



PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA
SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS



PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO

PROJETO BRA/06/032

ENQUADRAMENTO PNUD: R.1 P1.17

Carta de Acordo nº 26715/2014 (RC) – SAE – COPPETEC

Adaptação às Mudanças do Clima: Cenários e Alternativas:

Infraestrutura de Transportes

Produto 5 – Identificação e classificação das estratégias adaptativas

Responsável:

Rio de Janeiro, 16 de setembro de 2015



LIMA

Laboratório
Interdisciplinar
de Meio Ambiente

Adaptação às Mudanças do Clima: Infraestrutura de Transporte

PRODUTO 5

IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS ADAPTATIVAS

INTERESSADOS: Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República – SAE/PR
Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD

EXECUTOR: CentroClima/LIMA/COPPE

Setembro/2015



Adaptação às Mudanças do Clima: Infraestrutura de Transporte

Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente

Coordenação Geral:

Emilio Lèbre La Rovere

Coordenação Técnica:

Denise da Silva de Sousa

Equipe Técnica LIMA:

Daniel Fontana Oberling

Giovannini Luigi

Heliana Vilela de Oliveira Silva

Vivien Green Short Baptista

Equipe Técnica IME:

Adriano de Paula Fontainhas Bandeira

José Carlos Cesar Amorim

Renata Albergaria de Mello Bandeira

Vânia Barcellos Gouvêa Campos

Apoio Administrativo:

Carmen Brandão

Elza Ramos

Pedro Baeta

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| APRESENTAÇÃO..... | 1 |
| INTRODUÇÃO | 2 |
| 1. MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO | 5 |
| 2. PROPOSTA DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO | 9 |
| 3. CONCLUSÃO | 16 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 18 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|---|
| Figura 1. Esquema gráfico da classificação das medidas de adaptação..... | 6 |
| Figura 2. Linha do tempo de ações de adaptação..... | 7 |

ÍNDICE DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1. Medidas de adaptação para classes do Índice de Vulnerabilidade..... | 10 |
| Quadro 2. Matriz de Estratégias de Adaptação elaborada a partir de impactos relacionados no IPR | 11 |
| Quadro 3. Síntese das medidas de adaptação – outros estudos | 13 |

APRESENTAÇÃO

Este relatório apresenta o conteúdo do Produto 5 – Identificação e classificação das estratégias adaptativas – elaborado pela equipe técnica do Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente (LIMA), do Instituto Alberto Luís Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e do Instituto Militar de Engenharia (IME), conforme previstos nos Anexos I e III da Carta de Acordo N° 26.715/2014, firmada entre o Programa das Nações Unidas (PNUD), a Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR) e a Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos (Fundação COPPETEC).

A Carta de Acordo prevê o estabelecimento de parceria para a elaboração de pesquisas, condução de grupos de discussão e elaboração de subsídios técnicos em Adaptação às Mudanças do Clima: Cenários e Alternativas – Infraestrutura de Transportes.

O relatório se inicia com uma introdução e contextualização, descrevendo, sucintamente, a complementaridade do conteúdo deste relatório com os produzidos anteriormente. Ademais, é pontuada a importância e necessidade desta etapa, enquanto encerramento e conclusão das etapas previstas no objetivo do estudo.

O item 1 apresenta, de forma sintética, a importância que os fatores climáticos, investigados e caracterizados nos relatórios prévios, possuem para a questão do sistema de transporte no que tange às mudanças climáticas. O item 2 traz exemplos de diferentes abordagens para as medidas de adaptação que são passíveis de extrapolação para o setor de transporte, a abordagem adotada para seleção das medidas e as medidas recomendadas, em função da classificação do Índice de Vulnerabilidade da Infraestrutura (IVIR), que poderão ser utilizadas pelo tomador de decisão, uma vez que as projeções realizadas apontaram para a necessidade potencial de adoção de medidas de adaptação no setor. No item 3 as conclusões e comentários finais.

INTRODUÇÃO

A avaliação da vulnerabilidade das rodovias federais e estaduais nos *hotspots* permitiu identificar, de acordo com os indicadores estabelecidos, os trechos de rodovia com Índice de Vulnerabilidade da Infraestrutura (IVIR) elevado, como forma de chamar atenção para a infraestrutura mais propícia a sofrer efeitos das mudanças climáticas (Relatório 4).

Dando continuidade ao estudo e tendo como base os resultados apresentados nos produtos anteriores – projeções climáticas realizadas com o auxílio de modelos climáticos já especificados; a identificação e escolha das variáveis climáticas relevantes, tendo como referência os padrões construtivos de dispositivos de drenagem e pavimentos asfálticos mais utilizados em rodovias do Brasil; bem como a caracterização e identificação dos *hotspots*; e a identificação da vulnerabilidade – observou-se a necessidade de pontuar as possíveis ações a serem tomadas, que podem contribuir para uma melhor resposta do setor frente às mudanças climáticas no âmbito nacional. Medidas de adaptação podem ser encontradas, com base em pesquisa bibliográfica e/ou consulta a especialistas, considerando diferentes opções, como desenvolvimento tecnológico; melhoria da governança; e modificações no padrão social (Rattanachot *et al.*, 2015) e devem se concentrar nos ativos mais vulneráveis identificados na avaliação de vulnerabilidade.

Como visto, no Relatório 3 foi categorizado um grupo amostral das rodovias brasileiras e realizadas as projeções com os modelos climáticos regionais disponíveis. Como resultado, grande parte da malha rodoviária, inserida no grupo amostral do presente estudo, está localizada dentro do *hotspot* de temperatura, o que demandará maior atenção e possível necessidade de intervenção frente às mudanças climáticas. Já para precipitação, apesar das áreas identificadas não serem de grande abrangência, ainda assim, uma pequena extensão da malha rodoviária carece de atenção, dando ênfase às estruturas de drenagem. Posteriormente, uma análise dos dois modelos em conjunto foi realizada.

Com relação à identificação do estado de conservação da malha rodoviária inserida nos *hotspot*, foi possível observar que a maior parte, que possui informação, apresenta boas condições de pavimentação, com alguns casos classificados como ruim ou regular. Também, foram identificados os potenciais impactos (defeitos) que podem ocorrer no pavimento, advindos da exposição à temperatura e à precipitação. O estudo realizado pelo IPR (DNIT, 2006) (Relatório 3, item 2), que foi utilizado com referência para essa análise, não leva em consideração as projeções realizadas pelo setor, apenas avalia a situação atual, considerando trechos-teste.

O Relatório 4 – estudo de vulnerabilidade – realiza uma análise complementar ao trabalho, através do uso de Método Multicritério para Tomada de Decisão, elucidando o Índice de Vulnerabilidade da Infraestrutura (IVIR) desenvolvido, além de acrescentar uma análise conjunta entre os dois modelos climáticos utilizados (análise *ensemble*) que não havia sido realizada até a emissão do Relatório 3. Este índice tem por objetivo apoiar o tomador de decisão no processo de gestão das rodovias federais e estaduais brasileiras, apresentando aquelas que são classificadas como vulneráveis frente às mudanças climáticas.

Até certo ponto, os resultados obtidos podem gerar a falsa sensação de segurança para os decisores, ao constatarem a situação atual do pavimento como sendo satisfatória. No entanto, os resultados da avaliação de vulnerabilidade (Relatório 4), mostram um panorama mais preocupante olhando para o futuro, constituindo-se assim em um sinal de alerta que não pode ser desprezado. Ou seja, a situação futura tende a ser diferente, portanto, criar um sistema de transporte resiliente às mudanças do clima pode ser vital para salvaguardar a infraestrutura, além de assegurar mobilidade e desenvolvimento vitais para o setor (Eichorst, 2009). Mais ainda, é necessário que estudos realizados com foco nas mudanças climáticas não sejam apenas no âmbito global e nacional, mas também local. A forma como o estudo se desenvolve pode resultar em melhores análises e propostas de ação, contribuindo para a tomada de decisão em diferentes instâncias (Oslakovic *et al.*, 2013).

Apesar de grandes investimentos na infraestrutura do setor de transporte serem esperados no futuro, com o intuito de se adaptar às mudanças climáticas (Oslakovic *et al.*, 2013), é importante destacar que os desafios e impulsionadores desta alteração também incluem a globalização, a busca pela sustentabilidade, melhorias tecnológicas, estruturas demográficas do país e região, além do crescimento e da necessidade de transporte de diferentes bens e produtos (Auerbach & Herrmann, 2014). Além disso, tendo em vista a ligação intrínseca do setor com as mudanças climáticas, a busca por novas tecnologias de transporte pode colaborar, também, para uma redução na emissão de gases de efeito estufa.

Sendo assim, dependendo da influência das mudanças climáticas em determinada área, pode haver aumento ou decréscimo do estresse imposto à infraestrutura de transporte (Chinowsky *et al.*, 2013). Desta forma, buscar medidas de adaptação que colaborem com o processo de mitigação é imprescindível (World Road Association, 2012; Rattanachot *et al.*, 2015).

No entanto, apesar de serem muitos os efeitos na infraestrutura do setor de transporte atribuídos às mudanças climáticas – diferenciando-se de acordo com a localização geográfica, idade e

uso da infraestrutura (Oslakovic *et al.*, 2013) – é possível destacar os impactos na mobilidade, na eficiência e também na demanda do sistema (Mills & Andrey, 2002 *apud* Chinowsky *et al.*, 2013). Adicionalmente, perdas econômicas em diversos outros setores, função da forte relação com o transporte de bens e produtos, e a possibilidade de danos à população e até a ocorrência de perda de vidas – seja por recorrência de chuvas intensas e baixa visibilidade ou até interrupção do tráfego e isolamento de comunidade – e impactos significativos ao meio ambiente (Federal Government of Germany, 2008).

1. MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

1.1. Os Fatores Climáticos e as Medidas de Adaptação

Como mencionado nos outros produtos do presente estudo, alguns fatores climáticos podem afetar, de forma bastante significativa, a performance e o tempo de vida de diferentes infraestruturas do sistema de transporte. Padrões construtivos de referência em obras de infraestruturas já demonstram fragilidades perante situações críticas de eventos climáticos, como por exemplo: chuvas intensas e inundações (Kalatin & Foljeson, 2013; Wooller, 2003 e Humphrey, 2008 *apud* Kalantari, 2011).

Com o agravante das alterações climáticas, como visto nas projeções, existe a necessidade de se repensar a infraestrutura rodoviária: materiais e processos construtivos, utilizados, procedimentos de manutenção e custos envolvidos (Federal Government of Germany, 2008; Short, 2009 *apud* Kalantari, 2011). As mudanças climáticas acabam sendo um fator complicador para essas escolhas (Chinowsky *et al.*, 2013), sendo este o momento para se considerar as medidas de adaptação.

No entanto, há grande resistência à adoção de alguns caminhos da adaptação, por serem vistos como demasiadamente custosos, porém, não se adaptar pode ser ainda mais dispendioso (Regmi & Hanaoka, 2009). Na maioria das vezes, o custo de manutenção e melhorias, apesar de requerer grandes investimentos, acaba sendo mais baixo do que o custo de reparação/reconstrução, além de garantir maior segurança ao sistema (IPCC, 2014; European Commission, 2013; Zahra & Kalantari, 2011; Eichhorst, 2009; Kalantari, 2011).

1.2. Abordagens Metodológicas para as Medidas de Adaptação

As medidas de adaptação não se restringem a intervenções na infraestrutura física do sistema. Medidas institucionais devem ser estudadas e incorporadas, de forma conjunta com as medidas de operacionais, a fim de melhorar a eficácia do processo de adaptação.

Existem distintas classificações para as medidas de adaptação, segundo diferentes autores. De acordo com Kalantari (2011), podem tanto focar na infraestrutura quanto no campo institucional, sendo categorizadas por: adaptação institucional – incentivo à conscientização do problema das mudanças climáticas entre os diferentes atores setoriais e instâncias governamentais; desenvolvimento de planos de avaliação; e adaptação técnica – modificações no padrão de construção e manutenção.

Para Cochran (2009), no que tange à questão infraestrutural, são identificadas medidas de adaptação que devem ser incorporadas no momento de elaboração de projeto e construção de novas infraestruturas ou aquelas chamadas de medidas de verificação (*climate proofing*), que seriam incorporadas na manutenção e retroalimentação de estruturas existentes.

No entanto, segundo UCCRN (2011), a categorização das medidas de adaptação já difere um pouco, sendo mais específica na questão institucional e a categorizando em dois novos níveis:

- a) Operacional e gestão – que incluem entre outras medidas: alterações de rotas, alteração de fluxo de carros, alteração no calendário de obras de reparo, de forma a antecipar os eventos;
- b) Investimento na infraestrutura – medidas de adaptação que incluem melhorias do equipamento existente; e
- c) Política – prevê a incorporação das mudanças climáticas e das medidas de adaptação nos projetos de transporte, desde a base do processo.

Ainda, pode-se classificar as medidas de adaptação para o setor de transporte como apontado por Rattanachot *et al.* (2015), de forma ampla, em três grupos: preservação, melhoria e substituição (Figura 1). Em muitos casos, não são todas as medidas que podem ser aplicadas, dada as características de cada região e das rodovias em questão. Muitas vezes, não é possível evitar o impacto provocado pelas mudanças climáticas com medidas de preservação e/ou melhorias, mas somente recuperar ou substituir.

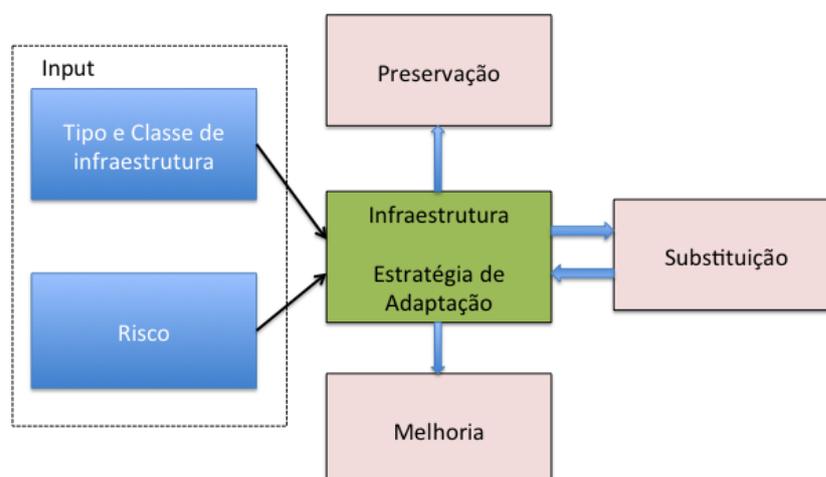


Figura 1. Esquema gráfico da classificação das medidas de adaptação

Fonte: Modificado a partir de Rattanachot *et al.* (2015)

Em se tratando da classificação das medidas de adaptação e como estas podem ser organizadas levando em consideração o impacto causado, é possível identificar, de acordo com Eichhorst (2009), três diferentes grupos:

- a) impacto na estrutura de transporte – construção e manutenção das estruturas físicas que poderão ser influenciadas pelas elevadas temperaturas, grandes tempestades, intensificação da precipitação, inundações e elevação do nível do mar;
- b) impacto nos veículos – os veículos deverão ser capazes de suportar as elevadas temperaturas e ainda assim fornecer conforto ao usuário; e
- c) impacto no comportamento do setor (*mobility behaviour*) – uma vez que diferentes eventos climáticos poderão ocorrer, por exemplo, elevação de temperatura e/ou chuvas intensas, o setor deve identificar quais as alterações poderão ser sentidas e de que forma isso ocorrerá.

Ademais, é possível classificar as medidas de adaptação de acordo com o foco de ação dentro de uma linha de tempo. O estudo de Cochran (2009) descreve uma linha do tempo, adaptada do estudo *Mission Climat of Caisse des Dépôts* e representada na Figura 2, que possibilita a compreensão da necessidade de investimentos em diferentes momentos e de forma constante.

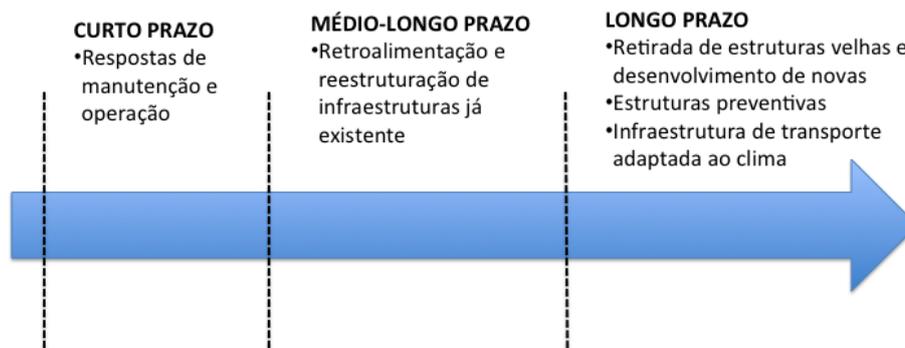


Figura 2. Linha do tempo de ações de adaptação

Fonte: Adaptado de Cochran (2009)

No entanto, ressalta-se que, independentemente, da forma de abordagem, é importante lembrar que, para se adotar uma boa medida de adaptação, é necessária uma rede de informações bastante particular, que subsidiem a análise das condições locais do clima e das peculiaridades de cada infraestrutura, possibilitando, conseqüentemente, analisar o estresse ao qual é submetida e como contornar a situação (Oslakovic *et al.*, 2013).

Tendo em vista as peculiaridades inerentes ao presente estudo, optou-se por, após a pesquisa bibliográfica, extrair de cada abordagem metodológica os aspectos que pudessem satisfazer as particularidades do cenário nacional. Assim, foi realizado um *pool* das metodologias.

Neste contexto, apesar de o estudo ter focado nos impactos diretos na infraestrutura física, ou seja no pavimento e no sistema de drenagem, buscou-se, também, identificar medidas de adaptação, considerando-se o planejamento e a operacionalização do sistema rodoviário. Pode-se observar que tanto os estudos realizados por Cochran (2009) e UCCRN (2011), e utilizados como base, trazem essa abordagem como característica predominante de análise. O presente relatório também contempla, em partes, a abordagem de Kalantri (2011), uma vez que leva ao tomador de decisão, o campo institucional, a mensagem da necessidade de conscientização de diferentes atores.

Observa-se também a incorporação da abordagem metodológica proposta por Rattanachot *et al.* (2015), pois, dentro do campo da operacionalização, procura-se ainda abranger as três classes de medidas: preservação, substituição e melhoria, dependendo do valor do índice de vulnerabilidade.

Outra questão a ser observada é a temporalidade – quais aspectos do setor precisam de intervenção imediata e quais podem ser tratados em um segundo momento, como apontado por Cochran (2009) e que também é utilizada, dependendo do valor do índice de vulnerabilidade.

Dos levantamentos realizados, observa-se a exclusão da análise econômica – orientação para medidas de maior ou menor custo ou mais eficientes – e também da análise do impacto sobre o comportamentamento do setor e dos veículos, por não fazer parte do escopo deste estudo.

Ao se optar por realizar um mix entre as diferentes metodologias apresentadas, extraindo de cada o que pode ser apropriado para o caso estudado, procurou-se diminuir a existência de lacunas e suprir as carências que uma ou outra metodologia pudesse apresentar. Assim, é possível realizar uma análise mais ampla, considerando não só medidas a serem adotadas na infraestrutura mas também no campo institucional, ainda levando em conta o tempo de ação. Como observado, uma desvantagem encontrada foi a não possibilidade de englobar todas as metodologias nesta análise, como, por exemplo, a análise econômica e comportamental.

2. PROPOSTA DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

Como visto, existem diferentes abordagens de classificação das medidas de adaptação à mudança climática. Mesmo compreendendo as particularidades de cada região – materiais construtivos utilizados, questões geológicas e geográficas, assim como os próprios impactos das mudanças do clima que se dão de forma diferente em cada local – é possível, no que tange o setor de transporte, identificar medidas citadas na bibliografia, por exemplo, e recomendar a aplicabilidade destas, quando possível, nas rodovias nacionais.

Esse processo pode envolver diferentes etapas. Levantar informações sobre o sistema de transporte e a infraestrutura em experiências de países que apresentem um regime climático próximo ao mostrado nas projeções de mudanças climáticas pode ser uma primeira opção capaz de sinalizar possíveis impactos a serem desencadeados. Assumindo que uma localidade com clima análogo ao das projeções já se encontre mais preparada e adaptada, pode-se utilizar tal experiência no sistema de transporte e infraestrutura como um laboratório inicial, onde podem ser identificadas medidas passíveis de aplicação ao caso brasileiro (World Road Association, 2012)

Este passo foi utilizado no decorrer do estudo, como mostrado no Relatório 2, onde foram levantadas as bibliografias e observadas as ações adotadas em outros casos. No entanto, como dito na introdução deste produto, dentro da contextualização deste trabalho, o presente capítulo dará passos mais largos.

A primeira etapa será uma análise do índice de vulnerabilidade – desenvolvido e apresentado no Relatório 4 – seguida de uma análise que, juntamente com os dados e observações realizadas sobre os defeitos apontados no estudo do IPR e o levantamento bibliográfico, colaborará com a compreensão e o aprendizado do que se observa no território nacional. Assim, as medidas de adaptação que se consideram melhor embasadas para o caso brasileiro poderão ser apontadas. Destaca-se que estas, posteriormente, poderão ser, também, extrapoladas para outras regiões com características similares.

Em sequência, são propostas recomendações apreciando os resultados da avaliação de vulnerabilidade desenvolvida ao longo do presente relatório. Essa análise traz observações mais específicas que poderão contribuir para a gestão das rodovias nacionais, considerando-se o clima futuro.

Dentro da análise, serão feitas observações no que tange ao tipo de impacto – o estressor climático: temperatura e precipitação – e as estratégias conhecidas que seriam melhor empregadas para cada situação (estressor climático e impacto no sistema), abrangendo as etapas de

planejamento, projeto e operação – na qual planejamento trata da fase de desenho e concepção da infraestrutura; projeto engloba as questões construtivas; e operação, por seu turno, a fase de funcionamento da infraestrutura.

Portanto, a proposição destas medidas visa colaborar e apoiar o tomador de decisão na consideração da mudança climática na gestão das rodovias federais e estaduais, abrangendo os dois aspectos cruciais e que, segundo Auerbach & Herrmann (2014), devem ser considerados a médio prazo na tomada de decisão: as infraestruturas de drenagem e pavimentação.

Para proposições mais direcionadas ao estudo, com base no Relatório 4, no levantamento de informações sobre os possíveis defeitos e nas propostas de medidas de adaptação elencadas, é possível fazer uma análise mais focada, tendo como base o Índice de Vulnerabilidade da Infraestrutura (IVIR). O Quadro 1 mostra, de acordo com o IVIR, o tipo de ação – substituição, prevenção ou melhoria – que deve ser tomada, assim como o prazo para a execução das ações mais convenientes para cada classe de IVIR.

Quadro 1. Medidas de adaptação para classes do Índice de Vulnerabilidade

| Índice de Vulnerabilidade | Tipo de Ação | Prazo de Execução | Estratégia |
|---------------------------|--------------|-------------------|---|
| 0,81 – 1,00 | Substituição | Longo | Retirada completa da estrutura existente e construção de nova estrutura com resistência superior. Considerar execução de novo projeto geométrico. |
| 0,61 – 0,80 | Substituição | Longo | Retirada completa da estrutura existente e construção de nova estrutura com resistência superior. |
| 0,41 – 0,60 | Preservação | Médio | Reestruturação de ativos existentes, com substituição de estruturas em caráter pontual. |
| 0,21 – 0,40 | Preservação | Médio | Reestruturação de ativos já existentes. |
| 0,00 – 0,20 | Melhoria | Curto | Respostas de Operação & Manutenção. Correção de defeitos locais. |

Fonte: Elaboração própria.

Após a análise realizada pelo IVIR e observado cada trecho e para o qual se aponta, de forma geral, qual a estratégia (retirada de estrutura, reestruturação do ativo etc) e qual o prazo de execução, para cada faixa do índice de vulnerabilidade, é possível avançar na análise com a identificação dos impactos potenciais observados nos relatórios do IPR. Estes serviram de referência

para a elaboração da lista de possíveis medida de adaptação, considerando-se as etapas de planejamento, projeto e operação.

O tomador de decisão terá a oportunidade de analisar cada caso e compreender as quais medidas cabíveis de implementação, em função das características do trecho analisado (Quadro 2).

Quadro 2. Matriz de Estratégias de Adaptação elaborada a partir de impactos relacionados no IPR

| Impacto | Estratégia | | |
|--|--|---|--|
| | Planejamento | Projeto | Operação |
| Estressor Climático: Temperatura | | | |
| Afundamento do pavimento (<i>pavementrutting</i>) | Instituir regulamentação de restrição de carga nas rodovias. | Usar materiais e ligantes (<i>binders</i>) mais tolerantes a altas temperaturas. Projetar construções apropriadas, com a sobreposição de tipos de asfalto mais resistentes e robustos. | Corrigir os sulcos/afundamentos no pavimento (<i>mill out ruts</i>). Realizar inspeções e manutenção com maior frequência. Monitorar a condição do solo das estradas existentes. Aumentar a limpeza e a manutenção das estradas e seus arredores. Realizar plantio de vegetação ao longo das vias para diminuir a exposição das rodovias ao calor. |
| Trincamento (por fadiga; em bloco; transversal e longitudinal) | | Substituir o concreto por asfalto de alta resistência quando houver necessidade (<i>trincamentos/rupturas/blows out</i>). | Realizar inspeções e manutenção com maior frequência. Monitorar a condição do solo das estradas existentes. Aumentar a limpeza e a manutenção das estradas e seus arredores. Realizar plantio de vegetação ao longo das vias para diminuir a exposição das rodovias ao calor. |
| Exsudação (tráfego + temperatura) | Instituir regulamentação de restrição de carga nas rodovias. | | Encorajar o transporte de cargas pesadas a viajar no período noturno quando a temperatura ambiente é menor, afetando menos o asfalto. |

| Impacto | Estratégia | | |
|---|--|--|--|
| | Planejamento | Projeto | Operação |
| Estressor Climático: Precipitação | | | |
| Desgaste do revestimento (IPR) | | Usar materiais de melhor qualidade e resistentes a erosão. | |
| Afundamento nas trilhas de roda (IPR) | Adaptar os padrões de construção para os novos eventos. Melhorar o sistema de previsão do tempo a fim de conseguir promover melhores planos de ação e se preparar melhor para potenciais danos. | Melhorar a infraestrutura de drenagem (bueiros) para ser capaz de lidar com os eventos intensos de chuvas. Prever túneis de drenagem em baixo de grandes estradas para facilitar a drenagem de forma mais rápida. | Revisar os drenos com frequência. Melhorar as fundações. Melhorar as condições de monitoramento do subleito especialmente após grandes chuvas e/ou enchentes. |
| Desnívelamento entre pista e acostamento | Adaptar os padrões de construção para os novos eventos. Implementar sistemas de avisos e planos de evacuação para eventos extremos de chuvas e inundações. | Usar materiais de melhor qualidade e resistentes a erosão. Melhorar a infraestrutura de drenagem (bueiros) para ser capaz de lidar com os eventos intensos de chuvas. Prever túneis de drenagem em baixo de grandes estradas para facilitar a drenagem de forma mais rápida. Elevar estruturas. | Realizar manutenção regular. Revisar os drenos com frequência. Melhorar as fundações. Melhorar as condições de monitoramento do subleito especialmente após grandes chuvas e/ou enchentes. Realizar manutenção regular. |
| Afundamento do pavimento (<i>pavementrutting</i>) | Instituir regulamentação de restrição de carga nas rodovias. | Usar materiais de melhor qualidade e resistentes a erosão. Projetar construções apropriadas, com a sobreposição de tipos de asfalto mais resistentes e robustos. | Corrigir os sulcos/afundamentos no pavimento (<i>mill out ruts</i>). Realizar inspeções e manutenção com maior frequência. Monitorar a condição do solo das estradas existentes. Aumentar a limpeza e a manutenção das estradas e seus arredores. Realizar plantio de vegetação ao longo das vias para diminuir a exposição das rodovias à erosão. |

Fonte: Elaboração própria baseado em CCSP (2008); CCSP (2009); Eichhorst (2009); CEDR (2012); NJTPA (2012); World Road Association (2012).

Ressalta-se a importância de novos estudos, como o realizado pelo IPR, uma vez que na literatura se observa outros defeitos ocorrendo com grande frequência, tal como escorregamentos e elevação/buracos, e, em muitos casos, estes são relacionados com altas temperaturas (Eichhorst,

2009; CEDR, 2012; NJTPA, 2012; World Road Association, 2012). Apesar dos mesmos não serem apontados até o momento, torna-se importante destacar a existência.

Com o intuito de contribuir para o processo decisório, este relatório traz também, baseado na literatura utilizada e na necessidade de identificação de medidas de adaptação que sejam apropriadas para o caso brasileiro, resumo uma síntese de medidas de adaptação, que, apesar da não especificidade com cada possível impacto elencado anteriormente, podem ser aplicadas para diferentes situações provenientes dos estressores climáticos considerados neste estudo.

Quadro 3. Síntese das medidas de adaptação – outros estudos

| Estressor Climático Relevante | Possíveis Medidas de Adaptação |
|--|--|
| <p>Aumento de temperatura (<u>Temperatura</u>)</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ Uso de diferentes materiais mais resistentes ou mais apropriados, tais como: <ul style="list-style-type: none"> ▪ ligantes mais resistentes, mas ambientalmente seguros; ▪ pavimento com percentagens mais elevadas de enchimento; ▪ pavimento do tipo <i>cheap seal</i>¹; ▪ utilização de diferentes materiais para aumentar a refletância do pavimento, diminuindo sua temperatura; ▪ requisitos mais elevados para os tipos de agregados, visando aumentar o atrito interno. ○ Retroalimentar as estradas existentes com materiais mais resistentes. ○ Instituir regulamentação de redução da velocidade máxima. ○ Manejo do tráfego, procurando retirar o transporte de carga pesada deste modal e transferindo para modais mais apropriados ao transporte (ferrovias e hidrovias, por exemplo). ○ Incentivar novas tecnologias de pneus que causem menos atrito ao pavimento. ○ Evitar o desenvolvimento de novas rodovias em áreas identificadas como <i>hotspots</i>. ○ Realizar obras de construção em dias mais frios – agendar as obras para estação do ano mais propícias. |
| <p>Eventos extremos de chuvas, tempestades e consequentes inundações (<u>Precipitação</u>)</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ Aumentar a capacidade de drenagem para lidar com os transbordamentos dos rios ao redor; construção de infraestruturas apropriadas (barragens, diques e açudes). ○ Revisar os drenos com frequência. ○ Melhorar o bombeamento. ○ Criar mapas de enchentes identificando as áreas mais vulneráveis onde as infraestruturas precisam ser protegidas/melhoradas ou evitadas no futuro e levantar as rotas alternativas. ○ Exigir que as futuras rodovias possuam avaliação de risco para enchentes. ○ Restringir a construção nas áreas de alto risco de enchente. ○ Melhorar a gestão nas planícies de inundação. |

¹ Mistura asfáltica que sela o asfalto minimizando os efeitos do envelhecimento; aumenta o albedo do asfalto, contribuindo para a reflexão dos raios solares e resfriamento do pavimento; possui custo menor que outros tipos de asfalto, no entanto tem tempo de vida menor (WSDOT, 2015).

| Estressor Climático Relevante | Possíveis Medidas de Adaptação |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> ○ Construir rodovias aptas a enfrentar diferentes tipos de clima. ○ Melhorar os espaços verdes e de proteção a inundação; ○ Melhorar as condições de monitoramento do subleito, especialmente após grandes chuvas e/ou enchentes, ○ Realizar manutenção regular. |
| <p>Aumento simultâneo de temperatura e precipitação</p> <p><u>(Temperatura e Precipitação)</u></p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ Políticas de uso do solo desencorajando o desenvolvimento em áreas de risco. ○ Avaliar se os materiais utilizados estão nos padrões para suportar o aumento na frequência dos eventos. ○ Adaptar os padrões de construção para os novos eventos. ○ Melhorar o sistema de previsão do tempo a fim de promover melhores planos de ação e melhor se preparar para potenciais danos. |

Fonte: Elaboração própria baseado em Eichhorst (2009); CEDR (2012); NJTPA (2012); World Road Association (2012).

É importante ressaltar, quando se trata de aplicação de medidas de adaptação em estruturas existentes, que estas sejam inseridas no cronograma de reparo e manutenção concebido com base no seu tempo de vida útil. Para a construção de novas infraestruturas é necessário que o aspecto climático de maior relevância, ou seja, seja o que mais influenciará o tipo de obra a ser feita, por exemplo, a intensidade na precipitação que irá influenciar a drenagem (CEDR, 2012).

Apesar da especificidade do estudo para o que tange o caso brasileiro, observa-se uma lacuna no campo da avaliação econômica para a implementação de medidas. A literatura mostra uma escassez em estudos que avaliem a questão do custo de implementação de medidas de adaptação às mudanças climáticas no setor de transporte (Chinowsky *et al.*, 2013). Dado o escopo do estudo, esta avaliação não foi realizada. No entanto, recomenda-se a realização de novos estudos abordando a análise econômica.

No entanto, como ponto importante a ser analisado nesta fase de custos, desde já, destaca-se que a escolha por medidas de adaptação deve dar preferência àquelas economicamente ótimas, ou seja, onde pode haver benefício para a sociedade. Não é interessante buscar medidas de adaptação que excedam os valores do benefício recebido com a sua implementação (Chinowsky *et al.*, 2013).

Também, deve-se enfatizar que as medidas de adaptação voltadas para o setor de transporte devem estar coerentes com as políticas de mudanças de uso do solo o que corrobora a busca pela redução de vulnerabilidades do setor frente às mudanças climáticas de forma harmônica com outros setores econômicos, com o meio ambiente e a população (UCCRN, 2011).

Além disso, uma vez identificadas as medidas de adaptação e postas em prática, é necessário que haja continuidade do processo. Assim sendo, é importante prever projetos de monitoramento e avaliação (Zahra & Kalantari, 2011). A mudança climática não é estática, mas sim um processo contínuo, cuja preocupação não deve ser só em como se adaptar, mas como e a que custo se adaptar a sociedade a constante alteração climática. A adaptação deve ser compreendida como uma política permanente de transição em longo prazo (Oslakovic *et al.*, 2013).

Ademais, uma das questões mais pertinentes ao processo de adaptação é a coerência com o processo de mitigação. Os dois processos devem estar em sintonia e bastante alinhados, sendo de extrema importância compreender que, diante de um evento climático, é imprescindível encontrar o equilíbrio entre investimentos nas medidas de mitigação e, também, entender e aceitar a necessidade de internalizar alguns custos no reparo dos potenciais danos (CEDR, 2012).

3. CONCLUSÃO

As resultados apresentados nos Relatórios 3 e 4 apontam a potencial necessidade de intervenções, tanto de cunho político quanto no âmbito técnico e de gestão de rodovias em diferentes regiões do país, uma vez que, considerando as informações obtidas e a partir dos resultados associados ao Índice de Vulnerabilidade da Infraestrutura (IVIR), foi possível observar que diferentes graus de vulnerabilidade requerem distintas ações. Assim, foram levantadas diferentes medidas de adaptação que possam promover a redução da vulnerabilidade da infraestrutura de transporte no Brasil frente às mudanças climáticas.

A proposição de medidas de adaptação apresentadas (Relatório 5) são de cunho infraestrutural (técnico) – melhoria no pavimento asfáltico e implementação de nova tecnologia de drenagem – e político – implementação de novo cronograma de manutenção, aperfeiçoamento nos programas de monitoramento, elaboração de novas normas para melhoria de padrões. Estas medidas enquadram-se em medidas de planejamento, projeto e operação, de forma a subsidiar o tomador de decisão em diferentes fases do ciclo de vida da infraestrutura rodoviária. O apoio nestas diferentes frentes é de extrema necessidade e valia, uma vez que o sistema rodoviário não é constituído unicamente pela estrutura física.

Ademais, o enfrentamento das mudanças climáticas deve ser, sempre que possível, tratado de forma global. Não é interessante se compartimentalizar a análise, uma vez que os impactos não ocorrem igualmente na infraestrutura rodoviária. Há uma interação entre diferentes aspectos e estes são abordados nas propostas de medidas de adaptação para o caso brasileiro. Esta visão global promove uma melhor compreensão para o tomador de decisão, possibilitando maior chance de sucesso no momento de aplicação de qualquer medida.

De forma geral, e em congruência com o observado no levantamento bibliográfico realizado, o trabalho, ao longo do seu desenvolvimento, se deparou com alguns entraves. O de maior destaque foi a aquisição de dados e informações – existência de informações para determinados trechos, ou até mesmo ausência completa de dados. Além disso, a falta de padronização ou a existência de diferentes formas de apresentação também podem ser apontadas como limitações para o seu desenvolvimento. Não há uma integração de bancos de dados entre diferentes instituições.

Esta problemática foi de fato bastante impactante para o desenvolvimento, uma vez que algumas análises previstas inicialmente tiveram que ser modificadas no decorrer do processo. A aquisição de dados também foi um empecilho em determinados momentos.

Ademais, a questão financeira se destaca como outra forma de limitação, não só neste caso como também nos estudos da literatura internacional, uma vez que há interesse e necessidade de se expandir a pesquisa para outras vertentes das mudanças climáticas. Além disso, as incertezas relacionadas à expansão do próprio setor se coloca como uma limitação, sendo necessário cautela na seleção das estratégias a serem adotadas.

Assim sendo, tendo em vista o interesse no avanço do conhecimento e na melhoria da gestão das rodovias nacionais frente aos impactos climáticos, destaca-se a importância de se realizar levantamento de informações e dados nacionais (federais e estaduais) com o intuito de aprimorar os bancos de dados existentes e desenvolver outros com informações necessárias (pretéritas e atuais) para subsidiar importantes estudos futuros. Como enfatizado, a integração de bases de dados de monitoramento é indispensável para o setor avançar em pesquisas relacionadas com as mudanças climáticas.

De forma geral, apesar dos problemas encontrados no desenvolvimento deste estudo, observa-se o seu pioneirismo no que se refere as informações produzidas no decorrer do processo. O tomador de decisão poderá agregar esse conhecimento gerado para direcionar seus planos e projetos de expansão da malha rodoviária, assim como planos de operação e manutenção para melhores caminhos no que tange o desenvolvimento da malha e o enfrentamento das mudanças climáticas por parte do sistema de transporte. A inserção desse viés nos planos de desenvolvimento do setor é bastante promissora, quanto mais cedo a questão climática for incluída no processo de planejamento maior será a possibilidade de sucesso. Todavia, como existem também muitas incertezas associadas aos modelos climáticos e, recomenda-se o estabelecimento de diretrizes para ampliação e atualização do conhecimento produzido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUERBACH, M., HERRMANN, C; 2014. Adaptation of the road infrastructure to climate change. Transport Research Arena 2014, Paris. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, Germany. Disponível em: http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014_Fpaper_19370.pdf
- CEDR – Conference of European Directors, 2012. Adaptation to Climate Change. Org. Grendstad, G. Project Group on Climate Change.
- CHINOWSKY, P.S.; PRICE, J.C.; NEUMANN, J.E., 2013. Assessment of climate change adaptation costs for the U.S. road network. *Global Environmental Change* 23 (2013) 764–773
- CLIMATE CHANGE SCIENCE PROGRAM (CCSP), 2008. Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: Gulf Coast Study, Phase I. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. Savonis, M. J., V.R. Burkett, and J.R. Potter (eds.). Washington, DC : Department of Transportation.
- CLIMATE CHANGE SCIENCE PROGRAM (CCSP), 2009. Transportation In: **Global Climate Change Impacts in the United States**. 2nd Public Review Draft.
- COCHRAN, I., 2009. Climate Change Vulnerabilities and Adaptation possibilities for transport infrastructures in France. *Climate Report Research*. Issue n°18
- DNIT, 2006. Manual de estudos de tráfego. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. (IPR. Publ., 723). Rio de Janeiro. 384 p.
- EICHHORST, U., 2009. Adapting urban transport to climate change. In: *Sustainable Transport: A Sourcebook for Policymakers in Developing Cities*. [(Org.) GTZ Sourcebook]. Disponível em: <http://www.sutp.org/index.php/en-dn-th5>
- EUROPEAN COMMISSION, 2013. Green Paper. Study to support an impact assessment of the urban mobility package - Activity 31 Sustainable Urban Mobility Plans. Final Report. October 2013, DG MOVE.
- FEDERAL GOVERNMENT OF GERMANY, 2008. German Strategy for Adaptation to Climate Change European. Disponível em http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/english/pdf/application/pdf/das_gesamt_en_bf.pdf
- FHAW – Federal Highway Administration. 2012. Assessing Vulnerability and Risk of Climate Change Effects on Transportation Infrastructure: Pilot of the Conceptual. **Climate Change Vulnerability Assessment Pilots**.
- IPCC, 2014: Summary for policymakers. 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.
- KALANTARI Z., 2011. Adaptation of Road Drainage Structures to Climate Change. ISBN 978-91-7501-217-9. Disponível em: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:507167/FULLTEXT01.pdf>
- KALANTARI, Z.; FOLKESON, L., 2013. Road Drainage in Sweden: Current Practice and Suggestions for Adaptation to Climate Change *J. Infrastruct. Syst.* 2013.19:147-156. ISSN 1076-0342/2013/2- 147-156
- NJTPA – New Jersey Transportation Planning Authority, Climate Change Vulnerability and Risk Assessment of New Jersey's Transportation Infrastructure, April 2012.
- OSLAKOVIC, I.S.; TER MAAT, H.; HARTMANN, A; DEWULF, G., 2013. Risk Assessment of Climate Change Impacts on railway infrastructure. Engineering Project Organization Conference. Devil's Thumb Ranch, Colorado. July 9-11, 2013. Proceedings – EPOC 2013 Conference

- RATTANACHOT, W. WANG, Y., CHONG, D, SUWANSAWAS, S. 2015. Adaptation strategies of transport infrastructures to global climate. **Transport Policy** (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.03.001>
- REGMI, M.B., HANAOKA, S. 2009. Impacts of Climate Change on Transport and Adaptation in Asia. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.7, 2009. Disponível em: http://www.researchgate.net/profile/Shinya_Hanaoka/publication/228888356_Impacts_of_Climate_Change_on_Transport_and_Adaptation_in_Asia/links/0deec52936ccf92c03000000.pdf
- UCCRN – Urban Climate Change Climate Change and Cities, 2011. First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network (ARC3). Eds. Rosenzweig, C., Solecki, W.D., Hammer S.A., Mehrotra, S., ISBN: 9781107004207
- WORLD ROAD ASSOCIATION, 2012. Dealing with the effects of climate change on road pavements. 146P. ISBN 2840602474. Disponível em: <http://trid.trb.org/view.aspx?id=1222665>
- WSDOT – Washington State Department of Transportation. What is a Cheap Seal? Website. Disponível em: <http://www.wsdot.wa.gov/Regions/Eastern/ChipSeal/>.



Projeto PPE 18773

PRODUTO 5

Prof. Emilio Lèbre La Rovere

Coordenador do Projeto

Prof. Mauricio Cardoso Arouca

Coordenador do Programa de Planejamento Energético

Prof. Fernando Alves Rochinha

Diretor Superintendente da Fundação COPPETEC