

## IMPACTOS, VULNERABILIDADES E ADAPTAÇÃO NO SETOR DE TRANSPORTES FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: COMO A CIDADE DO RIO DE JANEIRO DEVERÁ SE PREPARAR?

**Suzana Kahn Ribeiro**

**Andrea Souza Santos**

Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Programa de Engenharia de Transportes - PET, COPPE-UFRJ

### RESUMO

A mudança climática pode afetar os sistemas de transporte (ferroviário, aéreo, rodoviário e aquaviário) em todas as cidades do mundo, limitando a mobilidade urbana, com consequências para o crescimento econômico e qualidade de vida das populações. Este artigo tem como objetivo identificar vulnerabilidade e os possíveis impactos das mudanças climáticas no setor de transportes. O estudo concluiu que o setor dos transportes tem uma forte interação com a mudança climática, e gera impactos que podem ser agrupados em duas categorias: aqueles originados do setor, tais como as emissões de gases de efeito estufa e poluentes (efeitos negativos sobre o aquecimento global) e aqueles causados pelas mudanças climáticas, que afetam o setor dos transportes. A cidade do Rio de Janeiro foi considerada como um estudo de caso para avaliar o risco das mudanças climáticas no sistema de transporte projetado para atender os compromissos olímpicos em 2016.

### ABSTRACT

Climate change can affect transport systems (rail, air, road and waterway) in all cities worldwide, potentially limiting urban mobility, with consequences for economic growth and quality of life. This article aims to identify the transportation sector's climate change vulnerability and possible impacts. The study concludes that the transport sector has a strong interaction with climate change, and it generates impacts that can be grouped into two categories: those that originate in the sector such as greenhouse gas emissions and pollutants (negative effects on global warming) and those caused by climate change that affect the transport sector. Rio de Janeiro is presented as a case study to evaluate the risks of climate change impacts in the transport system projected to attend the Olympics commitments in 2016.

### 1. INTRODUÇÃO

Mais da metade da população mundial vive em cidades e estas deverão enfrentar muitos desafios relacionados à mudança climática, que deverá exercer pressão sobre áreas urbanas, por meio de aumento do número de ondas de calor, maior frequência e intensidade de secas, chuvas com consequentes inundações, comprometendo o abastecimento de água; e no caso de cidades costeiras, a elevação do nível do mar e a ocorrência de tempestades deverão gerar impactos sobre os habitantes, a infraestruturas e os ecossistemas. A mudança climática deverá ter impactos significativos em quatro setores na maioria das cidades: o sistema local de energia; demanda e fornecimento de água, e tratamento de esgoto; transporte; e saúde pública (Rosenzweig et al., 2011a).

São escassos os estudos que enfocam diretamente os impactos das mudanças climáticas ou da variação sazonal das condições meteorológicas em transportes, porém as avaliações do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC sugerem profundas implicações nos

sistemas de transportes (IPCC, 2007; 2012; 2013; 2014).

A mudança climática afetará o transporte, principalmente, por meio do aumento dos diversos tipos de eventos meteorológicos e climáticos extremos. Os impactos vão variar de acordo com as vulnerabilidades existentes, o modo de transporte e região do planeta, mas eles vão ser generalizados e de alto custo, tanto em termos humanos, como econômicos, e irão exigir mudanças significativas no planejamento, desenho, construção, operação e manutenção dos sistemas de transporte.

As mudanças climáticas poderão afetar os sistemas de transporte (ferroviário, aéreo, rodoviário e hidroviário) em todos os países, impedindo potencialmente a mobilidade urbana, com consequências econômicas e na qualidade de vida das populações. No que se refere ao transporte de carga, o risco de provocar o desabastecimento de cidades e aumento do custo do produto final é expressivo.

Cidades são cruciais para os esforços globais de mitigação e adaptação. A Agência Internacional de Energia estima em sua pesquisa mais recente que as áreas urbanas são responsáveis por 71% das emissões globais de carbono relacionadas a energia. Este percentual vai crescer de acordo com as tendências de urbanização (Rosenzweig et al., 2010; Rosenzweig et al., 2011b). De acordo com Chapman (2007) somente os transportes são responsáveis por 26% das emissões globais de CO<sub>2</sub>. Ao mesmo tempo, as cidades poderão servir de laboratórios vivo para experimentar medidas de adaptação.

Este artigo teve como objetivo identificar as vulnerabilidades e possíveis impactos no setor de transportes frente às mudanças climáticas, a partir da revisão da literatura atual, e ainda apresentar algumas medidas de adaptação que visem minimizar estes impactos. A cidade do Rio de Janeiro ou Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) foi utilizada como um estudo de caso. Foram identificadas as vulnerabilidades climáticas e os possíveis impactos no sistema de transportes projetado para 2016, a partir do levantamento de ações em transportes, e com base nos compromissos olímpicos. Por fim, foi realizada uma classificação qualitativa das ações em transportes quanto aos riscos das mudanças climáticas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

## 2. VUNERABILIDADES E IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS TRANSPORTES

Projeções de mudanças climáticas relacionadas com aumento no nível do mar, padrões meteorológicos, temperaturas e precipitação, e um aumento de eventos climáticos extremos (incluindo tempestades tropicais e furacões) irão afetar negativamente a infraestrutura de transporte e a tomada de decisão (USDOT, 2002; Lindquist, 2007). É projetado para algumas regiões do planeta um aumento na ocorrência de eventos extremos como intensa precipitação, fortes tempestades, incluindo furacões, o que pode causar inundações locais. Com isso, a infraestrutura costeira de transporte é vulnerável aos efeitos combinados de tempestade e aumento do nível global do mar (Peterson *et al.*, 2006).

Alterações na precipitação e no nível do mar poderão afetar o sistema de transporte, antecipando

a vida média da infraestrutura construída. As mudanças de precipitação poderão impactar fundações e pavimentações, especialmente quando os níveis de precipitação aumentarem de forma significativa em relação aos padrões atuais (Meyer, 2006).

O planejamento de transportes opera em diversas escalas de tempo. Os planejadores de estradas tipicamente consideram uma escala de tempo de 25 anos e os de ferrovias consideram 50 anos. Pontes e túneis subterrâneos geralmente são concebidos considerando um horizonte de 100 anos. Em todos os casos, o planejamento que leve em consideração prováveis mudanças será importante (Lindquist, 2007). A infraestrutura de transporte é projetada para suportar as condições ambientais em que é construída, e, no geral, a manutenção da infraestrutura é tida em conformidade. Como exemplo, Meyer (2006), em seu estudo sobre a implicação das mudanças climáticas na infraestrutura de transportes nos Estados Unidos, identifica que as pontes da cidade de Seattle são vulneráveis aos impactos da expansão térmica causada por temperaturas mais elevadas, ocasionando o aumento da erosão nas fundações das pontes e deterioração da pavimentação, decorrente também do aumento da precipitação e do nível do mar.

No que diz respeito ao conhecimento de vulnerabilidades dos transportes, estudos realizados para a cidade de Nova Iorque concluíram que os sistemas de transporte da cidade poderão ser afetados por inundações e pelo aumento do nível dos lençóis freáticos, especialmente devido a muitas das instalações estarem localizadas em túneis subterrâneos (Meyer, 2006; Santos, 2014).

O setor de transporte é um setor prioritário dada a importância da mobilidade urbana na vida das populações, sendo este altamente vulnerável às mudanças climáticas. Ao mesmo tempo, as cidades são responsáveis por grande parcela das emissões de gases de efeito estufa, tendo o setor de transporte um papel crucial na contribuição para as mudanças climáticas (Santos, 2014).

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

É conhecido que os sistemas de transporte, em geral, apresentam um pior desempenho em condições climáticas adversas e extremas, especialmente em regiões densamente povoadas, onde um único evento pode levar a uma cadeia de reações que influenciam grande parte do sistema de transporte (Koetse e Rietveld, 2007). Um estudo de caso na área central da Costa do Golfo constatou vulnerabilidades substanciais onde, por exemplo, tempestades associadas a furacões poderiam facilmente ocasionar ondas de 7 metros. Com isso, mais da metade das principais rodovias da região, sendo 64% interestaduais e 57% estaduais, quase metade das ferrovias, 29 aeroportos e praticamente todos os portos estão sujeitos a inundações (Repetto, 2008).

Ainda é possível correlacionar as condições climáticas e acidentes. Um estudo feito por Stern e Zehavi (1990) que investigaram a relação entre o tempo quente e acidentes de trânsito. Eles concluíram que o risco de um acidente aumenta com condições de estresse térmico decorrente do aumento da temperatura. Afirmam também que a variável mais importante é a precipitação, onde evidência empírica sobre o impacto da chuva e da neve na frequência e a gravidade dos acidentes rodoviários é abundante.

Apesar dos trabalhos existentes na literatura não serem conclusivos em relação ao tema tratado,

observa-se convergência para as condições e variações climáticas que afetam o sistema de transporte, dentre elas: variação de temperatura, temperaturas elevadas e muito baixas, tempestades (precipitação intensa), elevação do nível do mar e inundações associadas às tempestades. A Tabela 1 apresenta uma síntese dos estudos sobre impactos e vulnerabilidades relacionadas ao sistema de transporte.

**Tabela 1:** Síntese dos estudos sobre impactos e vulnerabilidades no sistema de transporte

Estudos	Econômicos	Sociais	Sobre as estruturas/ pavimentos e trilhos	Inundações de Tuneis subterrâneos	Segurança viária	Mobilidade urbana	Planejamento e infraestrutura
USDOT (2002)	X			X		X	X
LCCP (2005)			X				X
MEYER (2006)			X	X			
PETERSON <i>et al.</i> (2006)			X				
KOETSE, RIETVELD (2007)	X				X	X	
LINDQUIST (2007)			X	X	X	X	
REPETTO (2008)			X	X	X		
CHANG <i>et al.</i> (2009)			X			X	
YEVDOKIMOV (2010)	X	X					
SANTOS (2014)						X	X
EEA (2014)	X	X				X	X

Fonte: Elaboração própria, com base em Santos (2014).

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

No Brasil, projeções indicam que os riscos serão potencializados pelo aumento do número de dias com fortes chuvas. Estudos preliminares sugerem que, entre 2070 e 2100, uma elevação média na temperatura da região de 2° C a 3° C poderá dobrar o número de dias com chuvas intensas (acima de 10 milímetros) na cidade de São Paulo (INPE, 2010; PBMC, 2013; 2014).

Desta forma, verifica-se o impacto econômico e social já que em condições meteorológicas adversas há um aumento no tempo médio de viagem, em congestionamentos e numa maior probabilidade de ocorrência de acidentes, além de um custo maior na logística de distribuição de bens e dificuldade de acesso a serviços. Com isto, os custos generalizados de transporte são afetados.

### 3. MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

Atualmente é possível observar uma tendência em que os tomadores de decisão começam a aceitar o fato da mudança climática e da necessidade de explorar estratégias de adaptação associadas, tais como, a implementação de medidas políticas para reduzir os custos dos danos potenciais relacionados. Apesar do papel fundamental dos transportes e os enormes desafios colocados pelas mudanças climáticas, a atenção para a adaptação é ainda relativamente baixa (EEA, 2014).

Uma das formas de se adaptar, apesar de ser apenas considerando o longo prazo é que projetos de infraestrutura devam considerar as alterações das condições meteorológicas extremas, como altas ou baixas temperaturas, chuvas fortes, nevoeiro, vento forte, etc. É preciso estar ciente de que condições meteorológicas e de clima poderão afetar não apenas o lado da demanda dos transportes, mas também o lado da oferta. A oferta também pode ser afetada em curto prazo por variações climáticas, por exemplo, quando as operações de empresas, como ferroviárias e aeroportuárias, são interrompidas devido a condições de evento extremo (Koetse e Rietveld, 2007).

Numa perspectiva regional, três cidades norte americanas foram avaliadas e foi possível concluir que os sistemas de transporte poderão ser impactados especialmente por inundações. Os seguintes componentes da infraestrutura do sistema de transporte são mais vulneráveis às mudanças climáticas e eventos climáticos extremos (Meyer, 2006) e deverão ser considerados em estratégias e medidas de adaptação:

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

O planejamento de transportes deverá considerar medidas de adaptação para garantir a mobilidade das populações. Sistemas de transporte resilientes podem também apoiar nos esforços de evacuação e prestação de ajuda no caso de ocorrência de desastres e adaptação às possíveis mudanças climáticas futuras (Santos, 2014).

Adaptar o sistema de transportes poderia exigir investimentos substanciais em infraestrutura. Contudo, existem opções de baixo custo, mas ainda não estão em foco. A integração da adaptação no planejamento da infraestrutura é necessária no presente (EEA, 2014). O próprio planejamento urbano está intimamente relacionado com o tema. A opção por cidades mais ou menos compactas, a definição da capacidade das vias de circulação para fins de tráfego, bem como, o estudo da localização do traçado, levando-se em conta critérios de drenagem pluvial e áreas de risco, são exemplos que refletem a imprescindibilidade da inserção da variável climática na estruturação das cidades (INPE, 2010).

A falta de integração dos diferentes modos no sistema de transporte constitui uma vulnerabilidade. Países em desenvolvimento como o Brasil, precisarão investir na integração dos diversos modos de transporte, criando assim uma mobilidade resiliente (Santos, 2014).

A adaptação aos efeitos das mudanças climáticas exigirá ações integradas e coordenadas envolvendo diferentes escalas e temas. Elas contemplarão ações no âmbito metropolitano, das bacias hidrográficas e dos territórios dos municípios costeiros, até alcançar a escala de áreas específicas (encostas, lagoas, manguezais etc.) identificadas, por exemplo, segundo critérios de vulnerabilidade (INPE, 2011; Egler e Gusmão, 2013).

De acordo com Zimmerman e Faris (2011), apesar do aumento no desenvolvimento de planos de mitigação e adaptação, ainda existe uma necessidade contínua de uma maior atenção à adaptação a nível local. O IPCC já adverte para a necessidade de adoção de medidas de adaptação consistentes em novos traçados ou realocação de vias, normas para projetos e planejamento de estradas, ferrovias e outras estruturas, drenagem dos solos, para fazer frente ao aquecimento (IPCC, 2012; 2014).

#### **4. IMPACTOS, VULNERABILIDADES E ADAPTAÇÃO NO SETOR DE TRANSPORTE FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: COMO A CIDADE DO RIO DE JANEIRO DEVERÁ SE PREPARAR?**

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro é a maior aglomeração urbana da costa brasileira, com uma população de cerca de 11,5 milhões de habitantes em 2010. Como todo grande aglomerado urbano, a RMRJ comporta elementos, fluxos (de pessoas, veículos, etc.) e vulnerabilidades (propensão a deslizamentos de encostas, etc.) que se combinam de forma diferente (Egler e Gusmão, 2013).

A população do Estado do Rio de Janeiro está fortemente concentrada na sua Região Metropolitana, tendo o ônibus urbano como principal meio de transporte coletivo. Dessa forma, não é surpreendente a constatação de que esta modalidade seja responsável por, aproximadamente 75% das viagens realizadas em modos coletivos. Em 2012, o setor de transportes respondeu por aproximadamente 40% das emissões de gases de efeito estufa dos setores socioeconômicos do Município. Dentro de transportes, o modal rodoviário é o mais emissor (La Rovere *et al.*, 2013).

O aquecimento global pode mudar o clima da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, promovendo impactos na orla e redefinindo a linha da costa. A expectativa é que a região se torne mais quente e úmida até o final do século. As praias podem perder areia e as zonas costeiras de baixa elevação podem sofrer ainda mais com inundações (INPE, 2011). No cenário mais pessimista, a cidade do Rio chegaria a ter mais de 10% de sua área total atingida com a elevação do nível do mar (Mandarino e Arueira, 2012).

No Rio de Janeiro, já pode ser observado o aumento da ocorrência de eventos de chuva extremos. É sabido que este tipo de evento é recorrente na história da cidade, assim como suas consequências mais graves, como a perda de vidas. A Tabela 2 apresenta um resumo das principais projeções de clima para o Rio de Janeiro, bem como as vulnerabilidades, os possíveis



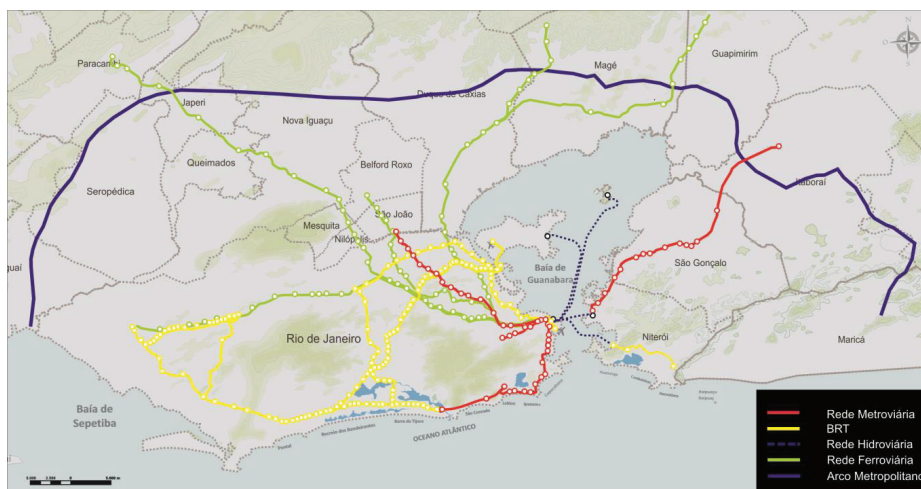
impactos das mudanças climáticas e possíveis medidas de adaptação que possam contribuir na resiliência do setor de transportes.

**Tabela 2:** Principais projeções de clima, vulnerabilidades, impactos e possíveis medidas de adaptação para os transportes na cidade do Rio de Janeiro

Projeções de Clima	Vulnerabilidades	Possíveis impactos	Possíveis medidas de adaptação relacionadas aos transportes
Aumento do nível do mar	Vulnerabilidade da zona costeira, das praias frente ao uso do solo com edificações, pavimentações etc.	Impacto na orla, redefinindo a linha da costa; as praias podem perder areia e as zonas costeiras de baixa elevação podem sofrer ainda mais com inundações	Necessidade de obras de infraestrutura, realocação da infraestrutura atual, como vias, porto marítimo, etc.
Aumento de temperatura	O clima está se tornando mais quente na capital; aumento da temperatura média anual	redução dos dias mais frios, maior frequência de dias e noites quentes	Uso de refrigeração na infraestrutura e meios de transporte
Aumento de pluviosidade	Alteração da distribuição espaço-temporal da pluviosidade; intensidade suficiente para alterar processos ambientais importantes	propensão a deslizamentos de encostas e inundações de áreas de planície; alagamentos; disponibilidade/qualidade das águas, perda da mobilidade dos sistemas de transporte	Adequar a ocupação do solo e as infraestruturas de transporte a fenômenos hidrológicos extremos
Aumento na ocorrência de tempestades e marés meteorológicas	Aumento do nível do mar; aproximação de grandes ondas e de ressacas	ressacas no mar alcançando o litoral, fortes ventos, chuvas que podem ocasionar perda de mobilidade	Adequar a ocupação do solo e as infraestruturas de transporte a suportar tempestades e marés meteorológicas
Aumento de Ilhas de calor urbana	Alteração na direção e intensidade das brisas marítima e terrestre, altera os padrões do transporte de umidade.	aumento na duração das ondas de calor; aumento da poluição	Uso de refrigeração na infraestrutura e meios de transporte; reduzir o uso de combustíveis fósseis

Fonte: Santos (2014).

Recursos têm sido alocados para investimentos tanto na melhoria e expansão de vias e áreas urbanas quanto na ampliação e modernização do sistema de transportes. Além desses investimentos, recursos municipais, estaduais e privados são alocados em obras de infraestrutura como forma de atender a uma demanda específica gerada pela realização da Copa do Mundo FIFA 2014 e para atender os compromissos olímpicos em 2016. A Figura 1 apresenta a rede mínima de transportes para 2016, projetada a partir dos projetos existentes e em fase de implantação.



**Figura 1:** Rede mínima de transporte projetada para 2016, Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Fonte: SETRANS (2011)

As ações em transportes no Rio de Janeiro propostas neste trabalho para serem avaliadas quanto aos riscos da mudança climática são apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3:** Ações em transporte na RMRJ

Programa, projetos ou ações em transporte	Descrição	Curto prazo, médio ou longo prazo
Implantação do BRT	Sistema de transporte por ônibus rápido (BRT- Bus Rapid Transit) com as linhas TransCarioca, TransOlimpica, TransOeste e TransBrasil no Rio de Janeiro e o TransOceânico em Niterói	Curto prazo
Implantação do BRS	Sistema de transporte por BRS – <i>Bus Rapid Service</i> - para aumentar a eficácia da operação das linhas de ônibus municipais	Curto prazo
Implantação do VLT	Sistema de VLT (Veículo Leve sobre Trilho) no centro da cidade do Rio de Janeiro	Curto prazo
Melhoria dos trens	Melhoria dos Ramais ferroviários a partir de Saracuruna (reativação)	Curto prazo
Linha 3 do metrô	Implantação da Linha 3 do metrô no trecho Niterói – São Gonçalo – Itaboraí	Curto prazo
Linha 4 do metrô	Implantação da Linha 4 do Metrô ligando o Jardim Oceânico (Barra da Tijuca) e Ipanema	Curto prazo

Fonte: Santos (2014).

As ações identificadas no Plano de Desenvolvimento dos Transportes Urbanos (SETRANS, 2011) foram avaliadas quanto aos possíveis riscos das mudanças climáticas. A metodologia de



avaliação consistiu na identificação dos possíveis riscos associados à mudança climática de acordo com as projeções de clima para a RMRJ, apresentadas neste item. Com base na revisão da literatura sobre riscos, vulnerabilidades e impactos das mudanças climáticas nos transportes apresentada no item 1, buscou-se classificar o risco como “baixo risco ou nenhum risco”; “risco médio” e “alto risco”, conforme apresentado na Tabela 4 a seguir.

**Tabela 4:** Classificação qualitativa das ações em transportes quanto aos riscos das mudanças climáticas na RMRJ.

Programa, projetos ou ações em transporte	Vulnerabilidades	Possíveis Riscos	Classificação quanto ao risco
Implantação do BRT	Aumento no nível do mar	Inundação, impactos na infraestrutura do sistema BRT; interrupções, danos em áreas próximas a zona costeira	risco baixo
	Aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos como fortes chuvas e tempestades	Acidentes, impactos na infraestrutura do sistema BRT; atrasos no tempo de viagem; interrupções, danos e falhas	risco alto
	Aumento da temperatura média anual	Impactos na infraestrutura do sistema BRT; danos na pavimentação pela expansão do asfalto devido às altas temperaturas	risco médio
Implantação do BRS	Aumento no nível do mar	Inundação, impactos na infraestrutura do sistema BRS; interrupções, danos em áreas localizadas próximo a zona costeira	risco baixo
	Aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos como fortes chuvas e tempestades	Acidentes, impactos na infraestrutura do sistema BRS; atrasos no tempo de viagem; interrupções, danos e falhas	risco alto
	Aumento da temperatura média anual	Impactos na infraestrutura do sistema BRS; danos na pavimentação pela expansão do asfalto devido às altas temperaturas	risco médio
Implantação do VLT	Aumento no nível do mar	Inundação, impactos na infraestrutura do sistema VLT; interrupções, danos em áreas próximas a zona costeira	risco médio
	Aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos como fortes chuvas e tempestades	Acidentes, impactos na infraestrutura do sistema VLT; atrasos no tempo de viagem; interrupções, danos e falhas	risco baixo
	Aumento da temperatura média anual	Impactos na infraestrutura do sistema VLT; danos no sistema de trilhos pela expansão provocadas por altas temperaturas e falhas	risco baixo
Melhoria dos trens	Aumento no nível do mar	Inundação, impactos na infraestrutura; interrupções e danos em áreas próximas a zona costeira	risco baixo
	Aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos como fortes chuvas e tempestades	Acidentes, impactos na infraestrutura ferroviária; atrasos no tempo de viagem; interrupções, danos e falhas	risco baixo
	Aumento da temperatura média anual	Impactos na infraestrutura ferroviária; danos no sistema de trilhos pela expansão provocadas por altas temperaturas e falhas	risco baixo
Linhas 3 e 4 do metrô	Aumento no nível do mar	Inundação, impactos na infraestrutura; interrupções e danos em áreas próximas a zona costeira	risco baixo
	Aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos como fortes chuvas e tempestades	Atrasar as atividades de construção, e enfraquecer ou desgastar o solo e bueiros que suportam estradas, túneis e pontes; inundações em sistemas subterrâneos e estações	risco baixo
	Aumento da temperatura média anual	Impactos na infraestrutura metroferroviária; danos no sistema de trilhos pela expansão provocadas por altas temperaturas e falhas	risco baixo

Fonte: Santos (2014).

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Pode-se concluir que o setor de transporte apresenta forte interação com as mudanças climáticas, e gera impactos que podem ser agrupados em duas categorias: aqueles originários pelo setor, tais

como as emissões de gases de efeito estufa e poluentes (efeitos negativos sobre o aquecimento global), e aqueles causados pelas mudanças climáticas sobre o setor de transporte, como a ocorrência de um evento climático extremo ocasionando a interrupção da mobilidade.

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

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

Considera-se que a infraestrutura de transporte, em todos os modos, possa ser vulnerável aos impactos das mudanças climáticas, mesmo em um futuro próximo. Grande parte dos debates sobre mudanças climáticas e transporte tem sido focada em mitigação dos impactos das emissões de gases de efeito estufa de automóveis. No aspecto econômico, a respeito do potencial de perda de bilhões de dólares, a possibilidade de impactos das mudanças climáticas sobre a infraestrutura de transporte tem recebido pouca atenção. No entanto, considerações sobre adaptação aos impactos potenciais do aumento do nível do mar, mudanças na precipitação e temperatura, aumento na magnitude e frequência de tempestades severas são extremamente importantes, particularmente em áreas vulneráveis. A forma como a infraestrutura de transporte e seus sistemas associados de governança irão responder às mudanças vem sendo relegado ao segundo plano.

Sabemos que os transportes são responsáveis por grande parcela das emissões de gases de efeito estufa. Contudo, a contribuição deste artigo é a consideração dos impactos, vulnerabilidades e medidas de adaptação para o setor tendo em vista que poucos são os estudos sobre adaptação. A cidade do Rio de Janeiro foi utilizada como estudo de caso e, a partir da revisão da literatura sobre projeções climáticas para a cidade do Rio de Janeiro, foi realizada uma avaliação do risco de possíveis impactos das mudanças climáticas na infraestrutura e modos de transporte.

É possível verificar que, a partir de uma avaliação qualitativa dos possíveis riscos de eventos climáticos extremos sob as ações em transportes na RMRJ, de acordo com a vulnerabilidade do sistema na ocorrência de eventos climáticos extremos, os sistemas BRT e BRS poderão apresentar risco médio e alto com o aumento da temperatura, fortes chuvas e tempestades. No caso do VLT, foi considerado um risco médio com o aumento do nível do mar, tendo em vista que o seu traçado está situado em zona costeira.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chang, H.; Lafrenz, M.; Jung, I., Figliozzi, M.; Platman, D. (2009) *Potential Impacts of Climate Change on Urban Flooding: Implications for Transportation Infrastructure and Travel Disruption*. Road Ecology Center.
- Chapman, L. (2007) *Transport and climate change: a review* School of Geography, Earth and Environmental Science, University of Birmingham, B15 2TT, UK. *Journal of Transport Geography* 15 (2007) 354–367.

- EEA (2014). Adaptation of transport to climate change in Europe. Challenges and options across transport modes and stakeholders. European Environment Agency.
- Egler, C. A. G.; Gusmão, P. P. (2013). *Gestão Costeira e adaptação às mudanças climáticas: O caso da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, Brasil*. Revista da Gestão Costeira Integrada.
- INPE (2010) *Vulnerabilidade das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo*. Sumário Executivo. 2010, pp. 27-28. Disponível em: <http://www.planetaverde.org/mudancasclimaticas/index.php?ling=por&cont=documentos>, acesso realizado em 28.07.2010.
- INPE (2011). Vulnerabilidade das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana do Rio de Janeiro. 31p., INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- IPCC (2007) *Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribuição do grupo de trabalho II para o quarto relatório de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima.
- IPCC (2012) *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. In: [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 p.
- IPCC (2013) Summary for Policymakers. 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.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2014) Summary for policy makers. 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.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.
- Koetse, M. J. e Rietveld, P. (2007): *Climate Change, Adverse Weather Conditions, and Transport: A Literature Survey*. Mark J. Koetse, Piet Rietveld.
- La Rovere, E. L. (2013) *Inventário das emissões de gases de efeito estufa da cidade do Rio de Janeiro em 2012 e atualização do plano de ação municipal para redução das emissões*.
- LCCP (2005) *Climate change and London's transport systems*. Summary report. October 2005. London climate change partnership. Greater London Authority, London.
- Lindquist, E. (2007) *Climate Change and Adaptive Strategies in Sub-national Transportation Planning Agencies in the United States*. Eric Lindquist, Ph.D. Institute for Science, Technology and Public Policy. Texas A&M University College Station, TX USA. Prepared for presentation at the 2007 Amsterdam Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change.
- Mandarino, F. C. e Arueira, L. R. (2012). Vulnerabilidade à elevação do nível médio do mar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Coleção Estudos Cariocas. Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, Secretaria da Casa Civil; Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos. IPP, Rio de Janeiro.
- Meyer, M. D. (2006) *Design Standards for U.S. Transportation Infrastructure: The Implications of Climate Change*. Georgia Institute of Technology.
- Peterson, T. C.; McGuirk, M.; Houston, T. G.; Horvitz, A. H. e Wehner, M. F. (2006) *Climate Variability and Change with Implications for Transportation*. Disponível em: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr/sr290Many.pdf>. Acesso em: 10/11/14.
- PBMC (2013) *Contribuição do Grupo de Trabalho 2 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo do GT2*. 28 pp. Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em: [http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/MCTI\\_PBMC\\_sumario\\_executivo\\_impactos\\_vulnerabilidade\\_e\\_adaptacao\\_WEB\\_3.pdf](http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/MCTI_PBMC_sumario_executivo_impactos_vulnerabilidade_e_adaptacao_WEB_3.pdf). Acesso em: 10/11/2013.
- PBMC (2014) *Impactos, Vulnerabilidades e Adaptação. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas*. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em: [www.pbmc.coppe.ufrj.br](http://www.pbmc.coppe.ufrj.br). Acesso em: 20/05/15.
- Repetto, R. (2008) *The Climate Crisis and the Adaptation Myth*. Yale school of forestry & environmental studies.

- Santos, A. S. (2014) *A Importância do setor de transporte no aumento de Resiliência nas cidades frente à mudança climática: uma proposta de Plano de Ação no Rio de Janeiro*. Universidade Federal do Rio de Janeiro (Tese de doutorado), Rio de Janeiro, Brasil. 157p.
- Rosenzweig, C.; Solecki, W.; Hammer, S. A. e Mehrotra, S. (2010) *Cities lead the way in climate-change action. Scientists should do the research to help mayors prepare for a warming world, say.* v. 467, Nature, pp. 909.
- Rosenzweig, C.; Solecki, W.; Hammer, S. e Mehrotra, S. (2011a) *Climate Change and Cities: First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. Cambridge Univ. Press.
- Rosenzweig, C.; Solecki, W. D.; Hammer, S. A. e Mehrotra, S. (2011b) *Urban Climate Change in Context. Climate Change and Cities: First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*, C. Rosenzweig, W. D. Solecki, S. A. Hammer, S. Mehrotra, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, pp.3-11, UK.
- SETRANS (2011) *PDTU 2011: Atualização do Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana do Rio de Janeiro*. Relatório 7 – Atividade 6.7 – Planejamento de Transporte e Plano de Ações para Viabilizar a Alternativa Mínima - Parte 2. Atualização do Plano Diretor de Transporte Metropolitano do Rio de Janeiro, 10/04/2013. Disponível em: <http://www.rj.gov.br/web/setrans/exibeconteudo?generica&acaomenu=menufunc%28%27PDTU%27%29;&article-id=626280>
- Stern, E. e Zehavi, Y. (1990) *Road safety and hot weather: A study in applied transport geography*. Transactions of the Institute of British Geographers NS 15,1: 102-111.
- USDOT (2002) Center for Climate Change and Environmental Forecasting, 2002: The Potential Impacts of Climate Change on Transportation. Federal Research Partnership Workshop. October 1-2. Summary and Discussion Papers.
- Yevdokimov, Y. (2010) *Climate Change and Transportation*, in Climate Change and Variability, Sciyo (Ed.), pp. 427-438.
- Zimmerman, R. e Faris, C. (2011) *Climate change mitigation and adaptation in North American cities*. Current Opinion in Environmental Sustainability 2011, 3:181-187.

---

Andrea Souza Santos (andrea.santos@pet.coppe.ufrj.br)  
Suzana Kahn Ribeiro (skr@pet.coppe.ufrj.br)  
Universidade Federal do Rio de Janeiro — UFRJ, Programa de Engenharia de Transportes - PET, COPPE-UFRJ,  
Centro de Tecnologia Bloco H - Sala 106. Cidade Universitária - RJ - Brasil  
CEP 21949-900