Embrapa), Campinas, SP.

Pinto, H.S. e E. Assad (Coords.), 2008: Aquecimento global e cenários futuros da agricultura brasileira. Relatório de Pesquisa. Contrato FCO-GOF: PGL GCC 0214, Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura da Universidade Estadual de Campinas (Cepagri-Unicamp) e Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para a Agricultura da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CNPTIA-Embrapa), Campinas, SP.

PMSP, 1999a: *Atlas ambiental da cidade de São Paulo*. Prefeitura do Município de São Paulo, Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente (SVMA) e Secretaria Municipal de Planejamento Urbano (Sempla). Revisado em 2000. Disponível em <http://atlasambiental.prefeitura.sp.gov.br/?id=1>.

PMSP, 1999b: Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo. [Ramos, C.L. *et al.* (Coords)]. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (CTH), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, SP. Disponível em [http://www.usp.br/fau/docentes/dep-tecnologia/r\\_toledo/3textos/07drenag/dren-sp.pdf](http://www.usp.br/fau/docentes/dep-tecnologia/r_toledo/3textos/07drenag/dren-sp.pdf).

- Porto Alegre, 2005: Cadernos de encargos. Prefeitura Municipal, Departamento de Esgotos Pluviais (CE-DEP).
- Pryor, S.C. e R.J. Barthelmie, 2010: Climate change impacts on wind energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 430-437.
- Pryor, S.C. et al., 2009: Wind speed trends over the contiguous United States. *J. Geophys. Res.*, 114(D14), doi:10.1029/2008JD011416
- Queiroz, B. e A. Barbieri, 2009: Os potenciais efeitos das mudanças climáticas sobre as condições de vida e a dinâmica populacional no Nordeste Brasileiro. In: *População e mudança climática: Dimensões humanas das mudanças ambientais globais* [Hogan, D.J. e E. Marandola Jr. (Orgs.)]. Núcleo de Estudos de População da Universidade Estadual de Campinas (Nepo/Unicamp) / United Nations Population Fund (UNFPA). Campinas, SP / Brasília, DF.
- Reichenbach, P. e A. Günther, 2010: Methods and strategies to evaluate landslide hazard and risk. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 2197-2198, doi:10.5194/nhess-10-2197-2010.
- Reilly, J. et al., 2003: US agriculture and climate change: new results. *Climatic Change*, 57, 43-69.
- Repetto, R., 2008: The climate crisis and the adaptation myth. Yale School of Forestry & Environmental Studies, Working Paper Number 13, New Haven, Connecticut, USA, 24 pp. Disponível em <http://www.yale.edu/environment/publications>. Acessado em 26/09/2010.
- Repetto, R., 2008: The Climate Crisis and the Adaptation Myth. Yale School of Forestry & Environmental Studies, Working Paper Number 13, New Haven, Connecticut, USA, 24 pp. Disponível em <http://www.yale.edu/environment/publications>. Acessado em 26/09/2010.
- Ribeiro, W.C., 2008: Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil. *Parcerias Estratégicas*, 27, 297-321.
- Richardson, A.J., 2000: Seasonal and weather impacts on urban cycling trips. TUTI Report 1-2000, The Urban Transport Institute, Victoria, Australia.
- Richardson, A.J., 2000: Seasonal and Weather Impacts on Urban Cycling Trips. TUTI Report 1-2000, The Urban Transport Institute, Victoria, Australia.
- Righetto, A. (Org.), 2009: *Manejo de águas pluviais urbanas*, vol. 4. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (Abes)/ Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (Prosab). Rio de Janeiro, RJ: Editora Abes/ Prosab.
- Rosenzweig, C. e M.L. Parry, 1994: Potential impact of climate change on world food supply. *Nature*, 367, 133-138, doi:10.1038/367133a0.
- Rosenzweig, C. et al., 2011: Responding to Climate Change in New York State: The ClimAID Integrated Assessment for Effective Climate Change Adaptation in New York State, Final Report. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1244, 2-649, doi:10.1111/j.1749-6632.2011.06331.x.
- Ross, J. L., 2004: Águas pluviais urbanas. In: *Geografia de São Paulo 2. A metrópole do séc. XXI*. [Carlos, F. e A.U. Oliveira (Orgs.)]. São Paulo, SP: Editora Contexto.
- Roujol, S. e R. Jounard, 2009: Influence of passenger car auxiliaries on pollutant emission factors within the Artemis model. *Atmospheric Environment*, 43(5), 1008-1014.

- Russak, V., 1990: Trends of solar radiation, cloudiness and atmospheric transparency during recent decades in Estonia. *Tellus B*, 42(2), 206-210, doi:10.1034/j.1600-0889.1990.t01-1-00006.x.
- Salati, E. *et al.*, 2007: Tendências de variações climáticas para o Brasil no século XX e balanços hídricos para cenários climáticos para o século XXI. Relatório no4, Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS)/ Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq/USP), Rio de Janeiro, RJ/ São Paulo, SP.
- Salati, E. *et al.*, 2009: Estimativas da oferta de recursos hídricos no Brasil em cenários futuros de clima (2015-2100). Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS).
- Schaeffer, R. *et al.*, 2008: Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil. Technical Report, PPE/COPPE/UFRJ. Nova Brasileira, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro. 67 pp. Disponível em [http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/CLIMA\\_E\\_SEGURANCA-ENERGETICA\\_FINAL.pdf](http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/CLIMA_E_SEGURANCA-ENERGETICA_FINAL.pdf)
- Schaeffer, R. *et al.*, 2010. Economia das mudanças climáticas no Brasil: segurança energética. Relatório técnico, PPE/COPPE/UFRJ.
- Schaeffer, R. *et al.*, 2012: Energy sector vulnerability to climate change: a review. *Energy*, 38(1), 1-12.
- Scott, M.J. e Y.J. Huang, 2007: Effects of climate change on energy use in the United States, Chapter 2, pp.2-19. In *Effects of Climate Change on Energy Production and Use in the United States*. [Thomas J.W. *et al.* (Eds.)]. A Report by the U.S. Climate Change Science Program (CCPS) and the Subcommittee on Global Change Research. Expert Peer Review Draft, Washington, DC. Disponível em [http://web.ornl.gov/sci/sap\\_4.5/energy\\_impacts/sap4.5draft.pdf](http://web.ornl.gov/sci/sap_4.5/energy_impacts/sap4.5draft.pdf).
- Siekman, T. e K. Müller, 2011: Adaptive potential of the stormwater management in urban areas faced by climate change. *Proceeding of the IWA-IAHR 12th International Conference on Urban Drainage*, Porto Alegre: Edições ABRH.
- Silva Dias, M.A.F., 2011: An increase in the number of tornado reports in Brazil. *Weather, Climate and Society*, 3, 209-217.
- Silva, G.L., 2005: *Redução de corante em efluente de processo de tingimento de lavanderias industriais por adsorção em argila*. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas, SP, 120 pp.
- Silva, J.M.C. *et al.*, 2008: Impactos ambientais da exploração e produção de petróleo na Bacia de Campos, RJ. IV Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade (Anppas). Brasília, DF, 4-6 de junho.
- Siqueira, O.J.W. *et al.*, 2001: Efeitos potenciais das mudanças climáticas na agricultura brasileira e estratégias adaptativas para algumas culturas, Capítulo 2, pp. 33-63. In: *Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 397 pp.
- SooHoo, W. K. e M. Sumitani, 2005: Climate Change will Impact the Seattle Department of Transportation. Office of City Auditor, Susan Cohen, City Auditor, Seattle, Climate Impacts Group, University of Washington, Seattle, Washington, USA, 49 pp. Disponível em <http://www.tuti.com.au/2000veloschweiz.pdf> Acessado em 26/09/2010.

SooHoo, W.K. e M. Sumitani, 2005: Climate change will impact the Seattle Department of Transportation. Office of City Auditor, Susan Cohen, City Auditor, Seattle, Climate Impacts Group, University of Washington, Seattle, Washington, USA, 49 pp. Disponível em <http://www.tuti.com.au/2000veloschweiz.pdf>. Acessado em 26/09/2010.

Spirn, A., 1995: *O jardim de granito: a natureza no desenho da cidade*. São Paulo, SP: Edusp, 360 pp.  
Stott, P.A. et al., 2004: Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature*, 432, 610-614, doi:10.1038/nature03089.

Szklo, A.S. et al, 2005. *Fundamentos do refino de petróleo. Tecnologia e economia*. Rio de Janeiro, RJ: Editora Interciência, 344 pp.

Takeda, M., 2011: Mental healthcare and East Japan Great Earthquake. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 65, 207-212.

Tatham, P. et al., 2012: Cyclone preparedness and response: an analysis of lessons identified using an adapted military planning framework. *Disasters*, 36(1), 54-82.

Tebaldi, C. et al., 2006: Going to extremes. An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. *Climatic Change*, 79: 185-211, doi:10.1007/s10584-006-9051-4.

Thomas, B.R. et al., 2008: Trends in ship wind speeds adjusted for observation method and height. *Int. J. Climatol.*, 28(6), 747-763, doi:10.1002/joc.1570.

Thomas, P. et al., 2009: Long-term wind speed trends in Northwestern Europe. *EWEC 2009 Proceedings*. European Wind Energy Conference and Exhibition (EWEC), Marseille, France, 16-19 March, 5 pp.

Tolmasquim, M. et al. 2003: *Mercado de gás natural na indústria química e no setor hospitalar brasileiro*. Rio de Janeiro, RJ: Edições Cenergia.

Tominaga, L.K. et al., 2009: *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. Instituto Geológico, Secretaria de Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo. São Paulo, SP: Instituto Geológico, 197 pp. Disponível em <http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/livros/DesastresNaturais.pdf>

Travassos, L., 2010: *Revelando os rios. Novos paradigmas para a intervenção em fundos de vale urbanos na cidade de São Paulo*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental da Universidade de São Paulo (Procam/USP), São Paulo, SP.

TRB, 2008: The potential impacts of climate change on US transportation. National Research Council of the National Academies. Transportation Research Board (TRB) Special Report 290, 280 pp.

TRB, 2008: The Potential Impacts of Climate Change on US Transportation. National Research Council of the National Academies. Transportation Research Board (TRB) Special Report 290, 280 pp.

TRL, 2011: *Resilient Mobility: Creating an Adaptive Future for Transport*. UK, 1 p. Transport Research Laboratory (TRL).

TRL, 2011: *Resilient Mobility: Creating an Adaptive Future for Transport*. UK, 1 p. Transport Research Laboratory (TRL), Disponível em [http://www.trl.co.uk/transport\\_consultancy/climate\\_change\\_in\\_the\\_transport\\_sector/resilient\\_mobility](http://www.trl.co.uk/transport_consultancy/climate_change_in_the_transport_sector/resilient_mobility) Acessado em 26/07/2010.

Tucci, C.e D.M. Marques, (Orgs.), 2001: *Avaliação e controle da drenagem urbana*, vol. 2, Porto Alegre: Edições ABRH.



Unctad, 2009: Multi-year expert meeting on transport and trade facilitation: maritime transport and the climate change challenge. Summary of Proceedings. *United Nations Conference on Trade and Development (Unctad)*, Geneva, 16-18 February, pp.1-47.

UNFPA - *United Nations Population Fund*, 2007: The State of World Population. Unleashing the Potential of Urban Growth. (UNFPA). New York, (NY), USA. Disponível em [http://www.unfpa.org/public/cache/bypass/home/publications/search\\_pubs](http://www.unfpa.org/public/cache/bypass/home/publications/search_pubs).

*United Nations*, 2008: Nations Expert Group Meeting on Population Distribution, Urbanization (UN/POP/EGM-URB), Internal Migration and Development, Economical and Social Affairs. 21-23 January, New York, NY, USA.

US DOT Center, 2002: The Potential Impacts of Climate Change on Transportation. Workshop Summary, pp. 3-28. US Department of Transport (DOT) Center for Climate Change and Environmental Forecasting, Federal Research Partnership Workshop, Summary and Discussion Papers, October 1-2, USA.

US DOT Center, 2002: The Potential Impacts of Climate Change on Transportation. Workshop Summary, pp. 3-28. US Department of Transport (DOT) Center for Climate Change and Environmental Forecasting, Federal Research Partnership Workshop, Summary and Discussion Papers, October 1-2, USA.

Valverde, M. e J.A. Marengo, 2010: Mudanças na circulação atmosférica sobre a América do Sul para cenários futuros de clima projetados pelos modelos globais IPCC AR-4. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25(1), 125-145.

Veissid, N. e E.B. Pereira, 2000: Estimativa do albedo planetário empregando dados do Experimento Célula Solar do satélite brasileiro SCD2. *Brazilian Journal of Geophysics*, 18(1), 25-38.

Veissid, N., 2002: Variabilidade climática caracterizada pelo desvio padrão do albedo planetário. Anais no 2142-1, CD-ROM. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia: A Meteorologia e a Gestão de Energia, Foz do Iguaçu, PR, 4-9 de agosto.

Vicuña, S. *et al.*, 2006: Climate change impacts on high elevation hydropower generation in California's Sierra Nevada: A case study in the Upper American River. California Climate Change Center, California Energy Commission, CEC-500-2005-199-SF.

Vincent, L.A. *et al.*, 2005: Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *Journal of Climate*, 18, 5011-5023.

Wilbanks, T.J. *et al.*, 2007: Introduction, pp.2-6. In: *Effects of Climate Change on Energy Production and Use in the United States* [Thomas J.W. *et al.* (Eds.)]. A Report by the U.S. Climate Change Science Program (CCPS) and the Subcommittee on Global Change Research. Expert Peer Review Draft, Washington, DC. Disponível em [http://web.ornl.gov/sci/sap\\_4.5/energy\\_impacts/sap4.5draft.pdf](http://web.ornl.gov/sci/sap_4.5/energy_impacts/sap4.5draft.pdf).

Wild, M. *et al.*, 2007: Impact of global dimming and brightening on global warming. *Geophysical Research Letters*, 34(4), doi:10.1029/2006GL028031.

World Bank, 2010: Brasil: país de baixo carbono. Programa de Apoio à Gestão do Setor Energético. Estudos de Baixo Carbono para Países. Mitigação da Mudança Climática por Meio do Desenvolvimento. Nota Informativa 005/1, 30 pp. Disponível em: [http://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/2011000172BRAbra001\\_LowRes.pdf](http://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/2011000172BRAbra001_LowRes.pdf)

Xiaopei, Y. *et al.*, 2006: Urbanization research in China: many opportunities and challenges. IHDP Update. International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change (IHDP), Bonn, Germany.

Ye, J., et al., 2009: Solar dimming and its impact on estimating solar radiation from diurnal temperature range in China, 1961-2007. *Theor.Appl. Climatol.*, 101, 137-142, doi:10.1007/s00704-009-0213-y.

Yevdokimov, Y. 2010: Climate change and transportation, pp. 427-438. In: *Climate Change and Variability*, [Simard, S. (Ed.)], Sciyo Publisher. Disponível em <http://www.intechopen.com/books/climate-change-and-variability>.

Yevdokimov, Y. 2010: Climate Change and Transportation, pp. 427-438. In: *Climate Change and Variability*, [Simard, S. (Ed.)], Sciyo Publisher. Disponível em <http://www.intechopen.com/books/climate-change-and-variability>

Yohe, G.W. e M.E. Schlesinger, 1998: Sea-level change: the expected economic cost of protection or abandonment in the United States. *Climatic Change*, 38, 447-472.

Zimmerman, R. e C. Faris, 2010: Infrastructure impacts and adaptation challenges, Chapter 4. In: Volume 1196, *Climate Change Adaptation in New York City: Building a Risk Management Response*. New York City Panel on Climate Change 2010 Report, pages 63-86. Disponível em <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nyas.2010.1196.issue-1/issuetoc>.