

Estudo Técnico

Adaptação às Mudanças Climáticas na Mobilidade Urbana

Março de 2017

Ficha Técnica

Ministério das Cidades

Coordenação:

Fernando Araldi

Conteúdo:

Diogo Victor Santos

Fernando Araldi

Nina Aureliano Apparicio da Silva

Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP Brasil)

Coordenação:

Clarisse Cunha Linke

Conteúdo:

Daniel Oberling

Revisão:

Ana Nassar

Bernardo Serra

Gabriel Tenenbaum de Oliveira

Iuri Moura

Thais Lima

INPE

Coordenação: Dra. Sin Chan Chou

Elaboração dos mapas: Diego Chagas

Apoio



Embaixada Britânica
Brasília

Sumário

I.	Introdução.....	4
II.	Contexto	7
II.1.	Panorama brasileiro no combate setorial às mudanças climáticas	8
II.2.	Panorama brasileiro no enfrentamento do déficit de mobilidade urbana	11
II.3.	Desafios e barreiras à efetividade de planos de adaptação na mobilidade urbana.....	12
II.4.	Benefícios de um Plano de Adaptação e Indicadores	13
III.	Metodologia do Estudo	16
III.1.	Etapas.....	16
III.2.	Conceitos Fundamentais.....	16
IV.	Vulnerabilidade na Mobilidade Urbana.....	19
IV.1.	Dimensão do Desenvolvimento Urbano	21
IV.2.	Dimensão dos Sistemas de Mobilidade.....	24
IV.3.	Dimensão Social	28
IV.4.	Dimensão Econômica	29
V.	Impactos Potenciais na Mobilidade Urbana	30
VI.	Cenários Climáticos Futuros	43
VI.1.	Metodologia	43
VI.1.1.	Modelos Climáticos	43
VI.1.2.	Indicadores Climáticos	45
VI.2.	Resultados	49
VI.2.1.	Temperatura.....	50
VI.2.2.	Precipitação.....	60
VI.2.3.	Nível do Mar	70
VI.3.	Principais apontamentos	73
VII.	Referências Bibliográficas.....	75

I. Introdução

O último relatório de avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC AR5) afirma que o aquecimento do clima global é inequívoco, com mudanças observadas desde os anos 1950 sem precedentes no último milênio. Cada uma das três últimas décadas tem apresentado sucessivamente as temperaturas de superfície mais quentes que as décadas precedentes desde 1850. O aumento da temperatura média global foi de 0,85 °C no período de 1880 a 2012. Além disso, foram observadas mudanças nos eventos climáticos extremos a partir de 1950. As análises indicam grande possibilidade do planeta estar experimentando aumento da frequência de ondas de calor em partes da Europa, Ásia e Austrália e de que haja mais regiões com aumento de chuvas fortes (IPCC, 2013). Essas mudanças observadas no clima e as alterações futuras projetadas podem elevar o risco à vida humana, de outras espécies e ao colapso das infraestruturas.

O Grupo de Trabalho II do IPCC identificou um número chave de riscos ou “*interfaces humanas perigosas com o sistema climático*”. Incluem os riscos de marés meteorológicas potencializados por tempestades e elevação do nível dos oceanos, inundações interiores e risco sistemático de ruptura de redes de infraestrutura e serviços críticos por conta de eventos climáticos extremos (IPCC, 2014). Alguns desses efeitos já estão sendo experimentados por diversos setores e países pelo mundo. Este ano, por exemplo, o Instituto de Engenheiros Cívicos do Reino Unido afirmou que a infraestrutura da Grã-Bretanha está começando a ter dificuldades para lidar com eventos extremos cada vez mais frequentes. Advertiu que a sociedade deve estar preparada para esperar mais falhas no futuro na medida em que a mudança climática vai tornar cada vez mais difícil manter níveis de segurança das redes de energia e transporte em qualquer condição meteorológica (IPCC, 2014).

A América Latina tem passado por mudanças climáticas nas últimas décadas. Foi observado um aumento na temperatura entre 0,5 e 3,0 °C entre 1901 e 2012 no Sul do continente América do Sul, com incrementos mais significativos na região tropical (MARENGO, J. *et al.*, 2014). Também houve aumento gradual das precipitações no Sudeste e Nordeste da América do Sul, assim como no Nordeste do Brasil e Noroeste da costa do Peru e do Equador. Em termos de eventos extremos, VICENT *et al.* (2005 apud MARENGO *et al.*, 2014) encontrou significativo aumento de noites mais quentes no período de 1960-2000, principalmente nas costas leste e oeste da América do Sul. DONAT *et al.* (2013 apud MARENGO *et al.*, 2014) indicam uma frequência maior de chuvas extremas no Sudeste da América do Sul, e em particular na costa norte do Peru, Equador e Colômbia.

No território brasileiro, mudanças nos parâmetros do clima, anomalias e extremos climáticos podem ser percebidos em diversos eventos atípicos no que tange à intensidade, frequência, magnitude e abrangência espacial (TORRES; MARENGO, 2014). Nos últimos 50 anos, o Brasil apresentou um aumento médio de 0,7 °C, sendo mais significativo no inverno, quando é maior que 1 °C (MARENGO; OBREGON, 2007). Comparações entre as diferentes regiões do país indicam diminuição na quantidade de ondas de frio e aumento das temperaturas médias anuais mínimas e máximas no Sul, inclusive no inverno, em particular no Paraná. Da mesma forma, na Região Amazônica, foram registradas temperaturas médias mais altas em períodos diurnos e noturnos (MARENGO; ROGERS, 2000).

Com relação às precipitações, observam-se sinais de aumento gradual das médias históricas no Sudeste (MARENGO *et al.*, 2014). Dados analisados entre 1950 e 2005 indicam que as chuvas

têm se tornado cada vez mais intensas nas regiões Sudeste e Sul do Brasil, apesar do total anual de precipitação não ter sofrido modificação perceptível (MARENGO *et al.*, 2010; TEIXEIRA, 2004). Da mesma forma, tendências positivas na chuva máxima acumulada em cinco dias têm sido observadas nas latitudes acima de 20 S durante as estações da primavera, verão e outono (MARENGO *et al.*, 2007). Por outro lado, não foram encontradas mudanças significativas na Bacia Amazônica, considerando dados desde a década de 20 (MARENGO, 2004; SATYAMURTY *et al.*, 2010). Segundo o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, parte das alterações detectadas podem ser explicadas em função do atual aquecimento global (PBMC, 2014a).

As tragédias em decorrência de eventos climáticos das últimas décadas indicam vulnerabilidades na infraestrutura urbana, afetando as atividades urbanas cotidianas. O ano de 2009 apresentou recorde de alagamentos em São Paulo, com 1.422 ocorrências em 111 dias. Somente no dia 8 de dezembro de 2009, ocorreram 124 eventos (NOBRE; YOUNG, 2011). Um ano antes, em Santa Catarina, uma grande enxurrada impactou fortemente o Vale do Itajaí, deixando 80 mil pessoas desabrigadas.

Eventos climáticos extremos afetam diretamente a mobilidade urbana, agindo como fatores de pressão na infraestrutura e sistemas de transporte em operação e no comportamento da população. Por exemplo, durante o mês de maio de 2015, a cidade de Salvador enfrentou níveis de chuva que não eram vistos desde 1989, quando o acumulado no mês registrou 662,7 mm¹. Nesse período, a cidade teve seis dias com chuvas diárias acima de 50 mm/dia, com pico de 105 mm no dia 20 de maio, segundo dados da estação do INMET². Os eventos comprometeram o funcionamento do sistema de transporte marítimo entre Salvador e o terminal de Mar Grande, que foi interrompido durante os dias de chuva forte. Com o transbordamento de rios e alagamento de diversas vias, o sistema de transporte rodoviário também foi interrompido. O deslocamento a pé foi impactado em bairros que tiveram as calçadas comprometidas por desabamentos, transbordamento de esgoto e falta de luz³.

Outro exemplo do impacto das chuvas extremas nos transportes ocorreu em janeiro de 2011, no Estado de Santa Catarina. No dia 19 de janeiro, a estação meteorológica de Urussanga (INMET), no litoral sul registrou 136 mm/dia e três dias depois 118 mm/dia. No dia 22 de janeiro de 2011, Florianópolis registrou 144 mm/dia. Mais de 26 mil pessoas tiveram que deixar suas casas em todo o estado. De acordo com a Defesa Civil, 24.124 pessoas foram desalojadas e outras 1.926 desabrigadas. Rodovias federais foram afetadas pela queda de barreiras e alagamentos. Os prejuízos nas duas regiões foram estimados em 413 milhões de reais e os sistemas de transporte foram diretamente afetados pelos bloqueios viários provocados pelas inundações e alagamentos, o que dificultou muito o deslocamento para atendimento de emergência dentro das cidades e entre cidades próximas⁴.

As alterações climáticas projetadas para o território brasileiro, tais como aumento das médias de temperatura e precipitação e a intensificação no número de eventos extremos impactam também a implementação efetiva da Política Nacional de Mobilidade Urbana, influenciando o planejamento e o investimento de curto, médio e longo prazo. Estes impactos referem-se a

¹ <http://www.climatempo.com.br/noticias/312625/volume-passa-de-600mm-em-salvador/>

² <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>

³ <http://atarde.uol.com.br/bahia/salvador/noticias/1251198-chuva-compromete-funcionamento-do-sistema-de-transporte-maritimo>
<http://g1.globo.com/bahia/noticia/2015/04/motoristas-e-pedestres-enfrentam-caos-por-cao-da-chuva-em-salvador.html>

⁴ <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>
<http://g1.globo.com/brasil/noticia/2011/01/chuva-em-sc-cao-prejuizo-de-r-413-milhoes-diz-governo.html>
<http://g1.globo.com/brasil/noticia/2011/01/sobe-para-70-numero-de-cidades-em-emergencia-pela-chuva-em-sc.html>

danos, interrupções ou redução do desempenho nos modos de deslocamento, podendo interferir direta ou indiretamente no padrão de comportamento da população e na distribuição de insumos e serviços em uma cidade, além de diminuir a segurança viária.

Garantir sistemas de mobilidade urbana confiáveis e acessíveis é estratégico para o Estado brasileiro. Os Planos Municipais de Mobilidade Urbana, exigidos por lei para todas as cidades com mais de 20.000 habitantes, podem ter sua efetividade comprometida caso não internalizem estratégias para enfrentar as ameaças climáticas. Da mesma forma, os Planos de Desenvolvimento Urbano Integrado, instituídos pelo Estatuto da Metrópole, de janeiro de 2015, podem ter suas diretrizes para o desenvolvimento urbano ameaçadas. Vale destacar que, segundo o art. 12, § 1º, parágrafo V, os Planos de Desenvolvimento Urbano Integrado têm como conteúdo mínimo *“a delimitação das áreas com restrições à urbanização visando à proteção do patrimônio ambiental ou cultural, bem como das áreas sujeitas a controle especial pelo risco de desastres naturais, se existirem”*.

Desde 2007, o Governo Federal investe na expansão das redes de transporte coletivo e privado nas cidades brasileiras, principalmente por meio do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). No entanto, como são investimentos em infraestrutura com longo prazo de maturação e vida útil, não considerar alterações na dinâmica climática futura poderá resultar em sistemas mais vulneráveis, comprometendo os níveis de serviços para os quais foram planejados. Os custos de operação e manutenção das atividades tendem a ser mais altos por conta de mais rupturas temporárias, o que em alguns casos pode comprometer o desempenho econômico, social e ambiental dos sistemas. Além disso, as interrupções da operação em decorrência de eventos extremos, mesmo que temporárias, geram um alto custo social e econômico para toda a sociedade.

Não há uma solução imediata para tornar nossos sistemas de transportes mais resilientes e adaptados ao clima futuro. Não é possível fazer com que os sistemas de transportes urbanos sejam totalmente adaptados, já que o custo seria muito alto frente o benefício de infraestruturas totalmente resilientes. No entanto, é possível minimizar os impactos climáticos nos sistemas por meio de estratégias para reduzir as vulnerabilidades identificadas. Acreditamos que o esforço de conceituação, análise de projeções futuras, mapeamento de boas práticas utilizadas no Brasil e em outras cidades do mundo, seja um primeiro passo fundamental. Assim, planejadores e operadores de sistemas de mobilidade urbana poderão se engajar em um aprendizado contínuo, que resulte em um círculo virtuoso para a adaptação das cidades às mudanças climáticas.

Por fim, sistemas de mobilidade urbana mais resilientes são parte fundamental do conjunto de estratégias que promovem a transição das cidades brasileiras para economias mais sustentáveis, equitativas e de baixo carbono. As externalidades negativas de sistemas adaptados para as mudanças climáticas tendem a ser menores, aumentando os benefícios sociais, econômicos e ambientais para toda a população.

A revisão do Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSTM), lançado em junho de 2013 e restrito às políticas de mitigação de gases de efeito estufa, é uma oportunidade para entender os desafios e propor soluções para adaptação à mudança do clima na mobilidade urbana. É, portanto, um importante instrumento para promover a harmonização em nível federal dos planos, políticas e financiamentos voltados à mobilidade urbana com um planejamento que incorpore ações para a adaptação e resiliência.

II. Contexto

Diante dos possíveis impactos sociais, econômicos e ambientais causados pela mudança do clima, os temas da mitigação e da adaptação têm ganhado destaque na discussão das políticas públicas nacionais e internacionais. Esse processo vem se fortalecendo, principalmente, a partir da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC), assinada em 1992 e em vigor desde 1994, criada no âmbito da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD). O objetivo principal da Convenção foi estabilizar as concentrações atmosféricas de GEE em um nível que impeça a interferência antrópica perigosa no sistema climático. Para tanto, foram estabelecidos compromissos e obrigações com todos os países, Partes da Convenção, considerando as responsabilidades comuns, porém diferenciadas, de acordo com as características de desenvolvimento das Partes.

A Convenção, juntamente ao Protocolo de Quioto, assinado em 1997 e em vigor desde 2005, constituíam os principais instrumentos do Regime Internacional de Mudança Climática, criado com o objetivo de tratar o tema de forma interdependente e cooperativa entre os diversos países. A este contexto internacional, somou-se a atuação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), órgão científico vinculado às Nações Unidas e criado em 1988, que busca analisar, compilar e divulgar pesquisas científicas mundiais a respeito das mudanças climáticas, alertando quanto às suas causas, efeitos e riscos, e sugerindo medidas de enfrentamento dos problemas apontados.

Após 23 anos de negociações, durante a Vigésima Primeira sessão da Conferência das Partes, foi constituído o Acordo de Paris que, pela primeira vez, envolveu os 192 países que fazem parte da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas. Guiado pelos objetivos da Convenção e mantendo o princípio da igualdade e responsabilidades comuns, porém diferenciadas, o Acordo reconhece a necessidade de uma resposta *“eficaz e progressiva à ameaça urgente da mudança climática”*. Destaca que *“a mudança climática é uma preocupação comum da humanidade e as Partes deverão, ao tomar medidas para combater as mudanças climáticas, respeitar, promover e considerar as suas respectivas obrigações em matéria de direitos humanos, direito à saúde, direitos dos povos indígenas, comunidades locais, migrantes, crianças, pessoas com deficiência e pessoas em situação de vulnerabilidade e o direito ao desenvolvimento, bem como a igualdade de gênero, empoderamento das mulheres e a igualdade intergeracional”*. Ele pretende fortalecer a resposta global às mudanças climáticas. Dentre os principais marcos, estabelece que todas as Partes devem realizar *“esforços ambiciosos”* com vistas a (Art. 2): (a) manter o aumento da temperatura média do planeta bem abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais e envidar esforços para limitar o aumento a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais; (b) aumentar a capacidade de se adaptar aos impactos das mudanças climáticas (fomentando a resiliência climática) e o desenvolvimento com baixa intensidade de emissões de gases de efeitos estufa, tudo de modo que não comprometa a produção de alimentos; e (c) manter fluxos financeiros coerentes com a estratégia de diminuição das emissões de gases de efeito estufa e a resiliência ao clima. Fica estabelecido que os países (as Partes) objetivam atingir o pico de emissões de gases de efeito estufa o mais breve possível de modo a alcançar o equilíbrio entre as emissões antrópicas e as remoções na segunda metade desse século, reconhecendo a maior dificuldade dos países em desenvolvimento.

Para atingir esses objetivos, os países apresentaram suas Contribuições Nacionalmente Determinadas Pretendidas (INDC – *Intended Nationally Determined Contributions*), ou seja, suas propostas de redução de emissões, cujo somatório garantiria que os objetivos declarados na convenção pudessem ser atingidos. Cada país deve comunicar sua nova INDC a cada 5 anos,

sendo cada nova contribuição representará uma “*progressão para além da então contribuição vigente*” (Art 4, parágrafo 3) (UNFCCC, 2015).

O Brasil, ao ratificar o Acordo em 2016, transformou sua INDC em NDC, de forma que o eram intenções passaram a representar compromissos. Pelo documento, o Brasil se compromete a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025, e em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030. Isso significa uma redução de “*66% em termos de emissões de gases efeito de estufa por unidade do PIB (intensidade de emissões) em 2025 e em 75% em termos de intensidade de emissões em 2030, ambas em relação a 2005*” (BRASIL, 2015).

Em relação à Adaptação, o Acordo de Paris reconhece que adaptar às mudanças climáticas é um desafio global e com dimensões locais, subnacionais, nacionais, regionais e internacionais. É um componente estratégico da resposta a longo prazo. O Acordo de Paris estabelece como um objetivo global aumentar a capacidade adaptativa, reduzir as vulnerabilidades e fortalecer a resiliência às mudanças climáticas, não ignorando a contribuição dessas estratégias para o desenvolvimento sustentável e que essas não devem deixar de colaborar com o objetivo de manter a temperatura média global para abaixo de 2°C acima do período pré-industrial. Em seu Artigo 7, parágrafo 5 “*as Partes reconhecem que ações de adaptação devem seguir uma abordagem orientada em nível nacional, sensível a gênero, participativa e plenamente transparente, levando em consideração os grupos vulneráveis, comunidades e ecossistemas, e deve basear-se e ser guiada pela melhor ciência disponível e, conforme apropriado, pelo conhecimento tradicional, pelo conhecimento dos povos indígenas e pelos sistemas de conhecimento local, tendo em vista a integração da adaptação nas políticas e ações socioeconômicas e ambientais relevantes, conforme apropriado*” (UNFCCC, 2015). O Acordo de Paris reconhece a necessidade de cooperação internacional para ajudar países em desenvolvimento, particularmente os mais vulneráveis, no desenvolvimento de estratégias de Adaptação. Além disso, ressalta a importância do Quadro de Adaptação de Cancun, mostrando a importância de: (a) compartilhar informações sobre boas práticas e lições aprendidas; (b) reforçar o arranjo institucional para apoiar do desenvolvimento do conhecimento e a prestação de apoio técnico no âmbito da Convenção; (c) reforçar as pesquisas científicas em torno do clima e sistemas de alerta precoces para a tomada de decisão; (d) aumentar a pesquisa sobre a eficácia e durabilidade das ações de adaptação (UNFCCC, 2015).

E assim, da mesma forma, a NDC brasileira contempla ações em adaptação, fazendo referência ao Plano Nacional de Adaptação (PNA), o qual foi publicado ainda em 2016, e que contém diretrizes específicas para a adaptação na mobilidade urbana.

II.1. Panorama brasileiro no combate setorial às mudanças climáticas

Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC)

Em alinhamento ao cenário internacional, e como forma de reforçar o compromisso voluntário assumido pelo Brasil de redução de emissões de GEE até o ano de 2030, foi elaborado, durante o ano de 2008, o Plano Nacional sobre Mudança do Clima, como resultado das atividades coordenadas pelo Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM) e pelo Grupo Executivo (GEx) a ele vinculado, os quais foram instituídos pelo Decreto nº 6.263, de 21 de novembro de 2007. Também nesse sentido, foi instituída, por meio da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), cuja elaboração, implementação, monitoramento e avaliação são de responsabilidade do GEx, sob a orientação do CIM, conforme estabelecido no Decreto nº 6.263/2007.

A criação da PNMC representa um marco legal para a regulação das ações de mitigação e adaptação no país, definindo princípios, diretrizes e instrumentos para o enfrentamento dos efeitos adversos das mudanças climáticas, presentes e futuras, em âmbito nacional e com a cooperação e o alinhamento dos esforços dos diferentes setores e esferas de governo da Federação. A Política ainda estabelece a cooperação internacional para a pesquisa científica e a implementação de ações de mitigação e adaptação em escala global, além de instituir instrumentos para a sua efetivação, tais como o Plano Nacional sobre Mudança do Clima; o desenvolvimento de linhas de pesquisa por agências de fomento; bem como as dotações específicas no orçamento da União para ações em mudança do clima.

Instituído em 2008, o Plano Nacional de Mudanças Climáticas, enquanto instrumento da PNMC, é um documento que define ações e medidas para lidar com os efeitos da mudança do clima, a partir de quatro eixos principais: oportunidades de mitigação; impactos, vulnerabilidades e adaptação; pesquisa e desenvolvimento; e educação, capacitação e comunicação. Dessa forma, foram sistematizadas as condições internas para enfrentamento dos impactos delineados, as quais refletiram na construção de instrumentos legais, econômicos e de cooperação internacional, buscando viabilizar a implementação das ações propostas no documento.

O avanço do conhecimento sobre modelagens climáticas e a crescente importância que o tema passou a despertar desde a elaboração do Plano Nacional de Mudanças Climáticas são as bases para a formação do Grupo de Trabalho Interministerial de Adaptação (GT Adaptação). Criado em 2013 no âmbito do Grupo Executivo do Comitê Interministerial de Mudança do Clima, o GT Adaptação teve por objetivo principal estruturar medidas governamentais de forma a dar o suporte na elaboração do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima. Esse grupo também construiu uma rede temática de disseminação de informações entre ministérios e especialistas do assunto que permite uma atualização sobre o estado da arte sobre o tema.

Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA)

Em relação às estratégias para a promoção da adaptação às mudanças climáticas, foi elaborado, entre os anos de 2013 e 2016, o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA), buscando propor iniciativas para a gestão e a diminuição do risco climático no longo prazo. Com base nestas propostas, o PNA visa contribuir para o aumento da capacidade adaptativa em todos os setores de políticas públicas do país, consideradas vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas. Para tanto, o PNA traça o panorama da mudança do clima, observada e futura, para estabelecer estratégias de gestão setoriais e temáticas que visem à diminuição do risco climático no país e à construção de instrumentos que proporcionem a adaptação dos sistemas naturais, humanos, produtivos e de infraestrutura.

Em relação ao setor de mobilidade urbana, o documento destaca os potenciais impactos sobre a infraestrutura, sistemas e condições de deslocamento, em função do clima atual e das alterações projetadas no território brasileiro. Estes impactos referem-se a danos, interrupções ou reduções de desempenho nos modos de deslocamento, podendo interferir direta ou indiretamente no padrão de comportamento da população e na distribuição de insumos e serviços em uma cidade, além de aumentar a probabilidade de acidentes. Como resultado, são também apresentadas potenciais perdas sociais, econômicas e ambientais decorrentes da vulnerabilidade da mobilidade urbana em relação às mudanças climáticas.

A partir do cenário exposto, o PNA aponta diretrizes para adaptação, destacando as oportunidades oferecidas diante do contexto de maior investimento em infraestrutura no país.

No entanto, embora sejam propostas diretrizes e estratégias para aperfeiçoar a capacidade adaptativa do setor, o PNA destaca que a complexidade do processo de promoção da adaptação no território nacional requer a atuação conjunta dos diversos entes federativos, atores da sociedade e órgãos setoriais do governo, buscando harmonizar os planos e políticas nacionais com um planejamento local que incorpore ações para a adaptação e resiliência integradas à mobilidade urbana e ao uso e ocupação do solo nas cidades.

Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSTM)

O setor de transportes apresenta-se particularizado no Plano Nacional sobre Mudança do Clima, tanto entre os seus objetivos, ao ser destacada a necessidade de fomento à ampliação sustentável da participação de biocombustíveis na matriz de transportes do país, quanto no primeiro eixo temático ("Oportunidades de Mitigação"), no qual foram sinalizadas medidas como a utilização de veículos eficientes; a expansão do uso de sistemas ferroviários e aquaviários; bem como incentivos aos transportes coletivos e não-motorizados, em detrimento do individual motorizado.

Medidas como essas foram tratadas com maior aprofundamento no Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSTM), de junho de 2013, cuja elaboração foi determinada no Decreto nº 7.390, de 09 de dezembro de 2010, que regulamenta a PNMC, constituindo parte integrante da estratégia brasileira diante das mudanças climáticas. O Decreto estabelece ainda que os Planos Setoriais deverão compor o Plano Nacional sobre Mudança do Clima, incorporando as suas atualizações a cada nova versão do Plano Nacional.

Sua construção, realizada com fundamento nas regras estabelecidas na CQNUMC, foi coordenada pelo Ministério das Cidades e pelo Ministério dos Transportes, contando com a participação de representantes dos setores produtivos, da sociedade civil e de entidades convidadas. Além disso, o PSTM teve como referência o Plano Nacional de Logística e Transportes 2011, no eixo transporte de cargas, e o conjunto de projetos de transporte público coletivo apoiados pelo Governo Federal, no que se diz respeito ao eixo transporte urbano de passageiros.

Apesar do título do PSTM contemplar a adaptação, os objetivos estabelecidos no documento estão voltados, principalmente, para a mitigação das mudanças do clima, especialmente à contribuição para a redução das emissões de GEE do setor de transportes e de mobilidade urbana, no contexto dos compromissos assumidos voluntariamente pelo Brasil. O PSTM também buscou identificar os cenários de emissão de CO₂ no setor de transportes para delinear as estratégias de desenvolvimento e de implantação das medidas de mitigação indicadas. Dessa forma, os resultados do PSTM ressaltam a importância do planejamento e do investimento em modos de transporte mais eficientes energeticamente, tanto em relação ao transporte de cargas quanto ao de passageiros.

II.2. Panorama brasileiro no enfrentamento do déficit de mobilidade urbana

Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU)

O país tem adotado políticas e instrumentos de planejamento que pretendem melhorar a mobilidade urbana nas cidades. Cabe destacar a promulgação da Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), pela Lei nº 12.587, de 03 de janeiro de 2012, que estabeleceu princípios, diretrizes e objetivos para orientar o planejamento, a implementação e o acompanhamento das ações de mobilidade urbana nas cidades brasileiras. A PNMU, fundamentada no princípio do desenvolvimento urbano sustentável, busca promover a mitigação dos custos ambientais, sociais e econômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas na cidade, bem como o incentivo ao uso de energias renováveis e menos poluentes, e a priorização dos modos de transporte não-motorizados sobre os motorizados e do transporte público coletivo sobre o individual motorizado.

Somada a estas disposições, a PNMU traz instrumentos de gestão voltados ao desestímulo ao uso do transporte motorizado individual e ao controle das emissões de poluentes de efeito local e de efeito estufa, os quais podem ser utilizados pelo poder público local como forma de promover a melhoria ambiental e da acessibilidade na mobilidade urbana, além da otimização do transporte público coletivo, a fluidez dos deslocamentos e a equidade do acesso ao espaço público. Assim, na elaboração do Plano de Mobilidade Urbana local, instituído pela PNMU, os municípios e o Distrito Federal podem fazer uso, de acordo com a suas realidades, dos instrumentos propostos na lei, a fim de promover a mobilidade urbana sustentável, a mitigação dos impactos ambientais causados pelo setor e a adaptação às mudanças climáticas. Dessa forma, a elaboração e a implementação do Plano de Mobilidade Urbana oferece a oportunidade de um planejamento sistêmico do setor, compatível ao planejamento urbano e em cooperação com as diretrizes da política climática.

Estatuto da Metrópole

O Estatuto da Metrópole, instituído pela Lei Nº 13.089 de 12 de janeiro de 2015, pretende promover a integração do planejamento e das ações dos municípios que formam uma metrópole ou aglomeração urbana, fomentando a parceria com os governos estaduais e federal. O estatuto criou uma série de princípios para governança compartilhada das funções públicas de interesse comum (onde a fronteira do sistema não se esgota pela divisão política dos municípios), fixando diretrizes gerais para o planejamento, a gestão e a execução de políticas públicas em metrópoles ou aglomerações urbanas, desde que assim estabelecidos por lei estadual.

A implementação dos instrumentos estabelecidos pelo Estatuto se dará por meio da governança interfederativa, ou seja, compartilhamento de responsabilidades e ações entre entes da Federação em termos de organização, planejamento e execução de funções públicas de interesse comum. O estatuto é pautado nos seguintes princípios: prevalência do interesse comum sobre o local; compartilhamento de responsabilidades; autonomia dos entes da Federação; observância das peculiaridades regionais e locais; gestão democrática da cidade; efetividade no uso de recursos públicos; e busca de desenvolvimento sustentável. Além disso, precisam ser observadas diretrizes, tais como: implantação de processo permanente e compartilhado de planejamento quanto ao desenvolvimento urbano; sistema integrado de alocação de recursos e prestação de contas; execução compartilhada das funções públicas; participação de representantes da sociedade civil nos processos de planejamento e tomada de

decisão; compatibilização das leis orçamentárias dos entes da governança interfederativa; e compensação por serviços ambientais.

São previstos dez instrumentos para a gestão compartilhada, a saber: plano de desenvolvimento urbano integrado; planos setoriais interfederativos; fundos públicos; operações urbanas consorciadas interfederativas; zonas para aplicação compartilhada dos instrumentos urbanísticos; consórcios públicos; convênios de cooperação; contratos de gestão; compensação por serviços ambientais ou outros serviços prestados pelo Município à unidade territorial urbana; parcerias público-privadas interfederativas. Os instrumentos previstos podem e devem, quando necessário, levar em consideração os riscos das mudanças climáticas. O Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado apresenta uma oportunidade para que os riscos climáticos sejam avaliados de uma maneira mais integrada, coerente com as características naturais semelhantes que municípios de uma mesma região metropolitana possam estar submetidos.

II.3. Desafios e barreiras à efetividade de planos de adaptação na mobilidade urbana

O PSTM de 2013 teve como principal foco o desenvolvimento de medidas de mitigação e não chegou a discutir estratégias de adaptação. A abordagem metodológica que está sendo empregada pelo IPCC apresenta diversos conceitos de adaptação e mitigação que precisam ser amadurecidos junto aos planejadores e tomadores de decisão. Este é o primeiro desafio para o planejamento da adaptação dos sistemas de mobilidade urbana.

O segundo desafio diz respeito à dificuldade de se fazer generalizações para as cidades brasileiras (ou mesmo para diferentes territórios dentro de uma mesma cidade), visto que há variações relacionadas ao padrão das viagens (divisão modal, tempo de viagens, distância, etc.), à trajetória histórica de desenvolvimento urbano local (rede de transportes, planejamento urbano, características socioeconômicas), à capacidade institucional e aos próprios desafios impostos pelo clima. Assim, localizar ao máximo a coleta de dados, análise, discussão e tomada de decisão, contextualizando as condições específicas de cada cidade, é fundamental.

O terceiro desafio é o conflito entre as necessidades de planejamento de curto prazo frente às de longo prazo. Esse fato tem relação direta com o falso dilema para se investir em medidas de resiliência e adaptação em detrimento de outras necessidades mais pulsantes no presente. Isso acontece por conta do equivocado entendimento de que medidas de adaptação são um custo extra sobre um setor carente de investimentos. Esta é uma abordagem que considera somente a recuperação do dano e retomada da operação, e dificilmente analisa os co-benefícios sociais, econômicos e ambientais decorrentes da adaptação do sistema como um todo.

Assim como outras questões que dizem respeito à mudança climática, o planejamento lida com projeções futuras, cercadas de incerteza. Este é um quarto desafio. Neste sentido, pode haver certo ceticismo no que tange à necessidade de se adaptar os sistemas. No entanto, eventos recentes como os de 2009 (São Paulo), 2011 (Santa Catarina e Região Serrana do Rio de Janeiro) e as secas de 2014/2015 no Vale do Paraíba e de 2012/2015 no Nordeste reforçam os indícios de que a mudança climática é uma realidade, e que seus impactos nos sistemas e na vida da população podem ser muito adversos.

O quinto desafio é que para entendimento real do impacto da mudança climática em cada sistema, serão necessários investimentos por parte dos governos locais e das concessionárias no mapeamento das vulnerabilidades e riscos associados, com foco nos sistemas em si (redes, infraestrutura e operação), nos diferentes territórios dentro das cidades, e no comportamento

da população. Estes mapeamentos precisam ser realizados de forma localizada, envolvendo atores locais para compreensão quantitativa e qualitativa do problema. O mapeamento apresentado neste relatório fornece um olhar geral sobre o país, mas é praticamente impossível, neste momento, captar a realidade de cada município e cada sistema.

O sexto desafio diz respeito à intertemporalidade entre custos e benefícios das medidas de adaptação. Uma análise custo-benefício pode falhar na demonstração da viabilidade de projetos cujos desembolsos são feitos no curto prazo e os benefícios serão sentidos somente a longo prazo. Essa distorção é intensificada por longos períodos de altas taxas de juros básicos da economia.

Por fim, o sétimo desafio diz respeito à assimetria dos titulares dos custos e benefícios. Em alguns casos, ações cujos benefícios estejam restritos a grupos podem encontrar mais resistência, principalmente se os custos são impostos para a sociedade via orçamento público. Isso despertará discussões mais amplas sobre quem pagará pelas medidas de adaptação, já que o benefício pode ser sentido somente por pequenos grupos.

II.4. Benefícios de um Plano de Adaptação e Indicadores

Há diferentes atores e esferas de governo envolvidos, direta e indiretamente, no planejamento e na operação dos sistemas de mobilidade urbana. É fundamental conscientizá-los sobre as vulnerabilidades destes sistemas. Governos, operadores e outros atores precisam adotar medidas de adaptação às mudanças climáticas, tendo como guia não somente as projeções de cenários futuros prováveis, mas também configurações futuras dos sistemas de mobilidade.

A revisão do PSTM, com a inclusão de um capítulo sobre adaptação, tem como beneficiários diretos e indiretos os entes públicos federais, estaduais, metropolitanos e municipais, assim como o setor privado – incluindo os operadores, a sociedade civil organizada, a academia e os usuários dos sistemas. A seguir, destacam-se ações potenciais em função das diferentes atribuições institucionais:

Ente Federal (Governo Federal/Ministério das Cidades e órgãos financiadores)

- Oferecer subsídios para futuras discussões em torno de desenhos de uma assistência institucional e financeira aos estados, DF e municípios norteados por indicadores transparentes de avaliação e monitoramento dos sistemas de mobilidade urbana que levem em conta os riscos das mudanças climáticas;
- Fomentar programas de assistência técnica qualificada, capacitação e apoio a ações coordenadas aos estados, DF e municípios, com o objetivo de aprofundar o entendimento sobre: vulnerabilidade atual dos sistemas de mobilidade urbana; riscos relacionados às mudanças climáticas; adaptação e resiliência; e incorporação desses riscos futuros em Planos de Mobilidade Urbana;
- Oferecer diretrizes e recomendações para a inclusão dos riscos das mudanças climáticas nas análises de projetos de transportes de média e alta capacidade nas aglomerações urbanas e Regiões Metropolitanas (RM).
- Fornecer diretrizes para a construção de indicadores transparentes de avaliação e monitoramento de sistemas de mobilidade urbana metropolitana e intermunicipal que levem em conta as mudanças climáticas;
- Conscientizar atores públicos e privados sobre as potenciais vulnerabilidades na mobilidade urbana e engajá-los na discussão sobre adaptação;

- Promover condições específicas para que cidades e RM possam aprofundar seu conhecimento, discutir, planejar e agir considerando as vulnerabilidades dos sistemas de mobilidade urbana em seus territórios, frente aos cenários futuros de mudanças climáticas;
- Capacitar e equipar diferentes atores para que atuem efetivamente em suas atribuições no que diz respeito ao planejamento, financiamento, implantação e operação dos sistemas de mobilidade urbana;
- Promover a harmonização em nível federal dos planos, políticas e financiamentos públicos e privados com um planejamento local que incorpore ações para a adaptação e resiliência integradas à mobilidade urbana e ao uso e ocupação do solo nas cidades e nas RM;
- Estimular o desenvolvimento de experiências piloto de sucesso e que suas lições e resultados sejam monitorados, documentados, disseminados em outras cidades brasileiras.

Entes Estaduais e órgãos metropolitanos

- Promover Planos de Desenvolvimento Urbano Integrados das RM participativos com estratégias claras que levem em consideração os riscos atuais e futuros dos sistemas de mobilidade urbana metropolitanos e intermunicipais às mudanças climáticas;
- Fornecer diretrizes para a construção de indicadores transparentes de avaliação e monitoramento de sistemas de mobilidade urbana metropolitana e intermunicipal que levem em conta as mudanças climáticas;
- Oferecer bases para o debate sobre a inclusão de indicadores para o risco das mudanças climáticas na regulamentação de serviços de transporte público coletivo urbano;
- Promover condições específicas para que cidades e RM possam aprofundar seu conhecimento, discutir, planejar e agir considerando as vulnerabilidades dos sistemas de mobilidade urbana em seus territórios, frente aos cenários futuros de mudanças climáticas.

Entes Municipais

- Fomento à elaboração de Planos Municipais de Mobilidade Urbana participativos com estratégias claras que levem em consideração as vulnerabilidades atuais e futuras dos sistemas de mobilidade urbana;
- Oferecer diretrizes para a construção de indicadores transparentes de avaliação e monitoramento de sistemas de mobilidade urbana que levem em conta as mudanças climáticas;
- Oferecer bases para o debate sobre a inclusão de indicadores para o risco das mudanças climáticas na regulamentação de serviços de transporte público coletivo urbano;
- Institucionalizar nos instrumentos urbanísticos, de planejamento metropolitano e municipal e de financiamento medidas de adaptação para os sistemas de mobilidade urbana.

Setor privado, incluindo concessionárias

- Despertar o debate, através de informações técnicas, da necessidade de que os sistemas levem em consideração o impacto das mudanças climáticas no curto, médio e longo prazo na vida útil da infraestrutura e do material rodante;
- Mapeamento de riscos e oportunidades para a operação dos sistemas públicos de transporte, tais como aumento da vida útil de sua infraestrutura; redução de custos na prestação dos serviços; redução de riscos de perdas e danos; e redução de risco de inversão da equação econômico-financeira dos contratos de concessão;
- Fomento ao uso de novas tecnologias.

Sociedade Civil, Academia e Usuários

- Participação nas análises de vulnerabilidades dos sistemas, dos territórios e da população, a partir do olhar sobre as infraestruturas, operações, instrumentos urbanísticos e comportamento dos usuários;
- Participação na análise de riscos;
- Participação nos processos de planejamento, monitoramento e avaliação dos sistemas de mobilidade urbana, considerando o contexto das mudanças climáticas e seu impacto nos sistemas.

Para acompanhar a efetivação dessas ações, podem ser adotados indicadores como os listados a seguir:

Ente Federal (Ministério das Cidades/Secretaria de Mobilidade e órgãos financiadores)

- Quantidade de recursos aplicados em projetos que incorporem adaptação às mudanças climáticas;
- Número de projetos de transportes urbanos de média e alta capacidade nas aglomerações urbanas e RM apoiados pelo governo federal que incorporaram em seu desenho a análise de risco às mudanças climáticas.

Entes Estaduais e órgãos metropolitanos

- Número de Planos de Desenvolvimento Urbano Integrados das RM que levem em consideração as vulnerabilidades atuais e futuras dos sistemas de mobilidade urbana metropolitanos e intermunicipais;
- Percentual de sistemas metropolitanos e intermunicipais de mobilidade urbana com mapeamento da vulnerabilidade às mudanças climáticas;
- Percentual de estados e órgãos metropolitanos com regras de serviços de transporte público coletivo metropolitano e intermunicipal de caráter urbano com definições sobre as responsabilidades pelos possíveis danos das mudanças climáticas na infraestrutura.

Entes Municipais

- Percentual de Municípios com Planos Municipais de Mobilidade Urbana com estratégias claras que levem em consideração as vulnerabilidades atuais e futuras dos sistemas de mobilidade urbana metropolitanos e intermunicipais;
- Percentual de sistemas municipais de mobilidade urbana com mapeamento da vulnerabilidade às mudanças climáticas;
- Número de municípios com regras de serviços de transporte público coletivo municipal com definições sobre as responsabilidades pelos possíveis danos das mudanças climáticas na infraestrutura;
- Percentual de municípios com amplo mapeamento de riscos das mudanças climáticas aos sistemas de mobilidade urbana.

Setor privado, incluindo concessionárias

- Percentual de concessionárias com Planos de Adaptação dos seus sistemas às mudanças climáticas;

- Percentual de concessionárias com planos de contingência para lidar com falhas e interrupção no sistema.

III. Metodologia do Estudo

III.1. Etapas

O desenvolvimento deste documento considerou a metodologia *Wizard*⁵, do *Climate Initiative Program* do Reino Unido (UKCIP), em parceria com o Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP). Esta metodologia é um processo sistemático para guiar o levantamento de informações de apoio à formulação de estratégias de adaptação às mudanças climáticas do ponto de vista setorial ou corporativo. Diante disto, desenvolveu-se as etapas descritas abaixo:

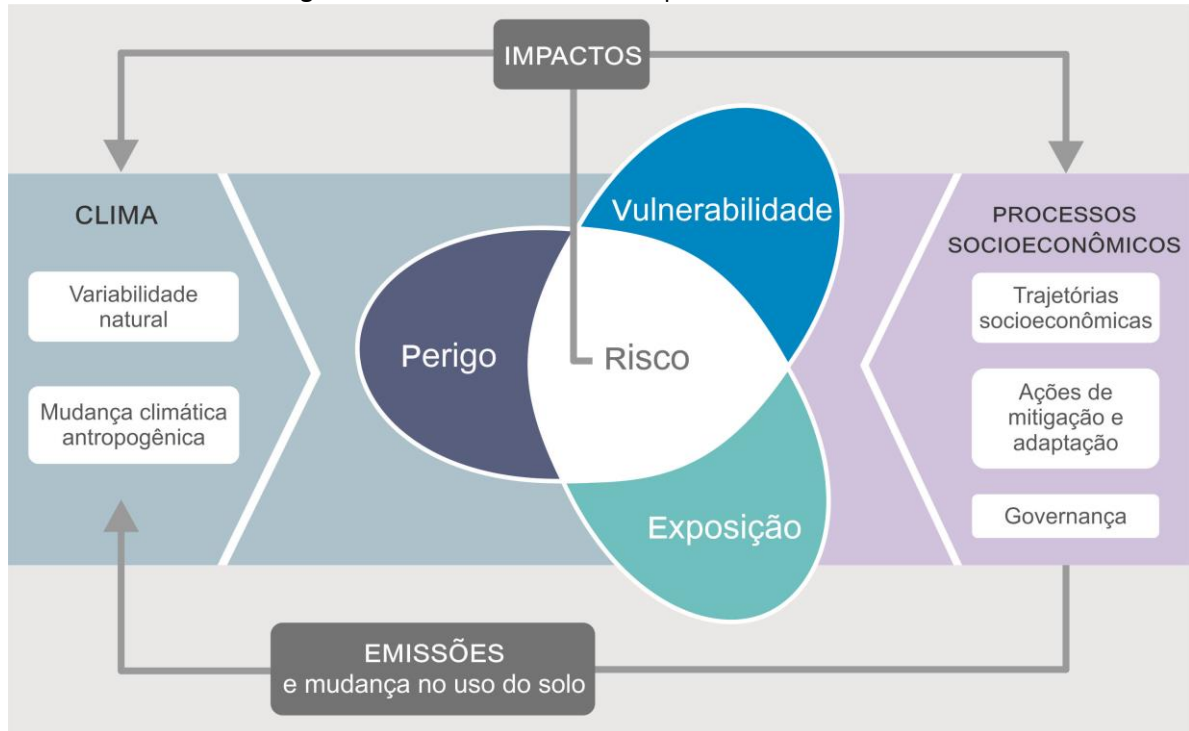
- a) Análise da experiência internacional, com ênfase no Reino Unido (Londres) e nos EUA (Nova York). Discussões realizadas com técnicos envolvidos nos Planos de Adaptação e de Resiliência nas duas cidades;
- b) Entrevistas conduzidas com técnicos e tomadores de decisão nas maiores cidades brasileiras (São Paulo e Rio de Janeiro), incluindo as esferas público e privada, para levantamento de informações sobre vulnerabilidades atuais dos sistemas e medidas adaptativas já em andamento;
- c) Mapeamento dos principais impactos no sistema de mobilidade urbana dos eventos climáticos na última década;
- d) Mapeamento da vulnerabilidade atual dos sistemas, com foco nos transportes públicos coletivos e nos transportes não motorizados;
- e) Definição de indicadores de eventos climáticos extremos com foco nos principais riscos das mudanças climáticas aos sistemas de mobilidade urbana, com foco em temperatura e precipitação;
- f) Projeção dos indicadores climáticos para o território brasileiro considerando os horizontes de 2040 e 2070 com base em dados fornecidos pelo INPE do modelo regionalizado Eta em função dos modelos globais HadGEM2-ES e MIROC5;
- g) Identificação das vulnerabilidades dos sistemas de mobilidade urbana frente ao clima projetado;
- h) Oficina de discussão com especialistas da academia e operadores de sistemas de transportes para a discussão das potenciais vulnerabilidades ao clima projetado e possíveis medidas de adaptação;
- i) Oficina de discussão com especialistas para validação das diretrizes e recomendações aos atores setoriais.

III.2. Conceitos Fundamentais

Há diferentes abordagens possíveis para conceituar e planejar a adaptação às mudanças climáticas. O IPCC, no seu quinto relatório (AR5), propôs um esquema conceitual, o qual representa uma referência técnica amplamente utilizada, tendo sido adotado no âmbito do Plano Nacional de Adaptação (PNA), conforme ilustrado a seguir.

⁵ <http://www.ukcip.org.uk/wizard/about-the-wizard/#.Vg8K5PTztNQ>

Figura 1: Conceitos fundamentais apresentados no AR5.



Fonte: IPCC (2014) – tradução própria.

Conforme já citado, esta abordagem metodológica apresenta conceitos de adaptação que precisam ser compreendidos e amadurecidos junto aos planejadores e tomadores de decisão. Assim, cabe registrar como estes termos estão sendo empregados neste estudo.

PERIGO: potencial ocorrência de evento, tendência ou impacto físico, natural ou induzido pelo ser humano, que possa causar perda de vidas, ferimentos ou outros impactos à saúde, perdas e danos à propriedade, infraestrutura, meios de subsistência, prestação de serviços, ecossistemas e recursos ambientais.

EXPOSIÇÃO: a presença de pessoas, meios de subsistência, espécies ou ecossistemas; funções ambientais, serviços e recursos; infraestrutura, ou bens econômicos, sociais ou culturais em locais que possam ser adversamente afetados.

VULNERABILIDADE: a propensão ou predisposição a ser adversamente afetada. Vulnerabilidade engloba uma variedade de conceitos e elementos, incluindo sensibilidade ou susceptibilidade ao dano e a falta de capacidade para lidar e se adaptar (capacidade adaptativa).

SENSIBILIDADE: grau da reação de elementos e sistemas quando confrontados com um perigo.

CAPACIDADE ADAPTATIVA: Habilidade ou potencial de um sistema para responder a variações e mudanças climáticas, e inclui ajustes comportamentais, em recursos e tecnologias

IMPACTOS: efeitos em sistemas naturais e humanos. Neste texto (AR5), o termo *Impactos* é usado primeiramente para se referir aos efeitos de eventos climáticos e meteorológicos extremos, bem como das mudanças climáticas, sobre sistemas naturais e humanos. Em geral, impactos referem-se a efeitos sobre vidas, meios de subsistência, saúde, ecossistemas ou eventos climáticos perigosos ocorrendo em um período específico e a vulnerabilidade de uma sociedade ou sistema exposto. Impactos também são referidos como consequências ou resultados. Os impactos da mudança do clima sobre sistemas geofísicos, incluindo inundações, secas e aumento do nível do mar, constituem um subconjunto dos impactos, denominados físicos.

RISCO: potencial para consequências em que algo de valor está em jogo e o resultado é incerto, reconhecendo a diversidade de valores. Risco é frequentemente representado pela probabilidade de ocorrência de eventos ou tendências perigosas associada aos respectivos impactos, caso esses eventos ou tendências ocorram. Risco resulta da interação entre vulnerabilidade, exposição e perigo.

ADAPTAÇÃO: processo de ajuste aos efeitos do clima atual e esperado. Em sistemas humanos, adaptação procura minimizar ou evitar danos ou explorar oportunidades benéficas. Em alguns sistemas naturais, intervenções humanas podem facilitar o ajuste a mudanças do clima esperadas e seus efeitos.

RESILIÊNCIA: a capacidade de sistemas sociais, econômicos e ambientais de lidar com eventos, tendências ou distúrbios perigosos, respondendo ou se reorganizando em maneiras que mantenham sua função essencial, identidade e estrutura, enquanto também salvaguardam sua capacidade para adaptação, aprendizado e transformação, ou a capacidade de um sistema de retornar à sua condição original após uma perturbação.

Complementarmente, considera-se as definições utilizadas na Política Nacional sobre Mudança do Clima (Art. 2º da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009):

“Adaptação: iniciativas e medidas para reduzir a vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos frente aos efeitos atuais e esperados da mudança do clima.

(...)

Vulnerabilidade: grau de suscetibilidade e incapacidade de um sistema, em função de sua sensibilidade, capacidade de adaptação, e do caráter, magnitude e taxa de mudança e variação do clima a que está exposto, de lidar com os efeitos adversos da mudança do clima, entre os quais a variabilidade climática e os eventos extremos”.

Neste sentido, o componente PERIGO (HAZARD, em inglês) corresponde a eventos e tendências climáticas e meteorológicas que possam causar impactos negativos à mobilidade urbana. No Capítulo V, foram identificados como perigos climáticos de maior relevância para a mobilidade urbana, aqueles associados à precipitação e temperatura, bem como à elevação do nível do mar, os quais, em uma segunda ordem de impactos, podem se relacionar à frequência e à intensidade de alagamentos, inundações, enxurradas, vendavais, ondas de calor, assim como a demais alterações em componentes biofísicos, como nível de lençóis freáticos, intrusão da cunha salina, entre outros.

No Capítulo VI foram realizadas projeções de indicadores climáticos que representassem aproximações para variações destes perigos em horizontes futuros. Ressalta-se que o detalhamento do aspecto de elevação do nível do mar não foi escopo do estudo específico deste capítulo.

Quanto à EXPOSIÇÃO, pode-se considerar diferentes abordagens, que vão desde as pessoas que podem ter sua mobilidade afetada por padrões climáticos, a elementos da infraestrutura de transportes, sistemas de mobilidade, e até as cidades em um nível mais macro.

Tendo em vista a escala nacional adotada neste trabalho, não foi possível detalhar aspectos de âmbito local, muito embora, determinados indicadores municipais podem ser interpretados a partir da lógica da exposição, ou, pressupõem uma interseção com fatores de exposição.

A VULNERABILIDADE, por sua vez, foi analisada através de suas duas principais dimensões, a da sensibilidade, e a da capacidade adaptativa. A primeira possui correlação positiva com a vulnerabilidade, ou seja, quanto maior a sensibilidade do elemento ou sistema exposto, maior a sua vulnerabilidade mediante determinado perigo. Por outro lado, a capacidade adaptativa

representa fatores que contribuem para uma resposta mais eficaz do sistema estudado aos perigos em questão, ou seja, quanto maior esta capacidade, menor a vulnerabilidade.

Devido à grande complexidade do conceito de vulnerabilidade, e da necessidade de se compreendê-lo dentro da temática deste estudo, foi realizada uma exploração mais detalhada no Capítulo “Vulnerabilidade na Mobilidade Urbana”.

Os IMPACTOS potenciais na mobilidade urbana foram analisados com o apoio de pesquisa bibliográfica e entrevistas com *stakeholders*, tendo sido elaborados fluxogramas de causa-efeito demonstrando a interdependência entre os impactos diretos e indiretos sobre a infraestrutura e sistemas de mobilidade urbana a partir dos perigos climáticos, culminando em consequências mais abrangentes para as cidades.

Por outro lado, entende-se que o conceito de RISCO implica em associar as possíveis consequências de perigos climáticos (impactos potenciais) às respectivas probabilidades de ocorrência. A partir desta interpretação, este estudo não alcança a análise de riscos, uma vez que investiga os impactos potenciais sobre a mobilidade urbana, porém não atribui graus de probabilidade aos eventos climáticos (atuais e futuros), tampouco a seus desdobramentos.

Por fim, não se realizou aqui uma distinção muito profunda entre adaptação e resiliência, pois há grande diversidade de interpretações para estes conceitos, o que exigiria um estudo de caráter mais acadêmico. De qualquer forma, quando utilizamos o termo resiliência estamos nos referindo, sobretudo, a condições de resposta a eventos extremos de curta duração.

IV. Vulnerabilidade na Mobilidade Urbana

Não obstante o conceito teórico apresentado em tópico anterior, pode-se melhor compreender o significado da vulnerabilidade na mobilidade urbana a partir de diversas questões práticas, formuladas conforme as especificidades de uma localidade. Por exemplo: no que de fato implicam tempestades mais intensas para a operação de um sistema de transporte? Como os perigos climáticos se traduzem em aumentos no tempo de deslocamento casa-trabalho e na repartição modal? Novos projetos de transporte estão preparados para um aumento de eventos extremos e da temperatura? Elevações no nível do mar podem gerar maiores custos de manutenção e redução da vida útil de ativos?

As respostas a essas perguntas dependem de diversos fatores, como a severidade do evento climático, características geográficas e biofísicas das áreas urbanas afetadas, padrões de uso e ocupação do solo, desenho das redes de transporte, técnicas construtivas das infraestruturas, aspectos operacionais e de manutenção dos sistemas, condições socioeconômicas da população, comportamento dos usuários dos sistemas, atividades econômicas da cidade, estrutura institucional e financeira dos municípios, entre outros.

Nesse sentido, deve-se considerar que a vulnerabilidade é composta por aspectos de **sensibilidade**, que representam a propensão de um sistema em ser afetado em decorrência de determinado perigo, e de **capacidade adaptativa**, que reflete as habilidades e meios que pessoas, instituições e sistemas naturais possuem para se ajustar a perigos climáticos atuais e esperados de modo que possam moderar os seus danos e explorar as oportunidades.

Dessa forma, reduzir as vulnerabilidades implica em promover medidas que minimizem as sensibilidades identificadas, aumentem a capacidade adaptativa de uma cidade, ou evitem novas vulnerabilidades no futuro, de um sistema, de grupos populacionais, ou outro objeto de análise, conforme a abordagem utilizada.

Assim, devido às diferentes naturezas dos aspectos que influenciam a vulnerabilidade, foram adotadas, para o desenvolvimento deste tópico, quatro dimensões de análise - social, econômica, desenvolvimento urbano e sistemas da mobilidade urbana - as quais estão, em certo grau, intrinsecamente vinculadas.

Figura 2: Componentes da vulnerabilidade na Mobilidade Urbana



Fonte: Elaboração própria.

Para tanto, este tópico apresenta uma descrição de como estes componentes da vulnerabilidade na mobilidade urbana interagem em uma cidade, a partir de diferentes perspectivas, indicando elementos, sistemas e demais fatores a serem observados no processo de planejamento da adaptação.

Ressalta-se que realizar uma análise de vulnerabilidade futura representa um exercício de grande complexidade, pois exige, além da construção de “cenários climáticos futuros”, a projeção futura dos componentes da vulnerabilidade, que dependem fortemente da evolução de aspectos socioeconômicos e demográficos, com elevado grau de incerteza. Não obstante, muito embora este trabalho não tenha este escopo, tais estudos podem ser realizados conforme a disponibilidade de dados e conveniência.

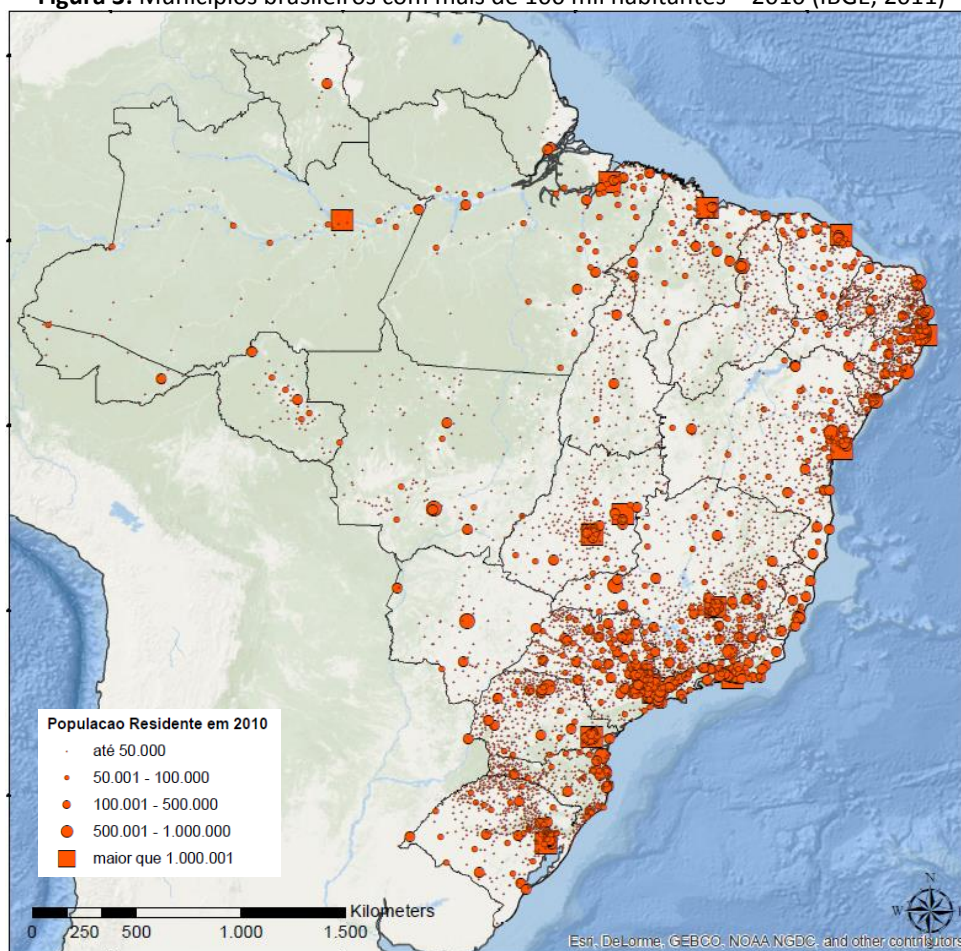
Em adição, registra-se que a vulnerabilidade de outros sistemas urbanos também influencia na mobilidade em decorrência da interdependência entre estes. Por isso, a necessidade de uma avaliação holística, integrando a mobilidade urbana a demais componentes e sistemas das cidades, incluindo, obviamente, as pessoas. No entanto, não é escopo deste trabalho, em nível nacional, detalhar todas essas relações.

Por fim, foram considerados os conceitos trazidos pela Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), bem como aqueles adotados pelo Plano Nacional de Adaptação à Mudança no Clima (PNA), com foco, principalmente, nos transportes não-motorizados e nos públicos coletivos.

IV.1. Dimensão do Desenvolvimento Urbano

O Brasil se tornou um país predominantemente urbano nas últimas décadas. Em 1960, 45% da população vivia em áreas urbanas. Em 50 anos, esta população aumentou em 128 milhões de pessoas, de forma que, em 2010, a proporção da população urbana tinha chegado a 84% do total (IBGE, 1960, 2010). Destaca-se que, dos cerca de 191 milhões de habitantes indicados no Censo 2010, 47% estavam concentrados em área metropolitanas (RM e RIDE). Além disso, 23% dos brasileiros viviam em cidades de 100 a 500 mil habitantes, 8% em cidades entre 500 mil e 1 milhão, e 20% vive em cidades com mais de 1 milhão de habitantes⁶.

Figura 3: Municípios brasileiros com mais de 100 mil habitantes – 2010 (IBGE, 2011)



Fonte: Elaboração própria.

No entanto, esse processo de urbanização foi caracterizado pela fragmentação do espaço urbano, contínuo crescimento e adensamento da periferia, aprofundamento da exclusão territorial e degradação dos ecossistemas locais, provocando uma série de disfunções e deseconomias, incluindo no sistema de circulação urbana (BRASIL, 2004).

“No caso do transporte coletivo há um maior custo das viagens, com o maior gasto de tempo e menos acesso ao sistema, devido ao espalhamento e desagregação da área urbanizada. No caso do transporte individual há maior pressão sobre o poder público para que reforce continuamente os investimentos no sistema rodoviário em detrimento das formas mais incluídas de produção do espaço urbano. Como resultado há piora nas condições de mobilidade urbana comprometendo a qualidade de vida dos habitantes” (BRASIL, 2004).

⁶ População por Município (IBGE, 2010).

Para conter reflexos negativos como esses, o crescimento acelerado das cidades necessitaria, dentre outras coisas, de um grande volume de recursos a ser aplicado nos sistemas de transporte para oferecer um nível de serviço suficiente (MORAIS; COSTA, 2010). Neste contexto, considerando que o capital aplicado em diversas cidades brasileiras não vem sendo capaz de cobrir integralmente a demanda de investimentos para expansão, manutenção e operação das infraestruturas de transporte, combinado a uma gestão nem sempre satisfatória, muitos locais passaram a ter sistemas de transportes com baixa qualidade e alto custo, associado a diversas externalidades negativas, tais como altos índices de acidentes de trânsito, congestionamentos e emissão de gases de efeito estufa e poluentes locais.

Concentrando significativo percentual da população urbana brasileira e da demanda por transporte, as RM concentram as cidades que apresentam maior tempo de deslocamento casa-trabalho e, portanto, alta sensibilidade a distúrbios na mobilidade urbana. Cabe ressaltar, no entanto, que os problemas destacados também são relevantes para outras cidades de médio e grande porte, além das pertencentes às RM. Lidar com estas questões de forma preventiva, em especial em cidades em crescimento, através do planejamento do desenvolvimento urbano integrado ao planejamento da mobilidade, é mais eficaz e menos custoso que após a consolidação de grandes centros urbanos, e evita a geração de vulnerabilidades futuras.

Em estudo realizado com dados de 2009 apontou-se que, em média, os tempos de viagem eram 63% maiores nas RM (38 minutos contra 23,3 minutos em outras cidades) (PEREIRA; SCHWANEN, 2013). Além disso, há maior participação de viagens com mais de 1 hora nas RM. As situações mais críticas estavam nas RM de São Paulo e Rio de Janeiro, que apresentavam viagens para o trabalho 31% mais longas que a média das outras RM brasileiras.

Cabe destacar que, embora existam variações, o planejamento modernista, que se materializou nas em muitas cidades brasileiras a partir da década de 50, desenvolveu uma forma urbana com características de uso do solo monofuncional e de baixa densidade construtiva e populacional (BARANDIER JUNIOR, 2012), levando a um aumento das viagens pendulares, o que, por sua vez, gera desequilíbrios entre a oferta e a demanda de transportes e torna a mobilidade mais vulnerável a quaisquer perturbações. Tal condição é agravada pelas soluções rodoviaristas promovidas pelo planejamento tradicional de transportes para conectar as áreas funcionais da cidade (BANISTER, 2008).

Adicionalmente, a maioria das cidades também enfrenta dificuldades na reorganização do padrão do uso e ocupação do solo, com desenvolvimento em áreas sujeito a inundações e outras vulnerabilidades. Contudo, para evitar tais cenários, o planejamento urbano deve considerar as características biofísicas da região, de forma a impedir ou minimizar a desconfiguração do ecossistema local e a intensificação da sensibilidade de uma cidade a eventos climáticos. Impactos climáticos ocorrem como resultado das múltiplas combinações de características de relevo, tipo de solo e subsolo, padrão de ocupação do solo, corpos d'água, nível de lençol freático, entre outros fatores, combinados com aspectos climatológicos de um território.

Apesar da maior incidência de eventos climáticos extremos, a ocupação que não respeita as características biofísicas também ajuda a explicar o aumento de quase 270% dos desastres naturais no Brasil na década de 2000, os quais ocorreram, principalmente, em função de inundações e movimentos de massa (UFSC, 2013).

Como exemplo, a retirada de cobertura vegetal e a impermeabilização do solo diminuem a infiltração e aumentam o volume e a velocidade de escoamento das águas superficiais,

causando potenciais enchentes. Em adição, a canalização de cursos d'água e a urbanização de várzeas e fundos de vale também facilitam a ocorrência de alagamentos e inundações.

Locais próximos a encostas ou taludes também podem representar maior sensibilidade a deslizamentos ou outros movimentos de massa, que normalmente ocorrem em meio a tempestades ou chuvas prolongadas (com mais de três dias). Fatores específicos, como a topografia, materiais mobilizados (solo e/ou rocha) e outros condicionantes naturais e antrópicos, devem ser observados.

Podem ainda serem considerados outros fatores associados ao uso e à ocupação das áreas urbanas e que aumentam a sensibilidade biofísica local, como: a construção inadequada de aterros, a ocupação de morros, margens de rios, córregos e lagos e a destinação irregular de lixo. Tais aspectos podem influenciar, por exemplo, na ocorrência de deslizamentos e enchentes, os quais, recorrentemente, refletem na piora das condições da mobilidade urbana.

A ocupação ou a instalação de infraestruturas em locais susceptíveis aos impactos climáticos, por outro lado, aumenta o aspecto da exposição. O aproveitamento de áreas planas de fundo de vale para a expansão de sistemas viários, por exemplo, se tornou uma solução rotineira no processo de urbanização de cidades brasileiras, colocando diversas vias importantes sob situação de vulnerabilidade a inundações e outros impactos (NOBRE; YOUNG, 2011).

Em adição, sabe-se que a intensidade e frequência dos eventos climáticos é também um fator fundamental, de forma que mesmo regiões com características de ocupação menos vulnerável podem sofrer com eventos climáticos até então tidos como raros (UFSC, 2013).

Quanto à zona costeira, esta é influenciada por agentes oceânicos, atmosféricos e geomorfológicos, o que reforça sua sensibilidade às mudanças climáticas. Neste contexto, destacam-se as sensibilidades associadas à susceptibilidade natural destas regiões a inundações, que seria potencializada pela elevação do nível do mar. Demais impactos associados a mudanças nos níveis do mar incluem alterações nos níveis de lençóis freáticos, erosão costeira e interferências no fluxo de cursos d'água interiores.

Não obstante, são significativos para a mobilidade urbana alterações nos padrões de eventos climáticos litorâneos de curta duração, como marés meteorológicas, uma vez que representam situações onde há o máximo avanço do mar sobre o continente. As projeções indicam que diversas infraestruturas e populações estarão expostas a estes impactos no futuro, agravando também as vulnerabilidades daquelas que já se encontram nessa condição atualmente.

Sabe-se ainda que alterações na intensidade, na distribuição espacial ou na climatologia de ventos afetam as forças sobre estruturas portuárias, provocam impactos nas construções e alteram a dinâmica de sedimentos de dunas e praias. Assim, as infraestruturas urbanas e a população que estejam nessas regiões estariam mais susceptíveis às consequências das mudanças climáticas (NEVES; MUEHE, 2008).

Na ocupação urbana brasileira, a construção de infraestruturas e vias litorâneas, em muitas situações, visou à delimitação geográfica da expansão urbana em direção ao mar, ou a garantir acesso do público à praia (NEVES; MUEHE, 2008), cuja exposição a impactos climáticos pode se intensificar no futuro.

Outra questão atinente ao desenvolvimento urbano e que gera vulnerabilidades a impactos climáticos se refere à implantação e manutenção inadequada de infraestrutura aérea (postes, sinalização, etc.) e ativos verdes (arborização e vegetação), como a utilização de espécies de

raízes superficiais, galhos pouco flexíveis a ventanias, porte avantajado e alta densidade de folhagem (SÃO PAULO, 2015). Complementarmente, tipologias urbanas que favoreçam a formação de corredores de vento, bem como o uso de pavimentos que compactam e diminuem a camada superficial do solo, contribuem para a queda de árvores, já que, este último, impede o crescimento e aprofundamento de raízes.

Pelo lado da capacidade adaptativa, um maior nível de planejamento e controle do uso do solo pode evitar a geração de vulnerabilidades futuras. Mas é importante destacar que a integração de diferentes setores deve fazer parte do processo. Por exemplo, ações nas áreas de saneamento básico e drenagem urbana, gestão de resíduos sólidos e habitação podem contribuir para minimizar impactos climáticos na mobilidade urbana, sobretudo os associados a enchentes e movimentos de massa.

Em adição, é necessário abordar a adaptação de forma integrada entre municípios contíguos, sobretudo em RM. Para ilustrar, faz-se referência às bacias hidrográficas, cuja abrangência não obedece necessariamente a limites políticos, de forma que uma má gestão urbana em determinado local pode ocasionar impactos no seu entorno e mesmo em regiões de maior extensão, tanto no que tange à ocorrência de enchentes e deslizamentos, como para a qualidade e disponibilidade de água e outros aspectos.

IV.2. Dimensão dos Sistemas de Mobilidade

Os sistemas de mobilidade urbana das cidades brasileiras lidam há muito tempo com impactos climáticos, que podem afetar tanto elementos e aspectos específicos da infraestrutura e da operação, como se refletir para a rede de mobilidade de uma forma mais abrangente, por meio de uma cadeia de impactos, segundo ilustrado no Capítulo V.

Quando se observa o aspecto da sensibilidade a partir dos elementos que compõem os sistemas de mobilidade, verifica-se que há variáveis dependentes de uma série de características construtivas, locais e operacionais. Por exemplo, os materiais empregados (trilhos, tipos de pavimento, etc.), o dimensionamento dos sistemas (drenagem, camadas de suporte, etc.), a localização dos ativos (em várzeas, na orla marítima ou demais áreas susceptíveis a inundações, etc.), as características de entorno (uso do solo, gestão de resíduos, etc.), as condições operacionais (integração, grau de priorização, etc.), entre outros aspectos. Assim, qualquer sistema possui limiares críticos que, quando ultrapassados, podem levar a problemas de desempenho operacional, podendo chegar à paralisação parcial ou total do serviço.

Deve-se ainda considerar que determinados impactos são percebidos imediatamente após o evento climático, como o fechamento de uma via ou a eventual interrupção no acesso de uma estação. Outros, no entanto, têm seus efeitos evidenciados no médio ou longo prazo, como a deterioração de camadas de suporte de pavimentos e via permanente. Dessa forma, a sensibilidade da infraestrutura deve ser observada em diferentes perspectivas temporais na avaliação dos potenciais impactos, o que se aplica tanto a aspectos de precipitação, como de temperatura e elevação do nível do mar.

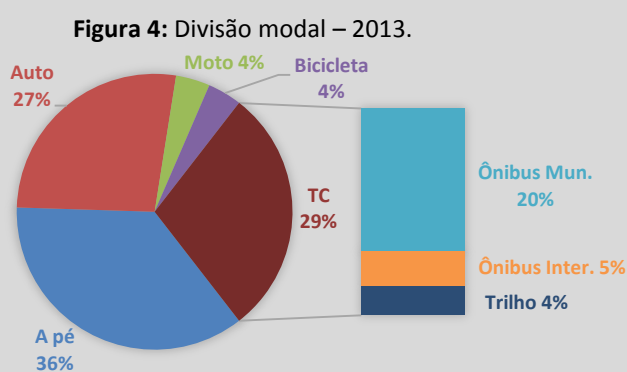
Assim, a manutenção, a recuperação ou a reposição de elementos da infraestrutura e demais ativos do sistema de transportes, podem representar maiores custos à administração pública e operadores, o que ao longo do tempo tende a se refletir na tarifa ao usuário e na economia de forma geral, de modo que os impactos aqui tratados repercutem nas demais dimensões da vulnerabilidade, como descrito na dimensão econômica.

Para reduzir as vulnerabilidades a enchentes em sistemas de transporte, algumas cidades optam por executar obras de infraestrutura, como a implantação de reservatórios urbanos (piscinões), enquanto outras adotam ações operacionais, como a integração de rotinas de limpeza de galerias com boletins meteorológicos. Os sistemas metroviários e ferroviários das RM de São Paulo e Rio de Janeiro têm passado por mudanças nos ciclos de manutenção e de monitoramento preventivo de trilhos e rede aérea alimentadora. Em São Paulo, investiu-se em equipamentos de escaneamento de fissuras em trilhos, e, no Rio de Janeiro, em procedimentos de segurança e inspeção da rede aérea em dias com altas temperaturas. Obras de adaptação na infraestrutura também foram realizadas, tais como inclusão de sistemas de proteção contra descargas elétricas, modernização e reforma de estações, mudanças em sistemas de bombeamentos e investimentos em comunicação para emergências.

Outro aspecto a ser considerado são as oscilações no desempenho de determinados sistemas de transporte, com eventuais reduções na segurança, conforto e confiabilidade, que também podem gerar mudanças no padrão de deslocamento da população, afetando os sistemas de mobilidade como um todo, conforme abordado na dimensão social.

Um efeito indesejado da redução de desempenho do transporte público coletivo é a migração de viagens para modos individuais motorizados, o que tende a acentuar ainda mais as vulnerabilidades do sistema, sabendo que são inquestionáveis as ineficiências associadas ao uso dos automóveis, como na ocupação do espaço viário, no consumo energético, no aumento de congestionamentos, acidentes, poluição e demais externalidades negativas, se comparado com modos coletivos e não-motorizados.

Principalmente na última década, houve um aumento da frota de veículos individuais motorizados, estimulado pelo aumento da renda, e por incentivos fiscais, créditos e subsídios a automóveis e à gasolina, reduzindo a participação de modos coletivos e não-motorizados na matriz de viagens urbanas no país, e aumentando, assim, a vulnerabilidade do sistema de mobilidade urbana. No entanto, apesar deste aumento, o transporte não-motorizado e o coletivo ainda têm grande importância na mobilidade da população, representando 40% e 29% das viagens realizadas, respectivamente, nos municípios acima de 60 mil habitantes (ANTP, 2015)



Fonte ANTP, 2015

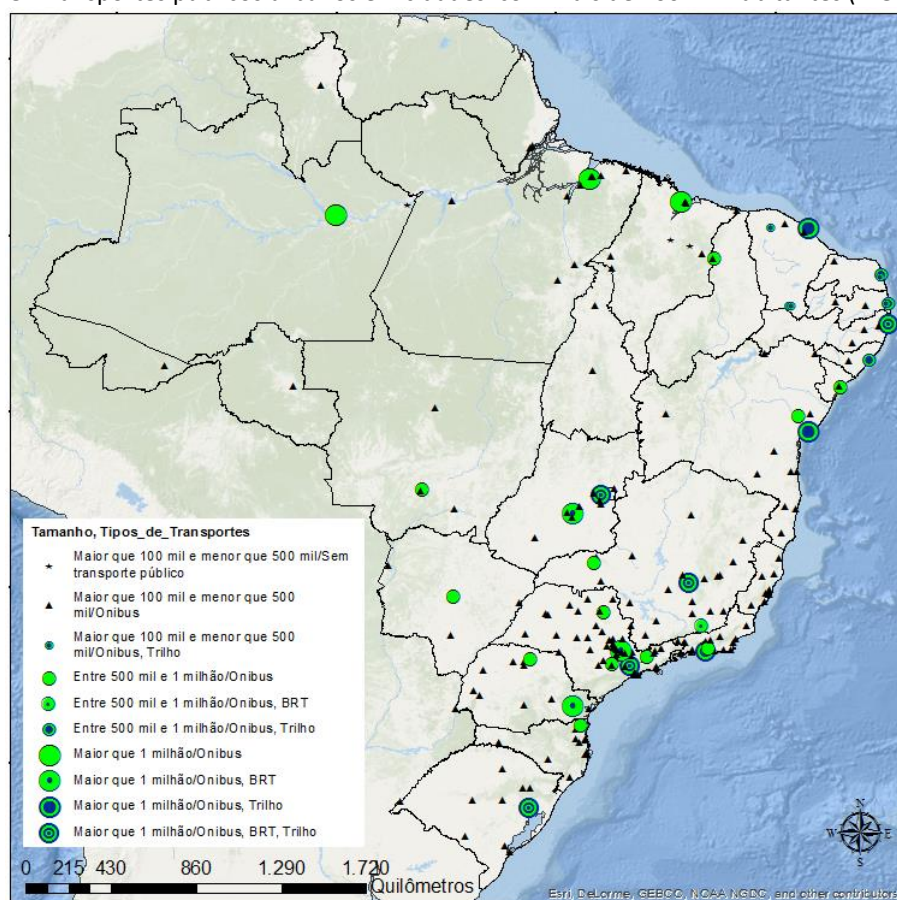
Neste contexto, muito relevantes são as vulnerabilidades associadas aos modos de transporte não-motorizados, os quais são diretamente afetados por fatores climáticos, podendo também gerar migrações de viagens para o automóvel. À exemplo da mobilidade a pé, as constantes inadequações e a falta de manutenção de calçadas, passeios, canteiros centrais e áreas de travessia, tendem a deixar os pedestres ainda mais vulneráveis ao clima (DEL RIO, 1990 apud MELO, 2005). Além disso, as metodologias utilizadas para caracterizar as viagens urbanas, geralmente, subestimam a participação das viagens do modo a pé (e, portanto, sua importância para a mobilidade das cidades), ao contabilizarem apenas o modo de transporte do trecho mais longo da viagem, ocultando os trechos de caminhada no seu início ou término.

Quando se trata das consequências de alterações na demanda de transportes em decorrência de eventos climáticos e de distúrbios na mobilidade, é comum a sobrecarga de determinados sistemas ou rotas. Nesse sentido, sistemas que já operam com relativa saturação se apresentam mais sensíveis a perdas de desempenho ou interrupções na rede, condição muito comum nos horários de pico em grandes cidades brasileiras, onde predomina o fluxo pendular de deslocamentos, conforme observado na dimensão de desenvolvimento urbano.

Assim, ao analisar a sensibilidade da rede de mobilidade urbana, deve-se compreender que a sua estrutura de conectividade e a capacidade de integração dos nós são cruciais para o desempenho e a eficiência da rede. Para uma avaliação mais detalhada, é necessário um mapeamento dos pontos e trechos críticos do sistema, ou seja, aqueles que possuem alta vulnerabilidade e que, ao serem afetados, podem implicar em um impacto significativo à mobilidade de um bairro ou sistema, ou mesmo repercutir os efeitos pela rede, como vias que atendem centros e rotas preferenciais de transportes, que não possuam rotas alternativas, ou representem nós da rede, como terminais e estações de grande demanda, entre outros. Sabe-se que alguns centros exercem papel chave na rede de transporte, ao atrair mais linhas e gerar rotas preferenciais (LU; SHI, 2007).

Nesse sentido, uma rede de transportes que apresente maior diversidade de rotas e sistemas, tende a oferecer mais alternativas ao usuário, desde que haja condições adequadas de integração modal e conectividade, contribuindo, portanto, para a maior flexibilidade e resiliência da mobilidade urbana. Não obstante, a oferta de modos e sistemas deve ser compatível com a demanda de transportes e com o porte das cidades.

Figura 5: Transportes públicos urbanos em cidades com mais de 100 mil habitantes (IBGE, 2012)



Fonte: Elaboração própria.

A figura acima demonstra que cidades brasileiras de mesmo porte possuem diferentes condições de transporte, refletindo-se na respectiva capacidade adaptativa da mobilidade urbana.

Para lidar com os impactos climáticos com o melhor aproveitamento da infraestrutura de transporte existente, ou seja, potencializar a resiliência do sistema, algumas cidades vêm elaborando planos de contingência e protocolos operacionais, que preveem a integração e/ou a redistribuição da oferta dos sistemas de transporte. Estas iniciativas dependem, invariavelmente, de estratégias de comunicação bem estabelecidas com os usuários, podendo também exigir pactuações junto a operadores de transporte.

Acordos colaborativos entre os diversos sistemas de transporte têm sido adotados. Por exemplo, o Plano de Apoio entre Empresas em Situação de Emergência (PAESE) é um acordo entre a SPTrans, CPTM e Metro SP que consiste na oferta de linhas especiais de ônibus para absorver a demanda de linhas ferroviárias interrompidas por eventos extraordinários (greves, manutenção, inundações).

Além do exemplo citado, com a adoção de planos de contingência e protocolos operacionais, a capacidade adaptativa na dimensão dos sistemas de mobilidade urbana tem estreita relação com a forma com que o setor é gerido no âmbito da administração pública. Tal abordagem considera a estrutura institucional e financeira dos órgãos e departamentos vinculados à mobilidade urbana dos entes públicos municipais e metropolitanos, a sua capacidade técnica e operacional, as prioridades da agenda política e demais fatores tangíveis e intangíveis, que se refletem no grau de planejamento e implementação das políticas, planos e programas setoriais que atuem positivamente na redução das vulnerabilidades na mobilidade urbana e, consequentemente, no nível de serviço ofertado à população.

Neste contexto, destaca-se que os municípios que possuem Planos de Mobilidade Urbana, elaborados em conformidade com o disposto na PNMU, estão mais instrumentados que demais municípios no enfrentamento dos desafios aqui tratados, uma vez que as diretrizes da política preconizam a qualificação do transporte público coletivo e do não-motorizado, dentre demais aspectos aderentes com as observações aqui colocadas.

Outro aspecto importante se refere à gestão da informação, tanto internamente, no âmbito das operações dos sistemas, o que permite maior confiabilidade, melhor gerenciamento da oferta e da demanda, otimização da rede e adoção de ações contingenciais, quanto externamente, orientada à população, o que estimula o uso do transporte coletivo e proporciona um melhor planejamento das viagens.

Capitais e RM tendem a ter melhor capacidade institucional que cidades menores, além da maior atenção dos governos estaduais e federal devido à concentração populacional, havendo inclusive sistemas de transportes de média e alta capacidade sob jurisdição estadual ou federal. Por outro lado, a inexistência de gestão metropolitana no setor de mobilidade urbana notadamente prejudica o planejamento e a operação dos transportes, causando, por vezes, desequilíbrios na oferta e demais ineficiências na rede de transporte em municípios de uma mesma RM, bem como internamente aos mesmos, tornando o sistema de mobilidade mais vulnerável.

Do ponto de vista dos impactos relacionados a altas temperaturas, além dos aspectos de conforto dos usuários, sobretudo de modos não-motorizados, sensibilidades específicas dos sistemas devem ser consideradas, como a dilatação e contração térmica de trilhos e cabos aéreos de eletrificação, superaquecimento de motores, entre outras.

Sabe-se que, dependendo da região, a maior utilização de sistemas de ar-refrigerado nos sistemas de transporte público pode ser considerada essencial para a viabilidade do sistema de transportes, o que, por sua vez, cria externalidades negativas, como o aumento do consumo de energia ou combustíveis, e a consequente elevação das emissões atmosféricas.

IV.3. Dimensão Social

Os impactos decorrentes de eventos climáticos extremos na mobilidade urbana possuem magnitudes diferentes de acordo com os grupos populacionais afetados. Habitantes de um município ou bairro, com nível de exposição equivalente, podem ter sensibilidades muito diferentes em função das suas características físicas e sociais.

Há grupos que podem sofrer mais com os impactos em função da sua baixa resistência a condições extremas, como crianças, idosos e pessoas com condições sensoriais e motoras reduzidas. Dessa forma, eles apresentam maior susceptibilidade a traumas em situações de redução da segurança viária (p. ex. em caso de aparição de obstáculo em função de alagamentos e inundações) e a mal-estar provocado por ondas de calor (BROOKS; ADGER; KELLY, 2005). Pode-se considerar ainda, que pessoas em idade ativa portadoras de doenças crônicas dos sistemas respiratório e cardiovascular (entre outras condições adversas de saúde) também são mais sensíveis a impactos dessa natureza.

Destaca-se que eventos climáticos extremos podem aumentar a incidência de acidentes, devido à redução de visibilidade, aderência de veículos, falhas em sistemas de controle, surgimento de obstáculos e danos nas vias, entre outros fatores.

Sob uma perspectiva socioeconômica da sensibilidade, de forma geral, uma maior renda permite às pessoas escolher alternativas de trajetos, modos e horários de deslocamento, quando submetidos a situações de comprometimento das condições normais de mobilidade. Em adição, classes de renda mais alta possuem maior condição de fixar sua residência em locais mais próximos ao trabalho ou com melhor acesso a serviços de transporte público. Tais aspectos conferem uma maior capacidade adaptativa autônoma a estes grupos e, portanto, menor vulnerabilidade (BALASSIANO; MARQUES, 2010).

Por outro lado, os mais pobres possuem orçamento familiar altamente comprometido com despesas essenciais, e têm uma maior proporção de sua renda alocada direta e indiretamente nos deslocamentos casa-trabalho (CARVALHO; PEREIRA, 2012 e STIVALI; GOMIDE, 2007), denotando menor capacidade de adotar mudanças nos seus padrões de viagem em função de interrupções e falhas nos sistemas.

Ainda, populações de menor poder aquisitivo tendem a se estabelecer em regiões historicamente carentes de investimentos em infraestrutura, incluindo de transportes, ou seja, em áreas fortemente segregadas da cidade “estabelecida” (ROSENZWEIG et al., 2011).

Nesse sentido, estes grupos de baixa renda, sobretudo em RM, potencialmente, precisam cobrir distâncias maiores nos deslocamentos casa-trabalho, estão sujeitos a uma oferta de serviços de transporte público mais precária (frequência, abrangência, confiabilidade), e possuem menor capacidade financeira de realizar mudanças momentâneas ou de longo prazo nos seus padrões de viagem.

Tal contexto se reflete em um menor índice de mobilidade e maior tempo médio de viagem para os grupos de menor renda. Segundo BALASSIANO e MARQUES (2010), habitantes das RM que

recebem mais de 20 salários mínimos realizam três vezes mais viagens quando comparados aos que recebem até 2 salários mínimos. Ao mesmo tempo, os mais pobres levam, em média, 20% a mais de tempo que os mais ricos para se deslocarem ao trabalho nas RM (LUCAS, 2012; PEREIRA; SCHWANEN, 2013).

Em 2009, em Belo Horizonte, os residentes com renda de até três salários mínimos realizavam 1,1 viagens por dia, enquanto os de renda maior que 10 salários mínimos realizavam 2,1 viagens por dia. Esse mesmo padrão foi identificado nas RM de São Paulo, Recife e Rio de Janeiro (BALASSIANO e MARQUES, 2010).

Com isso, em sentido amplo, os efeitos negativos para a vida pessoal e financeira decorrentes de perdas de desempenho ou interrupções na mobilidade urbana são mais significativos para as populações mais pobres, ao mesmo tempo em que têm menos condições de promover mudanças que minimizem esses impactos no curto e longo prazo.

IV.4. Dimensão Econômica

Os impactos climáticos na mobilidade urbana possuem reflexos econômicos no curto, médio e longo prazo. Danos à infraestrutura de transporte e veículos, que geram custos mais imediatos, como a necessidade de recuperação e reposição de ativos, foram tratados na dimensão dos sistemas de mobilidade urbana, enquanto neste tópico focou-se em uma descrição dos efeitos econômicos em uma escala mais ampla.

Neste contexto, os diversos prejuízos às pessoas, empresas e cidades decorrentes de impactos climáticos que se materializam no longo prazo, vão desde o aumento de custos de manutenção de elementos da infraestrutura, desequilíbrios financeiros nos sistemas de transporte, inviabilização de atividades econômicas, maiores gastos com saúde pública, entre outros.

Muito embora seja uma tarefa complexa quantificar estes impactos, deve-se compreender que as cidades concentram um grande número de atividades, que representam vetores da economia, e que estão direta ou indiretamente vinculadas ao deslocamento de pessoas e ao transporte de cargas. O acesso ao trabalho, educação, lazer, saúde, assim como a distribuição de produtos, insumos e serviços, dentre outras funções da mobilidade urbana, são exemplos desta relação. Assim, os centros urbanos têm suas economias altamente dependentes da mobilidade urbana e, conseqüentemente, da oferta e desempenho da infraestrutura e serviços de transporte.

Nesse sentido, distúrbios na mobilidade urbana se desdobram e repercutem em perdas econômicas para todos os estratos da população, para a indústria, para o comércio e para o setor público, sobretudo em cidades que concentram maior atividade econômica. A distribuição espacial e perfil destas atividades e a cobertura de serviços e infraestruturas de transportes podem influenciar na sensibilidade da economia aos impactos climáticos sobre a mobilidade urbana.

No caso do setor industrial, o fornecimento de matéria-prima, o escoamento da produção e o comparecimento da força de trabalho são aspectos sensíveis a perdas de desempenho ou interrupções na mobilidade urbana. Por exemplo, no desastre ocorrido na Região Serrana do Rio de Janeiro, em janeiro de 2011, segundo avaliação das perdas realizado pelo Banco Mundial, 67% das empresas enfrentaram uma redução no quadro de funcionários. As unidades que sofreram alagamentos no seu entorno representam 38% e 59% das empresas que declararam ter tido dificuldades no recebimento de matéria-prima e 62% das empresas pesquisadas encontraram dificuldades no escoamento da produção. O volume de vendas reduziu em 84.4% e a capacidade de produção diminuiu 65% no Município de Nova Friburgo. Em 80% das empresas afetadas pelas inundações e deslizamentos, em média, 70% dos funcionários não puderam trabalhar no período do levantamento. Em Teresópolis, 64% das empresas sofreram redução no quadro de funcionários (BANCO MUNDIAL, 2012). Como conclusão, o estudo destaca que *“os impactos no entorno das áreas industriais, nos serviços de fornecimento de energia e de telecomunicações, as dificuldades de escoamento da produção e de recebimento de matéria-prima, bem como a redução no quadro de funcionários durante a fase pós-desastre reduziram a produção e geraram perdas significativas”* (BANCO MUNDIAL, 2012).

Quanto ao setor de comércio, as estimativas retratadas por BANCO MUNDIAL (2012) apontam que, cerca de duas semanas depois do evento crítico, 557 lojas ainda estavam fechadas por conta das inundações e deslizamentos. Em mais de 67% dos casos, a ausência de clientes era o principal obstáculo ao funcionamento dos estabelecimentos. Somando todas as perdas, o estudo estima que elas correspondam a 40% do PIB de 2009. Falta de recursos financeiros, morosidade nas ações do poder público e as dificuldades de locomoção dos clientes estavam entre os principais pontos negativos aos negócios na região depois das inundações e deslizamentos (BANCO MUNDIAL, 2012).

Pelo lado da capacidade adaptativa, entende-se que a implementação de medidas de adaptação por parte do poder público pode demandar a alocação de recursos financeiros, seja na implantação de novas infraestruturas ou na reforma de existentes, bem como em estudos técnicos, medidas operacionais, e outras ações. Assim, uma melhor condição financeira de uma Prefeitura Municipal pode contribuir para uma menor vulnerabilidade, não apenas no sentido de esta ser capaz de se recuperar de perdas decorrentes de impactos climáticos, como também pela capacidade de realizar investimentos e promover ações de adaptação.

Por fim, cabe ressaltar que as dimensões da vulnerabilidade aqui apresentadas estão intrinsecamente relacionadas no contexto das cidades, de forma que impactos climáticos que afetem umas das dimensões podem se refletir nas demais, de forma direta, ou no médio e longo prazos.

V. Impactos Potenciais na Mobilidade Urbana

No Capítulo VI serão apresentadas projeções de indicadores climáticos de precipitação e temperatura extremos para os horizontes de 2040 e 2070 como forma de qualificar alguns perigos à mobilidade urbana destacados em estudos internacionais (corroborados por identificação em cidades brasileiras). Tendo como base a literatura internacional (DFT - DEPARTMENT FOR TRANSPORT, 2014; EICHHORST, 2009; FHWA, 2012; HM STATIONERY OFFICE, 2013; ITURRI; IGNACCOLO, 2011; NEMRY; DEMIREL, 2012; NJTPA, 2012; UNIVERSITY OF VIRGINIA, 2011; USDOT, 2008; WRA, 2012), os eventos climáticos considerados perigosos neste trabalho foram divididos em três tipos:

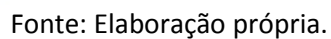
- Precipitações – relacionados ao aumento da frequência e intensidade de precipitações extremas que possam causar alagamentos, inundações, enxurradas ou vendavais;
- Temperatura – são perigos relacionados à maior ocorrência de dias com altas temperaturas;
- Elevação e sobre-elevação do nível do mar – são perigos causados pela elevação do nível do mar (de ordem meteorológica – transitória – e do nível médio – persistente) que afetariam diretamente ou indiretamente as infraestruturas de uma cidade, incluindo os transportes urbanos, que estão em regiões de litorâneas de baixada ou de várzea.

Os perigos climáticos potenciais podem afetar os sistemas de transportes urbanos de diferentes formas, gerando impactos à infraestrutura e ao desempenho operacional dos sistemas e mudanças no comportamento dos usuários, cujos desdobramentos podem abranger aspectos de qualidade de vida e economia das cidades, entre outros.

Para identificar possíveis encadeamentos de impactos a partir de perigos climáticos, elaborou-se dois fluxogramas de causa e efeito, o primeiro relacionado a eventos de precipitação combinados com elevações do nível do mar (Figura 6) e o segundo a aumentos de temperatura (Figura 7). As caixas de cor amarela representam impactos de primeira ordem a partir dos perigos climáticos, enquanto as de cor laranja, os impactos diretos e indiretos sobre a infraestrutura e os sistemas de transportes. Os potenciais impactos no sistema de mobilidade urbana como um todo estão apresentados nas caixas vermelhas, e por fim, as caixas verdes representam impactos indiretos de maior amplitude.

Nestes fluxogramas, as setas indicam diferentes desdobramentos de impactos que os perigos climáticos podem deflagrar, tendo sido destacados alguns impactos (borda mais espessa) considerados mais críticos.

Perigos Climáticos



Fonte: Elaboração própria.

A **Figura 6** representa possíveis encadeamentos de efeitos a partir da ocorrência de mudanças no padrão de precipitação⁷ e elevação do nível do mar (lado esquerdo do fluxograma). Os eventos secundários decorrentes, como as inundações costeiras, inundações interiores, saturação do solo, vendavais, enxurradas e alagamentos (caixas com cor amarela) são considerados como impactos de primeira ordem.

A **maior intensidade e frequência de precipitações extremas** aumenta a possibilidade de inundações⁸, alagamentos⁹, enchentes¹⁰ e enxurradas que podem impactar as infraestruturas de apoio à mobilidade urbana expostas (vias, estações, terminais, Obras de Arte Especiais - OAE, equipamentos, casas de máquina, etc.). A magnitude dos impactos dependerá de uma série de características físicas e de ocupação da área exposta¹¹, ambas influenciando nos parâmetros das enchentes (velocidade do escoamento, tempo de permanência, duração do evento, frequência e taxa de elevação do nível da água).

Os **níveis de precipitação que interferem na infraestrutura de mobilidade variam muito entre cidades**, dentro das cidades e entre os sistemas de transportes. Eles dependem não só do dimensionamento da infraestrutura de drenagem, mas de sua manutenção e limpeza. Em regiões litorâneas, as enchentes são potencializadas pelo regime de maré, onde as mais altas podem influenciar no tempo de permanência das águas, provocando enchentes mais duradouras. Não há para as cidades um limiar crítico comum de volume de chuvas a partir do qual ocorrem as enchentes de vias, o que facilitaria a identificação das situações de perigo. Por exemplo, a cidade do Rio de Janeiro considera como limite para entrar em estado de alerta¹² chuvas superiores a 40 mm/h, mas esse valor tem relação direta com os riscos de escorregamento e não aos riscos para a infraestrutura de mobilidade urbana. De fato, as autoridades consideram que precipitações de menor intensidade já podem provocar diversos pontos de enchentes. Já na cidade de São Paulo, NOBRE e YOUNG (2011) destacam que ao longo da Av. Aricanduva, enchentes já ocorrem com chuvas menores que 30 mm/h, o que para os autores *“esse tipo de problema é ainda mais grave, se considerarmos que eventos de chuvas extremas (acima de 50 mm/dia) não são necessários para que os pontos de alagamento se multipliquem”*. Para entender as vulnerabilidades na mobilidade urbana decorrentes das chuvas intensas de maneira completa, portanto, é necessário um **mapeamento profundo das áreas críticas das cidades**. A partir desse diagnóstico local é possível compreender o comportamento da macrodrenagem das bacias hidrográficas, permitindo estabelecer os trechos e elementos dos sistemas de transporte mais expostos e sua sensibilidade às chuvas e tempestades. Quando combinada com o entendimento do padrão de deslocamento das pessoas, essa análise pode apontar as infraestruturas mais críticas para o sistema de mobilidade urbana.

⁷ Os perigos relacionados a mudanças no padrão da precipitação foram apresentados no Capítulo VI através dos indicadores R30 e SDII.

⁸ Inundação é o transbordamento de água da calha normal de rios, mares, lagos e açudes, ou acúmulo de água por drenagem deficiente, em áreas não habitualmente submersas. Podem ser classificadas segundo seu processo evolutivo: enchentes ou inundações graduais, enxurradas ou inundações bruscas, alagamentos e inundações litorâneas (MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO, 1998).

⁹ Alagamento é o acúmulo de água no leito das ruas e no perímetro urbano por fortes precipitações pluviométricas, provocadas por sistemas de drenagem deficiente. Enchente é a elevação do nível de água de um rio, acima de sua vazão normal (MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO, 1998).

¹⁰ Enchentes são o aumento temporário do nível d'água de um canal de drenagem devido ao aumento da vazão, porém sem transbordamento (MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO, 1998). No entanto, para esse trabalho aumentaremos a abrangência do seu significado, incorporando inundações e alagamentos. Seguiremos o mesmo tratamento dado nos trabalhos de ZONSEIN (2007) e VERÓL (2013).

¹¹ Está fora de escopo avaliar esses fatores para cada cidade brasileira.

¹² Informação Verbal. Nery, Luciana: depoimento [set. 2015]. Entrevistadores: Daniel Fontana Oberling e Diogo Victor Santos. Rio de Janeiro: Centro de Operações Rio, 2015. Entrevista concedida ao Projeto Plano de Adaptação da Mobilidade Urbana às Mudanças Climáticas.

Apesar das enchentes nas vias serem sempre um transtorno para os moradores, a **vulnerabilidade na mobilidade urbana da cidade dependerá da importância da via exposta**. As consequências desses eventos em vias que concentram grande fluxo de transportes coletivos ou individuais, caso não possuam rotas alternativas, são muito maiores para a população. Cidades com essas condições e que apresentem forte característica de fluxo pendular, refletido por um grande número de viagens casa-trabalho percorrendo grandes distâncias, como acontece nas RM, tendem a ser ainda mais vulneráveis.

Pontos de alagamento cidade de São Paulo

NOBRE e YOUNG (2011) destacam que as áreas vulneráveis a inundações na cidade de São Paulo estão predominantemente localizadas “ao longo das extensas várzeas do rio Tietê e terrenos marginais dos seus afluentes principais: rio Pinheiros, rio Tamanduateí, rio Aricanduva, rio Anhangabaú, rio Cabuçu de Cima etc. As situações de risco de inundação nessas regiões estão associadas ao transbordamento e consequente inundação dos terrenos marginais ocupados, e alagamento em trechos importantes do sistema viário central da cidade”. A cada transbordamento e inundação desses sistemas viários, na maioria afetando modos rodoviários, a região metropolitana sofre com intensos congestionamentos. Nobre *et al.* (2011) destaca que os pontos de inundação mais frequentes da RMSP em 2010 situavam na porção mais central, justamente nas áreas mais urbanizadas. Já as áreas periféricas tinham ocorrências em regiões de assentamentos precários nas várzeas ou nas margens de cursos d’água sujeitos a transbordamentos.

No caso do transporte por trilhos, que são importantes pilares da mobilidade das principais regiões metropolitanas, **linhas construídas em áreas baixas tendem a apresentar maior frequência de enchentes**. A alteração do uso do solo nas regiões do entorno dos corredores ferroviários, como aconteceu no processo histórico de ocupação das RMs, intensificou o aparecimento de novos pontos de inundação ou alagamento. **Estações ferroviárias¹³ e, principalmente, as metroviárias, também podem ser vulneráveis a enchentes** na medida em que seu sistema de drenagem depende do entorno e, quando precário, faz com que os riscos de enchentes aumentem. Somado a isso, a vulnerabilidade do conjunto de drenagem das estações e de seu entorno se torna maior por conta da disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos, que obstruem os bueiros, valas e tubulações.

Inundações de via permanente em linhas de trem urbano, São Paulo – 2015

Parte da via permanente da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) foi construída em áreas de várzea, fazendo com que registrem diversas ocorrências de inundação. No ano de 2014, ocorreram 34 inundações de via permanente distribuídos em quase todas as linhas (CPTM, 2015).

Inundação estação Joana Bezerra, Recife – Maio de 2013

A região metropolitana de Recife sofreu com fortes chuvas em 17 de maio de 2013. Em um dia, foram registrados 140 mm, equivalente a 40% da chuva total prevista para o mês de maio. Toda região metropolitana enfrentou chuvas acima de 30 mm/h. Além dos alagamentos de vias, a chuva invadiu a estação de metrô Joana Bezerra, na área do saguão de integração entre os ônibus e metro; no entanto, não houve paralização do serviço de trens. Houve danos em equipamentos elétricos que ficaram inundados, como escadas rolantes.

Em adição, além dos efeitos das enchentes, as chuvas também **afetam o desempenho operacional de sistemas sobre trilhos**. Sob determinados volumes de chuvas, trechos em superfície de sistemas de metrô podem ter sua velocidade operacional alterada. Essa redução pode chegar a 20% da velocidade operacional em função da diminuição da aderência das rodas

¹³ Esses efeitos também podem ser vistos em estações de transportes de média capacidade no modal rodoviário.

com os trilhos. Como resultado do aumento nos tempos de viagem, estrangulamentos na rede de transporte podem ocorrer, se refletindo na sobrecarga de estações e mesmo de outros modos de transporte. Ressalva-se que esse impacto é menos significativo em sistemas de trens urbanos em função do maior peso das composições¹⁴.

Transbordamento Rio Mundaú – Junho de 2010

Em junho de 2010, chuvas que atingiram a região metropolitana de Maceió, provocando o transbordamento do rio Mundaú, e destruíram diversos trechos da linha de trens urbanos da CBTU. O transbordamento do rio rompeu o muro da barragem local, que atingiu a linha da CBTU, interrompendo totalmente o tráfego de trens, prejudicando milhares de pessoas que dependem desse meio de transporte para chegar à capital, vindos do Município de Rio Largo, cuja estação está a cerca de 30 km da estação Maceió. Enquanto os trechos menos afetados foram reestabelecidos em poucos dias, o trecho com maior dano, entre as estações de Gustavo Paiva e Rio Largo, onde houve deslizamento de terra e uma cratera de 100 metros de diâmetro, foi reestabelecido depois de dois anos¹⁵, ante uma previsão inicial de 6 meses¹⁶.

Enchente em estações de trens urbanos no Rio de Janeiro – Janeiro de 2013

As estações de Olaria, São Francisco Xavier e Engenho de Dentro, também pertencentes ao sistema de trens urbanos da RM do Rio de Janeiro, recorrentemente ficam alagadas. As chuvas do dia 17 de janeiro de 2013 provocaram alagamento da estação de Olaria, que retornou ao funcionamento normal somente no dia seguinte¹⁷. Com a recorrência dos eventos, há perda de infraestrutura, como a retirada de escadas rolantes constantemente danificadas pelos alagamentos. A concessionária desenvolveu um programa de manutenção das estações e entorno, mas mesmo assim não é suficiente. Uma das causas destacadas é a ocupação do entorno, que interfere no regime de escoamento das águas. As canaletas, valas e linha de trem são o caminho natural da água¹⁸.

Enchentes no sistema de trens e metrô da RM de São Paulo – Fevereiro de 2010

Em fevereiro de 2010, uma tempestade na Zona Norte provocou enchente da estação do metrô (Jardim São Paulo), pertencente à Linha 1 Azul. Os trens ficaram paralisados por 30 minutos, afetando toda a linha. Houve registro de transtornos nas estações Sé e Anhangabaú, onde os portões ficaram fechados por 40 minutos. Combinado a isso, sob chuva os trens trafegaram em velocidade reduzida, o que aumentou o tempo do trajeto. Também houve problemas para embarcar em diversas estações das Linhas Turquesa, Coral e Zafira, alagadas em diversos pontos¹⁹.

Em regiões litorâneas, inundações e alagamentos provocados por chuvas mais intensas podem ser **potencializados pela elevação do nível do mar**. A maior intensidade de tempestades oceânicas combinada com a elevação do nível médio relativo do mar pode elevar a altura das ondas nas marés meteorológicas e astronômicas, conforme dito, podendo provocar maiores inundações costeiras. Regiões de cotas mais baixas estão mais vulneráveis nesse sentido. A

¹⁴ Informação Verbal. De Souza, Conrado Grava: depoimento [ago. 2015]. Entrevistadores: Daniel Fontana Oberling e Diogo Victor Santos. São Paulo: Metro-SP, 2015. Entrevista concedida ao Projeto Plano de Adaptação da Mobilidade Urbana às Mudanças Climáticas.

¹⁵ <http://www.alagoas24horas.com.br/556784/trens-voltam-a-circular-nesta-segunda-para-rio-largo/>
<http://g1.globo.com/alagoas/noticia/2014/10/circulacao-de-trens-urbanos-continua-suspensa-na-grande-maceio.html>

¹⁶ <http://www.jblog.com.br/ttp.php?itemid=22097>

¹⁷ <http://extra.globo.com/noticias/rio/chuvas-no-rio-estacoes-de-olaria-da-penha-continuam-alagadas-na-pavuna-casas-foram-inundadas-7332894.html>

¹⁸ Informação Verbal. Roberto Longman, Pedro Paulo Souza, Gaspar Ferreira da Silva e Gustavo José de Almeida Chaves: depoimento [out. 2015]. Entrevistador: Daniel Fontana Oberling. Rio de Janeiro: Supervia, 2015. Entrevista concedida ao Projeto Plano de Adaptação da Mobilidade Urbana às Mudanças Climáticas.

¹⁹ <http://g1.globo.com/Noticias/SaoPaulo/0,,MUL1476560-5605,00-PASSAGEIRO+FLAGRA+ENCHENTE+EM+ESTACAO+DO+METRO+DE+SP.html>

cumulatividade dos efeitos de elevação do nível médio relativo do mar com a passagem de frentes frias mais intensas pode ocasionar problemas de macrodrenagem de áreas urbanas em baixadas e lagoas costeiras, com aumento da frequência de inundações (NEVES; MUEHE, 2010). As principais ameaças à infraestrutura de transportes relacionadas à elevação do nível do mar são: 1) diminuição da faixa de areia das praias, expondo a infraestrutura de ruas, avenidas e calçadas ao ataque direto das ondas; 2) recuo da linha de orla das baixadas de lagoas costeiras e baías, com possíveis elevações acima da média em função de possíveis afundamentos desses terrenos em orla e inundações mais frequentes; e 3) alteração do processo de macrodrenagem de águas interiores, diminuindo o desnível entre o continente e o mar, aumentando o tempo de permanência das águas das chuvas (ROSMAN *et al.*, 2009).

A **construção de vias litorâneas** tem servido para a delimitação geográfica da expansão urbana em direção ao mar, ao mesmo tempo em que garante acesso do público à praia (NEVES; MUEHE, 2008). Este é o estilo de ocupação da orla, vista por exemplo, em Balneário Camboriú, Santos, Rio de Janeiro, Recife e São Luís. Problemas com o “avanço do mar”, principalmente em áreas oceânicas, tem como um dos fatores a ocupação inadequada da faixa litorânea de praia. O posicionamento das infraestruturas por diversas vezes avança no “perfil de tempestade”, ou seja, local onde ocorre o máximo de avanço da água do mar decorrente de ressacas ou ondas de tempestades. As benfeitorias consideram, em geral, somente o “perfil de bom tempo”. Apesar de devidamente reconhecido pelas mais recentes normas que fixam a faixa de não edificação litorânea, há aquelas novas construções que negligenciam essas recomendações e há aquelas mais antigas que invadem essa faixa e são de difícil remoção (NEVES; MUEHE, 2008). Dentre os resultados da elevação de origem meteorológica do nível do mar, das ressacas ou da diminuição do aporte de sedimentos, tem-se a mudança no perfil da praia, podendo afetar a infraestrutura urbana costeira, principalmente relacionada à mobilidade urbana e moradias. Tais impactos são percebidos (veja exemplos nos quadros abaixo) e apesar de terem relação com a forma de ocupação das faixas litorâneas, podem ser intensificados em uma futura elevação do nível médio dos oceanos por conta das mudanças climáticas.

Ressaca litoral Sul e Sudeste – maio de 2001

No dia 05 de maio de 2001, ventos fortes (em torno de 18 m/s) atingiram a região das Bacias de Santos e Campos, provocando ondas de 4 m e grande ressaca no litoral do Paraná, de São Paulo e do Rio de Janeiro, uma das maiores das últimas décadas. O maior estrago foi registrado no Paraná, na cidade litorânea de Matinhos (100 km de Curitiba), onde 19 casas foram destruídas, 47 danificadas, 300 pessoas ficaram desabrigadas e seis quilômetros da via à beira mar foram destruídos. O mesmo evento também causou estragos em diversas cidades do litoral do Rio de Janeiro. Na Região dos Lagos, dez quiosques desabaram na orla de Rio das Ostras, três foram danificados em Maricá e, em Saquarema, praças, ruas e casas foram tomadas pela água do mar. No Rio de Janeiro, houve interdição dos quiosques em São Conrado, do mirante do Leblon, da pedra do Arpoador e cerca de 100 m da orla do Leblon. A água e a areia invadiram a ciclovia e as duas pistas da Av. Delfim Moreira e ruas da Barra da Tijuca foram inundadas pela água do mar. A Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro recolheu 450 ton de areia lançadas pelo mar no calçadão e nas avenidas da orla da zona sul carioca, levando dois dias para concluir os trabalhos²⁰. Além disso, o aumento do nível do mar fez subir o nível dos rios que desembocam na Baía de Guanabara, invadindo casas e vias nas comunidades de Vila Ipiranga, Parque Royal, Vigário Geral e Fundão. Em São Paulo, a água do mar desalojou 180 famílias nas cidades de Caraguatatuba e São Sebastião, esta última apresentando 45 casas inundadas. Em Maresias, a água chegou à rodovia Rio-Santos (SP-55)²¹.

²⁰ http://memoria.bn.br/DocReader/docreader.aspx?bib=030015_12&pasta=ano%202000&pesq=ressaca

²¹ <http://acervo.folha.uol.com.br/fsp/2001/05/07/15/>

Ressaca litoral Sudeste – abril 2016

A formação de um ciclone no litoral sul do Brasil, no dia 19 de abril, provocou ressaca que perdurou por alguns dias no litoral da Região Sudeste. No dia 21 de abril, apesar da ausência de alerta de ressaca para o litoral da capital, as ondas atingiram com força o litoral, mas não se pode afirmar que foi um fenômeno incomum²². Nesse dia, as ondas atingiram um trecho da ciclovia Tim Maia, recém-inaugurada, levando ao desabamento do tabuleiro da ciclovia lançando cinco pessoas ao mar, sendo que duas não sobreviveram²³. Nesse mesmo evento climático, trechos de outras avenidas litorâneas foram invadidos pelas águas. O acidente evidenciou a potencial vulnerabilidade de infraestruturas litorâneas, além de destacar que infraestruturas expostas ao mesmo perigo possuem vulnerabilidades diferenciadas (no mesmo trecho da ciclovia há uma ponte da Av. Niemeyer que possui pouca sensibilidade a eventos dessa magnitude). Outra conclusão diz respeito a repercussão extremamente negativa da fragilidade de uma obra de mobilidade urbana com forte apelo turístico a um evento de magnitude e frequências supostamente conhecidos. Na semana seguinte, uma ressaca provocada pela formação de um ciclone extratropical avançou pela costa da Argentina e chegou ao Brasil pelo Rio Grande do Sul, e percorreu a costa até o Rio de Janeiro, tendo provocado alerta de ressaca em toda a costa do Sudeste. Além de paralisar a travessia das balsas, a região da Ponta da Praia teve partes do muro destruído e as vias e garagens próximas foram inundadas²⁴.

Mudanças na intensidade das tempestades e as respectivas alterações nos parâmetros hidrológicos dos rios podem acarretar em **problemas estruturais em pontes**. As fundações dessas infraestruturas são projetadas considerando parâmetros hidrológicos históricos como os níveis máximo e mínimo das águas, seção de vazão do projeto, regime fluvial para períodos de enchente e seca, direção e velocidades da correnteza, tipo de erosão do fundo e das margens do rio, arraste de material sólido e espaçamento dos pilares. A maior recorrência de eventos climáticos que façam ultrapassar os limites máximos desses parâmetros oferece novos níveis de risco de colapso das fundações (LA ROVERE; DE SOUZA, 2015). Por exemplo, obras de artes especiais (pontes, etc.) podem ser projetadas para resistir a certos níveis de enchentes como, por exemplo, aquelas cujo tempo de recorrência é de 1 a cada 100 anos, de acordo com o histórico da região (BRASIL, 1996). Para alguns cenários climáticos, enchentes com tempo de recorrência de 1 a cada 100 anos podem ser bem mais severas do que apontam os dados históricos, deixando o projeto com maior risco de colapso.

Tempestades mais frequentes e mais intensas oferecem **ameaça à infraestrutura aérea da cidade** (postes, sinalização e arborização) cujos danos podem alcançar estações e fluxos de veículos e pedestres. Um dos riscos para a mobilidade urbana e segurança das pessoas é queda de árvores sobre vias, sistemas de fornecimento de energia e telecomunicações, decorrente de tempestades com fortes rajadas de vento. Um fator que aumenta a esta sensibilidade é a utilização de espécies pouco adequadas ao espaço urbano e com baixa resistência a ventos fortes, como raízes superficiais, galhos pouco flexíveis, porte avantajado, alta densidade de folhagem e da madeira, idade avançada, além da eventual conservação inadequada. Fatores urbanísticos favorecendo corredores de ventos e o uso de pavimentos que compactam e diminuem a camada superficial de solo contribuem para a queda de árvores, já que impedem o crescimento e aprofundamento das raízes.

²² <http://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2016/04/22/ressaca-foi-prevista-2-dias-antes-de-queda-de-ciclovias-no-rio.htm>

²³ <http://oglobo.globo.com/rio/desabamento-de-ciclovias-recem-inaugurada-deixa-ao-menos-dois-mortos-19139109>

²⁴ <http://www.atribuna.com.br/noticias/noticias-detalle/cidades/santos-deve-recorrer-a-contrato-emergencial-para-reparar-estragos-da-ressaca/?cHash=62026645dc3c9c414a03ae7eeaa8123e>

Paralisações nos sistemas de trem e metrô de São Paulo – Janeiro de 2015

Nas mesmas chuvas ocorridas na tarde do dia 12/01/15 na cidade de São Paulo, além da queda de árvores, houve 35 pontos de alagamentos na cidade, interrupção do aeroporto de Congonhas, das Linhas 12-safira da CPTM (cinco horas de paralisação), 10-turquesa e 11-coral, redução da velocidade operacional das linhas 2-verde, 1-azul e 3-vermelha do metrô. Isso ocasionou um aumento considerável de lentidão no tráfego no fim de tarde (15,7% das vias monitoradas apresentaram problemas), normalizando somente à noite²⁵.

Interdição trens urbanos Rio de Janeiro por queda de árvore – Janeiro 2015

Em janeiro de 2015, uma árvore caiu por conta de ventos fortes em um ponto do ramal Japeri e interrompeu por quase 3 horas o tráfego de trens próximo à estação Comendador Soares, entre Japeri e Nova Iguaçu, na RM do Rio de Janeiro. Ela danificou a rede aérea e obstruiu a via férrea. A circulação do ramal foi interrompida às 3h30, no início das operações, sendo reaberta quase 3 horas depois²⁶.

As tempestades ou chuvas prolongadas (mais que 3 dias) também podem oferecer perigos ao sistema de transportes a partir do **aumento da frequência de escorregamentos (deslizamentos) de encostas e taludes ou qualquer outro movimento de massa**. Os diferentes tipos de movimentos de massa (deslizamento de solo ou de rochas, queda de blocos ou rolamento de matacões) apresentam causas climáticas deflagradoras variadas e sua intensidade depende de características dos materiais mobilizados (solo e/ou rocha), suas velocidades relativas, tipo de movimento predominante (translacional, rotacional), geometria das rupturas (planar, circular), condicionantes naturais e antrópicos (LA ROVERE; DE SOUZA, 2015). Esse material mobilizado pode bloquear ou afetar a segurança de ruas, avenidas e vias férreas urbanas. Áreas ainda mais sensíveis são as com ocupações cujo aterramento não tenha sido realizado de maneira adequada, principalmente em locais de “aterros lançados”²⁷, ou por insuficiência de serviços públicos, como os escorregamentos causados por lixo. Assim, os impactos possuem relação específica com as características naturais (sensibilidade) e a localização das infraestruturas de cada local (exposição), necessitando que cada cidade identifique através de seus diagnósticos as infraestruturas mais expostas.

A maior frequência de enchentes pode provocar uma **maior deterioração dos elementos estruturais da infraestrutura de transportes das cidades** (pavimentos, calçadas, ciclovias, estações, terminais, etc.). Quando a drenagem dessas estruturas não consegue evitar níveis excessivos de umidade, os materiais utilizados (concreto, aço e madeira) podem vir a sofrer maior deterioração (NGUYEN; WANG; LEICESTER, 2013). Mais expostas, essas infraestruturas podem perder sua capacidade de suporte às intempéries climáticas. Esse processo tem consequências diretas na durabilidade, na segurança, nos custos de manutenção e na oferta dos serviços. No caso dos corredores de ônibus com pavimento asfáltico, o efeito da umidade combinado com a ação de temperaturas extremas e a circulação de veículos pesados causa

²⁵ <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2015/01/1573961-chuva-deixa-toda-a-cidade-de-sao-paulo-em-estado-de-atencao.shtml>

²⁶ <http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2015/01/queda-de-arvore-atrasa-circulacao-de-trens-do-ramal-japeri-no-rio.html>

²⁷ Segundo CARVALHO & GALVÃO (2006), “Aterros lançados” e cortes são executados em áreas inclinadas, para produzir patamares sobre os quais são construídas as moradias. A denominação “aterro lançado” é adotada porque os materiais utilizados em sua execução não são compactados, sendo lançados pela encosta muitas vezes sem limpeza da superfície dos terrenos, ou seja, sem critérios técnicos adequados. É muito comum que estes “aterros” apresentem composição heterogênea, sendo constituídos, além do solo, por lixo e entulho de construção. Também podem ser executados sobre antigos bota-foras. Deste modo, acabam por apresentar alta porosidade e elevada permeabilidade, fatores que acentuam seu potencial de instabilidade.

maior deterioração ao pavimento, o que provoca maior frequência de veículos danificados²⁸, como pela deformação do *carter* e outras partes da suspensão. Registra-se que o custo anual mundial de corrosão de infraestruturas pelo mundo foi estimado em US\$ 1,8 trilhão em 2008 (SCHMITT, 2009). Considerando esse montante, um pequeno aumento percentual por conta das mudanças climáticas pode representar incrementos em custos de manutenção e reparo na ordem de bilhões de dólares no mundo.

A maior frequência de intrusão salina por conta da diminuição da precipitação média favorece o **processo de corrosão química de pontes e estruturas de concreto**. A água salina potencializa a destruição do concreto por dissolução e/ou transformação dos seus componentes em sais solúveis, que são posteriormente lixiviados. Apesar da água ser um vetor de corrosão natural do concreto e das armaduras de pontes, quando pontes que não estão projetadas para contato constante com a água do mar passam a experimentar essa interação, há uma desagregação dos seus componentes, enfraquecendo sua união e resistência mecânica. Como ilustração, as alterações de temperatura e precipitação podem aumentar a deterioração por fungos de materiais à base de madeira em até 10%, em 2080 e diminuir a resistência mecânica da madeira em quase 25% (WANG; WANG, 2012).

Além das obras civis, **os equipamentos e sistemas elétricos em área susceptível a enchentes também podem sofrer maior deterioração**. Quando atingidos por enchentes, componentes do sistema de transporte sobre trilhos (como motores de indução de parada, resistores, transformadores, interruptores elétricos) e rodoviário (como sinais, câmeras de controle) podem ficar inoperantes por horas. Cabos enterrados podem sofrer em função de deslocamentos, rachaduras ou movimentos do solo, consequências de processos de infiltração, podendo reduzir a isolação dos cabos. Em último caso, os deslocamentos podem comprometer a sustentação dos postes, colocando em risco o funcionamento do sistema. A recorrência de tais fenômenos eleva a necessidade de complexos sistemas de bombeamento, e pode aumentar a necessidade de manutenção e a frequência de interrupções parciais de partes fundamentais do sistema de transportes.

Mudanças no padrão de precipitação e no alcance das marés meteorológicas podem expor **pátios e garagens**, principalmente em áreas de menor cota altimétrica. Eventos nesses locais tem alto potencial de dano e paralisação do sistema de transportes, já que afetariam grande quantidade de veículos (ônibus, trens, metros, carros) ao mesmo tempo. A capacidade de recuperação de danos pode ser lenta, comprometendo o sistema por longos períodos. Além disso, pode potencializar as perdas econômicas patrimoniais no sistema de transportes público e privado.

As falhas estruturais acima descritas colaboram para **reduzir o desempenho do sistema de transporte**, medido através da redução de velocidade de operação (trens, metrô e ônibus) e aumento do tempo do deslocamento das pessoas. Em paralelo, também criam maior dificuldade de acesso à infraestrutura de transporte público. A magnitude da redução de desempenho dependerá da intensidade do evento, podendo ser a redução no fluxo de passageiros, a interrupção de algumas horas ou até paralizações de dias.

Os impactos combinados afetam todo o sistema de transportes urbanos, reduzindo o seu desempenho e dificultando o serviço oferecido. O sistema passa a encontrar **dificuldades para manter os níveis de serviço, segurança, conforto e eficiência** para os quais foi projetado,

²⁸ Informação Verbal. Afonso Nunes e Susy Balloussier: depoimento [out. 2015]. Entrevistador: Daniel Fontana Oberling. Rio de Janeiro: Consórcio BRT, 2015. Entrevista concedida ao Projeto Plano de Adaptação da Mobilidade Urbana às Mudanças Climáticas.

acarretando em uma reorganização, temporária ou persistente, da demanda por modos de transporte alternativos, gerando provocar sobrecarga nos sistemas receptores e outros problemas na mobilidade urbana.

Chuvas de abril de 2010 no Rio de Janeiro

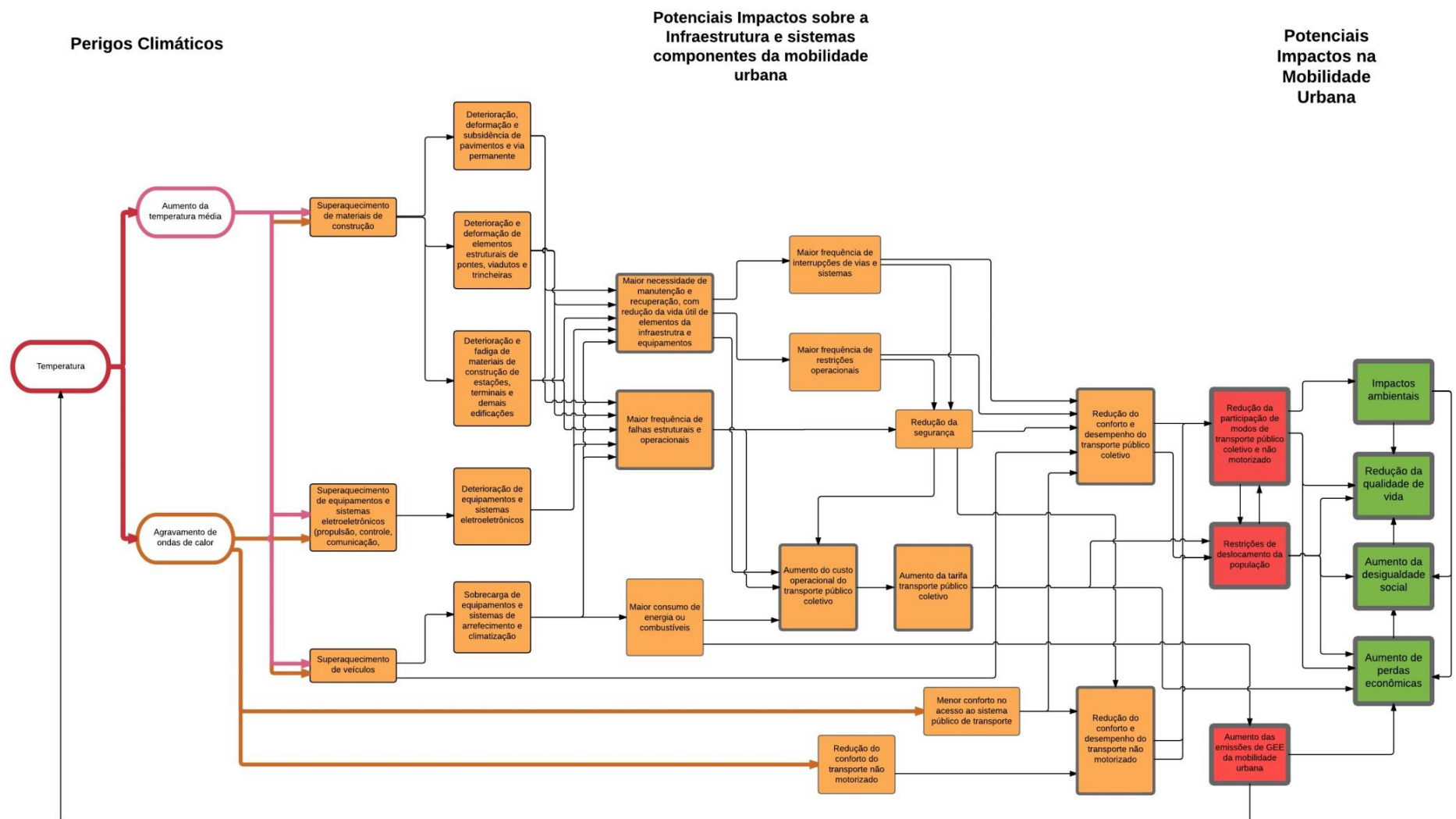
A cidade do Rio de Janeiro enfrentou nos dias 5, 6 e 7 de abril de 2010 as chuvas mais fortes dos últimos 44 anos. Com vias interditadas e o sistema de transporte público operando parcialmente, os poucos empreendimentos que funcionaram não tiveram fluxo de clientes. Nos bairros do Recreio e de Vargem Grande as ruas ficaram alagadas por mais de 48 horas, e muitos moradores não conseguiram sair de casa, como visto na estrada do Rio Morto, em Vargem Grande. No dia 7 de abril ainda estavam bloqueadas as vias: Estrada da Grota Funda (nos dois sentidos), Estrada Grajaú-Jacarepaguá (nos dois sentidos), Avenida Borges de Medeiros (nos dois sentidos), Epitácio Pessoa (sentido Rebouças liberada e sentido Ipanema com 2 faixas interditadas, com bolsão na altura do Corte de Cantagalo), Avenida Niemeyer (nos dois sentidos) e Estrada do Alto da Boa Vista, todas vias de grande importância para o funcionamento do trânsito na cidade. Um deslizamento de barreira interditou os dois sentidos da Rodovia Rio-Santos, na altura do Km 450 e 11 bairros ficaram sem energia²⁹. Trens tiveram dificuldade para circular, apresentando atrasos de 20 minutos no Ramal de Japeri em função de problemas no pátio da estação de Japeri, que provoca atraso no tráfego entre Japeri e Queimados. Na cidade de Seropédica, região metropolitana, moradores usaram barcos para se locomover, já que ruas ficaram com mais de dois metros de lâmina d'água³⁰, inclusive em áreas próximas ao centro da cidade. O prefeito da Cidade solicitou ao Governo Federal 350 milhões de reais para recuperação do município.

A **perda de competitividade** dos transportes públicos coletivos em função da diminuição da eficiência e o aumento dos custos causados por maiores impactos do clima podem mudar o comportamento da demanda em direção a uma nova estrutura de divisão modal a médio e longo prazos. Os usuários insatisfeitos podem migrar para modos individuais motorizados, desde que haja renda suficiente. Isso acarretaria no aumento dos congestionamentos, o que intensificaria um mecanismo de feedback negativo, piorando a mobilidade urbana de todos os agentes. A mudança para o modo individual motorizado é mais difícil de acontecer com a população mais vulnerável ou de menor renda. Nesse caso, além de maiores perdas no tempo de viagem, um possível aumento das tarifas comprometeria uma fatia maior da renda para transportes. No entanto, as perdas econômicas em função da piora da mobilidade e no desempenho dos transportes públicos seriam para toda a população da cidade e aconteceriam por múltiplas causas: congestionamentos, maiores custos com tarifas e piora no fluxo de deslocamento de bens e serviços dentro da cidade.

A maior ineficiência na mobilidade urbana além de aumentar as perdas econômicas reforçaria os efeitos das mudanças climáticas na medida em que aumentariam os seus níveis de emissões de GEE.

²⁹ <http://noticias.r7.com/cidades/fotos/2-dia-chuva-no-rio-20100407-4.html#fotos>
<http://g1.globo.com/Noticias/Rio/0,,MUL1561152-5606,00-CARIOCAS+IMPROVISAM+CARONA+PARA+SUPERAR+ALAGAMENTO+NO+RIO.html>
<http://g1.globo.com/Noticias/Rio/0,,MUL1560721-5606,00-COMERCIO+DO+RIO+DEIXOU+DE+FATURAR+DE+UM+DIA+COMUM+NA+TERCA+DIZ+ASSOCIACAO.html>
<http://g1.globo.com/Noticias/Rio/0,,MUL1559812-5606,00-COM+CHUVAS+E+VENTO+FORTE+RIO+TEM+MUITAS+VIAS+INTERDITADAS.html>
³⁰ <http://g1.globo.com/Noticias/Rio/0,,MUL1562707-5606,00.html>

Figura 7: Fluxograma de Causa-efeito para os perigos oferecidos por mudanças na temperatura.



Fonte: Elaboração Própria

A **Figura 7** apresenta a cadeia de potenciais impactos em função de elevações de temperatura. O aumento da frequência de ondas de calor pode ter efeitos diretos e indiretos na infraestrutura de transporte, nos veículos e nos agentes. Há o potencial impacto do superaquecimento dos materiais das vias, das estações, dos equipamentos e sistemas elétricos e nos veículos. Os agentes também podem ser impactados pela redução do conforto, na utilização e no acesso aos transportes públicos e nos transportes não-motorizados.

A infraestrutura de transportes, quando submetida a períodos mais longos de temperaturas extremas, pode responder com maior deterioração, deformação e subsidência dos pavimentos e vias permanentes, das estruturas de pontes e da fadiga de materiais das estações, terminais e outras edificações auxiliares. Em estudo realizado pelo Centro de Pesquisas Conjunto da Comissão Europeia, mudanças de temperatura para fora do intervalo projetado podem afetar todos os componentes do projeto devido aos efeitos de contração e expansão acima do projetado dos materiais empregados (NEMRY; DEMIREL, 2012). Por exemplo, as taxas de deterioração do aço estrutural no curto prazo podem aumentar na ordem de 15% se a temperatura atmosférica média aumentar 2°C (STEWART; WANG; NGUYEN, 2012). A repetição desses fenômenos pode elevar a frequência de paradas de manutenção e recuperação dos elementos estruturais, somada a uma possível redução da vida útil e uma maior ocorrência de falhas estruturais e operacionais em todos os modos.

Um ambiente mais quente pode levar à maior utilização de sistemas de arrefecimento e climatização das estações e veículos, o que acarreta em um maior consumo de energia e combustíveis e um possível aumento da taxa de falhas, já que seriam utilizados por mais tempo próximos à sua capacidade máxima. Como consequência, pode haver maior necessidade de manutenção, o que elevaria os custos operacionais do transporte público e privado, além de aumentar as emissões de GEE pelo sistema.

Uma maior deterioração da infraestrutura e dos veículos, assim como a necessidade maior de manutenção, podem levar à redução da segurança e a maiores interrupções temporárias do sistema. As temperaturas muito mais altas que as projetadas podem levar à redução da velocidade operacional, como é o caso dos transportes sobre trilhos, que sob temperaturas acima dos limites planejados precisam diminuir a velocidade operacional por questões de segurança (CPTM, 2015). Todos esses impactos levam a uma redução no desempenho e conforto de todos os modos, mas com maior importância no transporte público coletivo e no transporte não-motorizado.

A redução do desempenho operacional e conforto dos transportes públicos pode levar à mudança no comportamento dos agentes. Esse fenômeno teria desdobramentos a médio e longo prazo. A médio prazo, há a possibilidade de migração da demanda para os transportes motorizados individuais. A mobilidade urbana seria afetada diretamente através de maiores congestionamentos, intensificando os impactos ambientais por conta da poluição local e aumento de gastos energéticos no transporte. Os efeitos combinados podem aumentar as perdas econômicas da sociedade e a diminuição da qualidade de vida dos seus cidadãos.

Assim, alterações climáticas que impactam a mobilidade urbana podem se refletir em diminuição da eficiência na mobilidade que se convertem em externalidades negativas, contabilizadas como aumento das perdas sociais. Essas perdas estariam relacionadas a impactos ambientais (poluição), impactos na saúde (maior exposição ao estresse, ruídos) e impactos econômicos, devido a perdas por redução de desempenho na mobilidade e aumento de custos.

As perdas com o aumento do tempo de deslocamento, principalmente no trajeto casa-trabalho-casa, estão relacionadas ao custo de oportunidade do tempo da população. É o sacrifício do

tempo que o usuário poderia estar utilizando em atividades alternativas de produção, aumentando diretamente seu bem-estar por mais tempo dedicado a atividades familiares, educação, lazer ou outras atividades não remuneradas (YOUNG; AGUIAR; POSSAS, 2013). Usuários que já necessitam de longos deslocamentos para exercer sua ocupação tendem a ser os mais afetados pelos impactos climáticos. Ao optarem por moradias mais distantes, onde geralmente os custos são menores, precisam se deslocar maiores distâncias, o que os torna mais expostos e vulneráveis a problemas no sistema.

Por fim, apesar de pouco avaliada nesse item, a interdependência entre os subsistemas de uma cidade pode levar a vulnerabilidades intersetoriais (com sérios impactos na mobilidade urbana) que não podem ser negligenciadas pelos planejadores. O setor de transportes urbanos é dependente de energia, seja na entrega de combustíveis líquidos seja no fornecimento de energia elétrica para o transporte de trilhos. Além disso, os sistemas de telecomunicações estão cada vez mais enraizados na operação de transportes, seja no funcionamento de sistemas de monitoramento e controle quanto no planejamento individual de viagens com o uso de aplicativos de smartphone. O funcionamento dos sistemas de transportes depende do pleno funcionamento dos sistemas de telecomunicações e distribuição de energia. Assim, o entendimento das vulnerabilidades na mobilidade urbana depende do levantamento das vulnerabilidades intersetoriais.

VI. Cenários Climáticos Futuros

Conforme se observa em demais tópicos deste documento, a partir de análises teóricas, exemplos levantados, pesquisas bibliográficas e entrevistas junto a *stakeholders*, os eventos extremos possuem potencial de causar impactos de maior relevância à mobilidade urbana do que mudanças nas médias de parâmetros climáticos. No caso das cidades brasileiras, salienta-se os eventos climáticos relacionados a temperaturas elevadas, precipitações intensas, vendavais e sobre-elevações do nível do mar (Plano Nacional de Adaptação - PNA, 2016³¹).

Segundo MARENGO et al. (2007) e IPCC (2013), as projeções apontam que as mudanças climáticas podem influenciar justamente nos eventos extremos, mudando sua frequência, distribuição geográfica, duração, sincronismo e intensidades. Nesse sentido, para entender como o clima futuro poderá oferecer maior perigo à mobilidade urbana nas cidades brasileiras, foram selecionados indicadores específicos, que pudessem capturar variações em padrões de eventos extremos do clima considerados relevantes, os quais foram projetados para diferentes horizontes de tempo a partir de um modelo climático considerado mais apropriado ao território nacional, conforme descrito nos tópicos seguintes.

VI.1. Metodologia

VI.1.1. Modelos Climáticos

Os relatórios de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês), disponibilizados periodicamente³², tornaram-se referência mundial não só no levantamento das causas e impactos das mudanças climáticas globais, mas também na

³¹ Instituído pela Portaria MMA n° 150, de 10 de maio de 2016.

³² First Assessment Report 1990, Second Assessment Report 1995, Third Assessment Report 2001, Forth Assessment Report 2007 e Fifth Assessment Report 2014.

compilação de diversos modelos climáticos globais (GCM – *Global Climate Models*) disponíveis no mundo.

Os GCM permitem simular a circulação atmosférica global, fornecendo valores médios em grande escala para temperatura, precipitação e ventos, tomando como base diferentes cenários de concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. São ferramentas úteis e indispensáveis no planejamento para adaptação, conforme destacado no PNA (2016).

No Quinto Relatório de Avaliação do IPCC – AR5 (IPCC, 2013) foram estabelecidos novos cenários globais de emissões representando as forçantes radioativas vinculadas a diferentes concentrações de gases de efeito estufa (GEE), as Trajetórias Representativas de Concentração (*Representative Concentration Pathways* – RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5), e, conforme destaca o PNA 2016, “cada cenário considera o histórico evolutivo de diversos fatores, como emissão de gases de efeito estufa, diferentes tecnologias para geração de energia, e informações de tipo de uso do solo, para as projeções”.

O cenário RCP2.6 é considerado o mais otimista, prevendo a implementação de políticas públicas que levam a reduções significativas nas emissões de GEE e limitam o aumento da temperatura média global entre 0,3°C e 1,7°C até 2100. Já o cenário RCP8.5 é o mais pessimista, onde se considera o aumento das emissões de GEE sem sua estabilização, de forma que a temperatura média global subiria entre 2,6°C e 4,8°C, até o final do Século XXI (PNA, 2016). O RCP4.5 e o RCP6.0, por sua vez, representam cenários intermediários entre os extremos mínimos e máximos.

Salienta-se, no entanto, que qualquer projeção climática é caracterizada por incertezas, conforme o PBMC (2014a):

“Apesar dos acelerados avanços teóricos e computacionais verificados nos últimos anos, as projeções climáticas são cercadas de imperfeições e incertezas, oriundas da própria dinâmica do sistema climático. Existem pelo menos duas principais fontes de incerteza inerentes às projeções do clima: aquelas relacionadas aos cenários de emissões, e aquelas relacionadas à modelagem do clima e suas parametrizações. Embora os cenários de emissões sejam baseados em um conjunto de suposições coerentes e fisicamente consistentes sobre suas forçantes, tais como demografia, desenvolvimento sócio-econômico e mudanças tecnológicas, não se pode afirmar exatamente como estes vão evoluir ao longo das próximas décadas. Em relação às incertezas na modelagem do clima, técnicas diferentes de regionalização e/ou parametrização podem produzir diferentes respostas locais, ainda que todas as simulações sejam forçadas pelo mesmo modelo global, além da possibilidade de erros advindos dos próprios MCGs³³.”

Assim, buscam-se métodos para reduzir as incertezas das projeções, sabendo não ser possível sua anulação integral, muito embora os modelos globais do AR5 apresentem melhores simulações que dos relatórios anteriores (AR4 - Quarto Relatório de Avaliação do IPCC), particularmente para precipitação nas áreas tropicais (FLATO *et al.*, 2014). Uma das formas de lidar com esta questão é a utilização de uma combinação de diferentes modelos globais, como também de diferentes cenários de emissões de GEE.

Quanto ao aspecto da escala, sabe-se que os GCM³ trabalham com grids de 150 a 200km, de forma que características físicas que influenciam o modelo em escala menor, tais como topografia e linha de costa, não são incorporadas, dificultando a modelagem dos efeitos locais

³³ MCGs: Modelos Climáticos Globais (GCM, em inglês);

(CHOU et al., 2014). Em geral, tem-se utilizado o *downscaling* (regionalização) dinâmico³⁴ como forma de capturar os efeitos no clima local das alterações globais, conforme destaca o PBMC (2014a):

“o downscaling proporciona uma representação mais realística do clima nas diversas regiões do território Brasileiro, onde fatores regionais (proximidade com o oceano, topografia acentuada, solo e cobertura superficial, dentre outros) funcionam como importantes moduladores das condições de tempo e clima, adicionados às forçantes de grande escala que são capturadas pelos modelos globais”.

Nesse sentido, visando reduzir as incertezas dos modelos climáticos globais e capturar especificidades climáticas locais, foi desenvolvido o modelo regional ETA (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE), a partir da técnica do *downscaling* (grid de 20km), utilizando-se dois modelos climáticos globais (HadGEM2-ES e MIROC5) e dois cenários de emissões (RCP4.5 e RCP8.5) (CHOU et al., 2014).

A cobertura territorial das projeções do ETA compreende a totalidade do território brasileiro e parte da América do Sul, cujos resultados subsidiaram a Terceira Comunicação Nacional do Brasil (TCN) à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, na sigla em inglês) e o PNA 2016. Assim, neste estudo, optou-se por utilizar os dados oriundos das projeções realizadas com base no modelo regional ETA (INPE), visando manter coerência técnica com demais documentos publicados oficialmente pelo Governo Federal.

Como linha de base, tomou-se o período de 1961-1990, considerando as concentrações históricas de GEE, enquanto para os cenários futuros, adotou-se a média dos indicadores projetados entre os anos de 2026-2055 e 2056-2085 (períodos de 30 anos), como aproximações representativas para os anos de 2040 e 2070, respectivamente. Assim, para cada horizonte temporal futuro (2040 e 2070) e para cada indicador climático, foram elaborados quatro cenários (gerando os respectivos mapas de base), correspondendo à combinação de cada GCM com as trajetórias de emissões de GEE utilizadas no escopo do ETA, a saber: HadGEM2-ES/RCP4.5, HadGEM2-ES/RCP8.5, MIROC5/RCP4.5 e MIROC5/RCP8.5.

Os quatro cenários foram então agregados, produzindo-se uma janela de mínimos e máximos projetados para cada indicador, gerando, assim, os mapas agregados. Ou seja, para cada ponto de grid adotou-se como valor mínimo, a máxima redução ou o mínimo aumento projetado dentre os quatro cenários, e como valor máximo, o máximo aumento ou a mínima redução projetada. Conforme o PNA 2016, *“esta forma de apresentar as projeções é mais adequada, pois leva em consideração as incertezas sobre o cenário de emissão, os modelos globais e o modelo regional”*.

VI.1.2. Indicadores Climáticos

Tendo em vista os perigos climáticos identificados como mais significativos para a mobilidade urbana, foram adotados dois referenciais de análise, quais sejam os eventos extremos relacionados à temperatura e à precipitação, entendendo que estes últimos podem se correlacionar com a ocorrência de vendavais e tempestades, além de chuvas intensas.

³⁴ Segundo (PBMC, 2014a), *“esta técnica consiste em usar um modelo climático regional “aninhado” a um modelo climático global”. (...) “as saídas dos conjuntos de modelos globais (~ 100 a 200 km²) são utilizadas como condições de fronteira dentro do modelo regional que realiza as simulações em alta resolução espacial (~ 25 a 50 km²).”*

Quanto a elevações e sobre-elevações do nível do mar, não foram realizadas projeções específicas, uma vez que o modelo regional ETA não produz estas variáveis de saída. Assim, buscou-se outras referências que pudessem indicar cenários futuros. Cabe ressaltar que eventos extremos na faixa litorânea tendem a contribuir para a formação de marés de tempestade, dentre outros efeitos, de forma que alterações nestes perigos podem ser parcialmente inferidas pelos indicadores de extremos de precipitação na zona costeira.

Devido à indisponibilidade de dados históricos efetivamente medidos, os valores obtidos para os indicadores no período de linha de base (1961-1990) correspondem a resultados das projeções do modelo climático. Assim, como medida complementar para minimizar imprecisões do modelo climático, as projeções são apresentadas em termos de sua variação com relação aos valores projetados para o período passado, e não em valores absolutos. Dessa forma, as projeções realizadas indicam, portanto, variações relativas do indicador, comparando-se com a sua média anual no período de linha de base.

Ressalta-se ainda que, em função da diversidade de infraestruturas e sistemas de mobilidade urbana, usuários e condições de contorno, os parâmetros estabelecidos indicam aproximações para mudanças na frequência e intensidade de temperaturas elevadas e precipitações extremas, e não limites precisos a partir dos quais impactos na infraestrutura e na mobilidade urbana necessariamente ocorreriam.

Para o cálculo dos indicadores, utilizou-se o software RCLimDex (ZHANG; YANG, 2004), desenvolvido pelo Serviço Meteorológico Canadense, cujos resultados foram tratados a fim de permitir a identificação de padrões espaciais³⁵.

Tem-se assim, a definição dos indicadores de extremo climáticos adotados, os quais estão descritos com maior detalhe na tabela a seguir.

Tabela 1: Indicadores de extremos climáticos

Indicador	Definição	Unidade
SU30 (Summer Days)	Número médio de dias no ano com temperatura acima de 30°C	dias
WSDI (Warm Spell Duration Indicator)	Contagem anual de pelo menos 6 dias consecutivos com temperatura máxima acima do 90 percentil de 1961-1990	dias
R30 (Rainny Days)	Número médio de dias no ano com precipitação acumulada diária maior que 30 mm	dias
SDII (Simple Daily Intensity Index)	Precipitação anual dividido pelo número de dias com chuva (Precipitação > 1mm)	mm/dia

Temperatura

Considerou-se dois indicadores que representassem a ocorrência de temperaturas diárias elevadas, um deles com um limite fixo para todo o Brasil (SU30), e o outro, com limite variável conforme padrões climáticos históricos locais (WSDI), considerando a permanência da condição por períodos prolongados.

A temperatura do ar corresponde aquela a 2 metros da superfície (TP2M – fornece a temperatura a cada 3 horas, em graus Celsius).

³⁵ Não foi realizada uma análise de tendências, somente um trabalho ilustrativo.

SU30

O indicador SU30 (*Summer Days*, em inglês) corresponde ao número de dias no ano em que a temperatura máxima ultrapassa 30°C, ou seja, representa a ocorrência de dias em que a temperatura elevada pode implicar em maior desconforto aos usuários dos sistemas de transporte, influenciar no comportamento da população, assim como na maior incidência de falhas nos sistemas e degradação da infraestrutura, conforme descrito no Capítulo III.

Temperaturas superiores ou iguais a 30°C são relativamente comuns no país (SANTOS, 2014). No entanto, tomando-se a média das temperaturas máximas registradas em algumas capitais brasileiras, mesmo no mês de janeiro, um dos mais quentes do ano e do verão no hemisfério sul, os valores observados se situam em torno de 30°C (Tabela 2).

Nesse sentido, variações do SU30 podem representar alterações intensas do ponto de vista climatológico, considerando ainda que os modelos climáticos apresentam menor sensibilidade para valores mais altos (p.ex. 35°C, 40°C). Não obstante, salienta-se que o limiar de 30°C é apenas indicativo, ou seja, corresponde a uma aproximação para a frequência de dias com temperaturas extremas.

Tabela 2 – Médias históricas (Normais Meteorológicas 1961-1990) para capitais brasileiras da Temperatura Máxima, em °C (Janeiro³⁶ e Anual)

Estação	Temperatura Máxima Média - janeiro	Temperatura Máxima Média – anual
Belo Horizonte (MG)	28,2	27,1
Campo Grande (MS)	30,1	29,3
Cuiabá (MT)	32,6	32,8
Curitiba (PR)	26,6	23,1
Fortaleza (CE)	30,5	30,1
Goiania (GO)	29,2	29,8
João Pessoa (PB)	30,2	29,3
Manaus (AM)	30,5	31,4
Recife (PE)	30,2	29,1
Rio Branco (AC)	30,9	31,5
Rio de Janeiro (RJ)	30,1	27,3
Salvador (BA)	29,9	28,2
São Luiz (MA)	30,0	30,4
São Paulo - Mir. de Santana (SP)	27,3	24,9
Teresina (PI)	32,2	33,5

Fonte: INMET (2009)

Cabe registrar que, conforme apurado por SANTOS (2014), as maiores variabilidades de temperatura no Brasil ocorrem nas regiões com as menores médias, ou seja, na Região Sul que chega a apresentar 6°C de desvio padrão na temperatura média. Já nas proximidades da linha do Equador, são registradas as maiores temperaturas, porém a menor variabilidade.

WSDI

O WSDI (*Warm Spell Duration Indicator*, em inglês) corresponde à contagem de dias, a partir de períodos de seis dias consecutivos, com temperaturas extremamente elevadas, sendo utilizado para sinalizar a ocorrência e duração de ondas de calor (KLEIN TANK; ZWIERS; ZHANG, 2009; MISHRA; LETTENMAIER, 2011).

Diferentemente do SU30, para este indicador, o limiar de temperatura varia conforme a localidade, pois adota como valor de referência aquele correspondente ao percentil 90 do período de 1961 a 1990 (ZHANG; YANG, 2004). Ou seja, para cada ponto do mapa, a contagem

³⁶ O mês de janeiro foi escolhido para sinalizar valores do verão.

de dias consecutivos é realizada a partir da ocorrência de temperaturas diárias superiores ao limite histórico que distingue os 10% dos dias mais quentes do ano.

Nesse sentido, por este indicador considerar valores relativos (não absolutos) para cada localidade, é possível identificar ondas de calor para os diferentes climas do Brasil, incluindo lugares frios (KLEIN TANK; ZWIERS; ZHANG, 2009). Assim, uma onda de calor na Região Sul do Brasil possui uma temperatura diferente (menor) que na Região Nordeste (NOBRE; YOUNG, 2011). Essa característica do indicador permite considerar que a sensibilidade de pessoas a determinadas temperaturas varia em função de sua aclimação ao clima local. Da mesma forma, pressupõe-se que a concepção de infraestruturas e equipamentos ocorre a partir de parâmetros climáticos locais.

Precipitação

Considerou-se dois indicadores de precipitações diárias elevadas, um deles com um limite de referência fixo para todo o Brasil (R30), e outro, que considera a intensidade média de precipitação para cada local (SDII).

A precipitação acumulada em intervalos de 24 horas corresponde à variável básica dos indicadores (PREC – Acumulado diário, em mm/dia).

R30

O indicador R30 representa o número de dias no ano com precipitação acumulada diária maior que 30mm. Conforme verificado no Capítulo V, eventos extremos de precipitação potencialmente se refletem em mudanças no comportamento da população, falhas e perdas de desempenho dos sistemas de transporte, bem como em deterioração da infraestrutura.

De forma análoga aos demais indicadores, deve-se considerar o limiar de 30mm como uma aproximação para a mudança na frequência de dias com chuvas moderadas (a fortes) que, em geral, geram impactos na mobilidade urbana, sabendo que cada cidade apresenta sensibilidades específicas, e que os modelos climáticos apresentam menor sensibilidade para valores extremos.

Tabela 3: Médias históricas para capitais brasileiras do indicador R30 (nº de dias por ano com precipitação acima de 30 mm)

Estação	Número de dias anuais com chuvas maior que 30 mm (1990-2015)
Belo Horizonte (MG)	17
Cuiabá (MT) (1)	10
Curitiba (PR) (2)	8
Fortaleza (CE) (3)	12
Goiania (GO)	14
João Pessoa (PB)	13
Manaus (AM)	16
Recife (PE)	12
Rio Branco (AC) (4)	16
Rio de Janeiro (RJ) (5)	5
Salvador (BA)	11
São Luiz (MA)	19
São Paulo - Mir. de Santana (SP)	16
Teresina (PI) (4)	10

(1) Dados entre 1998-2015

(2) Dados entre 1990-2005

(3) Dados entre 1994-2011

(4) Dados entre 1993-2015

(5) Dados entre 2002-2015

Fonte: INMET (2015)

Conforme se observa acima (tabela 3), a ocorrência de precipitações diárias acima de 30mm em uma amostra de capitais brasileiras se encontra na faixa média entre 8 e 19 eventos ao ano. Isso denota que este limiar é representativo para eventos de impacto para a mobilidade urbana, sem se restringir apenas a condições consideradas “desastres naturais”.

SDII

O indicador SDII (*Simple Daily Intensity Index*, em inglês) representa a intensidade de chuvas, sendo obtido pela razão entre a precipitação total anual e o número de dias úmidos (precipitação superior a 1mm/dia).

Optou-se pela utilização do SDII, em detrimento do volume acumulado de chuvas anual, pois o que se pretende identificar são os eventos de curta duração que impactam a mobilidade urbana.

As projeções para o indicador demonstram variações no volume de chuvas diário médio, considerando apenas os dias em que houve precipitação. Aqui, cabe ressaltar que, potencialmente, pode ocorrer uma redução no acumulado de precipitação anual em determinado local, ao mesmo tempo em que há um aumento projetado no SDII, caso as chuvas passem a ser mais concentradas, ou seja, que haja uma redução representativa no número de dias úmidos.

Nível do Mar

Conforme já descrito, o modelo regional ETA não apresenta como saída projeções de alteração no nível do mar. Assim, visando identificar, ainda que de forma menos precisa, as áreas de maior exposição a elevações do nível do mar, foram realizadas pesquisas bibliográficas e tomado como referência principal o Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil, elaborado no âmbito do Ministério do Meio Ambiente (EGLER, 2008), que apresenta o potencial de risco à inundação costeira sobre o território brasileiro.

VI.2. Resultados

Com base nos mapas climáticos agregados gerados a partir dos quatro indicadores selecionados, foram realizadas análises sobre as projeções para cada um dos horizontes (2040 e 2070). O intervalo entre os valores de mínimo e os de máximo representam uma janela de possíveis cenários futuros, podendo ser interpretados os valores máximos como o “pior cenário” para a mobilidade urbana, tendo em vista os potenciais impactos climáticos identificados como mais relevantes (intensificação de temperaturas e precipitações extremas).

Nos mapas climáticos foram destacados os municípios com mais de 100 mil habitantes, conforme população do Censo de 2010, bem como os tipos de transporte público coletivo disponíveis em cada um. Destaca-se que esse conjunto de municípios (283 no total) concentra aproximadamente 55% da população brasileira (CENSO, 2010).

Realizou-se complementarmente, a visualização de algumas cidades em escala maior nos limites máximos das janelas para cada indicador, permitindo-se inferir a evolução do “pior cenário” entre os dois horizontes de tempo, de 2040 a 2070.

Por fim, foram realizadas análises a partir da incidência de municípios com mais de 100 mil habitantes em cada faixa de classificação de variação dos indicadores.

A seguir são destacados os principais resultados obtidos pelas projeções futuras para cada um dos indicadores.

VI.2.1. Temperatura

SU30

No horizonte 2040, considerando os limites mínimos (Figura 8), projeta-se um aumento do SU30 (entre 50 a 100 dias) em grande parte das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, avançando sobre os estados de São Paulo, Minas Gerais e no restante da região Nordeste em menor intensidade (superior a 20 dias).

Os limites máximos da simulação (Figura 9) para 2040 sinalizam aumentos significativos do SU30 em praticamente todos os estados (entre 100 e 150 dias), com diversas áreas do país, sobretudo no sul e sudoeste da Amazônia, e na região central entre o Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Bahia, na faixa de aumento de 150 a 200 dias por ano alcançando temperaturas máximas acima de 30°C.

Quanto ao horizonte de 2070, nos limites mínimos (Figura 10), observa-se mais áreas com aumento na faixa de 100 a 150 dias em relação ao horizonte anterior, principalmente no sul da região amazônica.

Mudanças mais significativas são observadas nos limites máximos das simulações (Figura 11), ocorrendo manchas de aumento do SU30 na faixa de 150 a 200 dias em todos os estados do país, e de pelo menos 200 dias (faixas 200 a 250 dias e 250 a 300 dias), em extensas áreas, com destaque àquelas centradas em Goiás, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Acre, Amazonas, Pará, entre outras.

Figura 8 : Cidades com mais de 100 mil hab, tipos de transportes e anomalias para SU30 (dias) – Limites Mínimos – Horizonte 2040

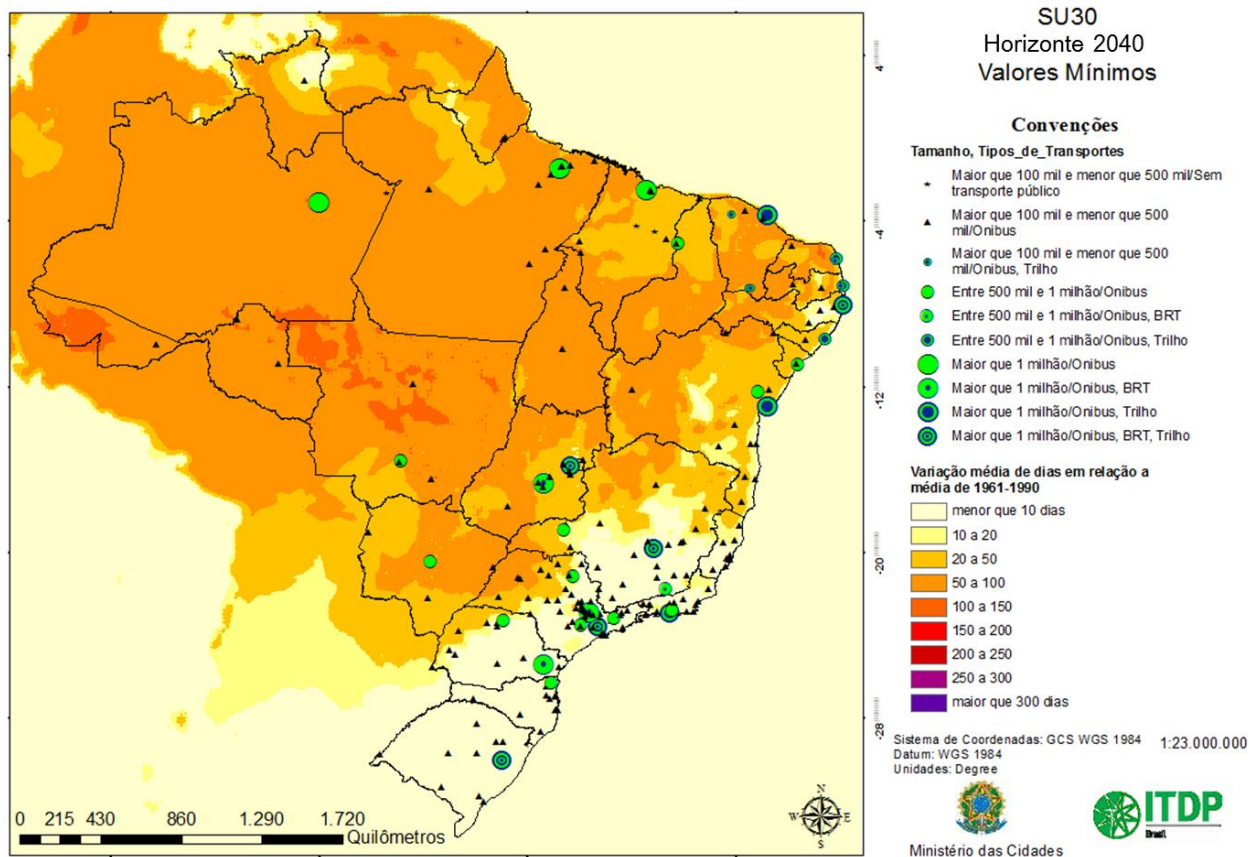


Figura 9: Cidades com mais de 100 mil hab, tipos de transportes e anomalias para SU30 (dias) – Limites Máximos – Horizonte 2040

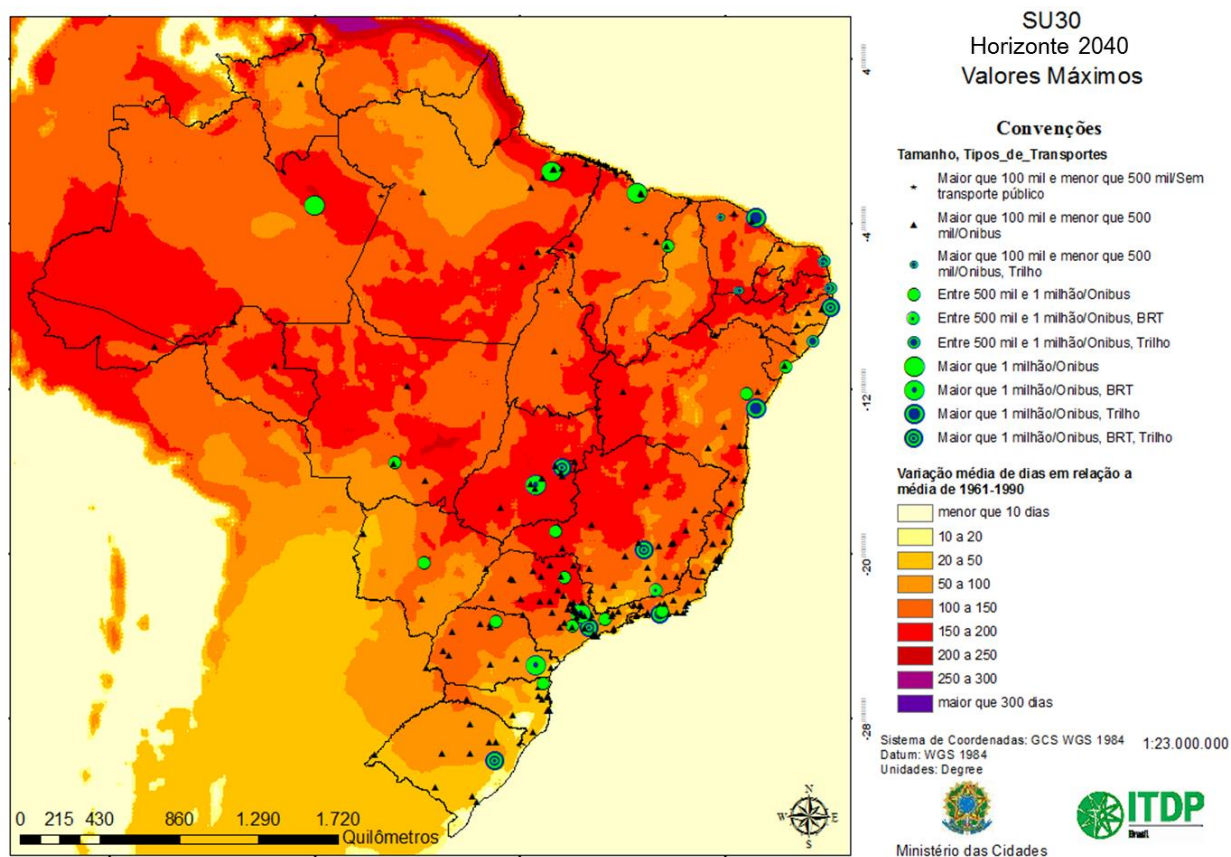


Figura 10: Cidades com mais de 100 mil hab, tipos de transportes e anomalias para SU30 (dias) – Limites Mínimos – Horizonte 2070

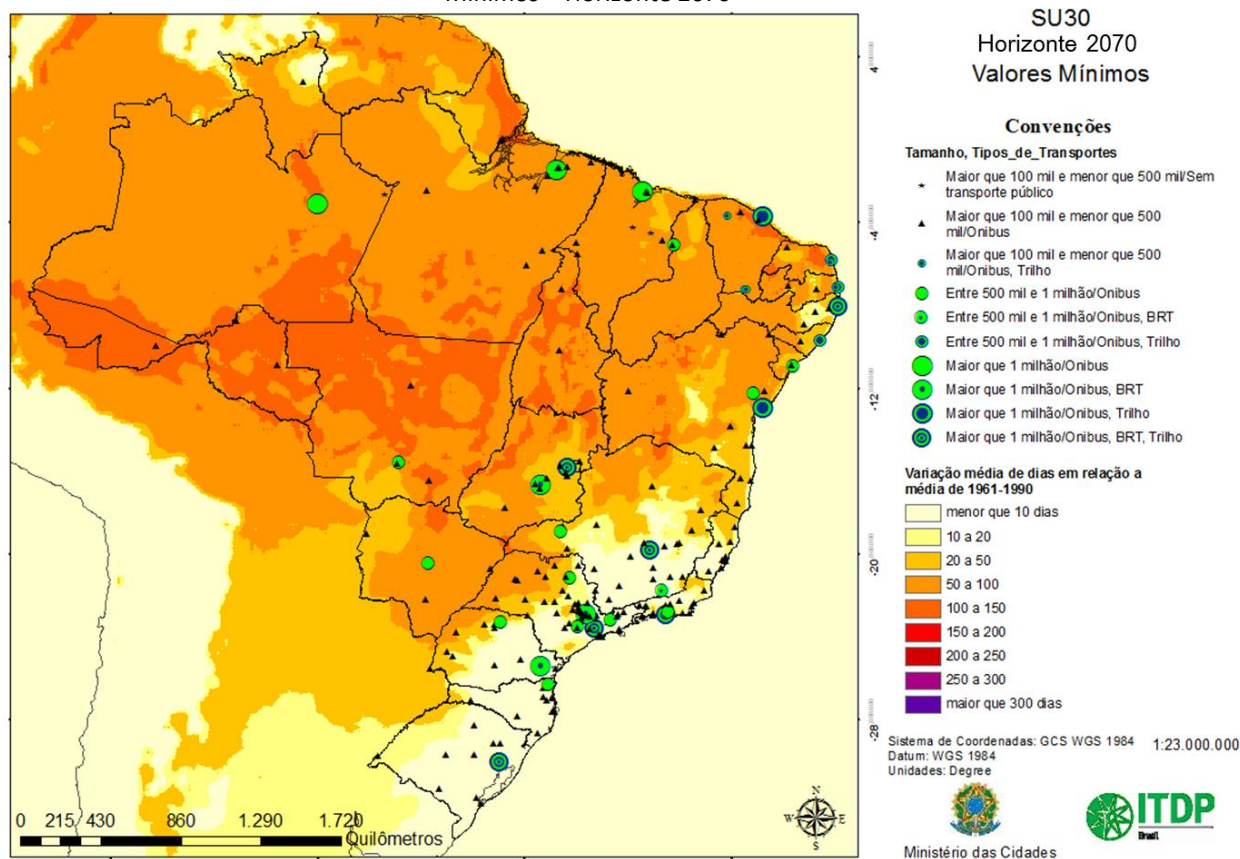
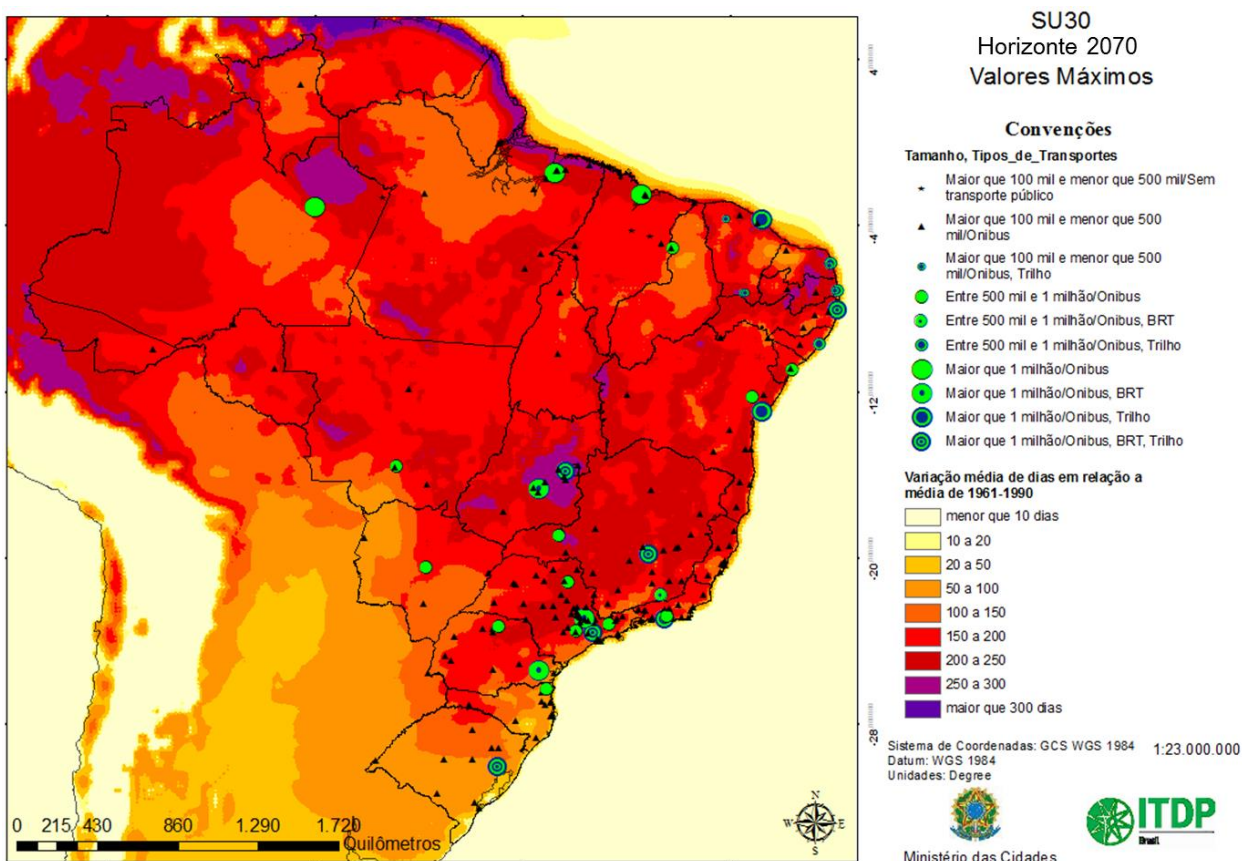


Figura 11: Cidades com mais de 100 mil hab, tipos de transportes e anomalias para SU30 (dias) – Limites Máximos – Horizonte 2070

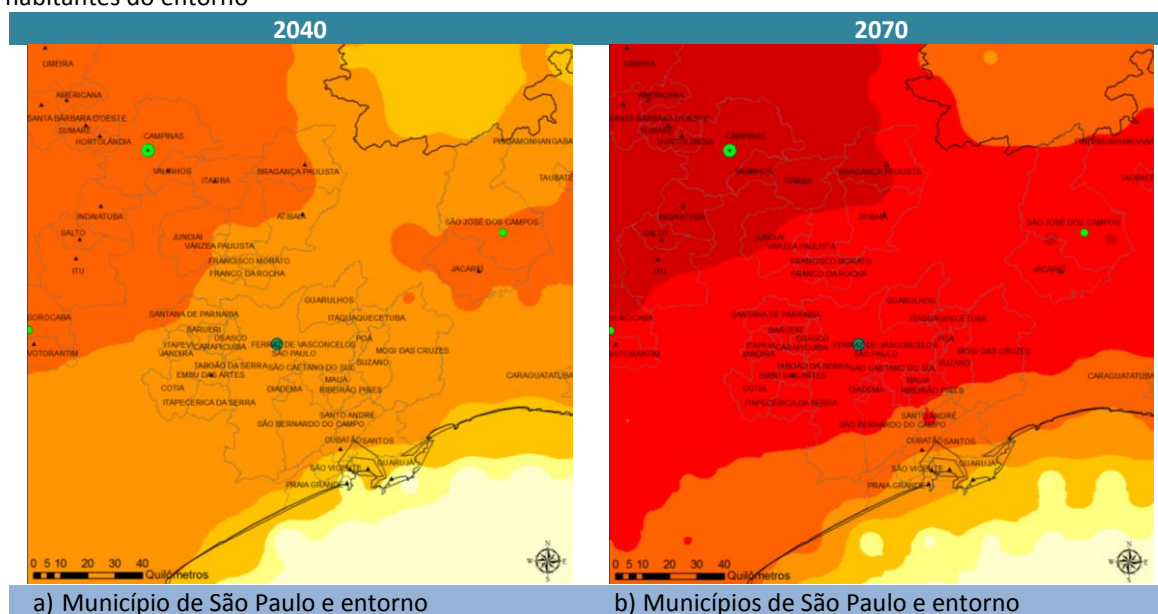


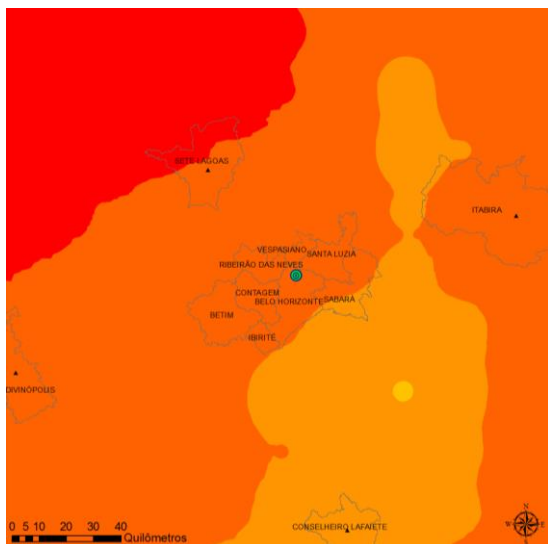
A fim de ilustrar a variação do SU30 em algumas capitais, a Figura 12 oferece uma aproximação de escala dos mapas de limites máximos para os dois horizontes de tempo.

No horizonte de 2040, nota-se que a variação do SU30 projetado para a Região Metropolitana de São Paulo (Figura 12 – a) encontra-se, predominantemente, na faixa entre 50 e 100 dias, enquanto a de Belo Horizonte, na faixa entre 100 e 150 dias (Figura 12 – c). Já na área que abrange Brasília e Goiânia, as variações predominantes do SU30, para este período, são de 150 a 200 dias (Figura 12 – e), assim como, em menor grau, está indicado para Manaus e entorno (Figura 12 – i). A área que abrange João Pessoa e Recife, tanto para o horizonte de 2040 (Figura 12 – g), quanto para o de 2070 (Figura 12– h), corresponde a uma zona de transição para faixas mais altas, com intensificação no segundo horizonte de tempo, de modo que a identificação das tendências de variação projetadas se tornam menos claras para esta região.

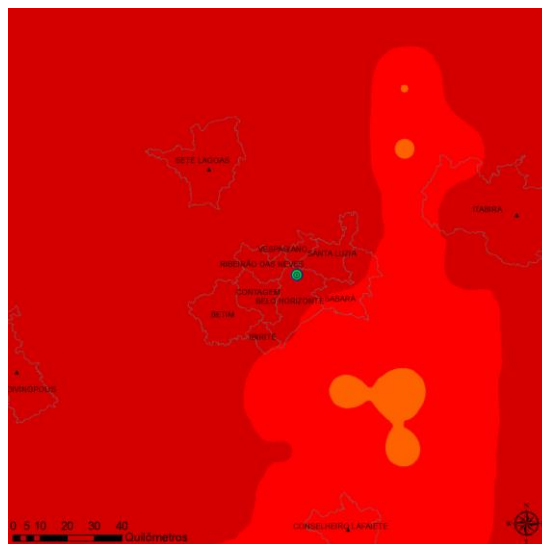
Para as demais regiões destacadas, faz-se as seguintes observações para o horizonte de 2070: a Região Metropolitana de São Paulo apresenta variação do SU30 entre 150 a 200 dias (Figura 12 – b); na Região Metropolitana de Belo Horizonte a variação predominante do SU30 é de 200 a 250 dias (Figura 12 – d); Brasília e Goiânia possuem todo o seu território com SU30 aumentado entre 250 a 300 dias (Figura 12 – f); Manaus e entorno (Figura 12– j) se encontram em região com faixas de variações diversificadas, variando entre as de 100 a 150 dias e de 250 a 300 dias, apresentando, portanto, mais imprecisão quanto à identificação da faixa predominante de variação, para esta escala de projeção.

Figura 12: Projeção de variação do SU30* para os Cenários 2040 e 2070 em municípios com mais de 100 mil habitantes do entorno**

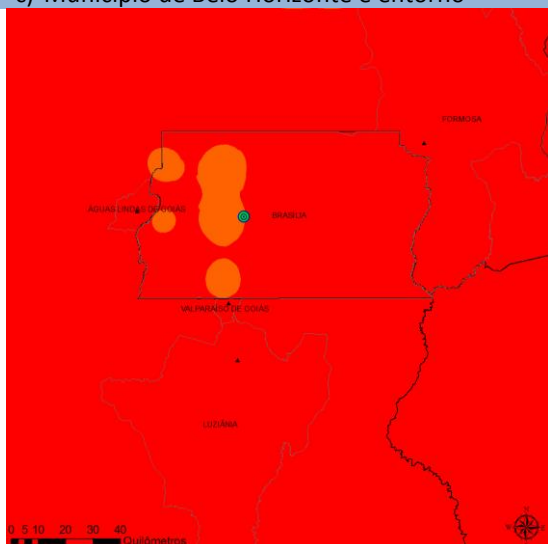




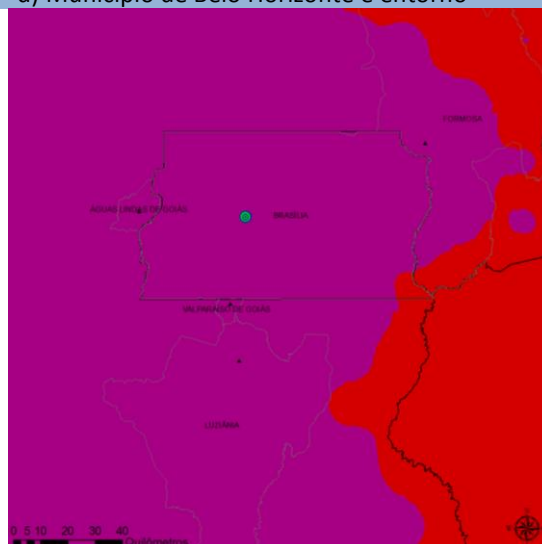
c) Município de Belo Horizonte e entorno



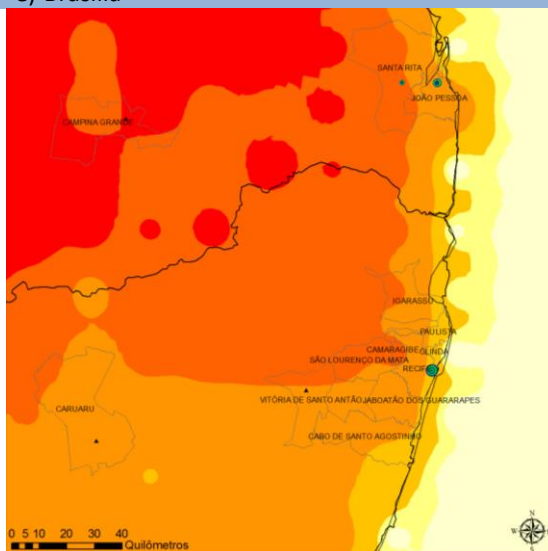
d) Município de Belo Horizonte e entorno



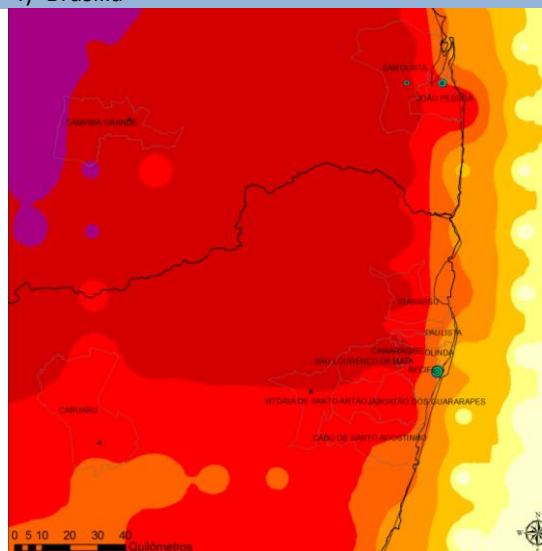
e) Brasília



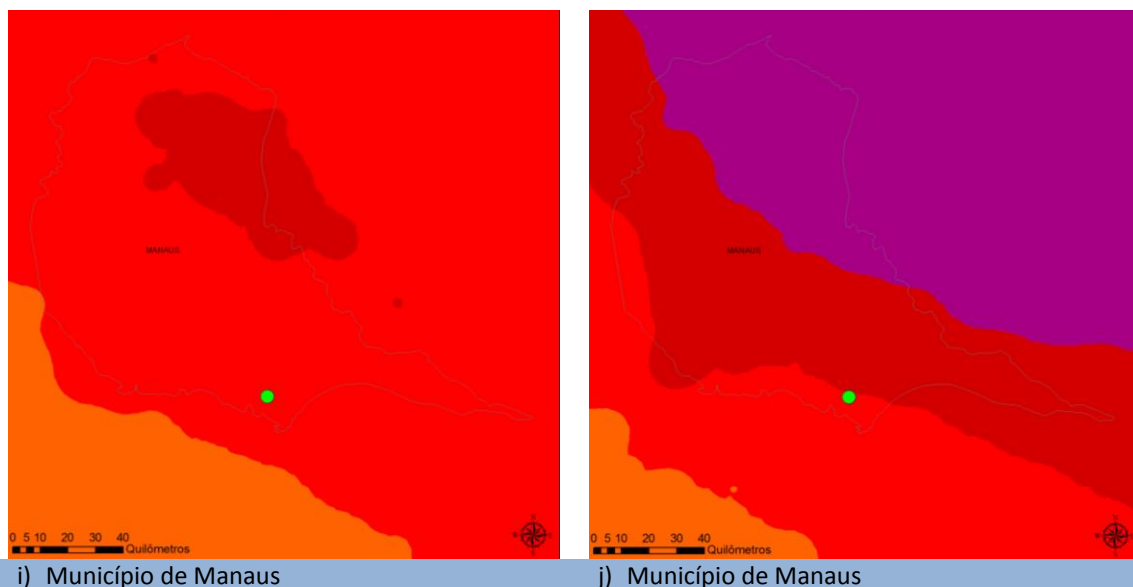
f) Brasília



g) Municípios de Recife e Joao Pessoa



h) Municípios de Recife e Joao Pessoa



*As faixas do SU30 são as mesmas das figuras 8 a 11;

**Foram escolhidas algumas capitais em regiões com maior sensibilidade ao indicador.

A seguir, tem-se um resumo das faixas de variação predominantes³⁷ do SU30 nos municípios com mais de 100 mil habitantes, nos limites mínimo e máximo para cada horizonte (Tabela 4).

Tabela 4: Distribuição dos municípios com mais de 100 mil hab. em função da faixa predominante de anomalia do SU30

Faixa de variação indicador SU30	2040		2070	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
0 a 10	148	0	130	0
10 a 20	48	3	56	0
20 a 50	47	31	49	3
50 a 100	40	102	48	32
100 a 150	0	100	0	41
150 a 200	0	47	0	118
200 a 250	0	0	0	81
250 a 300	0	0	0	8

No limite mínimo do horizonte 2040, 40 municípios com mais de 100 mil hab (14% desse grupo de municípios) se encontrariam em áreas com 50 a 100 dias a mais por ano com temperatura acima de 30°C. No limite máximo, 249 municípios (88%) possuiriam áreas com variação do SU30 maior que 50 dias, destes, 147 municípios (50%) com variação maior que 100 dias.

No horizonte 2070, na janela de mínimos, a quantidade de municípios na faixa de aumento de 50 a 100 dias subiria para 48. Quanto à janela de máximos, projeta-se 280 municípios (99%) com território na faixa de aumento do SU30 maior que 50 dias, sendo 207 municípios (73%) com aumento superior a 150 dias.

WSDI

No horizonte 2040, nos limites mínimos (Figura 13), as simulações indicam os maiores aumentos do WSDI a partir da região central do país e do estado do Rio Grande do Norte, em faixas entre

³⁷ A faixa predominante corresponde ao intervalo com maior área territorial do município. Não corresponde à média da variação.

101 e 150 dias a mais por ano, com aumentos em menor grau à medida que a mancha se estende para demais regiões. Na fronteira sul desta mancha, projetam-se as variações menos significativas, a partir do sul dos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul.

Nos limites máximos para 2040 (Figura 14), os aumentos projetados superiores a 151 e a 201 dias se apresentam centrados em mancha que abrange os estados de Mato Grosso, Goiás e Tocantins, se estendendo até áreas das regiões Norte, Nordeste e Sudeste, sendo que a maior parte do território brasileiro se encontra em faixas de, pelo menos, 100 dias de aumento do WSDI.

Quanto ao horizonte de 2070, nos limites mínimos (Figura 15), observa-se um aumento na mancha referente à faixa entre 101 e 150 dias, se comparado com o horizonte anterior, com o surgimento da faixa de aumento superior a 201 dias na região Nordeste, mais próximo ao litoral.

Já os limites máximos (Figura 16) mostram um dramático aumento do WSDI para a maior parte do território, na faixa superior a 201 dias, e em grande parte do Centro-Oeste, Norte e Nordeste um aumento projetado maior que 301 dias por ano.

Figura 13: Cidades com mais de 100 mil hab, tipos de transportes e WSDII (dias) – Limites Mínimos – Horizonte 2040

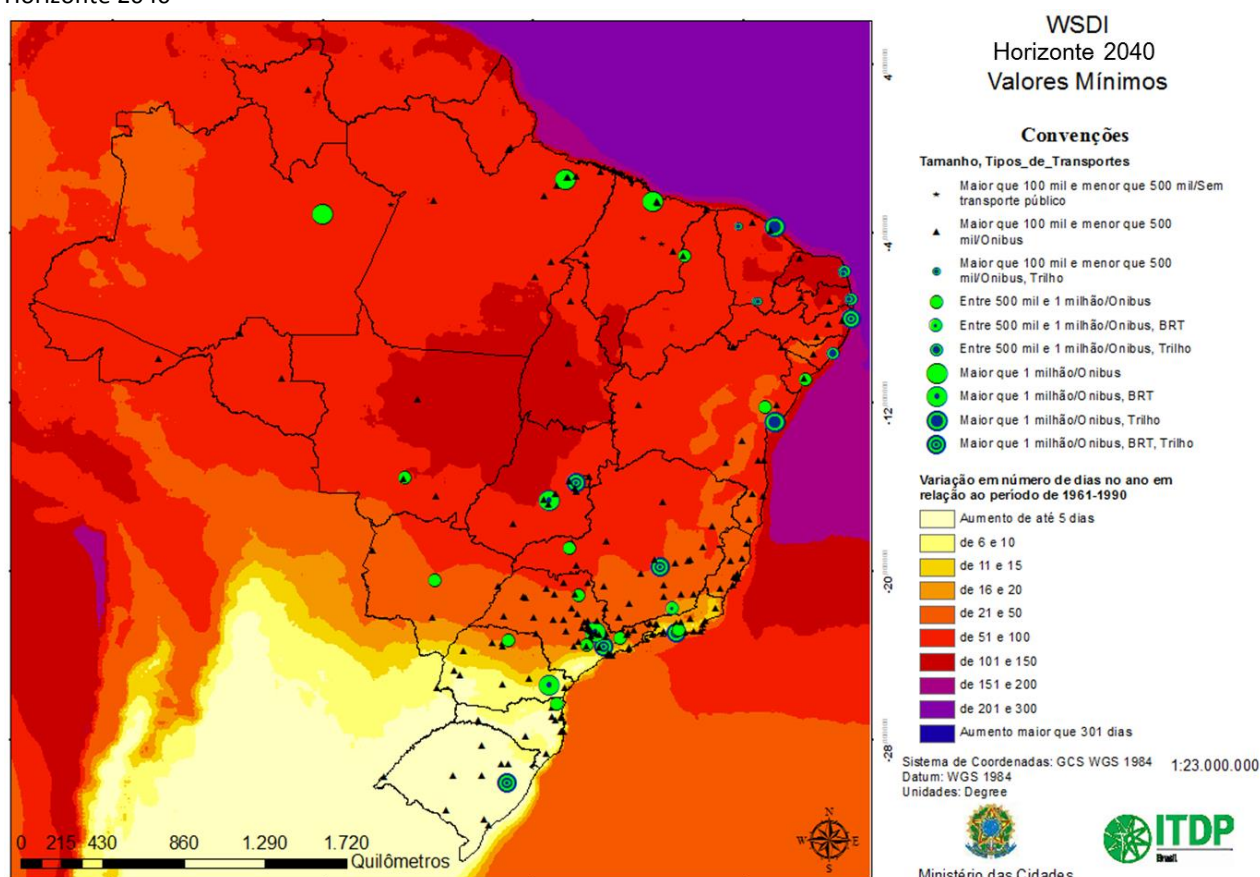


Figura 14: Cidades com mais de 100 mil hab, tipos de transportes e WSDII (dias) – Limites Máximos – Horizonte 2040

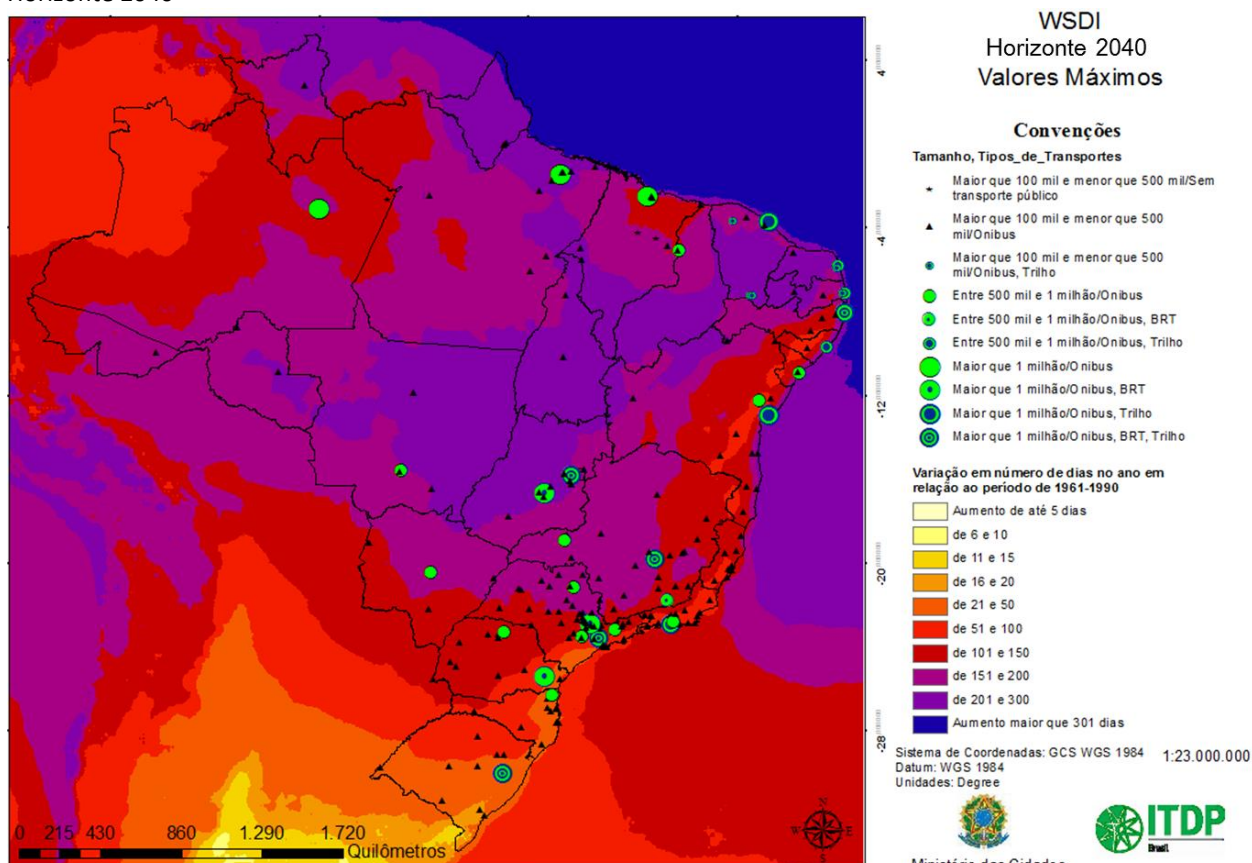


Figura 15: Cidades com mais de 100 mil hab, tipos de transportes e WSDII (dias) – Limites Mínimos – Horizonte 2070

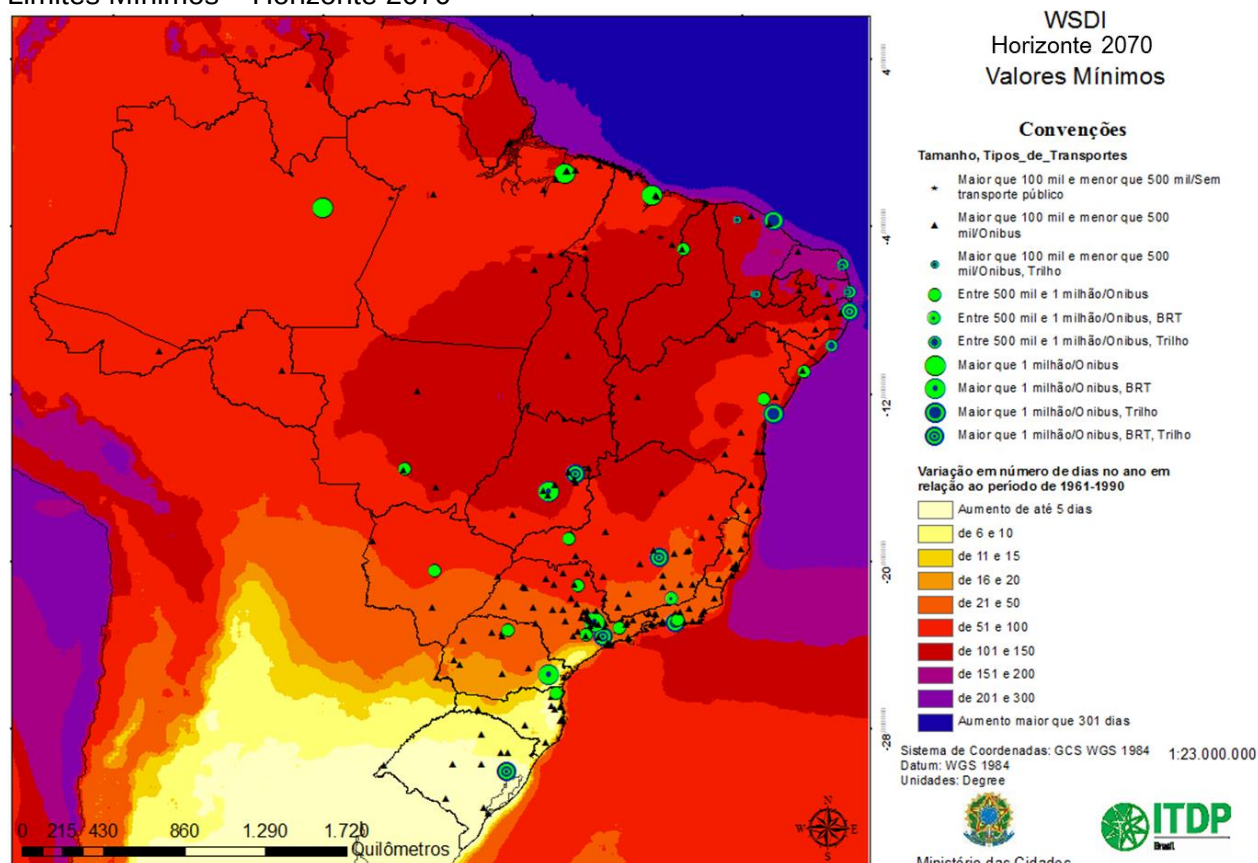
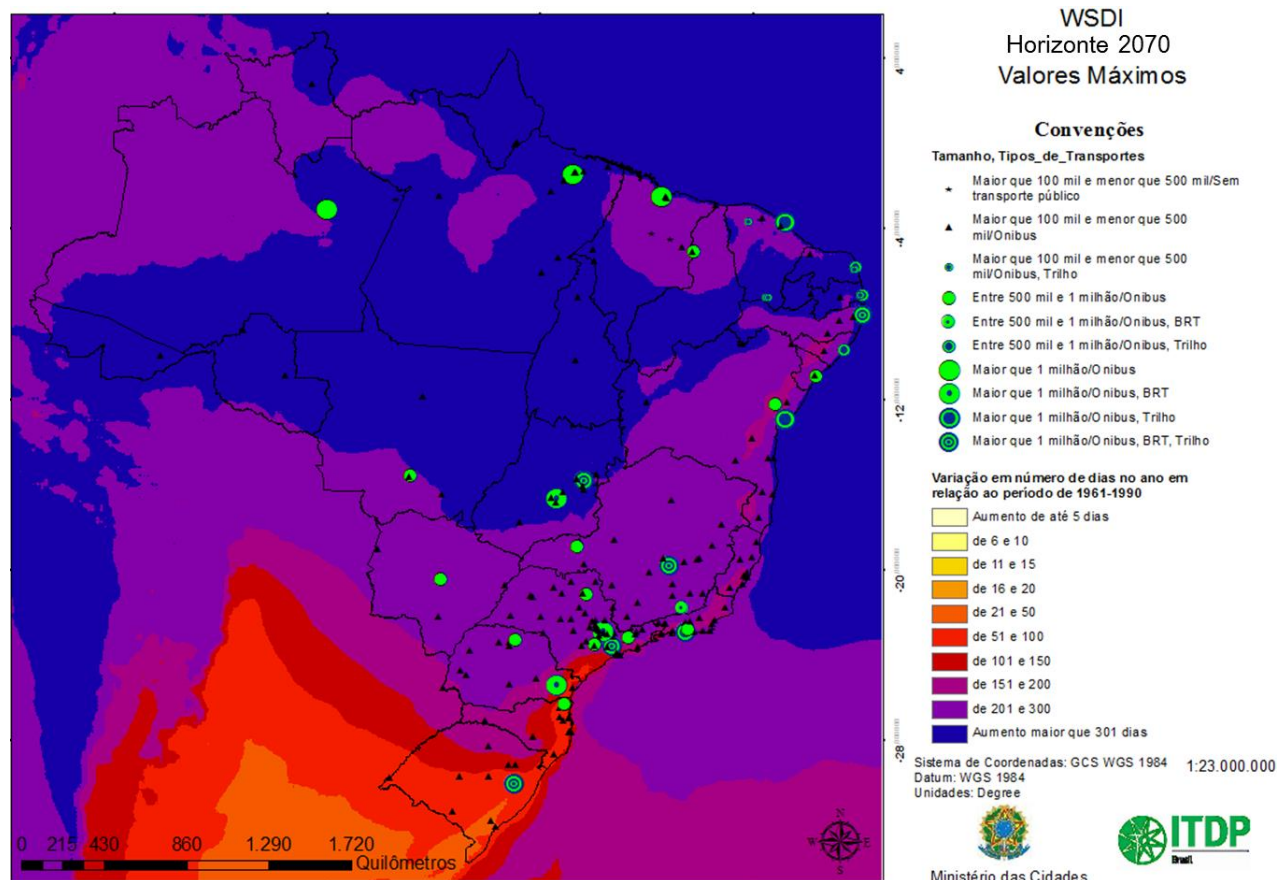
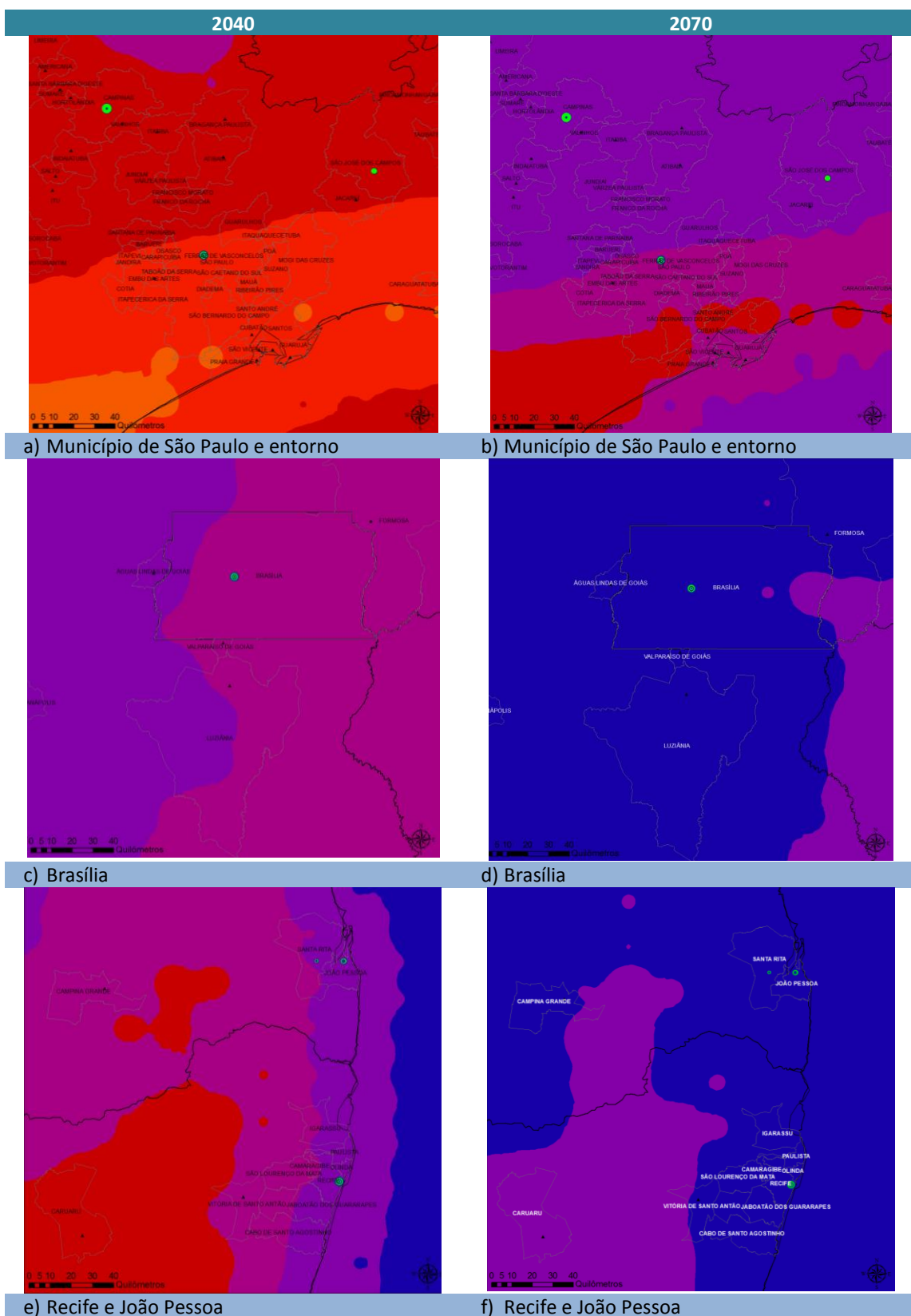


Figura 16: Cidades com mais de 100 mil hab, tipos de transportes e WSDI (dias) – Limites Máximos – Horizonte 2070



A Figura 17 mostra as projeções de variação do WSDI para os limites máximos, nos horizontes 2040 e 2070 em quatro capitais (São Paulo, Goiânia, Recife e João Pessoa), Distrito Federal e municípios próximos. Os resultados do primeiro horizonte da projeção (2040) já mostram São Paulo e seu entorno com potencial de aumento do WSDI predominantemente maior que 51 dias. Já em Brasília predomina a faixa a partir de 101 dias, enquanto em Recife, João Pessoa e Goiânia, de pelo menos 151 dias. No horizonte 2070, o modelo projeta São Paulo e entorno com WSDI predominantemente subindo mais de 151 dias, e Recife, João Pessoa, Goiânia e Brasília, variação positiva maior que 201 dias.

Figura 17: Projeção de variação do WSDI* para os Cenários 2040 e 2070 em capitais e municípios com mais de 100 mil habitantes do entorno**



*As faixas do WSDI são as mesmas das figuras 13 a 16;

**Foram escolhidas algumas capitais em regiões com maior sensibilidade ao indicador.

A seguir, tem-se um resumo das faixas predominantes³⁸ do WSDI nos municípios com mais de 100 mil habitantes nos limites mínimo e máximo para cada horizonte (Tabela 5).

Tabela 5: Distribuição dos municípios com mais de 100 mil hab. em função da faixa predominante do WSDI

Intervalo	2040		2070	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
0 a 5	21	0	15	0
5 a 10	17	0	12	0
10 a 15	25	0	7	0
15 a 20	37	2	7	0
20 a 50	88	24	114	2
50 a 100	75	67	67	21
100 a 150	20	73	41	10
150 a 200	0	76	16	49
200 a 300	0	41	4	140
mais que 300	0	0	0	61

Para o horizonte de 2040, considerando o limite mínimo, há 95 municípios com mais de 100 mil hab (34%) em áreas com predominância de faixas de aumento do WSDI acima 50 dias por ano. Já nos limites máximos, esse número sobe para 257 municípios (90%), sendo que em 117 municípios (40%) o WSDI aumentaria mais que 150 dias ao ano.

No horizonte 2070, o limite mínimo da projeção indica 128 municípios (45%) com território predominantemente com WSDI aumentando mais de 50 dias. Já o limite máximo mostra variações positivas do WSDI em faixas a partir de 150 dias em 250 municípios (88%).

VI.2.2. Precipitação

R30

Para o horizonte de 2040, nos limites mínimos resultantes das projeções (Figura 18), observa-se manchas de redução de precipitações acima de 30mm em mais de 3 dias ao ano em boa parte do país, com destaque ao estado de Minas Gerais, Goiás, Tocantins, litoral do Sudeste e Nordeste, sul do Amazonas e Pará, e norte do Pará e Amapá. Ao mesmo tempo, projeta-se aumentos a partir de 2 dias em parte da região Sul.

Já considerando os limites máximos (Figura 19), verifica-se que diversas áreas então projetadas com redução no R30, passam a apresentar cenário estável ou com perspectiva de aumento. Neste caso, destaca-se a região amazônica, tanto na sua fronteira meridional, como ao seu norte onde chega a mais de 5 dias no ano de variação positiva, bem como em parte do litoral do Nordeste. A região Sul permanece em tendência de aumento do indicador, cuja mancha predomina na faixa superior a 3 dias e passa a abranger até o sul do estado de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul. Pequenas áreas de redução são ainda vistas no litoral do Espírito Santo, em Goiás e norte do Amapá.

Nos limites mínimos para 2070 (Figura 20), observa-se um cenário semelhante àquele descrito para o horizonte de 2040, tanto em termos de dispersão como em intensidade das variações.

³⁸ A faixa predominante corresponde ao intervalo com maior área territorial do município. Não corresponde à média da variação.

Quanto ao limite máximo da janela projetada para 2070 (Figura 21), nota-se que as principais tendências de aumento se localizam centradas sobre as mesmas áreas que no horizonte anterior, no entanto, há uma sensível redução da abrangência das manchas na região amazônica, e uma intensificação daquela sobre a região Sul, com uma expansão mais significativa para a região Sudeste (até o Sul de Minas Gerais e do Espírito Santo), em faixas a partir de 3 dias e de 5 a 9 dias de aumento, bem como sobre o oceano no litoral do Nordeste.

Conforme destacado por PBMC (2014a): “Os casos de precipitação intensa no Sudeste do Brasil tem sido relacionados com a ação de sistemas sinóticos, como sistemas frontais (Lima et al., 2009; Vasconcellos e Cavalcanti, 2010a) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (Carvalho et al., 2002; Lima et al., 2009). No Estado de São Paulo, onde tem ocorrido muitos casos de enchentes, alagamentos e deslizamentos de encostas, a maioria dos casos extremos de precipitação é registrada de outubro a março (Liebmann et al., 2001). É nessa época que há ocorrência da ZCAS, a qual pode permanecer por vários dias sobre o Sudeste do Brasil. A maioria dos eventos extremos diários nesse estado foi associada com intensa ZCAS em Carvalho et al. (2002). (...) A influência do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) na precipitação do Brasil é bem conhecida, com excesso de precipitação na Região Sul e secas na Região Nordeste em El Niño e oposto em anos La Niña (Kousky et al., 1984; Grimm, 2003, 2004).”

Figura 18: Cidades com mais de 100 mil hab, tipos de transportes e R30 (dias) – Limites Mínimos – Horizonte 2040

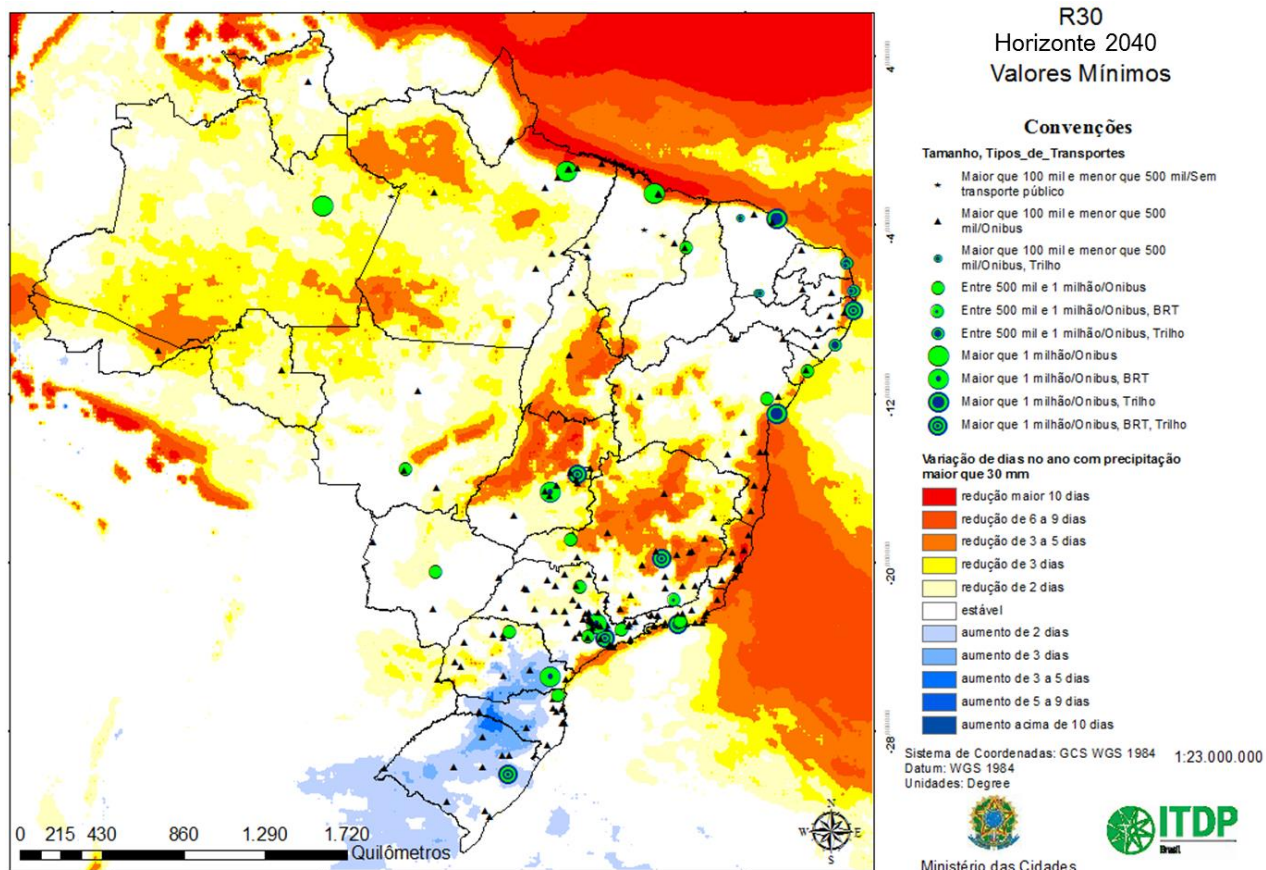


Figura 19: Cidades com mais de 100 mil hab, tipos de transportes e R30 (dias) – Limites Máximos – Horizonte 2040

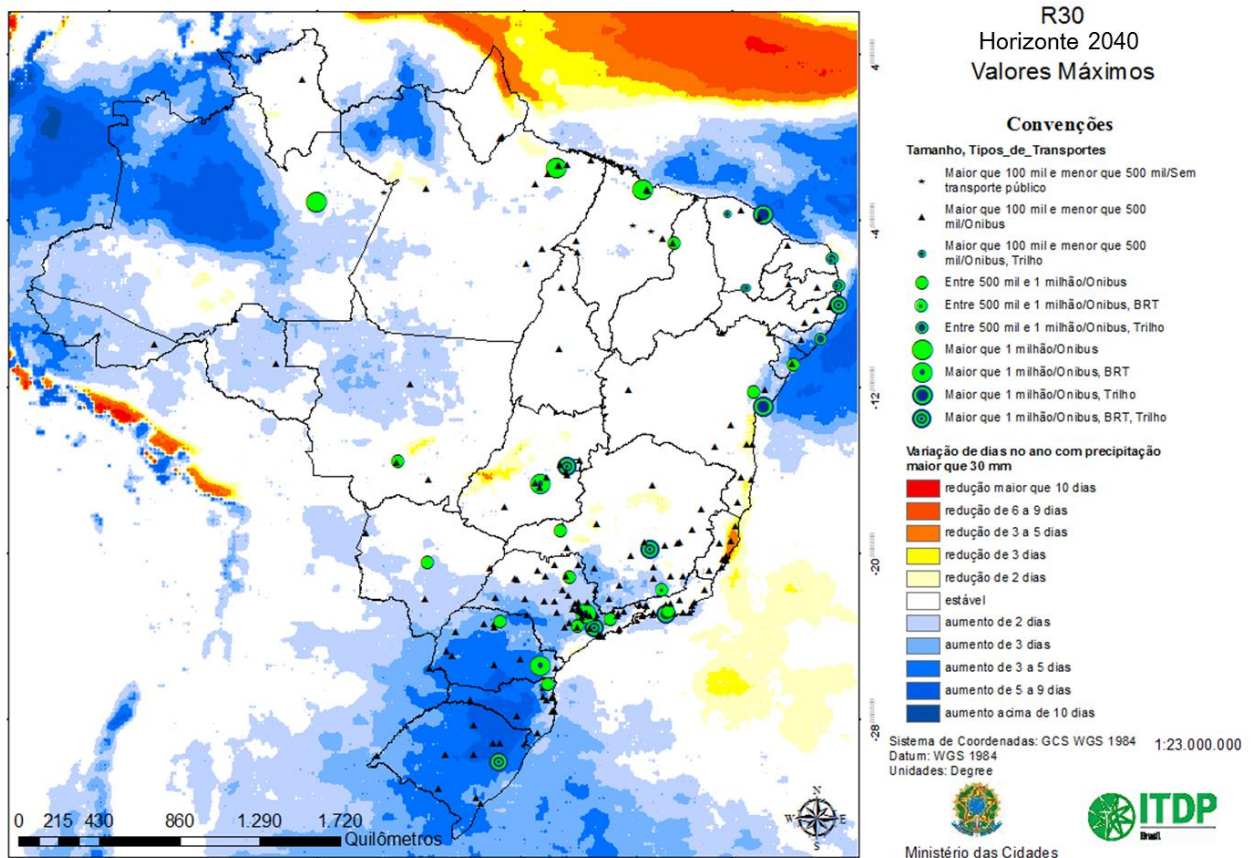


Figura 20: Cidades com mais de 100 mil hab, tipos de transportes e R30 (dias) – Limites Mínimos – Horizonte 2070

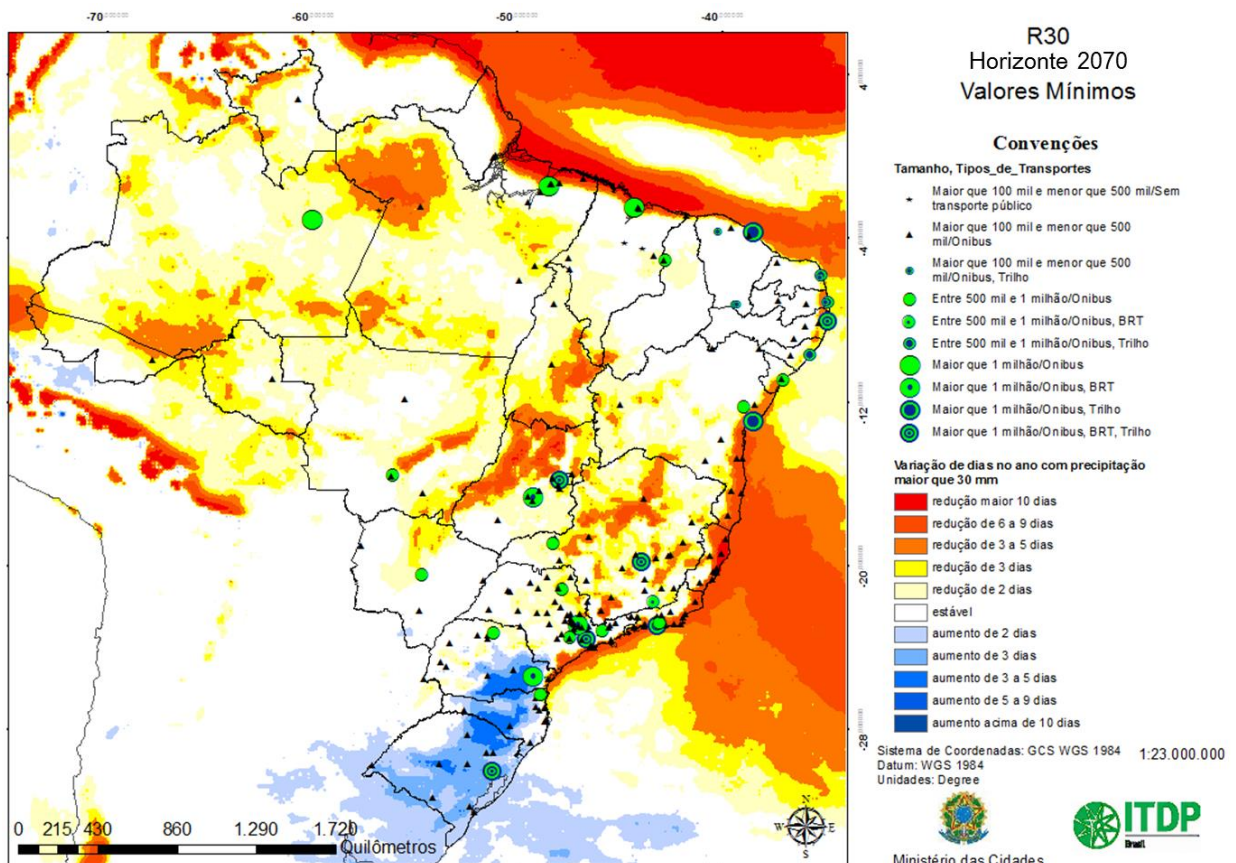
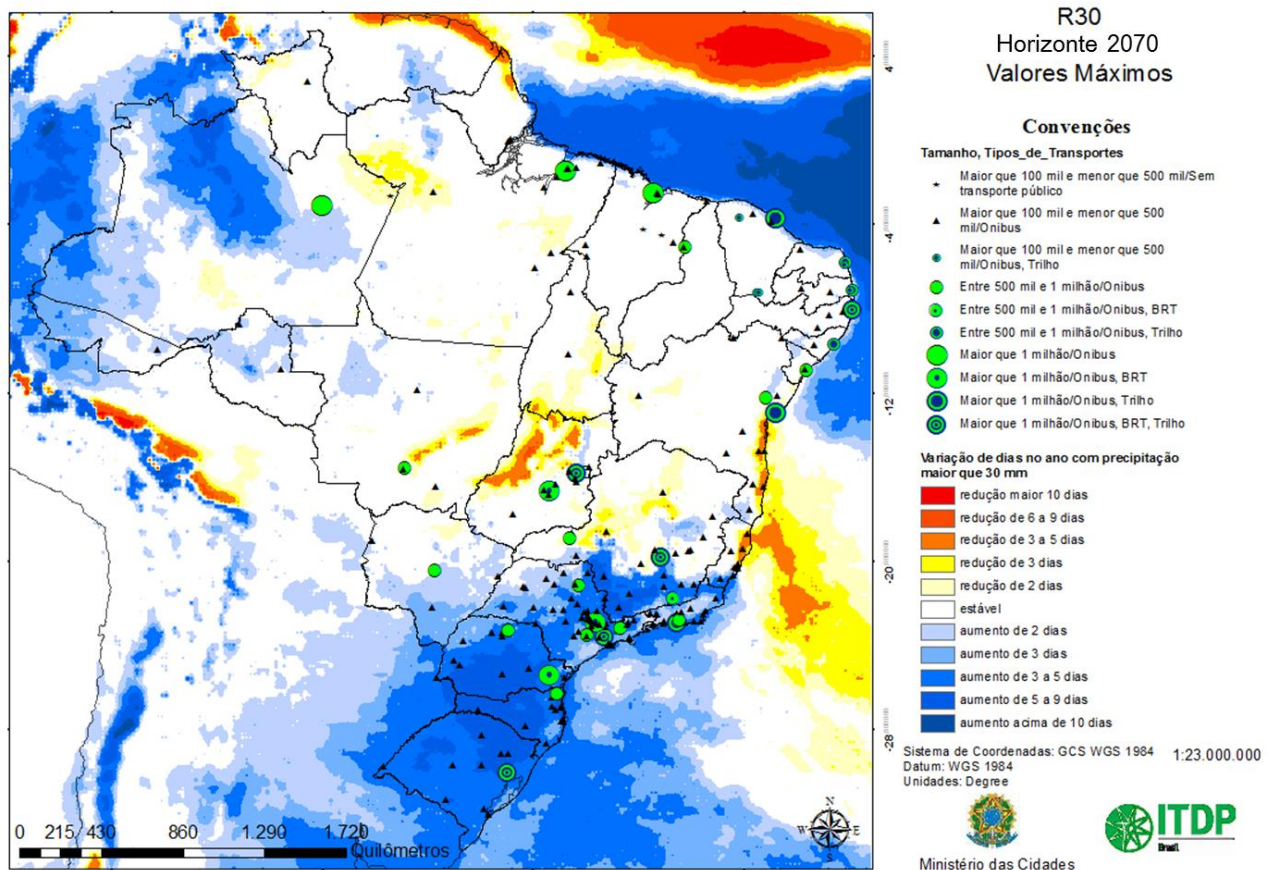
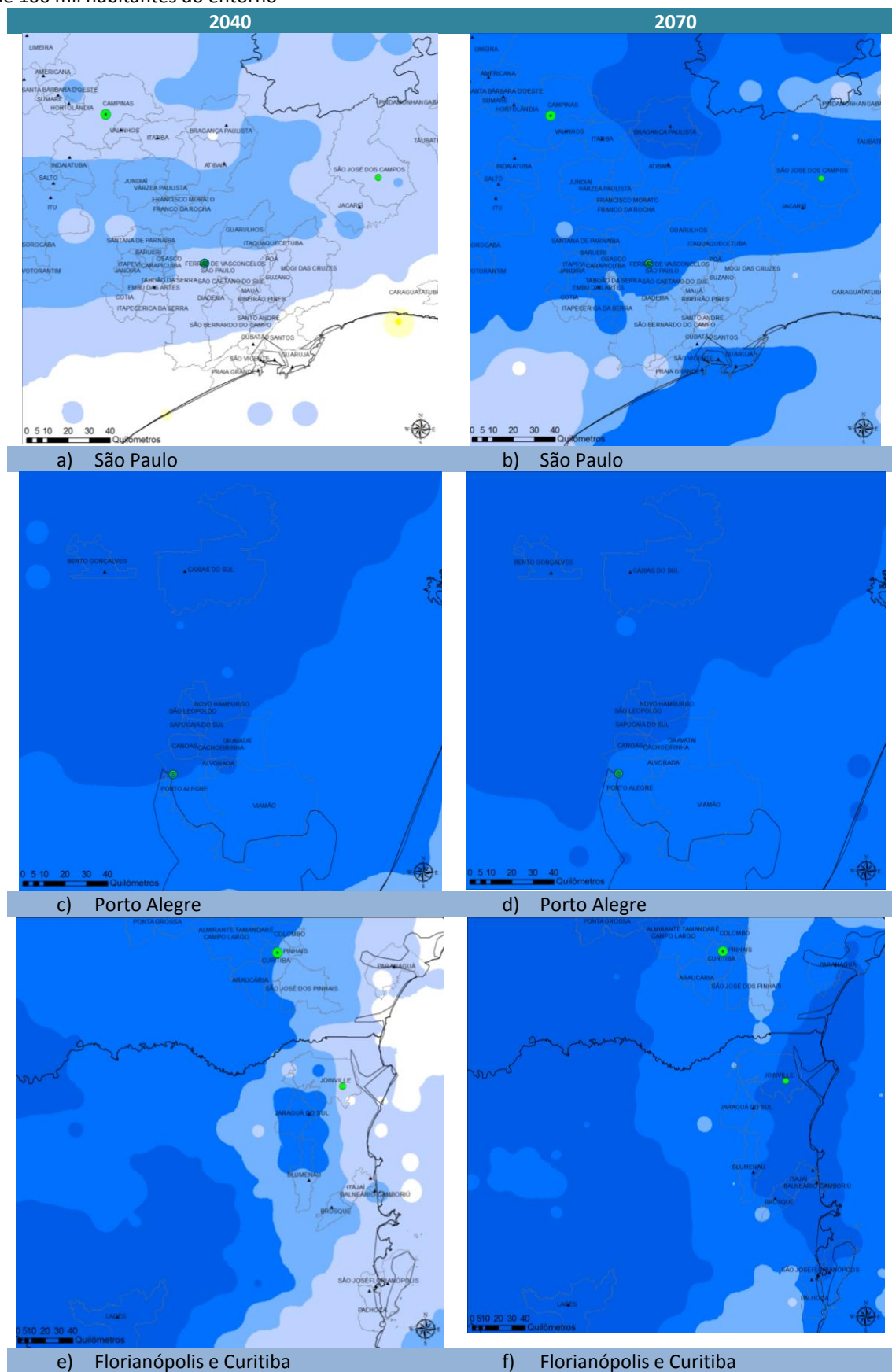


Figura 21: Cidades com mais de 100 mil hab, tipos de transportes e R30 (dias) – Limites Máximos – Horizonte 2070



A figura 22 demonstra as projeções do R30 para os limites máximos nos horizontes 2040 e 2070 de quatro capitais (Porto Alegre, Florianópolis, Curitiba e São Paulo) e municípios próximos. Os resultados da projeção para o horizonte 2040 mostram São Paulo e seu entorno com R30 na faixa de dois a três dias a mais que a linha de base (Figura 22 a). Já Porto Alegre (Figura 22 c) e Curitiba (Figura 22 e), apresentam R30 aumentando de quatro a cinco dias. Florianópolis apresenta variação mínima positiva de dois dias (Figura 22 e). No horizonte 2070, o modelo projeta R30 predominantemente aumentando entre quatro a cinco dias em São Paulo (Figura 22 b) e Curitiba (Figura 22 f). Em Florianópolis (Figura 22 f) e Porto Alegre (Figura 22 d), além de ter a maior parte do território na faixa de aumento de quatro a cinco dias, há regiões com o indicador na faixa de aumento de cinco a nove dias.

Figura 22: Projeção de variação do R30* para os Cenários 2040 e 2070 em capitais e municípios com mais de 100 mil habitantes do entorno**



*As faixas do R30 são as mesmas das figuras 18 a 21;

**Foram escolhidas algumas capitais que representassem regiões com maior sensibilidade.

A seguir, tem-se um resumo das faixas predominantes³⁹ do R30 nos municípios com mais de 100 mil habitantes nos limites mínimo e máximo para cada horizonte (Tabela 6).

Tabela 6: Distribuição dos municípios com mais de 100 mil hab. em função da faixa predominante do R30

Variação R30	2040		2070	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Redução > 10 dias	0	0	2	0
Redução de 6 a 9 dias	14	0	29	0
Redução de 4 a 5 dias	40	1	30	1
Redução de 3 dias	37	3	37	4
Redução de 2 dias	52	6	61	15
Estável	110	138	93	87
Aumento de 2 dias	27	64	8	21
Aumento de 3 dias	3	41	20	44
Aumento de 4 a 5 dias	0	20	3	90
Aumento de 6 a 9 dias	0	10	0	21

Em 2040, os modelos projetaram, no limite mínimo, 143 municípios com mais de 100 mil habitantes variando negativamente o indicador, ou seja, mais da metade dos analisados (51%), estando boa parte, 110 (39%), em condição de estabilidade.

Por outro lado, no limite máximo do horizonte 2040, a situação se inverte, e 135 municípios (48%) passam a figurar em condição de aumento do indicador, sendo a maioria nas regiões Sul e Sudeste. Desse grupo, 30 estão em áreas com aumento de pelo menos quatro dias de chuvas acima de 30 mm por ano. Enquanto 138 (49%) se apresentam estáveis. Observa-se assim, tendências opostas em diversas regiões do país quanto à variação na frequência de eventos diários com precipitação acima de 30mm.

No horizonte de 2070, também são projetadas alterações significativas com grande variabilidade entre os limites mínimo e máximo e entre as regiões. No limite mínimo, há suave aumento de municípios com predominância em faixas de grande redução do R30 (acima de seis dias). Já nos limites máximos há um aumento para 176 (62%) no número de municípios com predominância nas faixas de aumento do R30. Há, também, um maior número de municípios com pelo menos quatro dias de chuva acima de 30 mm (111 municípios ou 40%), a maioria concentrada nas regiões Sul e Sudeste.

SDII

O limite mínimo do horizonte 2040 (Figura 23) indica diminuição na intensidade de precipitação média em praticamente todo o país, com destaque de maior variação negativa, em mais de 2mm/dia, para áreas esparsas em Goiás e em Minas Gerais, especialmente no Vale do Jequitinhonha. Já na região Sul, há uma variação positiva da intensidade de precipitação, em até 2mm/dia.

No limite máximo deste horizonte (Figura 24), observa-se uma inversão de sinal do indicador projetado em grande parte do território, como no Nordeste, sobretudo no seu litoral, e áreas da Amazônia. Na área central do país, a tendência de redução é minimizada ou neutralizada, em direção ao estado de Minas Gerais e ao Pará e Maranhão. A região Sul permanece com sinal

³⁹ A faixa predominante corresponde ao intervalo com maior área territorial do município. Não corresponde à média da variação.

positivo, havendo expansão da influência passando a abranger mais áreas na região Sudeste e do estado de Mato Grosso do Sul, em valores de variação entre a faixa de 2 e 3mm/dia, até a de 1mm/dia nas fronteiras da mancha.

Nas projeções para o horizonte 2070 no limite mínimo (Figura 25), as mesmas regiões do horizonte anterior se destacam, com algumas variações de intensidade (em alguns lugares a alteração negativa supera 3 mm/dia).

No limite máximo da projeção para o horizonte 2070 (Figura 26), observa-se maior contraste entre áreas com aumento e com redução do SDII. Destaca-se o aumento da intensidade das chuvas na Região Sul, chegando a pelo menos 2 mm/dia, cuja mancha se estende na faixa entre 1 e 2 mm/dia até o sul de Minas Gerais. Sobressai-se ainda parte da região Nordeste, sobretudo o litoral, e áreas no oeste e norte da Amazônia. Por outro lado, áreas com importante redução no SDII, abrangem principalmente a região Centro-Oeste, territórios no sul e centro da Amazônia, e parte do Nordeste e Sudeste.

Ressalta-se que, variações absolutas de menor valor podem representar mudanças relativas importantes. Em termos comparativos, variações de 2 mm/dia em áreas que se apresentam historicamente com o indicador na faixa de 6 a 10 mm/dia correspondem a mudanças de no mínimo 25% na intensidade das chuvas. Sabe-se ainda que, faixas de SDII entre 6 e 10 e entre 10 e 14mm/dia predominam no território brasileiro, havendo manchas com valores inferiores, como no Nordeste, e superiores, como no Sul.

As áreas de transição do oceano para o continente, principalmente nos limites superiores das projeções relacionadas à precipitação (R30 e SDII), merecem uma atenção especial (Figuras 19, 21, 24, 26). Nas regiões Sul e Sudeste, manchas de aumento projetado dos indicadores se apresentam, de forma geral, contíguas sobre o continente e o oceano. No entanto, sobretudo na região Nordeste, os modelos mostram mudanças abruptas de valor entre o oceano e o continente adjacente, estando as áreas sobre o oceano em faixas de maior aumento projetado. Dada a escala do modelo e as incertezas associadas, recomenda-se precaução na análise dos cenários para cidades costeiras, considerando ainda, conforme destaque de PBMC (2014a) que: *“fatores locais, como a topografia e a proximidade da costa, intensificam a precipitação nas áreas costeiras, o que influi nos extremos dessas regiões, principalmente sob a ação de sistemas sinóticos. Casos extremos na Serra do Mar no verão de 1983 e no outono de 2005, associados a sistemas convectivos embebidos em sistemas frontais, tiveram contribuição da topografia e da brisa marítima (Vasconcellos e Cavalcanti, 2010a).”* Em adição, ressalta-se que eventos climáticos extremos próximos à costa, podem influenciar na ocorrência de sobrelevações do nível do mar, impacto considerado relevante no âmbito deste documento.

Figura 23: Cidades com mais de 100 mil hab, tipos de transportes e SDII (dias) – Limites Mínimos – Horizonte 2040

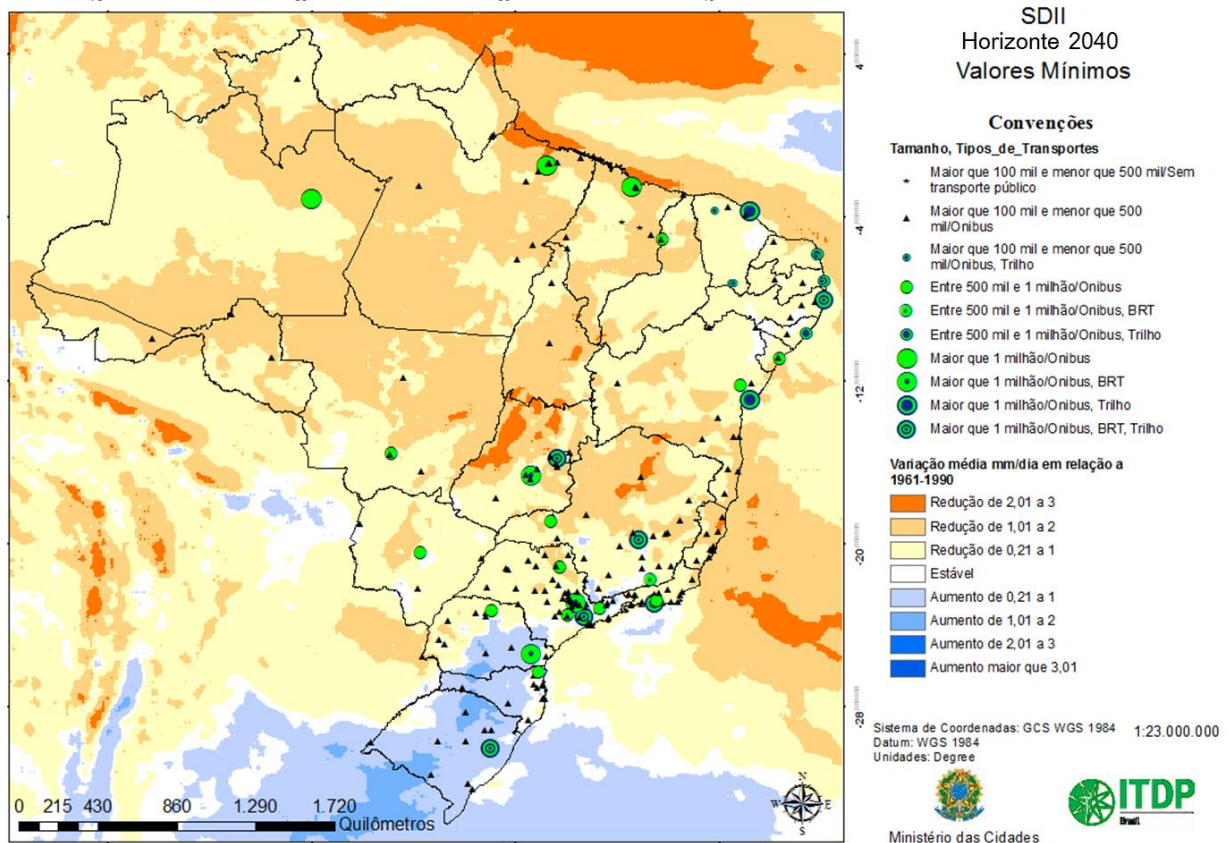


Figura 24: Cidades com mais de 100 mil hab, tipos de transportes e SDII (dias) – Limites Máximos – Horizonte 2040

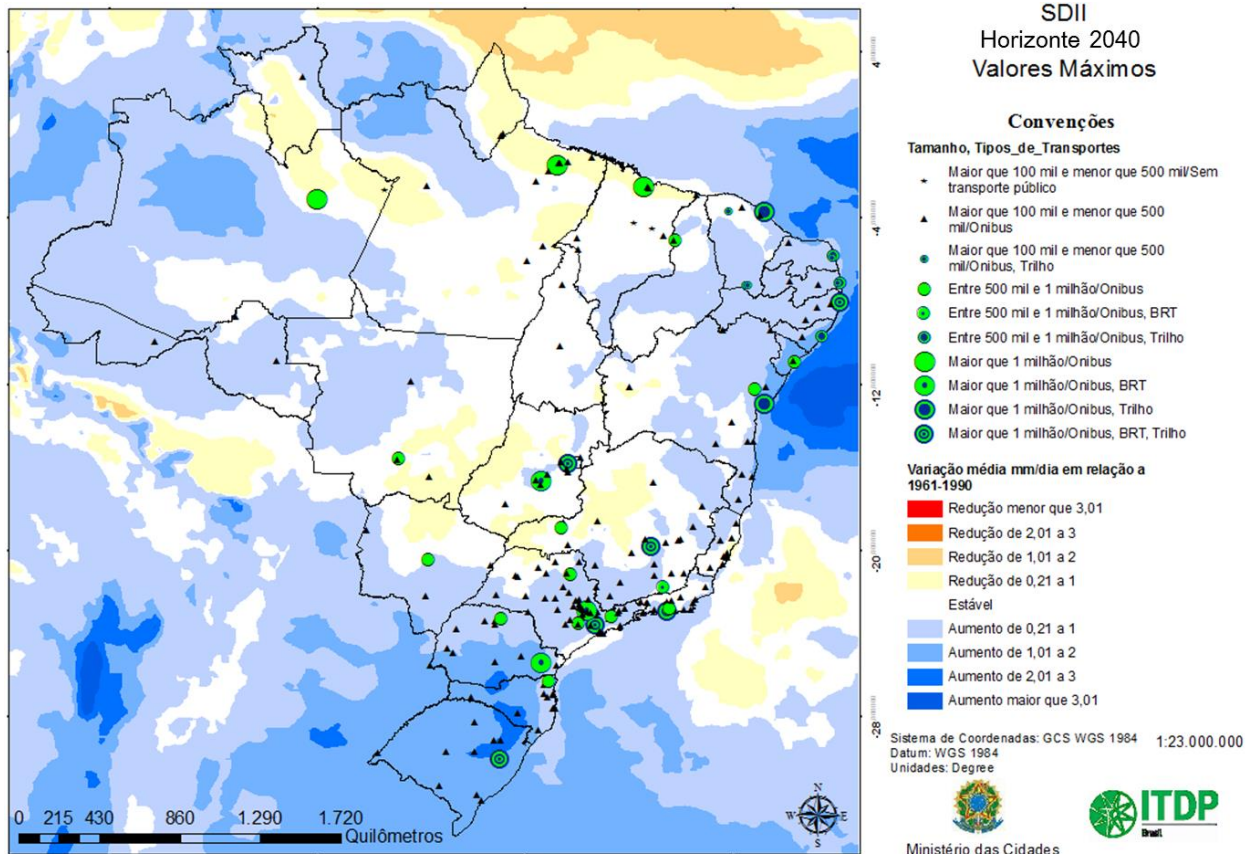


Figura 25: Cidades com mais de 100 mil hab, tipos de transportes e SDII (dias) – Limites Mínimos – Horizonte 2070

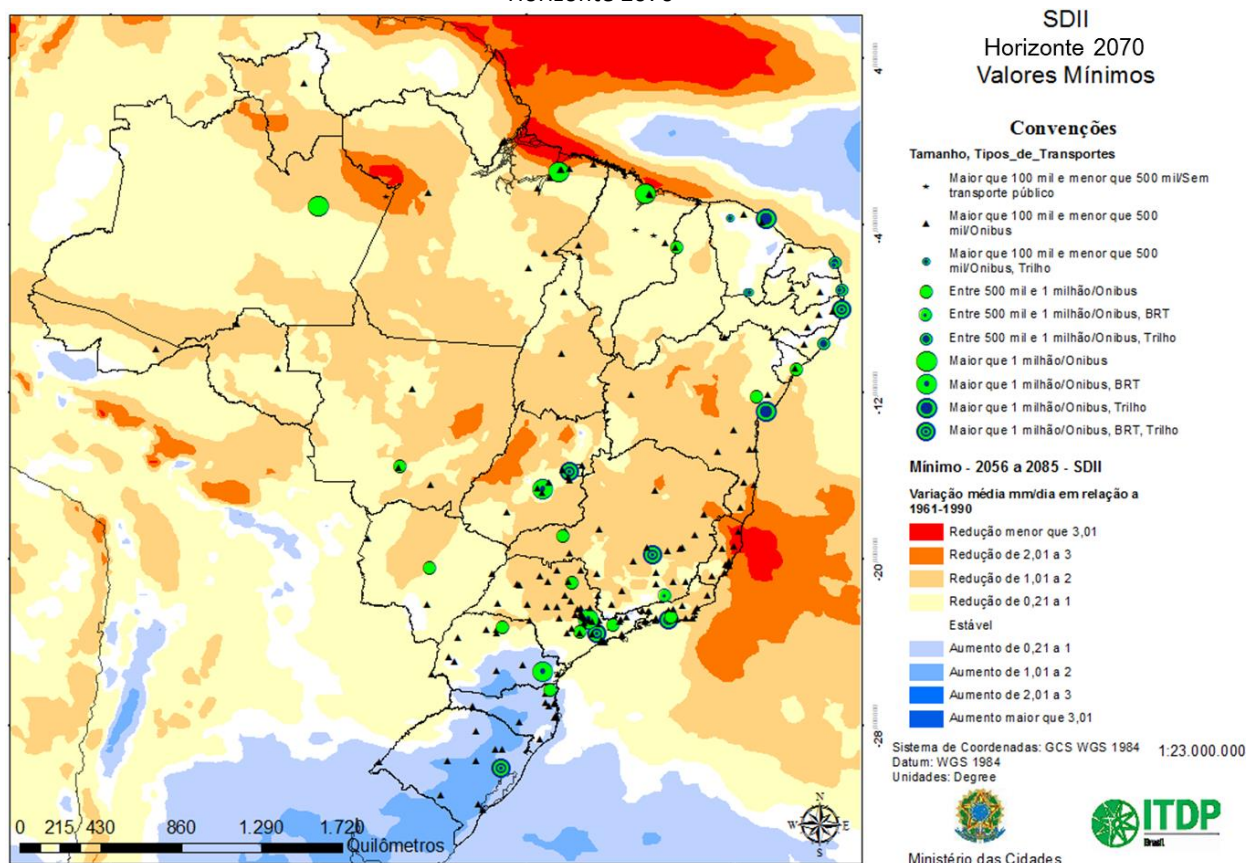
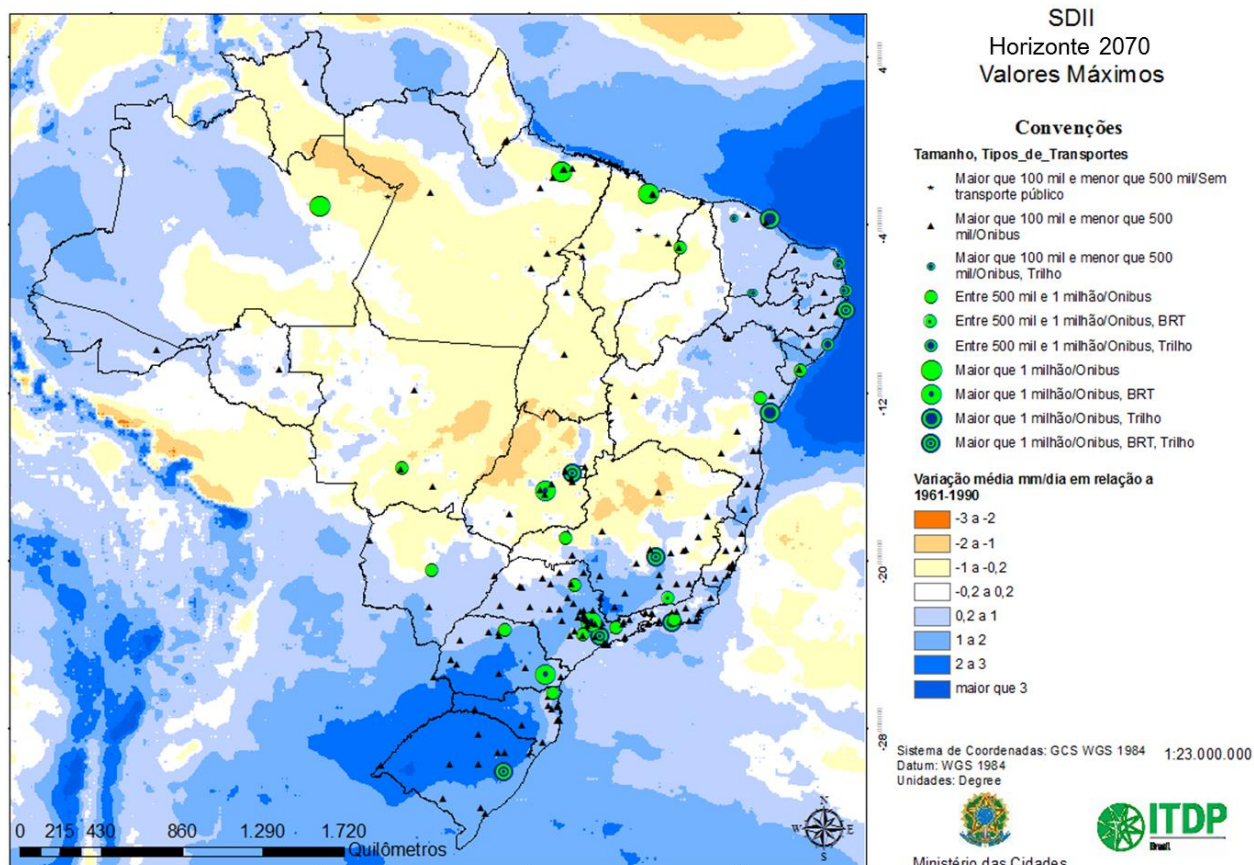


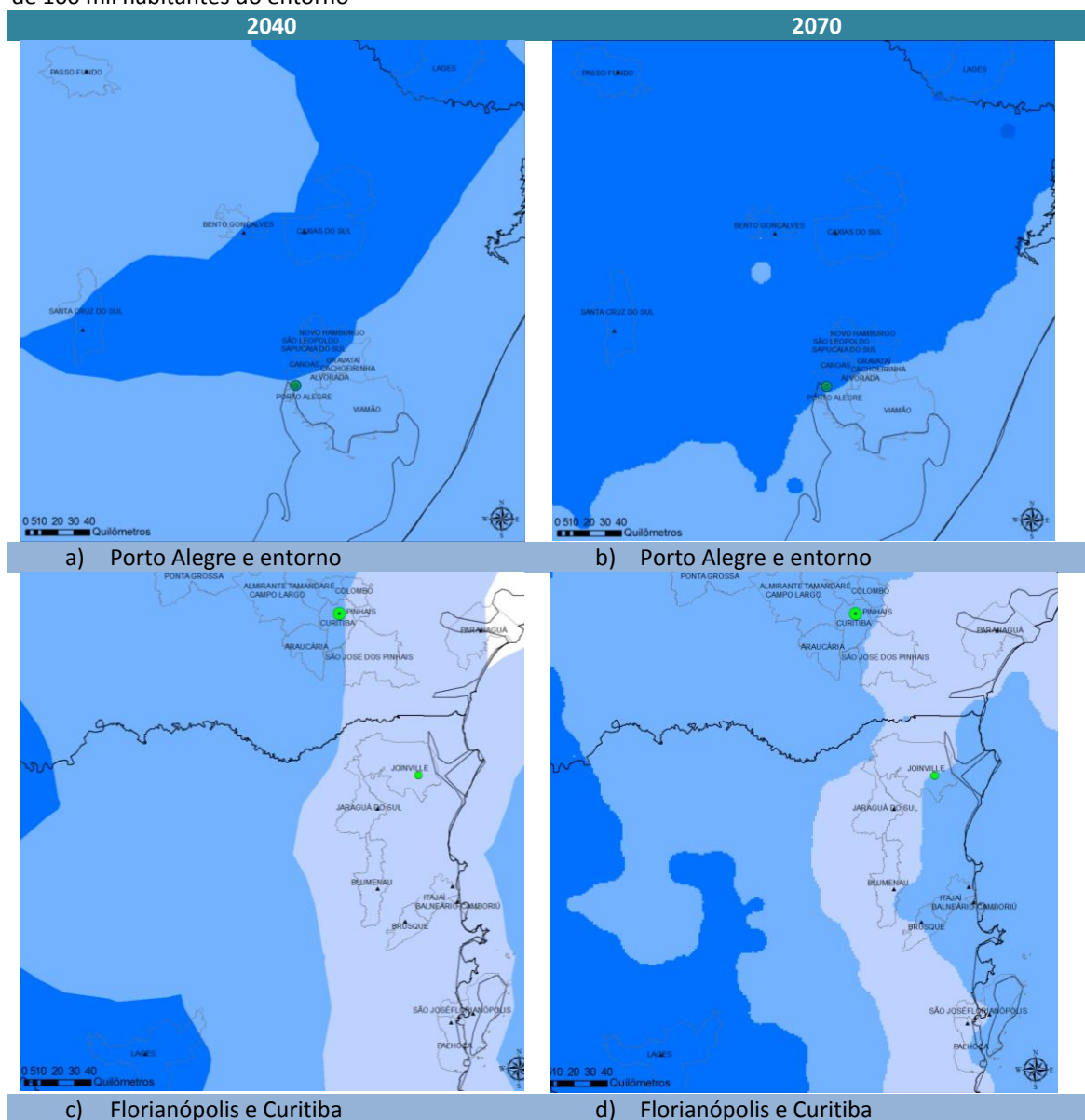
Figura 26: Cidades com mais de 100 mil hab, tipos de transportes e SDII (dias) – Limites Máximos – Horizonte 2070



A figura 27 apresenta o SDII para os limites máximos nos horizontes 2040 e 2070 de três capitais: Porto Alegre, Florianópolis e Curitiba. A projeção para o horizonte 2040 indica Porto Alegre e grande parte de seu entorno com variação positiva do SDII de 1 a 2 mm/dia em relação à linha de base, com seu norte e leste na faixa de 2 a 3 mm/dia (Figuras 27 a). Curitiba possui parte maior de seu território na faixa de 1 a 2 mm/dia e Florianópolis em faixa de alteração de até 1mm/dia (Figura 27 c).

No horizonte 2070, o modelo projeta SDII com mesmo sinal de variação, mas com um número maior de municípios no entorno de Porto Alegre na faixa de 2 a 3 mm/dia (Figura 27 b). Em Curitiba a projeção é semelhante ao horizonte anterior, já em Florianópolis predomina o SDII variando entre 1 a 2 mm/dia (Figura 27 d).

Figura 27: Projeção de variação do SDII* para os Cenários 2040 e 2070 em capitais e municípios com mais de 100 mil habitantes do entorno**



*As faixas do SDII são as mesmas das figuras 23 a 26;

**Foram escolhidas algumas capitais que estavam em regiões com maior sensibilidade.

A seguir, tem-se um resumo das faixas predominantes⁴⁰ do SDII nos municípios com mais de 100 mil habitantes nos limites mínimo e máximo para cada horizonte (Tabela 7).

Tabela 7: Distribuição dos municípios com mais de 100 mil hab. em função da faixa predominante do SDII

Horizonte	2026 a 2055		2056 a 2085	
Intervalo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Redução maior que 3	0	0	2	0
Redução de 2 a 3	0	0	11	0
Redução de 2 a 1	55	0	87	1
Redução de 1 a 0,2	147	17	134	9
Estável	52	73	10	103
Aumento de 0,2 a 1	28	154	30	71
Aumento de 1 a 2	1	31	9	82
Aumento de 2 a 3	0	8	0	17
Aumento maior que 3	0	0	0	0

No limite mínimo do horizonte de 2040, a faixa predominante é de redução entre 0,2 e 1 mm/dia no SDII, com 147 municípios com mais de 100 mil hab. (52%). Enquanto no limite máximo, a faixa mais representativa é de aumento entre 0,2 e 1mm, com 154 municípios com mais de 100 mil hab. (54%), denotando tendências inversas na janela de projeções.

Quanto ao horizonte de 2070, 234 municípios (83%) se apresentam com projeção de redução de SDII nos limites mínimos. Enquanto nos limites máximos, em 170 (60%) predominam projeções de aumento do indicador, sobretudo na faixa entre 1 e 2 mm/dia, e em 103 (36%) de estabilidade.

VI.2.3. Nível do Mar

As regiões costeiras com maior ocupação urbana sofrem com problemas de erosão muitas vezes em função de obras de engenharia que desequilibram o balanço sedimentar das praias. Em geral, muitas obras foram concebidas sem considerar os equilíbrios morfológicos da costa, e soluções técnicas aos problemas nem sempre eram implementadas. Apesar de características comuns, há diversos casos particulares em que os processos erosivos possuem causas diferenciadas. Desse modo, as regiões merecem tratamento diferenciado quando se discute as mudanças climáticas globais e os efeitos das variações do nível médio do mar em seus processos erosivos.

Segundo NEVES e MUEHE (2008), para fins de tomada de decisão política e planejamento urbano, a ocorrência de variações associadas a eventos climáticos (maré meteorológica), cuja diferença entre valor máximo e mínimo pode alcançar mais de 90 cm em períodos de 3 a 9 dias em algumas partes do Brasil é mais importante do que uma elevação gradual, considerada praticamente estática. Por serem lentas, estas oscilações infiltram-se no lençol freático, penetram nas lagunas, afogam os sistemas de drenagem ou deixam atracadouros a seco ou inundados. Sobre os valores de maré meteorológica, ocorrem as marés astronômicas que variam em magnitude nos diferentes pontos do litoral brasileiro. Em partes internas de sistemas costeiros, como baías e estuários, uma elevação do nível do mar faria com que a onda de maré atingisse áreas mais internas do continente, podendo aumentar a intrusão salina ou reverter o sentido de escoamento dos rios. Desse modo, a vulnerabilidade física de zonas costeiras em áreas urbanas a uma elevação do nível do mar do ponto de vista da mobilidade urbana se caracterizaria pelos riscos de erosão costeira e, principalmente, pelos de inundação.

⁴⁰ A faixa predominante corresponde ao intervalo com maior área territorial do município. Não corresponde à média da variação.

A Vulnerabilidade das áreas litorâneas à erosão costeira aumenta em função do grau de exposição às ondas (NEVES; MUEHE, 2010; ROSMAN *et al.*, 2009). Aqui não está se relacionando a erosão ao aumento estático do nível do mar, mas sim em função da movimentação da água por conta de correntes e ondas. O litoral, portanto, precisa ter sua vulnerabilidade avaliada em relação aos graus distintos de exposição, que, segundo os autores, pode ser classificada como “exposta”, “semi-exposta” e “abrigada”. Uma orla “exposta” está voltada diretamente para o mar aberto, como as praias oceânicas que estão expostas diretamente à incidência de ondas de tempestade. Sua capacidade de ajuste (chamado de retrogradação) a uma elevação do nível do mar é quase inexistente caso haja fixação da pós-praia por muros, vias de transporte, proximidade da frente urbanizada ou pela delimitação por pontas rochosas, todos esses pontos dificultando a recarga de sedimentos. Nesse tipo de orla, qualquer mudança na direção das ondas, mesmo sem elevação do nível do mar, pode mudar o alinhamento da praia, ou seja, uma extremidade ficaria mais larga que a outra (em alguns casos sumindo definitivamente). Orlas “semi-expostas” e “abrigadas” estão no interior de baías e lagunas. O grau no qual serão afetadas dependerá da orientação do vento, que em última análise afeta o regime de ondas e correntes. Os locais que apresentam fixação da linha da costa por enrocamento, muros e cais podem sofrer com a elevação do nível do mar nos casos de galgamento dessas infraestruturas por ondas, principalmente nas marés de sizígia, meteorológica ou as duas combinadas, ou no represamento de escoamento de águas pluviais por bloqueio da drenagem durante chuvas fortes. Os autores destacam que *“as praias semi-expostas e abrigadas sofrerão efeitos idênticos aos das praias expostas, porém com menor amplitude de recuo por não estarem tão diretamente expostas a eventos meteorológicos e oceanográficos extremos”* (NEVES; MUEHE, 2008).

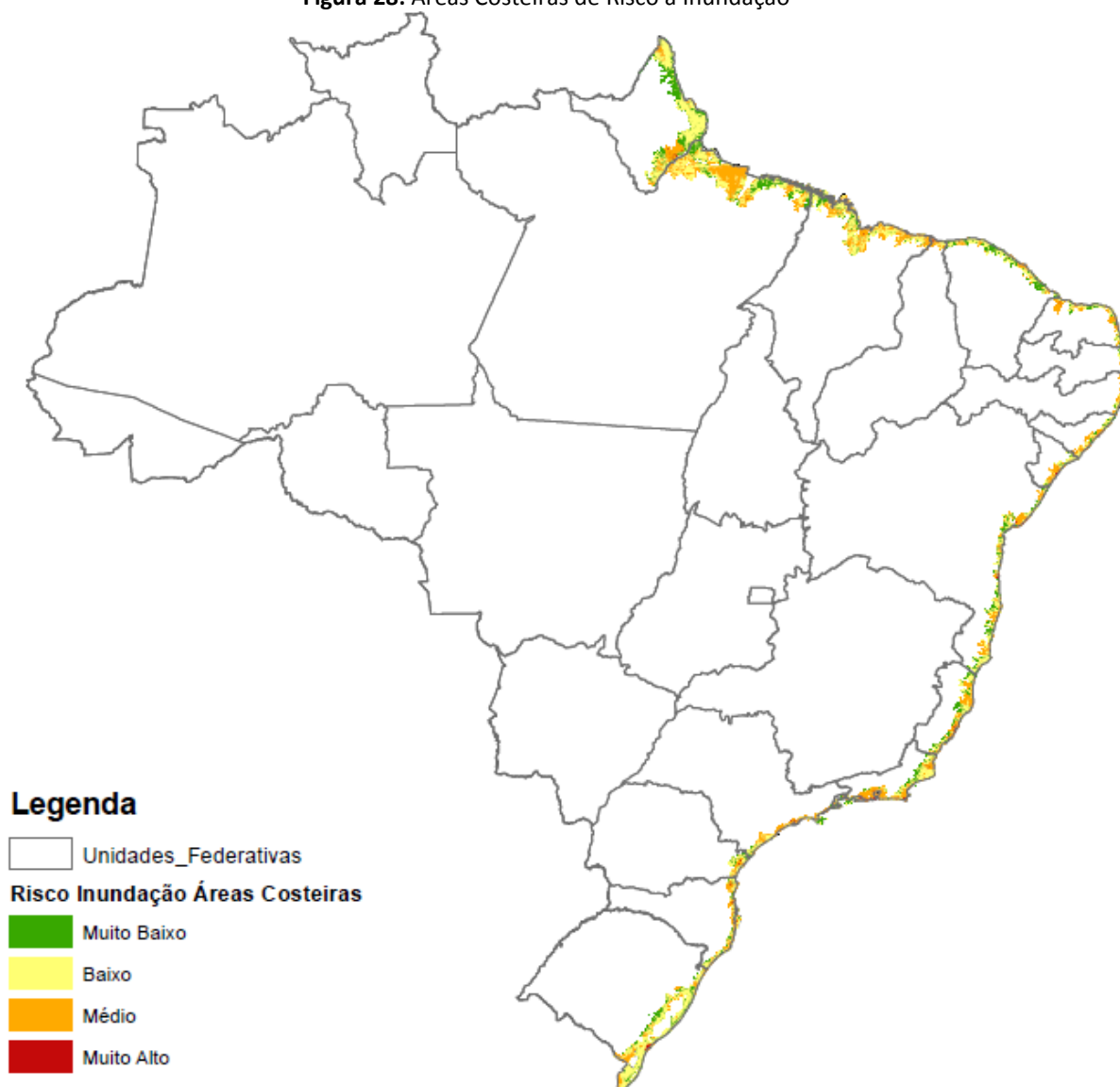
Não há certeza na comunidade científica mundial sobre os valores futuros de aumento absoluto do nível do mar (menos ainda as variações do nível relativo), tampouco existe consenso sobre a abordagem metodológica para avaliação das vulnerabilidades (ROSMAN *et al.*, 2009). Autores destacam a inexistência de padronização nos métodos e conceitos (MALLMANN, 2008 apud ROSMAN *et al.*, 2009). Nesse sentido, estudos têm buscado identificar cenários de elevação do nível do mar em relação a valores máximos históricos de elevações passageiras, geralmente fruto de marés meteorológicas combinadas com marés de sizígia.

Muito embora não haja estudos detalhados que indiquem os efeitos do aumento do nível médio dos oceanos na costa brasileira, conforme o PBMC (2014a), o nível do mar está aumentando e grande parte das elevações para todo o Século XXI pode ser alcançada nas primeiras décadas. Algumas localidades devem experimentar variações de 20 a 30 cm até meados desse século, ou antes disso.

Segundo NEVES e MUEHE (2008), independente dos cenários de elevação do nível do mar, as praias oceânicas urbanas não conseguem se ajustar por meio de retrogradação, o que indica uma tendência à perda de areia devido a sua “fixação” com muros em toda a região de pós-praia. Já as praias não urbanizadas e sem alterações no pós-praia por infraestruturas poderão se ajustar pelos processos de erosão e transposição podendo ter uma amplitude de recuo da ordem de algumas dezenas de metros, o que dependerá do fundo marinho e da amplitude de elevação do nível do mar. Ainda de acordo com os autores, *“efeitos mais negativos que os previstos para a erosão da orla, resultante de uma elevação do nível do mar, se farão sentir na elevação do nível freático, na inundação das zonas baixas e conseqüentemente no bloqueio do escoamento de canais e rios das baixadas cuja drenagem mal consegue se ajustar ao nível do mar atual, gerando enchentes em condições de chuvas fortes, em situação de preamar de sizígia e em período de elevação por maré meteorológica. Em outras palavras, qualquer um dos cenários de elevação do nível do mar trará problemas idênticos”*.

O fato de os componentes da mobilidade urbana em cidades costeiras estarem vulneráveis a elevações do nível do mar é conhecido, mas não há informações suficientes para que possamos dimensionar os aspectos relacionados. Para isso, precisaríamos entender como cada sistema de mobilidade se comportaria mediante diferentes cenários de elevação do nível do mar, o que não é objetivo desse trabalho. Assim, optou-se como aproximação para qualificar estas vulnerabilidades os resultados do Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil, elaborado no âmbito do Ministério do Meio Ambiente (EGLER, 2008). O trabalho elaborou uma série de mapas sobre o potencial de risco à inundação costeira, considerando aspectos altimétricos com dados populacionais, acrescidos da avaliação dos graus de vulnerabilidade às inundações por eventos meteorológicos extremos, chuvas intensas e perspectivas de elevação do nível do mar.

Figura 28: Áreas Costeiras de Risco à Inundação



Fonte: EGLER (2008)

Os dados altimétricos tiveram como base as informações da STRM-NASA, disponíveis no Serviço Geológico dos Estados Unidos e foram modeladas pelos “laboratórios do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), criando-se um modelo digital de terreno da Zona Costeira com informações sobre a população disponibilizada pelo Instituto

Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), de acordo com o Censo 2000. A partir desses dados, foram criados cinco níveis de risco à inundação (muito alto, alto, moderado, baixo e muito baixo) que levam em consideração informações relativas à dinâmica costeira através da interpretação dos seus processos erosivos. Com isso, identificaram-se as áreas que teriam maior vulnerabilidade   elevação do nível do mar, independente do cenário de elevação. A figura 28 apresenta essas áreas em função dos níveis de risco (EGLER, 2008).

VI.3. Principais apontamentos

Apresenta-se a seguir, uma compilação dos principais resultados observados a partir das projeções climáticas realizadas, reiterando-se tratar de cenários possíveis, e não determinísticos, reconhecendo que a metodologia adotada, considerada a mais apropriada para os objetivos do estudo, apresenta incertezas que não podem ser integralmente anuladas.

Assim, quanto aos indicadores de temperatura, pode-se destacar os seguintes pontos:

- Os dois indicadores mostram uma intensificação dos extremos de temperaturas na maior parte do Brasil, tanto nos limites mínimos como nos limites máximos das janelas agregadas, em intensidade tendencial crescente do horizonte 2040 ao 2070.
- Para o indicador SU30, que representa a variação no número de dias com temperaturas diárias máximas acima de 30 C, nos limites mínimos, aumentos maiores são observados nas regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte até meados deste século, com agravamento desta condição sobretudo no sul da região amazônica em direção ao final do século.
- Condições mais críticas se apresentam para o SU30 nos limites máximos, onde extensas áreas com aumentos ainda mais significativos são projetadas para 2040, destacando aquelas citadas nos limites mínimos, mas com maior dispersão pelo território, chegando também   região Sudeste, norte da região Sul, e norte/oeste da Amazônia. Em 2070, os aumentos no indicador superam 200 dias ao ano, abrangendo boa parte de diversos estados, destacando-se manchas no norte de Manaus, em Goiás, Nordeste, sul do Pará e oeste do Mato Grosso.
- Para o indicador WSDI, que representa a variação no número de dias consecutivos no ano com temperaturas nas faixas mais extremas do histórico para a localidade, ou seja, ondas de calor, manchas mais significativas de aumento nos limites mínimos para 2040 se encontram na região central do país e no extremo do Nordeste, que se expandem e se unificam para o horizonte de 2070.
- Nos limites máximos, as regiões destacadas acima alcançam aumentos no WSDI a partir de 201 dias em 2040, cuja condição se dispersa pela maior parte do território do país em 2070, alcançando mais de 301 dias de variação positiva em área abrangendo desde a Amazônia até o Nordeste.

No que tange aos indicadores de precipitação extrema, destacam-se os pontos a seguir:

- Diferentemente das projeções relativas à temperatura, os dois indicadores que caracterizam a intensificação e frequência de eventos de precipitação demonstram cenários em direções opostas em várias regiões do país, como no Sudeste, litoral (sobretudo do Nordeste), e região Amazônica (oeste e norte, principalmente).
- Na região Sul há maior convergência dos modelos, indicando aumento para ambos os indicadores, nos horizontes de 2040 e 2070. Ressalta-se que, entre os limites mínimos e os máximos, há um aumento da abrangência e intensificação das projeções de aumento, que potencialmente podem vir a incluir áreas da região Sudeste, densamente povoada.

- Observa-se maior tendência de redução dos indicadores na região central do país, cuja abrangência e intensidade da mancha apresentam variação significativa em se comparando com os mínimos e máximos das janelas de projeção de ambos os horizontes. Nos limites mínimos, praticamente todo o território brasileiro, à exceção da região Sul, se encontram em tendência de redução.
- Boa parte das cidades litorâneas, onde há grande aglomeração populacional, se encontra na fronteira entre diferentes padrões projetados de precipitação, sobretudo nos seus limites máximos, denotando uma condição de incerteza maior para essas regiões.

Mudanças de uso da terra e processos de urbanização e desenvolvimento das cidades influenciam na frequência e intensidade de eventos extremos relacionados a precipitação ou temperatura. Cidades com alta impermeabilização, alta densidade de concreto e poucas áreas verdes ajudam a criar condições para formar tempestades de curta duração e alta intensidade (MARQUES et al., 2006 apud NOBRE & YOUNG, 2011). Sobre isso, NOBRE & YOUNG (2011) destacam: (...) *“cidades muito urbanizadas, com prédios e superfícies pavimentadas, armazenam mais energia solar que superfícies com coberturas naturais. Adicionalmente, o homem e as atividades industriais produzem calor extra ao ambiente, acrescentando os fluxos de calor sensível e reduzindo os fluxos de calor latente, causando altas temperaturas próximas à superfície. Experimentos numéricos sugerem mudanças nos padrões de temperatura e chuva quando a vegetação natural é substituída por asfalto ou concreto”*. Nesse sentido, cidades que já experimentam mudanças em seus padrões de chuvas podem ter o elemento extra das mudanças climáticas, intensificando ainda mais o fenômeno de chuvas associadas às linhas de instabilidades e processos convectivos.

Com relação à elevação do nível do mar, tem-se:

- Há elevada concentração de cidades com alta densidade populacional no litoral brasileiro, as quais apresentam algum grau de vulnerabilidade a riscos de inundação costeira, que varia em função de diversos fatores, alguns abordados no Macrod diagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil (EGLER, 2008), porém não aprofundados neste documento.
- Em grande parte da zona costeira, nos limites máximos das projeções, observa-se potencial de agravamento de eventos extremos de precipitação, o que deve ser considerado junto à possibilidade de impactos sinérgicos entre precipitações extremas e elevações do nível do mar.

VII. Referências Bibliográficas

ANTP. *Sistema de Informações da Mobilidade Urbana: Relatório Geral 2013*. . [S.l: s.n.], 2015.

AUTHORITY, G. L. The London climate change adaptation strategy. *Draft report. Greater London Authority, London*, 2008.

BALASSIANO, R.; MARQUES, E. C. L. Estudo 22: mobilidade urbana metropolitana. *Perspectivas de investimentos sociais no Brasil*, 2010.

BANCO MUNDIAL. *Avaliação de Perdas e Danos: Inundações e Deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro - Janeiro de 2011*. Relatório elaborado pelo Banco Mundial com apoio do Governo do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: [s.n.], 2012.

BANISTER, D. Energy, quality of life and the environment: the role of transport. *Transport reviews*, v. 16, n. 1, p. 23–35, 1996.

BANISTER, D. The sustainable mobility paradigm. *Transport policy*, v. 15, n. 2, p. 73–80, 2008.

BARANDIER JUNIOR, J. R. *Acessibilidade da população alvo do programa habitacional para baixa renda na cidade do Rio de Janeiro*. 2012. 199 f. Dissertação de mestrado – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia de Transportes, Rio de Janeiro, 2012.

BRASIL. *Manual de projeto de obras-de-arte especiais*. , - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica., nº 698. Rio de Janeiro: IPR, 1996.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima: volume 1 : estratégia geral : portaria MMA nº 150 de 10 de maio de 2016 / Ministério do Meio Ambiente. --. Brasília : MMA, 2016. 2 v.

BRASIL. PRETENDIDA CONTRIBUIÇÃO NACIONALMENTE DETERMINADA PARA CONSECUÇÃO DO OBJETIVO DA CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA. . [S.l: s.n.], 2015

BROOKS, N.; ADGER, W. N.; KELLY, P. M. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global environmental change*, v. 15, n. 2, p. 151–163, 2005.

BROWN, K. W. The 10-point test of financial condition: Toward an easy-to-use assessment tool for smaller cities. *Government Finance Review*, v. 9, p. 21–21, 1993.

CARNEIRO, P. R. F.; MIGUEZ, M. G. *Controle de Inundações em Bacias Hidrográficas Metropolitanas*. . [S.l.]: Annablume. , 2011

CARVALHO, C. H. R.; PEREIRA, R. H. M. *Gastos das famílias brasileiras com transporte urbano público e privado no Brasil: uma análise da POF 2003 e 2009*. . [S.l.]: Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2012.

CARVALHO, C. S.; GALVÃO, T. *Prevenção de riscos de deslizamentos em encostas: Guia para elaboração de políticas municipais*. . [S.l.]: Ministério das Cidades. , 2006

Chou, S.C., et al. (2014) Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. *American Journal of Climate Change*, 3, 512-527. <http://dx.doi.org/10.4236/ajcc.2014.35043>

CHOU, S. C. et al. *Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. American Journal of Climate Change*, v. 03, n. 05, p. 438, 25 dez. 2014.

CONFALONIERI, U. et al. *Modelo Conceitual para avaliação municipal da vulnerabilidade humana à mudança do clima no Brasil: contribuição da FIOCRUZ ao Plano Nacional de Adaptação*. . [S.l.]: Fundação Oswaldo Cruz. , 2015

CPTM. *Apresentação Operacional e Balanço Social*. . São Paulo: [s.n.]. , 2015

CRANE, R. Is there a quiet revolution in women's travel? Revisiting the gender gap in commuting. *Journal of the American planning association*, v. 73, n. 3, p. 298–316, 2007.

CUTTER, S. L. et al. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global environmental change*, v. 18, n. 4, p. 598–606, 2008.

CUTTER, S. L.; BORUFF, B. J.; SHIRLEY, W. L. Social vulnerability to environmental hazards*. *Social science quarterly*, v. 84, n. 2, p. 242–261, 2003.

DANIERE, A. *Planning Sustainable Cities: Global Report on Human Settlements 2009*. [S.l.]: LIVERPOOL UNIV PRESS 4 CAMBRIDGE ST, LIVERPOOL L69 7ZU, ENGLAND, 2011. Disponível em: <<http://www.unhabitat.org/downloads/docs/GRHS2009/GRHS.2009.pdf>>.

DFT - DEPARTMENT FOR TRANSPORT. *Government Response to the Transport Resilience Review*. . London, UK: [s.n.], 2014.

DINIZ, J. A.; DA SILVA MACEDO, M. A.; CORRAR, L. J. Mensuração da Eficiência Financeira Municipal no Brasil e sua Relação com os Gastos nas Funções de Governo. *Gestão & Regionalidade (Online)*, v. 28, n. 83, 2012.

Egler, C. (2008) - Potencial de Risco Tecnológico. In: Ademilson Zamboni & Joao Luiz Nicolodi (org.), *Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil*, pp.149-172, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. Brasília. DF, Brasil. ISBN: 9788577381128.

EICHHORST, U. *Adapting Urban Transport to Climate Change*. , Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-makers in Developing Cities. Division 44: Water, Energy, Transport, n° Module 5f. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 2009.

FHWA. *Climate Change and Extreme Weather Vulnerability Assessment Framework*. . [S.l: s.n.], 2012.

FISRWG. Stream corridor restoration: principles, processes, and practices. *USDA - Natural Resources Conservation Service, National Engineering Handbook*. v. 653, 1998.

FLATO, G. et al. Evaluation of Climate Models. In: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (Org.). . *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. p. 741–866. Disponível em: <<http://ebooks.cambridge.org/ref/id/CBO9781107415324A028>>.

GIZ - Adapting Urban Transport to Climate Change - 5F-ACC-en. 2009

GIZ –The Vulnerability Sourcebook - Concept and guidelines for standardized vulnerability assessments. 2014.

GOMIDE, A. DE Á. Mobilidade urbana, iniquidade e políticas sociais. *políticas sociais*, p. 242, 2006.

GROVES, S. M.; GODSEY, W. M.; SHULMAN, M. A. Financial indicators for local government. *Public Budgeting & Finance*, v. 1, n. 2, p. 5–19, 1981.

HM STATIONERY OFFICE. *The National Adaptation Programme: Making the country resilient to a changing climate*. . [S.l.]: UK for The Stationery Office, 2013. Disponível em: <ISBN: 978-0-10-851238-4>.

HONADLE, B. W.; CIGLER, B.; COSTA, J. M. *Fiscal health for local governments*. [S.l.]: Academic Press, 2003.

HORTON, R. *et al.* Climate risk information. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1196, n. 1, p. 147–228, 2010.

HULL, A. Policy integration: what will it take to achieve more sustainable transport solutions in cities? *Transport Policy*, v. 15, n. 2, p. 94–103, 2008.

IBGE. Censo Demográfico 2010: resultados da amostra. 2010.

IBGE, I. B. DE G. E E. *Base de informações da Pesquisa Nacional por Amostra Domiciliar*. . Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013. . Acesso em: 11 fev. 2012.

IBGE, I. B. DE G. E E. *Base de informações do Censo Demográfico 1960*. . Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1960. . Acesso em: 11 fev. 2012.

IBGE, I. B. DE G. E E. *Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo*. . Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011. . Acesso em: 11 fev. 2012.

IBGE, I. B. DE G. E E. *Pesquisa de Informações Básicas Municipais*. . Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. . Acesso em: 11 fev. 2012.

IEMA. *Evolução das Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil (1990-2013) Setor de Energia e Processos Industriais*. . São Paulo: [s.n.], 2015. Disponível em: <<http://www.energiaeambiente.org.br/index.php/2015/09/evolucao-das-emissoes-de-gases-de-efeito-estuda-no-brasil-1990-2013>>.

INMET. *Normais climatológicas 1961-1990*. [S.l.]: Instituto Nacional de Meteorologia Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>.

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

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

ITURRI, F. ; IGNACCOLO, A. *Adapting Transport Systems to Climate Change*. , The GRaBS Project - GRaBS Summary and Policy Guidelines: Adapting Transport Systems to Climate Change. [S.l.]: University of Catania, 2011.

KLEIN TANK, A. M. G.; ZWIERS, Z. W.; ZHANG, X. Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. *Climate data and monitoring WCDMP*, v. 72, n. 1500, p. 56, 2009.

LA ROVERE, E. L.; DE SOUZA, D. DA S. *Adaptação às Mudanças do Clima: Infraestrutura de Transporte*. , Brasil 2040: cenários e alternativas de adaptação à mudança do clima. Relatório Parcial de Projeto, nº Produto 4. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2015.

LEVTNSON, D. M.; KUMAR, A. Density and the journey to work. *Growth and change*, v. 28, n. 2, p. 147–172, 1997.

LORENZ, D. *et al.* Towards a city of Melbourne climate change adaptation strategy: A risk assessment and action plan. *Melbourne, Vic: Maunsell Australia Pty Ltd*, 2008.

LUCAS, K. Transport and social exclusion: Where are we now? *Transport policy*, v. 20, p. 105–113, 2012.

LU, H.; SHI, Y. Complexity of public transport networks. *Tsinghua Science & Technology*, v. 12, n. 2, p. 204–213, 2007.

MARENGO, J. *et al.* Climate change in central and South America: recent trends, future projections, and impacts on regional agriculture. 2014.

MARENGO, J. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theoretical and applied climatology*, v. 78, n. 1-3, p. 79–96, 2004.

MARENGO, J. A. *et al.* *Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais*. , nº Relatório 5 DCBio. Brasília: MMA - Ministério do Meio Ambiente, 2007.

MARENGO, J. A. *et al.* Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. *Climate Dynamics*, v. 35, n. 6, p. 1073–1097, 2010.

MARENGO, J.A.; OBREGON, G. *Caracterização do clima do Século XX no Brasil: Tendências de chuvas e temperaturas médias e extremas - Relatório 2*. . Brasília: MMA - Ministério do Meio Ambiente, 2007.

MARENGO, J.A.; ROGERS, J. C. Polar outbreaks in the Americas: “Assessments and impacts during recent and past climates”. *Present and past inter-hemispheric climate linkages in the Americas and their societal effects*. England: Markgraf, V. - Cambridge University Press, 2000. .

MELO, F. B. *Proposição de medidas favorecedoras à acessibilidade e mobilidade de pedestres em áreas urbanas. Estudo de caso: o centro de Fortaleza*. 2005. 234 f. Doutorado – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

MIMURA, N. *et al. Adaptation planning and implementation*. , Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2014.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. *Política Nacional de Mobilidade Urbana Sustentável*. Brasília: Ministério das Cidades, 2004. Disponível em: <<http://www.capacidades.gov.br/biblioteca/detalhar/id/128/titulo/cadernos-mcidades-6---politica-nacional-de-mobilidade-urbana-sustentavel#prettyPhoto>>. (Cadernos MCidades, 6).

MISHRA, V.; LETTENMAIER, D. P. Climatic trends in major U.S. urban areas, 1950–2009. *Geophysical Research Letters*, v. 38, n. 16, p. L16401, Agosto 2011.

MMA. *Plano Nacional de Adaptação: Edição Consulta Pública*. . [S.l.]: Ministério do Meio Ambiente. , 2015

MORAIS, M. DA P.; COSTA, M. A. Infraestrutura social e urbana no Brasil: subsídios para uma agenda de pesquisa e formulação de políticas públicas. *IPEA*, 2010.

NEMRY, F.; DEMIREL, H. *Impacts of Climate Change on Transport: A focus on road and rail transport infrastructures*. [S.l.]: Publications Office, 2012.

NEVES, C. F.; MUEHE, D. Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira. *Parcerias estratégicas: Mudança do clima no Brasil: vulnerabilidade, impactos e adaptação*, v. 13, n. 27, p. 217–296, 2008.

NEVES, C. F.; MUEHE, D. Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira. *Parcerias estratégicas*, v. 13, n. 27, p. 217–296, 2010.

NEW YORK CITY PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate change adaptation in New York City: building a risk management response*. [S.l.]: New York Academy of Sciences, 2010. v. 1196.

NGUYEN, M.; WANG, X.; LEICESTER, R. An assessment of climate change effects on atmospheric corrosion rates of steel structures. *Corrosion Engineering, Science and Technology*, v. 48, n. 5, p. 359–369, 2013.

NJTPA. *Climate Change Vulnerability and Risk Assessment of New Jersey's Transportation Infrastructure*. . [S.l.]: New Jersey Transportation Planning Authority, 2012.

NOBRE, C. A.; YOUNG, A. F. *Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: região metropolitana de São Paulo: relatório final*. São José dos Campos: INPE, 2011.

PAES DE BARROS, R. *et al. Relatório de definição da classe média*. . Brasília: Secretaria de Assuntos Estratégicos, 2012.

PBMC. *Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas*. (T. Ambrizzi & M. Araújo, Org.). [S.l.]: COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro. , 2014a

PBMC. *Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas*. . [S.l.]: COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro. , 2014b

PEREIRA, R. H. M.; SCHWANEN, T. *Commute time in Brazil (1992-2009): Differences between metropolitan areas, by income levels and gender*. . [S.l.]: Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2013.

PEREIRA SILVA, A. DE A. *et al.* Eficiência na alocação de recursos públicos destinados à educação, saúde e habitação em municípios mineiros. *Contabilidade, Gestão e Governança*, v. 15, n. 1, 2012.

PERMANA, A. S.; PERERA, R.; KUMAR, S. Understanding energy consumption pattern of households in different urban development forms: A comparative study in Bandung City, Indonesia. *Energy Policy, Transition towards Sustainable Energy Systems*. v. 36, n. 11, p. 4287–4297, nov. 2008.

PERO, V.; MIHESSEN, V. Mobilidade urbana e pobreza no Rio de Janeiro. *Revista Econômica*, v. 15, n. 2, 2014.

PINHEIRO, A. C.; FRITSCHTAK, C. (Org.). *Mobilidade urbana: desafios e perspectivas para as cidades brasileiras*. 1.ed. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: FGV/IBRE, 2015.

ROSENZWEIG, C. *et al.* *Climate change and cities: first assessment report of the Urban Climate Change Research Network*. [S.l.]: Cambridge University Press, 2011.

ROSMAN, P. *et al.* *Vulnerabilidade da Zona Costeira Brasileira às Mudanças Climáticas*. Relatório Final, nº PENO-11896. [S.l.]: Fundação Coppetec, 2009.

RYAN, P. C. *et al.* Probabilistic analysis of climate change impacts on timber power pole networks. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, v. 78, p. 513–523, jun. 2016.

SANTOS, R. T. DOS *et al.* Demanda por investimentos em mobilidade urbana no Brasil. *BNDES Setorial, Rio de Janeiro*, n. 41, 2015.

SANTOS, J. R. S. *Avaliação de autocorrelações e complexidade de séries temporais climáticas no Brasil*. 2014. 114 f. Tese de Doutorado – UFPE, Recife, 2014.

SÃO PAULO. *Manual Técnico de Arborização Urbana*. . [S.l.]: SOS Mata Atlântica, 2015. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br>>.

SATYAMURTY, P. *et al.* Rainfall trends in the Brazilian Amazon Basin in the past eight decades. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 99, n. 1-2, p. 139–148, 2010.

SCHMITT, G. Global needs for knowledge dissemination, research, and development in materials deterioration and corrosion control. *New York, NY: The World Corrosion Organization*, 2009.

STEWART, M. G.; WANG, X.; NGUYEN, M. N. Climate change adaptation for corrosion control of concrete infrastructure. *Structural Safety*, v. 35, p. 29–39, 2012.

STIVALI, M.; GOMIDE, A. DE Á. Padrões de gasto das famílias com transportes urbanos no Brasil metropolitano–1987-2003. *Gasto e consumo das famílias brasileiras contemporâneas*, p. 167, 2007.

STONE JR, B. *et al.* Is compact growth good for air quality? *Journal of the American Planning Association*, v. 73, n. 4, p. 404–418, 2007.

TAPIA, C. *et al.* *High level quantified assessment of key vulnerabilities and priority risks for urban areas in the EU*. Small-scale vulnerability and risk analysis for cities and sectors, n° Deliverable 3.1. [S.l.]: Tecnia R&I, Newcastle University, 2015.

TEIXEIRA, M. S. *Atividade de ondas sinópticas relacionadas a episódios de chuvas intensas na região Sul do Brasil*. 2004. 150 f. Mestrado – INPE, São José dos Campos, 2004.

TORONTO REGION BOARD OF TRADE. *Toronto as a Global City: Scorecard on Prosperity - 2014*. . [S.l.: s.n.], 2014

TORRES, R. R.; MARENGO, J. A. Climate change hotspots over South America: from CMIP3 to CMIP5 multi-model datasets. *Theoretical and applied climatology*, v. 117, n. 3-4, p. 579–587, 2014.

TURNER, B. L. *et al.* A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the national academy of sciences*, v. 100, n. 14, p. 8074–8079, 2003.

UFSC. *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012*. . Florianópolis: Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, 2013.

UKCIP. *Tools* / *UKCIP*. Universidade. Disponível em: <<http://www.ukcip.org.uk/wizard/#.VpQEAlmo3Yk>>. Acesso em: 11 jan. 2016.

UNFCCC. *Adoption of the Paris Agreement*. . [S.l.]: FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1. , 2015

UNIVERSITY OF VIRGINIA. *Assessing Vulnerability and Risk of Climate Change Effects on Transportation Infrastructure*. . Virginia: [s.n.], 2011.

USDOT. *Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: Gulf Coast Study*. . Estados Unidos: [s.n.], 2008.

VERÓL, A. P. *Requalificação Fluvial Integrada ao Manejo de Águas Urbanas para Cidades mais Resilientes*. 2013. 140 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

VICHON, C. *et al.* *Assessing vulnerability to natural hazards in Europe: from principles to practice. A manual on concept, methodology and tools*. MOVE deliverable no. 4.2. [S.l.: s.n.], 2011. Disponível em: <<http://www.move-fp7.eu>>.

WALSH, K.; NGUYEN, K.-C.; MCGREGOR, J. Fine-resolution regional climate model simulations of the impact of climate change on tropical cyclones near Australia. *Climate Dynamics*, v. 22, n. 1, p. 47–56, 2004.

WANG, C.; WANG, X. Vulnerability of timber in ground contact to fungal decay under climate change. *Climatic change*, v. 115, n. 3-4, p. 777–794, 2012.

WEGENER, M. Possible Future Transport and Land Use Strategies for Sustainable Urban Development in European Cities. 2009, [S.l: s.n.], 2009.

WRA. *Dealing with the Effects of Climate Change on Road Pavements*. . [S.l.]: World Road Association, 2012. Disponível em: <www.piarc.org>.

YOUNG, C. E. F.; AGUIAR, C.; POSSAS, E. Sinal fechado: custo econômico do tempo de deslocamento para o trabalho na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. *Revista Econômica*, v. 15, n. 2, 2013.

ZHANG, X.; YANG, F. RClimDex (1.0) User Guide. *Climate Research Branch Environment Canada. Downsview (Ontario, Canada)*, 2004. Disponível em: <<http://css.escwa.org.lb/sdpd/1802/m6.pdf>>.

ZONSEIN, J. *Índice de Risco de Cheia como Ferramenta de Gestão de Enchentes*. 2007. Mestrado – UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.