

Estratégias de Adaptação à Mudança do Clima nos Sistemas de Transporte Terrestre dos BRICS

Strategies for Adapting to Climate Change in BRICS Land Transport Systems

Victor Hugo Souza de Abreu, Programa de Engenharia Urbana da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

vhsa@poli.ufrj.br

Rafael Ferraz dos Santos, Programa de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

rafael.ferraz@pep.ufrj.br

Tássia Faria de Assis, Programa de Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

tassiafa@hotmail.com

07 – [Urbanismo e Cidade Sustentável]

Resumo

O artigo examina a adaptação à mudança do clima no setor de transporte terrestre nos países do BRICS, com ênfase nas infraestruturas rodoviária e ferroviária enquanto sistemas de infraestrutura crítica. Parte-se da premissa de que eventos climáticos extremos ampliam a vulnerabilidade dessas redes e podem comprometer a continuidade operacional, a mobilidade e a logística. Metodologicamente, o estudo articula revisão sistemática da literatura com o mapeamento e a sistematização de iniciativas, instrumentos normativos e diretrizes setoriais adotados por Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul. A comparação é organizada a partir de eixos comuns de análise, voltados à governança, ao planejamento, ao financiamento e à incorporação da adaptação à gestão da infraestrutura. Os resultados evidenciam um hiato entre diretrizes programáticas e sua efetiva internalização em critérios técnicos de planejamento, projeto, operação e manutenção, além de assimetrias na disponibilidade de dados, nas capacidades institucionais e no acesso ao financiamento. Argumenta-se que o fortalecimento dos planos setoriais de adaptação depende menos da existência formal de diretrizes e mais de sua tradução em prioridades, mecanismos de implementação e rotinas de monitoramento. Por fim, o artigo sustenta que a cooperação entre os países do BRICS pode favorecer a troca de experiências e o aperfeiçoamento de estratégias de adaptação, contribuindo para o aumento da resiliência das redes de transporte terrestre.

Palavras-chave: Adaptação à mudança do clima; Infraestrutura de transporte terrestre; Redes rodoviárias e ferroviárias; Infraestrutura crítica; Países do BRICS.

Abstract

This paper examines climate change adaptation in the land transport sector in the BRICS countries, with emphasis on road and rail infrastructure as critical systems. It is based on the premise that extreme climate events increase the vulnerability of these networks and may compromise operational

continuity, mobility, and logistics. Methodologically, the study combines a systematic literature review with the mapping and systematization of initiatives, regulatory instruments, and sectoral guidelines adopted by Brazil, Russia, India, China, and South Africa. The comparison is structured around common analytical axes focused on governance, planning, financing, and the incorporation of adaptation into infrastructure management. The results reveal a gap between programmatic guidelines and their effective incorporation into technical criteria for planning, design, operation, and maintenance, as well as asymmetries in data availability, institutional capacity, and access to funding. It is argued that strengthening sectoral adaptation plans depends less on the formal existence of guidelines and more on their translation into priorities, implementation mechanisms, and monitoring routines. Finally, the article argues that cooperation among BRICS countries may foster the exchange of experiences and the improvement of adaptation strategies, contributing to the resilience of land transport networks.

Keywords: Climate change adaptation; Land transport infrastructure; Road and railway networks; Critical infrastructure; BRICS countries.

1. Introdução

A intensificação da mudança do clima tem ampliado os riscos incidentes sobre a infraestrutura de transporte terrestre, especialmente sobre redes rodoviárias e ferroviárias expostas a inundações, deslizamentos, erosão e outros eventos extremos (DE ABREU *et al.*, 2026). Por se tratar de infraestrutura crítica, interrupções nesses sistemas não afetam apenas trechos isolados, mas podem comprometer a mobilidade cotidiana, a circulação de mercadorias e o acesso a serviços essenciais, produzindo efeitos que se propagam pelo território e pela economia (DE ABREU; SANTOS; MONTEIRO, 2022; DE ABREU *et al.*, 2024a; 2024b).

Esse quadro desloca a adaptação para uma posição central no debate sobre transporte. O tema deixa de se restringir a formulações genéricas sobre resiliência e passa a envolver escolhas relativas ao planejamento, à operação, à manutenção e à gestão de ativos (DE ABREU, ODA & MONTEIRO, 2025; DE ABREU, 2026). Em redes fortemente interdependentes, a ocorrência de falhas localizadas pode ampliar perdas operacionais e sociais, o que reforça a necessidade de critérios de priorização e de instrumentos capazes de orientar intervenções sob condições de risco crescente (ASHJA-ARDALAN *et al.*, 2025).

Nesse contexto, o recorte nos países do BRICS decorre de uma delimitação geopolítica e sobretudo de sua utilidade analítica. Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul reúnem extensas redes de transporte, forte dependência de corredores terrestres e desigualdades socioespaciais que tendem a tornar os impactos climáticos mais severos sobre grupos e territórios vulnerabilizados. A comparação entre esses países permite examinar como diferentes contextos institucionais, financeiros e territoriais condicionam a incorporação da adaptação ao setor de transporte terrestre, bem como os limites que ainda persistem nesse processo (LIANG *et al.*, 2025; MASHAMAITE, 2025).

Diante disso, o artigo analisa iniciativas e instrumentos voltados à adaptação climática no transporte terrestre dos países do BRICS, com atenção às convergências, lacunas e dificuldades de implementação. Para tanto, combina revisão de literatura e análise comparativa das medidas identificadas, buscando discutir em que medida esse conjunto de experiências pode contribuir para a formulação de planos setoriais de adaptação mais

consistentes.

2. Procedimento Metodológico

A adaptação climática se consolidou como uma agenda prioritária em escala global, com repercussões diretas sobre múltiplos setores socioeconômicos. No setor de transportes, cuja continuidade e confiabilidade são decisivas para a dinâmica econômica e para o acesso a serviços essenciais, os impactos climáticos tendem a se manifestar com intensidade crescente (DE ABREU *et al.*, 2023a; 2023b; DE ABREU, ODA & SANTOS, 2024). Rodovias e ferrovias, em particular, apresentam elevada sensibilidade a eventos extremos e a processos de degradação associados, como inundações, deslizamentos de terra, erosão costeira e elevação do nível do mar. Em linhas gerais, a adaptação constitui uma condição para a segurança operacional, a eficiência logística e a redução de interrupções sistêmicas.

A metodologia apresentada na Figura 1 organiza, de maneira sistemática, as etapas de construção de um Plano Setorial de Adaptação para o transporte terrestre nos países integrantes do BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul). O desenho metodológico busca, simultaneamente, mapear avanços e iniciativas em curso, explicitar desafios recorrentes e indicar caminhos para sua mitigação, de forma a subsidiar diretrizes aplicáveis a diferentes contextos nacionais e subnacionais.

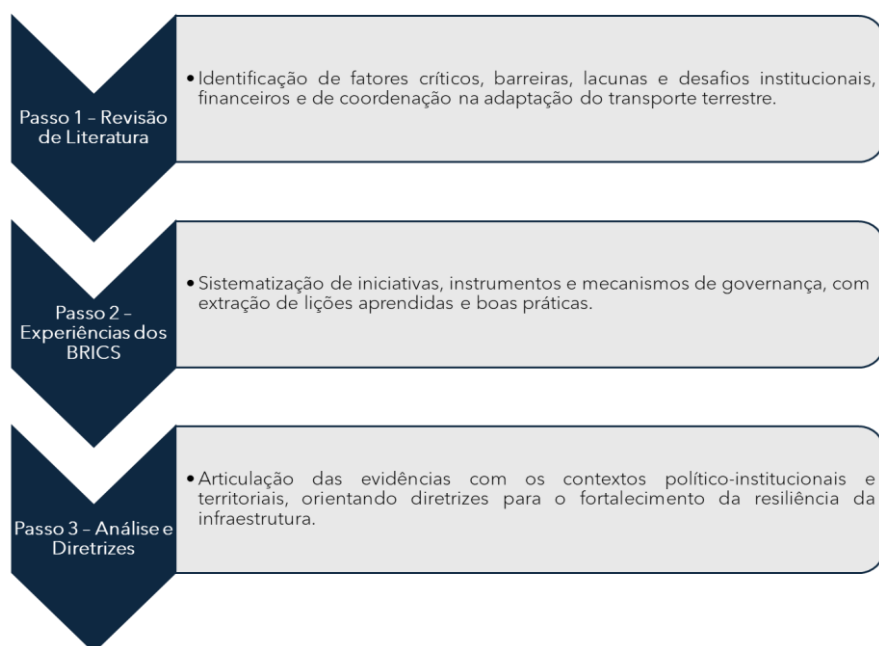


Figura 1. Metodologia para criação do plano setorial de adaptação.

Fonte: Elaboração própria.

O Passo 1 consiste na realização de uma revisão de literatura orientada à identificação de fatores que condicionam o êxito de planos de adaptação e de elementos que limitam ou favorecem sua implementação no transporte terrestre. Esta etapa contempla conceitos e abordagens predominantes, lacunas e dilemas ainda pouco explorados pela produção científica, considerando que o campo do planejamento de adaptação permanece em consolidação e, frequentemente, oferece atenção insuficiente a barreiras institucionais,

assimetrias de capacidade, restrições de financiamento e desafios de coordenação intersetorial.

O Passo 2 se dedica ao levantamento e à sistematização das principais iniciativas e instrumentos adotados pelos países do BRICS para reduzir vulnerabilidades e minimizar impactos climáticos sobre a infraestrutura de transportes, com foco na dimensão terrestre. Esta etapa permite reconhecer padrões de ação, mecanismos de governança, fontes de financiamento e estratégias de priorização, além de extrair lições aprendidas e práticas potencialmente transferíveis ou adaptáveis, respeitando diferenças de escala, contexto regulatório e nível de maturidade institucional.

No Passo 3, desenvolve-se uma análise crítica voltada à viabilização de planos setoriais de adaptação, articulando as evidências obtidas nas etapas anteriores com as especificidades político-institucionais e territoriais dos países examinados. Essa etapa enfatiza que a adaptação não se traduz em uma solução universal e exige calibragem conforme condições locais, como padrões climáticos, características geomorfológicas, configuração das redes de transporte, dinâmica de ocupação do território e capacidades de resposta. Assim, a metodologia orienta a formulação de diretrizes que fortaleçam a resiliência da infraestrutura, privilegiando a continuidade do serviço, a redução de perdas e a priorização de medidas compatíveis com o perfil de risco e com as necessidades regionais.

Para tornar a comparação mais consistente, a leitura dos casos nacionais foi estruturada a partir de um conjunto comum de critérios analíticos. Consideraram-se, em cada país, cinco dimensões centrais, sendo elas enquadramento institucional da adaptação no setor de transportes, presença de instrumentos e planos específicos para a infraestrutura terrestre, mecanismos de financiamento e apoio à implementação, uso de diagnósticos, métricas e bases de dados para avaliação de risco e, por fim, grau de internalização da adaptação em critérios técnicos de planejamento, projeto, manutenção e operação. Esses eixos permitem distinguir níveis distintos de maturidade adaptativa e evitam que a comparação permaneça restrita ao inventário descritivo de iniciativas.

3. A Importância de Planos de Adaptação

A formulação de planos de adaptação direcionados ao transporte terrestre se coloca como requisito de governança e de gestão de ativos em um contexto de intensificação de extremos climáticos e de ampliação de pressões sobre redes rodoviárias e ferroviárias. A centralidade dessas redes para a circulação de pessoas e mercadorias, bem como sua forte interdependência com energia, telecomunicações e serviços urbanos, implica que falhas localizadas podem produzir efeitos em cascata, com impactos econômicos e sociais desproporcionais. Mesmo quando orientações nacionais e institucionais já incorporam a adaptação à mudança do clima, observa-se, com frequência, um hiato entre enunciados programáticos e sua materialização em critérios de projeto, manutenção, priorização orçamentária e rotinas operacionais. Esse hiato tende a ser explicado pela ausência de instrumentos que convertam evidências climáticas em decisões comparáveis entre ativos e corredores, pela limitação de ferramentas para mensurar vulnerabilidade e criticidade em bases consistentes e pela assimetria de dados e capacidades técnicas entre territórios

(ROCCHI *et al.*, 2024; KAMARA *et al.*, 2025).

Um plano setorial, quando estruturado a partir de critérios explícitos, contribui para reduzir essa lacuna ao organizar o processo decisório em torno de prioridades verificáveis. Em vez de tratar a adaptação como um conjunto genérico de recomendações, o plano delimita ameaças predominantes, identifica elementos sensíveis do sistema e estabelece parâmetros de criticidade associados à continuidade do serviço. Abordagens orientadas à identificação de trechos críticos sob diferentes cenários climáticos oferecem subsídios diretos à hierarquização de intervenções e ao planejamento de investimentos, uma vez que permitem antecipar pontos de fragilidade com maior potencial de interrupção sistêmica (ORTEGA; MARTÍN; APARICIO, 2020). Do mesmo modo, o uso de índices de vulnerabilidade e de métricas comparáveis amplia a consistência técnica do diagnóstico e reduz a margem para decisões fundadas apenas em respostas reativas ou em pressões conjunturais (DOĞAROĞLU; ÇALIŞKANELLİ, 2025).

Do ponto de vista processual, a UNFCCC sistematiza a construção dos Planos Nacionais de Adaptação em quatro etapas passíveis de adequação às especificidades setoriais e nacionais (UNFCCC, 2012). Essa estrutura é particularmente pertinente ao transporte terrestre por integrar diagnóstico, preparação, implementação e um ciclo contínuo de monitoramento e revisão, o que reduz o risco de planos que se encerram no documento. A Tabela 1 sintetiza essas etapas em uma leitura aplicável ao planejamento setorial.

Tabela 1. Etapas de determinação dos Planos de Adaptação.

Etapa	Descrição
1- Estabelecer as bases e identificar lacunas	Esta é uma fase de pré-planejamento do processo de planos nacionais de adaptação. Ele cobre três áreas principais: (i) iniciar e lançar o processo dos planos nacionais de adaptação; (ii) fazer um inventário e sintetizar as informações disponíveis, bem como identificar vulnerabilidades; e (iii) analisar principais lacunas e barreiras potenciais.
2- Criar elementos preparatórios	Este é o verdadeiro estágio de planejamento do processo de planos nacionais de adaptação. A UNFCCC não identificou um procedimento metodológico específico para a preparação do plano, mas apenas uma estrutura geral. Os planejadores têm que identificar a estrutura metodológica adequada para os respectivos países, considerando as realidades básicas nos respectivos países. Entretanto, a UNFCCC enfatiza a necessidade de ampla consulta às partes interessadas relevantes na fase de planejamento.
3- Estabelecer estratégias de implementação	A terceira etapa do processo dos planos nacionais de adaptação é a etapa de implementação. Esta é uma etapa de pós-planejamento que trata da implementação de intervenções selecionadas no plano de ação. Entretanto, os aspectos essenciais da estratégia de implementação devem ser estabelecidos no próprio plano com a flexibilidade necessária para fazer ajustes às mudanças nas condições que possam vir no futuro.

Etapa	Descrição
4- Relatar, monitorar e revisar	A etapa final do processo dos planos nacionais de adaptação é a elaboração de relatórios, monitoramento e revisão. Ela trata do monitoramento da implementação do plano. Esta também é uma etapa de pós-planejamento. Entretanto, assim como as estratégias de implementação, deve haver mecanismos embutidos para a elaboração de relatórios, monitoramento e revisão do progresso do plano. Estes mecanismos devem ajudar a rever o progresso e atualizar iterativamente o plano de acordo com as condições de mudança.

Fonte: Adaptado de *Ministry of Mahaweli Development and Environment* (2015).

A estrutura em quatro etapas apresentada na Tabela 1 oferece uma base operacional para converter diretrizes em prática, ao organizar o planejamento setorial como ciclo de aprendizagem, implementação e revisão. Para o transporte terrestre, essa lógica favorece a articulação entre avaliação de criticidade, mensuração de vulnerabilidade e definição de medidas, ao mesmo tempo em que consolida mecanismos de acompanhamento e ajuste. No âmbito deste artigo, a relevância dos planos de adaptação reside em sua existência formal e em sua capacidade de produzir critérios de comparação entre os países analisados. É a presença, ou ausência, de instrumentos operacionais, métricas, prioridades definidas e mecanismos de execução que permite distinguir respostas mais estruturadas de iniciativas ainda fragmentadas ou predominantemente declaratórias. Com isso, o plano setorial deixa de ser apenas referência normativa e passa a funcionar como unidade analítica para examinar o grau de institucionalização da adaptação no transporte terrestre (UNFCCC, 2012; ORTEGA; MARTÍN; APARICIO, 2020; DOĞAROĞLU; ÇALIŞKANELLİ, 2025).

4. Como os Países do BRICS se Organizaram para Minimizar os Impactos das Mudança do Clima na Infraestrutura de Transporte Terrestre?

Os países que compõem o BRICS apresentam grandes extensões territoriais, elevada dependência de corredores terrestres e diferentes graus de exposição a riscos climáticos, o que confere centralidade à adaptação da infraestrutura de transporte terrestre (BAUMANN, 2009; MASHAMAITE, 2025). Mais do que reunir medidas adotadas por cada país, esta seção examina como Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul vêm estruturando respostas institucionais, normativas e operacionais para enfrentar esses riscos. A comparação considera, sobretudo, o grau de institucionalização da adaptação, a existência de instrumentos específicos para o setor, a capacidade de financiamento, o uso de diagnósticos de risco e a incorporação da adaptação à gestão da infraestrutura.

4.1. Brasil

O Brasil reúne um conjunto relativamente amplo de instrumentos voltados à adaptação climática no setor de transporte terrestre, com destaque para o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima, o Projeto Brasil 2040, o Plano de Adaptação de Rodovias Federais a Desastres Naturais e o estudo AdaptaVias (MMA, 2015; SEA, 2015a; PARF, 2017; BRASIL,

2022). No caso brasileiro, observa-se um avanço importante na produção de diagnósticos, diretrizes e estudos aplicados à infraestrutura rodoviária e ferroviária, o que indica uma base institucional e técnica relativamente consolidada no plano normativo.

Ainda assim, a trajetória brasileira revela um descompasso entre formulação e execução. Embora existam instrumentos relevantes para identificação de vulnerabilidades e definição de diretrizes, a incorporação da adaptação às rotinas permanentes de manutenção, priorização orçamentária e gestão de ativos permanece incompleta. O caso do Brasil sugere, portanto, maior maturidade no diagnóstico do que na implementação continuada das medidas.

4.2. Rússia

A Rússia tem adotado iniciativas voltadas à modernização da infraestrutura de transporte, à melhoria da qualidade das rodovias, ao desenvolvimento ferroviário e ao uso de tecnologias avançadas aplicadas à operação e à segurança da rede (RUSSIAN FEDERATION, 2021; ZHUZHGOVA; RUF, 2023; SHAUCHUK, 2021). Entretanto, diferentemente de outros casos, a adaptação climática aparece com menor explicitude como eixo autônomo de planejamento setorial, sendo frequentemente absorvida por agendas mais amplas de modernização logística e expansão da capacidade.

Isso indica uma forma de organização em que a resiliência tende a ser tratada de modo indireto, vinculada à melhoria da infraestrutura e à eficiência sistêmica, mas nem sempre acompanhada de instrumentos específicos de avaliação de risco climático ou de priorização adaptativa. O caso russo evidencia, assim, uma orientação mais centrada na robustez física e tecnológica da rede do que na institucionalização explícita da adaptação como política setorial.

4.3. Índia

A Índia tem desenvolvido programas e planos relacionados à adaptação climática, à redução de emissões, à modernização da infraestrutura e ao fortalecimento do transporte sustentável, incluindo iniciativas voltadas diretamente aos impactos da mudança do clima sobre o setor terrestre. Nesse contexto, a experiência indiana se destaca pela forte pressão exercida pela escala territorial, pela densidade populacional e pela elevada exposição a eventos extremos, fatores que tornam a adaptação uma necessidade prática para a continuidade do sistema.

Ao mesmo tempo, a organização institucional indiana revela dispersão entre instrumentos gerais de política climática e sua tradução em medidas setoriais mais específicas. Há um esforço relevante de integração entre desenvolvimento de infraestrutura e resposta climática, mas persistem dificuldades de coordenação, implementação e homogeneização territorial. A Índia aparece, assim, como um caso em que a urgência adaptativa é elevada, mas sua operacionalização ainda convive com forte heterogeneidade institucional e regional.

4.4. China

A China vem estruturando respostas por meio de planos nacionais de longo prazo, estratégias de adaptação, investimentos em reconstrução de infraestrutura, políticas de transporte verde, obras de proteção contra inundações e incorporação de tecnologias

avançadas ao setor (REVISTA FERROVIÁRIA, 2023; MEDEIROS, 2025; APEC, 2023; LIUQIAN, 2016; TING, 2025; YI *et al.*, 2025). Entre os países analisados, a China apresenta um dos arranjos mais robustos em termos de capacidade estatal, coordenação estratégica e articulação entre expansão da infraestrutura e resposta climática.

Sua experiência sugere maior capacidade de converter diretrizes em investimentos e intervenções materiais, especialmente quando a adaptação se conecta a agendas mais amplas de planejamento nacional, inovação tecnológica e segurança da infraestrutura. Ainda assim, o caso chinês também indica que a presença de grande capacidade de execução não elimina a necessidade de critérios transparentes para priorização, monitoramento e avaliação, sobretudo em um sistema de grande escala e alta complexidade territorial.

4.5. África do Sul

Na África do Sul, a discussão sobre adaptação no transporte terrestre tem se articulado a programas de investimento em infraestrutura, políticas de transporte integrado, iniciativas de transporte público, manutenção da rede e transição energética (AFRICAN UNION, 2025; MORAPEDI; MAKHARI, 2017). O caso sul-africano adquire relevância particular porque evidencia como a adaptação depende não apenas de novos projetos, mas também da capacidade de enfrentar déficits históricos de manutenção, desigualdades territoriais e limitações institucionais.

Em comparação com os demais países do grupo, a África do Sul apresenta uma agenda em que a adaptação tende a se associar fortemente à melhoria da governança e à qualificação dos serviços existentes. Isso significa que a resiliência não depende apenas da construção de novos ativos, mas da recuperação da confiabilidade do sistema e da ampliação da capacidade pública de gestão, financiamento e coordenação.

A leitura comparativa dos cinco casos mostra que os países do BRICS não se distinguem apenas pelo volume de iniciativas anunciadas, mas pelo modo como convertem diretrizes em instrumentos operacionais. Brasil e Índia apresentam avanços importantes no diagnóstico e na formulação, mas ainda enfrentam limitações de implementação. A Rússia tende a incorporar a resiliência de forma mais indireta, vinculada à modernização da infraestrutura. A China revela maior capacidade de coordenação e execução em larga escala. A África do Sul, por sua vez, evidencia a centralidade da manutenção, da governança e das desigualdades territoriais para a efetividade da adaptação. Com isso, a comparação deixa de ser apenas descritiva e passa a destacar diferentes níveis de institucionalização e maturidade adaptativa no transporte terrestre.

5. Condicionantes do Plano de Adaptação com Foco na Infraestrutura de Transporte Terrestre

A criação de um plano de adaptação com foco no setor de transporte terrestre (rodoviário e ferroviário) nos países que compõem os BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul) requer consideração de diversos condicionantes específicos desses países e de suas características particulares, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Condicionantes específicas para criação de um Plano de Adaptação com foco na

infraestrutura de transporte terrestre.

Condicionante		Descrição
Avaliação de Vulnerabilidades e riscos	de	Realizar uma avaliação abrangente das vulnerabilidades e riscos do setor de transporte terrestre em cada país BRICS em relação aos impactos esperados da mudança do clima, como eventos climáticos extremos, aumento do nível do mar, alterações nas condições meteorológicas, entre outros.
Análise de Impactos Potenciais		Identificar e analisar os potenciais impactos da mudança do clima no transporte terrestre, incluindo danos a infraestruturas viárias, interrupções na operação de estradas e ferrovias devido a enchentes, deslizamentos de terra, tempestades e outros eventos extremos, bem como mudanças nos padrões de demanda de transporte devido a variações climáticas.
Identificação Prioridades	de	Priorizar as áreas mais vulneráveis e os impactos mais significativos para orientar a alocação eficiente de recursos e esforços na adaptação do setor de transporte terrestre, considerando as necessidades específicas de cada país BRICS.
Engajamento Stakeholders	de	Envolver ativamente os principais stakeholders, incluindo governos locais, autoridades de transporte, empresas privadas, organizações da sociedade civil e comunidades locais, no processo de planejamento e implementação do plano de adaptação, garantindo uma abordagem participativa e colaborativa.
Integração de Políticas e Planos Setoriais	de	Integrar o plano de adaptação do setor de transporte rodoviário e ferroviário aos planos e políticas setoriais existentes em cada país BRICS, garantindo coerência e sinergia com outras iniciativas de desenvolvimento, como infraestrutura, desenvolvimento urbano, energia e meio ambiente.
Fortalecimento Resiliência	da	Desenvolver e implementar medidas para fortalecer a resiliência do setor de transporte rodoviário e ferroviário diante dos impactos da mudança do clima, incluindo investimentos em infraestrutura resistente, sistemas de alerta precoce, planos de contingência e capacitação de pessoal.
Transferência Tecnologia e Conhecimento	de e	Promover a transferência de tecnologia e conhecimento entre os países BRICS e apoiar iniciativas de capacitação e desenvolvimento de capacidades locais para melhorar a capacidade de adaptação do setor de transporte terrestre à mudança do clima.
Financiamento Investimento	e	Garantir financiamento adequado e recursos financeiros para apoiar a implementação do plano de adaptação do setor de transporte terrestre, incluindo mobilização de financiamento doméstico e internacional, parcerias público-privadas e mecanismos de financiamento inovadores.
Pesquisa Desenvolvimento	e	Investir em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias inovadoras e soluções adaptativas para o transporte terrestre, incluindo novos materiais de construção, sistemas de drenagem resilientes, tecnologias de previsão de eventos climáticos e modelos de gestão de riscos.

Condicionante	Descrição
Gestão Integrada de Recursos	Adotar uma abordagem de gestão integrada de recursos, considerando os impactos inter-relacionados da mudança do clima, urbanização, desenvolvimento econômico e uso da terra no setor de transporte terrestre e promovendo soluções que abordem múltiplos desafios de forma integrada.

Fonte: Elaboração própria.

Considerar os condicionantes apresentados na Tabela 2 pode fortalecer ainda mais a abordagem de adaptação do setor de transporte terrestre nos países BRICS, garantindo uma resposta abrangente e eficaz aos desafios da mudança do clima e promovendo a sustentabilidade a longo prazo do sistema de transporte.

6. Considerações Finais

O presente artigo analisou a adaptação à mudança do clima no transporte terrestre dos países do BRICS, com atenção às infraestruturas rodoviária e ferroviária enquanto sistemas críticos para a mobilidade, a circulação de mercadorias e o funcionamento de atividades essenciais. Ao adotar uma leitura comparativa centrada em critérios comuns, o estudo buscou ultrapassar uma abordagem meramente descritiva e identificar como diferentes contextos nacionais vêm incorporando a adaptação ao planejamento setorial.

A análise mostrou que os países examinados apresentam trajetórias desiguais quanto à institucionalização da adaptação. Em alguns casos, observou-se maior avanço na formulação de diretrizes, planos e diagnósticos. Em outros, sobressaíram capacidades mais robustas de coordenação e execução. Ainda assim, um traço recorrente foi a persistência de lacunas entre o reconhecimento formal dos riscos climáticos e sua tradução em critérios operacionais de planejamento, manutenção, priorização de investimentos e gestão de ativos. Esse resultado indica que a efetividade da adaptação depende menos da existência isolada de instrumentos normativos e mais de sua articulação com rotinas administrativas, mecanismos de financiamento, produção de dados e capacidade institucional.

Outro ponto relevante é que a comparação entre os países permitiu identificar condicionantes que se repetem, ainda que com intensidades distintas. A existência de diagnósticos de vulnerabilidade, a definição de prioridades, a coordenação entre escalas de governo, a disponibilidade de financiamento e a incorporação da adaptação à gestão cotidiana da infraestrutura apareceram como elementos decisivos para a consistência dos planos setoriais. Sob essa perspectiva, a contribuição do artigo reside não apenas no levantamento de iniciativas nacionais, mas na proposição de uma chave analítica capaz de distinguir níveis distintos de maturidade adaptativa no transporte terrestre.

Conclui-se, portanto, que a adaptação climática no setor não pode permanecer restrita ao plano declaratório. Para que os planos setoriais produzam efeitos concretos, é necessário que sejam acompanhados por critérios técnicos verificáveis, instrumentos de implementação e mecanismos permanentes de monitoramento e revisão. No caso dos países do BRICS, isso

implica reconhecer que a ampliação da resiliência depende tanto de investimentos materiais quanto do fortalecimento da governança pública e da capacidade de coordenação institucional.

Como desdobramento, estudos futuros podem aprofundar a análise empírica de corredores, redes ou ativos específicos, bem como desenvolver indicadores comparáveis de vulnerabilidade, criticidade e capacidade adaptativa. Esse avanço poderá contribuir para refinar os diagnósticos setoriais e oferecer bases mais consistentes para a formulação de políticas públicas voltadas à adaptação da infraestrutura de transporte terrestre em contextos de risco climático crescente.

Referências

AFRICAN UNION. Dinâmicas do desenvolvimento em África. Infraestruturas, crescimento e transformação, 2025. Disponível em: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/pt/publications/reports/2025/10/africa-s-development-dynamics-2025_d153f2a8/4bc50b52-pt.pdf

APEC. Asean Pacific Economic Cooperation. China's Green Transport "14th Five-Year" Development Plan. Land Experts Group Meeting 28 September 2023.

ASHJA-ARDALAN, A. *et al.* A resilience analysis of urban road networks under climate change for improved infrastructure planning. *Transportation Research Part D Transport and Environment*, v. 148, art. 104948, 2025. DOI: 10.1016/j.trd.2025.104948.

BHOWMICK, S.; BARDHAN, A. R. BRICS plus: enhancing multilateralism and macroeconomic opportunities. *Revista Tempo do Mundo*, Brasília, n. 33, p. 289-322, dez. 2023. DOI: 10.38116/rtm33art10.

BRICS BRASIL. About the BRICS. Brasília: Ministério das Relações Exteriores, 2025.

BAUMANN, Renato. El comercio entre los países "BRICS". Santiago de Chile: Cepal, 2009.

CLIMATE CHANGE SECRETARIAT OF SRI LANKA. National adaptation plan for climate change impacts in Sri Lanka 2016 to 2025. Ethul Kotte: Ministry of Mahaweli Development and Environment, 2016.

COCHRANE, L.; ZAIDAN, J. Shifting global dynamics: an empirical analysis of BRICS + expansion and its economic, trade, and military implications in the context of the G7. *Cogent Social Sciences*, v. 10, n. 1, art. 2333422, 2024. DOI: 10.1080/23311886.2024.2333422.

DE ABREU, V. H. S.; SANTOS, A. S.; MONTEIRO, T. G. M. Climate change impacts on the road transport infrastructure: a systematic review on adaptation measures. *Sustainability*, v. 14, n. 14, art. 8864, 2022. DOI: 10.3390/su14148864.

DE ABREU, Victor Hugo Souza *et al.* Climate change adaptation strategies for road transportation infrastructure: A systematic review on flooding events. *Transportation systems technology and integrated management*, p. 5-30, 2023a. DOI: 10.1007/978-981-99-1517-0_2

DE ABREU, Victor Hugo Souza *et al.* Implications of climate change for the Brazilian road infrastructure. In: *COVID-19 and climate change in BRICS nations*. Routledge, 2023b. p. 80-99. DOI: 10.4324/9781032643182-8

DE ABREU, Victor Hugo Souza *et al.* Análise de riscos climáticos em infraestruturas de transportes: uma exploração metodológica. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, v. 18, n. 1, p. 28-44, 2024a. DOI: 10.19180/2177-4560.v18n12024p28-44

DE ABREU, Victor Hugo Souza *et al.* Nature-based solutions to reduce carbon footprint and increase resilience of road transportation infrastructure. In: *Carbon Footprint Assessments: Case Studies & Best Practices*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024b. p. 159-176. DOI: 10.1007/978-3-031-70262-4_7

ABREU, VICTOR HUGO SOUZA DE.; ODA, SANDRA; SANTOS, ANDREA SOUZA. Explorando Metodologias de

Análise de Risco Climático para a Infraestrutura de Transporte. 2024. Ensus 2024 - XII Encontro de Sustentabilidade em Projeto. DOI: 10.29183/2596-237x.ensus2024.v12.n1.p527-539

DE ABREU, Victor Hugo Souza; ODA, Sandra; MONTEIRO, Thais Guedes Maximo. Strategic Decisions: A Support Model For Prioritizing Projects In The Brazilian Transport Infrastructure: Decisões Estratégicas: Um Modelo De Apoio À Priorização De Projetos Na Infraestrutura De Transportes Brasileira. MIX Sustentável, v. 11, n. 1, p. 107-118, 2025.

DE ABREU, Victor Hugo Souza. Technological Innovations and Climate Adaptation Strategies for Road Management. In: Reduction of Industrial Carbon Footprint. Cham: Springer Nature Switzerland, 2026. p. 139-152.

DE ABREU, Victor Hugo Souza *et al.* Climate risk analysis methodology for Brazilian road infrastructure impacted by wildfires. Case Studies on Transport Policy, p. 101738, 2026.

DOĞAROĞLU, N. S.; ÇALIŞKANELLİ, S. P. A novel vulnerability index and approach for improving road network vulnerability. Canadian Journal of Civil Engineering, v. 52, n. 9, p. 1796-1811, 2025. DOI: 10.1139/cjce-2024-0553.

GARMABAKI, A. H. S.; THADURI, A.; FAMUREWA, A. O.; KUMAR, U. Adapting railway maintenance to climate change. Sustainability, v. 13, n. 24, art. 13856, 2021. DOI: 10.3390/su132413856.

KAMARA, P. M.; TUFFOUR, Y. A.; BAFFOUR-ATA, F.; OBENG, D. A. Framework for assessing the climate vulnerability of unpaved roads in Sierra Leone. Frontiers in Climate, v. 7, art. 1608176, 2025. DOI: 10.3389/fclim.2025.1608176.

LIANG, Y. *et al.* Increasing flood hazards threaten metro system resilience at station and line scales. Sustainable Cities and Society, v. 133, art. 106890, 2025. DOI: 10.1016/j.scs.2025.106890.

LIUQIAN, D. 2016. Flood and Drought Management in China. China Water Resources Management Policy Seminar - June 22, 2016. Disponível em: <https://rksi.adb.org/wp-content/uploads/2020/10/flood-and-drought-management-china.pdf>

MASHAMAITE, M. M. Climate change response measures in South African road transport sector: lessons from BRICS countries. Frontiers in Sustainable Cities, v. 6, art. 1466707, 2025. DOI: 10.3389/frsc.2024.1466707.

MEDEIROS, C.A. Ambição Climática dos BRICS: China, 2025. Disponível em: https://bricspolicycenter.org/wp-content/uploads/2025/02/China_compressed.pdf.

MoEFCC. India's long-term low-carbon development strategy. Ministry of Environment, Forest and Climate Change, Government of India, 2022.

MORAPEDI, K; MAKHARI, M. NATIONAL TRANSPORT MASTER PLAN (NATMAP) 2050. 36th Southern African Transport Conference (SATC 2017) ISBN Number: 978-1-920017-73-6. 10 - 13 July 2017 Pretoria, South Africa.

ORTEGA, E.; MARTÍN, B.; APARICIO, Á. Identification of critical sections of the Spanish transport system due to climate scenarios. Journal of Transport Geography, v. 84, art. 102691, 2020. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2020.102691.

OWOJORI, O. M., & ANWANA, E. (2025). Climate governance in the BRICS: pathways toward net-zero emissions. Discover Sustainability, 6(1), 359. DOI: 10.1007/s43621-025-01181-1

QI, X.; DAUVERGNE, P. China's place as a global leader in climate adaptation. Global Environmental Change, v. 75, art. 102484, 2022. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2022.102484.

REVISTA FERROVIÁRIA. China planeja ampliar em até 26% infraestrutura de transportes em cinco anos, 2023. Disponível em: <https://revistaferroviaria.com.br/2023/05/china-planeja-ampliar-em-ate-26-infraestrutura-de-transportes-em-cinco-anos/>

ROCCHI, L.; RIZZO, A. G.; PAOLOTTI, L.; BOGGIA, A.; ATTARD, M. Assessing climate change vulnerability of coastal roads. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, v. 29, art. 43, 2024. DOI: 10.1007/s11027-024-10140-6.

ROSS, A. G. How to navigate the BRICS expansion. Local Economy, v. 38, n. 8, p. 727-734, 2024. DOI:

10.1177/02690942241270551.

RUSSIAN FEDERATION. Case study for Road Map on Statistics for SDGs 2.0 Russian Federation: 2020 Voluntary National Review. 2021. ENECE. Disponível em: <https://unece.org/sites/default/files/2021-12/CS%20RU%202020%20Voluntary%20National%20Review.pdf>.

RUSSIAN FEDERATION. Policy overview. 2025. Disponível em: <https://climateactiontracker.org/countries/russian-federation/policies-action/>

SÁ, R. M. R. de; GARCIA, A. S. Convergences between the BRICS Business Council and the New Development Bank: implications of the BRICS membership expansion. South African Journal of International Affairs, v. 32, n. 1-2, 2025. DOI: 10.1080/10220461.2025.2529581.

SHAUCHUK, P. Advanced Technologies for Industry – International reports Report on Russia: technological capacities and key policy measures. June, 2021.

TAFUR, A.; ARGYROUDIS, S. A.; MITOULIS, S. A.; PADGETT, J. E. Climate-resilient railway networks: a resource-aware framework. Communications Engineering, v. 4, n. 1, art. 157, 2025. DOI: 10.1038/s44172-025-00493-4.

TING, C. Impact of China–Latin America Transportation Infrastructure Cooperation on Latin American Economies: A Project Data Study (2009–2023). Rev. Bras. Polít. Int. 68 (2), Sept, 2025. DOI: 10.1590/0034-7329202500220

UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT. A BRICS agenda for enhancing climate finance. Geneva: UNCTAD, 2025. (UNCTAD/TCS/GDS/INF/2025/1).

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. National adaptation plans: technical guidelines for the national adaptation plan process. Bonn: UNFCCC, 2012. (Least Developed Countries Expert Group).

XIE, X. *et al.* Rebalancing climate finance: analysing multilateral development banks' climate finance allocation practices. Energy Research and Social Science, v. 104, art. 103127, 2023. DOI: 10.1016/j.erss.2023.103127.

YI, Y.; SUN, Z.Y.; FU, B.-A.; TONG, W.-Y.; HUANG, R.-S. Accelerating Towards Sustainability: Policy and Technology Dynamic Assessments in China's Road Transport Sector. Sustainability 2025, 17, 3668. <https://doi.org/10.3390/su17083668>

ZENG, W. Climate finance and new multilateral development banks: the case of Asian Infrastructure Investment Bank. Climate Policy, v. 25, n. 8, p. 1117-1130, 2025. DOI: 10.1080/14693062.2024.2442004.

ZHUZHGOVA, J. E., & RUF, Y. A. Directions of Railway Transport Development for Prospective Cooperation with Logistics Providers, 2023. DOI: 10.5220/0011582000003527