



V4. n. 1 (2021) | e-ISSN 2675-2700

# VIA VIVA 2021

## V SEMINÁRIO SOCIOAMBIENTAL EM INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES INVESTIMENTO VERDE E RESILIÊNCIA

MINISTÉRIO DA  
INFRAESTRUTURA



PÁTRIA AMADA  
BRASIL  
GOVERNO FEDERAL



# V SEMINÁRIO SOCIOAMBIENTAL EM INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

INVESTIMENTO VERDE E RESILIÊNCIA

VIA VIVA 2021

V. 4 (2021)

e – ISSN – 2675-2700

## FICHA CATALOGRÁFICA

**REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL**

**JAIR MESSIAS BOLSONARO**

*Presidente*

**MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA**

**TARCÍSIO GOMES DE FREITAS**

*Ministro*

**MARCELO SAMPAIO CUNHA FILHO**

*Secretário Executivo*

**FELIPE FERNANDES QUEIROZ**

*Secretário Executivo Adjunto*

**LARISSA CAROLINA AMORIM DOS SANTOS**

*Subsecretária de Sustentabilidade*

### COORDENAÇÃO TÉCNICA EXECUTIVA

**GEORGE YUN**

*Coordenador-Geral de Projetos Especiais*

**RENATA HELENA DA SILVA**

*Coordenadora de Gestão Territorial*

**JULIANA RIBEIRO ROCHA DORIA**

*Coordenadora-Geral de Licenciamento Ambiental*

**RODRIGO BAUDSON GODOI E SILVA**

*Coordenador de Licenciamento Ambiental*

### EQUIPE TÉCNICA

**ARTHUR SAMPAIO DE OLIVEIRA**

**CAMILA LOURDES DA SILVA**

**DIANA NOGUEIRA DE NOVAES SILVA**

**FANI MAMEDE**

**FERNANDA DE CARVALHO BORGES**

**NATÁLIA DE OLIVEIRA HAYNE**

**RICARDO LUIZ MEDEIROS MEIRELLES**

**ROSÂNGELA FINOCKETI PINNA**

**THIAGO OLANTE CASAGRANDE**

**VÍTOR HUGO JORGE LINS**

## **COMITÊ EDITORIAL**

**COORDENADOR:** GEORGE YUN

**MEMBROS:**

ANNELISE VENDRAMINI

GEORGE YUN

JOSÉ PEDRO FRANCISCONI JUNIOR

MANOEL DE ANDRADE E SILVA REIS

SANDRO FILIPPO

VALENTÍN SANTANDER RAMÍREZ

## **EQUIPE REVISORA**

NATÁLIA DE OLIVEIRA HAYNE

RENATA HELENA DA SILVA

RICARDO LUIZ MEDEIROS MEIRELLES

THIAGO OLANTE CASAGRANDE

## **PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO**

MATHEUS DA SILVA JORDÃO

RYCKSON GREICE ATAIDES ANHAIA

## **CAPA**

MATHEUS DA SILVA JORDÃO

VÍTOR HUGO JORGE LINS

## PALAVRAS DO MINISTRO

A sustentabilidade é tema central na estruturação dos projetos do Ministério da Infraestrutura, alinhada aos padrões ambientais internacionais e aos fluxos financeiros relevantes para investimentos.

O Ministério da Infraestrutura tem investido, nos últimos anos, na sustentabilidade de seus empreendimentos, buscando a certificação e emissão de títulos verdes de seus ativos, estabelecendo parcerias com instituições relevantes no mundo, identificando e minimizando riscos e capacitando seu corpo técnico e gerencial, de modo que a sustentabilidade perpassa de forma transversal todas as ações da Pasta e das suas entidades vinculadas, implementando, de fato, suas Diretrizes de Sustentabilidade.

Estamos incorporando estudos e análises de riscos ambientais e climáticos no planejamento e na execução dos nossos projetos, pois sabemos, de forma pragmática, que, no futuro próximo, todos os fluxos financeiros estarão atrelados aos padrões ambientais e climáticos. Não podemos nadar contra a corrente, precisamos aliar a nossa capacidade de fazer engenharia ao interesse dos investidores, pois é fundamental adaptar e mitigar o risco climático em benefício da sociedade e ganhar, além disso, o acesso a outras formas de financiamento, como os *green bonds*, *green loans*, ingressando com compromisso nesse mercado verde.

Em 2021, o Via Viva reflete esse compromisso, trazendo o tema “Investimento Verde e Resiliência”, por meio de debates sérios e transparentes, bem como pelo incentivo à produção científica, trazendo à mesa especialistas renomados do setor financeiro, da administração pública e das instituições de pesquisa para apresentar as melhores estratégias para investimento verdes, necessários para subsidiar seus programas e ações, em todos os modos de transportes.

Temos excelentes exemplos para demonstrar que é possível conciliar infraestrutura de transportes e sustentabilidade. Estamos trazendo o que tem de melhor para nossas estruturações, incorporando o conceito de ESG em nossos projetos para dar tranquilidade aos nossos investidores e mitigar o risco de imagem, sabendo que os padrões ambientais irão governar os fluxos financeiros. Um grande exemplo de aliança entre investimento e sustentabilidade, nosso compromisso social, econômico e ambiental com o planeta.

**TARCÍSIO GOMES DE FREITAS**

Ministro de Estado da Infraestrutura

## **PALAVRAS DO SECRETÁRIO EXECUTIVO**

A sustentabilidade é um dos principais pilares de investimentos em projetos de infraestrutura, especialmente aqui no Brasil. Devemos dar especial atenção ao legado que nos antecederam, de receber um país que tem hoje mais de 60% da sua reserva florestal preservada, com 84% de Amazônia preservada; além disso, temos 44% de matriz energética renovável e a uma responsabilidade de manter essa herança e aperfeiçoá-la para deixar para àqueles que nos sucederão nas próximas gerações.

A relevância do tratamento das questões ambientais e de mudança do clima em empreendimentos de infraestrutura de transportes desponta como tema importante na composição da agenda nacional. O Brasil tem um estoque físico de infraestrutura inferior a seus pares e de seus competidores que precisa ser superado. Precisamos desenvolver e avançar, alcançando a sustentabilidade nos nossos projetos, por se tratar de uma dimensão importante, que alavanca o desenvolvimento, uma alavanca para o equilíbrio entre as regiões e para superação das desigualdades. Para enfrentar esse desafio precisamos de investimento na infraestrutura de transportes.

Para orientar com sustentabilidade as políticas do Ministério da Infraestrutura, várias ações então sendo realizadas, como a implementação das Diretrizes de Sustentabilidade, publicadas em 2020, estudos para a certificação com emissão de títulos verdes de ativos, mapeamento de riscos e estratégias para enfrentamento às mudanças do clima, entre outros.

Aliada a estas questões, tem-se fomentado a viabilidade para a atração de investimentos sustentáveis, em consonância às melhores práticas, premissas e normas internacionais.

Neste panorama, a realização do Via Viva - Seminário Socioambiental em Infraestrutura de Transportes, concretiza, perante a sociedade, mercado e governo, o compromisso socioambiental da Pasta, bem como oportuniza a aproximação entre renomados especialistas para a apresentação e discussão de temas de vanguarda no setor, como o “Financiamento Verde e Resiliência”, tema escolhido para o Via Viva 2021.

A presente publicação, compilado de trabalhos criteriosamente avaliados, materializa um dos principais resultados da iniciativa, a criação de repositório de informações sobre as questões socioambientais relacionadas à infraestrutura de transportes.

Consolidam-se, assim, práticas e conceitos, e oportuniza-se a aproximação entre administração pública e instituições de ensino e pesquisa, de forma que tenhamos um processo contínuo de aperfeiçoamento e aprendizado e, conseqüentemente, a implementação de políticas públicas e tomadas de decisão cada vez mais conscientes na temática, com resultados precisos e com sustentabilidade.

**MARCELO SAMPAIO CUNHA FILHO**

Secretário Executivo do Ministério da Infraestrutura

## **PALAVRAS DA SUBSECRETÁRIA DE SUSTENTABILIDADE**

A Subsecretaria de Sustentabilidade, entre suas principais atribuições, tem o papel de implementar as Diretrizes de Sustentabilidade do Ministério da Infraestrutura, instrumento estratégico e balizador para as políticas, planos, programas e projetos setoriais, aliada à premissa de proporcionar infraestrutura viária integrada e confiável para mobilidade segura e eficiente de pessoas, bens e mercadorias.

Os objetivos e estratégias presentes nas Diretrizes de Sustentabilidade, bem como sua aplicação no âmbito do Ministério de suas entidades vinculadas, coloca-os em posição de vanguarda e protagonismo na agenda de sustentabilidade nacional e internacional.

O tema escolhido para o Via Viva 2021, “Investimento Verde e Resiliência”, bem como a realização de estudos e implementação de estratégias para mitigação e adaptação à mudança do clima, demonstram que é possível investir no fortalecimento da agenda ambiental e climática associada à provisão da infraestrutura e ao desenvolvimento econômico e regional.

Em sua quinta edição, o Via Viva - Seminário Socioambiental em Infraestrutura de Transportes é o principal fórum do país para discussão de temas socioambientais que permeiam a infraestrutura em todos os modos de transportes.

A publicação anual do Via Viva apresenta a coletânea de trabalhos técnico-científicos de diversos autores, que guardam relação e complementam as discussões realizadas no evento.

Trata-se de reconhecimento aos autores e aos pesquisadores do Comitê Editorial, que juntos, com compromisso e efetividade, buscaram compartilhar estudos, relatos e resultados, de forma a contribuir para que os temas da resiliência à mudança do clima e das finanças verdes em infraestrutura de transportes sejam disseminados e apreendidos pela sociedade, gestores e profissionais do setor.

**LARISSA CAROLINA AMORIM DOS SANTOS**

Subsecretária de Sustentabilidade do Ministério da Infraestrutura

## APRESENTAÇÃO

Anualmente, o Ministério da Infraestrutura realiza o “Via Viva - Seminário Socioambiental em Infraestrutura de Transportes”, fórum que congrega atores diversos para a discussão socioambiental no escopo da infraestrutura de transportes, alinhado aos objetivos estratégicos e às Diretrizes de Sustentabilidade da Pasta.

Em 2021, o tema escolhido foi “Investimento Verde e Resiliência”, inserido na conjuntura atual de consolidação de investimentos mais verdes e mais resilientes aos eventos climáticos.

Aliada ao evento, é promovida, anualmente, a Chamada Pública para submissão de Artigos Técnico Científicos que comporão a Publicação do Via Viva (ISSN 2675-2662 e-ISSN – 2675-2700) no respectivo ano.

A presente publicação consiste na compilação de trabalhos técnicos submetidos ao V Via Viva, de 2021. Os temas dos trabalhos relacionam-se aos temas do evento, incluindo aspectos de gestão socioambiental de infraestrutura de transportes ou que apresentem resultados de estudos ou experiências profissionais sobre o setor de transportes. Os artigos aqui publicados foram avaliados e aprovados por um Comitê Editorial formado por professores, pesquisadores e profissionais com amplo conhecimento nos temas abordados.

Nesta edição, são apresentados 05 (cinco) trabalhos, divididos em dois eixos, “Resiliência na Infraestrutura de Transportes” e “Promoção de uma Infraestrutura de Transportes Mais Sustentável”. Dentre os autores, destacam-se professores, estudantes, pesquisadores, servidores do Ministério da Infraestrutura, entidades vinculadas e outros órgãos federais e profissionais do setor.

A publicação busca consolidar, a partir dos trabalhos apresentados, parte do amplo espectro socioambiental que envolve as políticas, planos, projetos e investimentos de transportes, em um processo contínuo de aperfeiçoamento da agenda ambiental e climática a ser incorporada de forma permanente por todos aqueles que atuam em transportes e setores correlatos.



**Ponte sobre o Rio Parnaíba entre Santa Filomena/PI e Alto Parnaíba/MA - 20-05-2021 - Foto: Ricardo Botelho**

## COMITÊ EDITORIAL

### ANNELISE VENDRAMINI

Professora dos mestrados de administração e economia da FGV São Paulo. Possui doutorado e mestrado em administração pela Escola de Administração da Universidade de São Paulo. Coordena projetos de pesquisa em finanças sustentáveis e Análise de Ciclo de Vida -ACV no FGVces. Alguns de seus projetos recentes de pesquisa incluem as condições para a canalização de recursos financeiros privados para o desenvolvimento sustentável, valoração de serviços ecossistêmicos, agricultura de baixo carbono, riscos financeiros associados à degradação do capital natural em cadeias de valor agrícolas e finanças da conservação. Annelise tem mais de 20 anos de experiência profissional em análise de investimentos, fusões e aquisições. Sua experiência profissional anterior em finanças e planejamento estratégico inclui trabalhos em diversas organizações, como a *International Finance Organization*, PricewaterhouseCoopers, WWF, Enron, Braskem, Whirlpool SA, entre outras, gerenciando projetos complexos nos setores bancário, de mineração, siderurgia, energia e commodities. (Membro Técnico)

### GEORGE YUN

Mestre em Engenharia Civil pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG, MBA em Gestão Pública com ênfase em projetos pela Fundação Getúlio Vargas - FGV, Especialista em Avaliações e Perícias em Engenharia pelo IBAPE/PUCMINAS, Especialista em Plantas Ornamentais e Paisagismo pela Universidade Federal de Lavras - UFLA. Arquiteto e Urbanista. Atua como Analista de Infraestrutura do Ministério da Economia com autorização de exercício no Ministério da Infraestrutura, desde 2008. Ocupou os cargos de Coordenador e Coordenador-Geral de Desapropriação no Departamento de Gestão Ambiental e Desapropriação na Secretaria Nacional de Transportes Terrestre e Aquaviário do Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil - DGAD/SNTTA/MTPA e atualmente ocupa o cargo de Coordenador-Geral de Projetos Especiais da Subsecretaria de Sustentabilidade - SUST no Ministério da Infraestrutura. (Membro Técnico e Coordenador do Comitê Editorial)

### JOSÉ PEDRO FRANCISCONI JUNIOR

Especialista ambiental e em transportes do Laboratório de Transportes e Logística da Universidade Federal de Santa Catarina - LabTrans/UFSC. Mais de dez anos de experiência na estruturação de projetos de infraestrutura, incluindo o gerenciamento de empreendimentos financiados por organismos internacionais de crédito, licenciamento ambiental, desenvolvimento de estudos e métodos de quantificação de emissão de gases de efeito estufa (GEE) e adaptação da infraestrutura às mudanças climáticas. Recentemente, atuou como Assessor de Meio Ambiente da Secretaria de Estado da Infraestrutura e Mobilidade de Santa Catarina (SIE) e participou da concepção do Plano de Desenvolvimento e Zoneamento (PDZ) do Porto Organizado de Itaquí/MA. Em 2016, realizou a coordenação técnica do estudo das Diretrizes Socioambientais do Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (MTPA). Formação acadêmica: Mestrado em Engenharia de Transportes pelo Instituto Militar de Engenharia - IME; Especialização em Gestão Ambiental pela Universidade Estadual de Maringá - UEM e em Gerenciamento de Projetos pela Faculdade de Tecnologia do Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial (SENAC) e Graduação em Engenharia Agrícola pela UEM e *Universidad Nacional Agraria La Molina* - Peru (UNALM). (Membro Técnico)

### MANOEL DE ANDRADE E SILVA REIS

Engenheiro Naval e Mestre em Engenharia pela Escola Politécnica da USP-Universidade de São Paulo e *Ph.D* pelo MIT - *Massachusetts Institute of Technology*. Na Fundação Getúlio Vargas, em São Paulo, é professor de Logística e Gestão de Cadeias de Abastecimento e Coordenador do Curso de Mestrado em Logística e Cadeia de Suprimentos e do Curso de Logística Empresarial de Educação Continuada. Foi fundador do Centro de Estudos de Logística e Cadeia de Suprimentos - FGVcelog. No FGVcelog,

desenvolve pesquisas em diversos temas. É Coordenador de Projetos da FGV Projetos, onde desenvolve temas associados à logística, transportes, mobilidade urbana, gestão de estoques, portos e cidades inteligentes. No passado, foi Diretor da Divisão de Engenharia Naval e Oceânica do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT; Diretor de Sistemas de Engenharia da Ductor Implantação de Projetos; Diretor de Logística do Grupo Libra de Navegação; Diretor Superintendente da Grancarga Marítima; Professor do Departamento de Engenharia Naval da Escola Politécnica da USP; Assessor do Secretário de Logística e Transportes do Estado de São Paulo, nas áreas de portos e sistemas de transporte; Coordenador do grupo de trabalho da Secretaria de Logística e Transportes do Estado de São Paulo, para a transferência da gestão do Porto de Santos do Governo Federal para o Estado de São Paulo e Representante do Governo do Estado de São Paulo no CAP – dos portos de Santos e São Sebastião e no Conselho de Administração da FEPASA - Ferrovia Paulista S.A. (Membro Técnico)

## **SANDRO FILIPPO**

Possui Doutorado em Engenharia de Transportes pela COPPE/UFRJ (2008), Mestrado em Engenharia de Transportes pelo Instituto Militar de Engenharia (2000), Especialização em Administração Pública pela UGF (2014), Especialização em Engenharia de Saúde Pública pela ENSP/Fiocruz (1995) e Graduação em Engenharia Civil pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1991). Em 1993, concluiu o Curso de Formação de Oficiais do Quadro de Engenheiros Militares - QEM no Instituto Militar de Engenharia - IME do Exército Brasileiro, na especialidade de Engenharia de Fortificação e Construção. No ano de 2009, participou do Programa de Intercâmbio entre Pessoal Militar, trabalhando como pesquisador no *Engineer Research and Development Center do U.S. Army Corps of Engineers - ERDC/USACE*, em Vicksburg, Estado do Mississippi, nos EUA. Entre 2000 e 2005, atuou como Professor nomeado no IME, na graduação e pós-graduação, lecionando principalmente nas áreas de saneamento básico, instalações hidráulicas, transportes e meio ambiente. Entre 2010 e 2017, exerceu, como engenheiro militar, as funções de adjunto, chefe e assessor no Departamento de Engenharia e Construção e na Diretoria de Patrimônio Imobiliário e Meio Ambiente do Exército Brasileiro. Em 2019, foi Coordenador-Geral de Gestão Ambiental e Territorial na Secretaria de Nacional de Transporte Terrestres do Ministério da Infraestrutura. Em 2019 e 2020, atuou como consultor técnico da Agência Nacional das Águas e do Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA, no Projeto de Cooperação Técnica BRA/ IICA/18/001 – Planos de Recursos Hídricos – ANA / MDR. Possui como condecorações principais: Medalha da Ordem do Mérito Militar, Medalha do Pacificador, Medalha Militar de Prata, Medalha de Serviço Amazônico e *U.S. Army Commendation Medal*. (Membro Técnico)

## **VALENTÍN SANTANDER RAMÍREZ**

Contador Público e Auditor, Universidade de Talca, Chile (1989). Mestre em Administração de Empresas, Instituto de Desenvolvimento Executivo, IEDE, Chile (2004). Mestre em Gestão e Organização de Negócios, Universidade de Lleida, Espanha (2009). Doutor em Ciências Humanas e Sociais, Universidade de Almería, Espanha, (2016). Acadêmico na Escola de Administração e Auditoria, *Universidad Católica del Maule*, Chile, anos 2000 a 2018. Acadêmico da Escola de Auditoria e Engenharia em Controle de Gestão, na Universidade de Talca, Chile, ano 2018 até a presente data. Atualmente, diretor do Centro de Pesquisa e Estudos Contábeis da Universidade de Talca. Acadêmico no programa de mestrado em Educação, Menção Curricular e Gestão, da Universidade Católica de Maule. Hoje, professor do programa de Mestrado em Gerenciamento e Planejamento Tributário da Universidade de Talca. Revisor de artigos para a revista CAPIC Review. (Membro Técnico)

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACV - Análise de Ciclo de Vida

AET - Autorização Especial de Trânsito

AFRMM - Adicional ao Frete para Renovação da Marinha Mercante

AIA - Avaliação de Impacto Ambiental

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres

ASG - Fatores Ambientais, Sociais e de Governança

CBI - *Climate Bonds Initiative*

CEFET-MG - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

CMMAD - Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento

CO<sub>2</sub> - Dióxido de Carbono

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COP - Conferência do Clima da Organização das Nações Unidas

COPPE/UFRJ - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro

DER - Departamento de Estradas de Rodagem

DGAD - Departamento de Gestão Ambiental e Desapropriação

DME – Dimetil éter

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EIA - Estudo de Impacto Ambiental

ENSP - Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca

EPA - *Environmental Protection Agency*

EPE - Empresa de Planejamento Energético

EPL - Empresa de Planejamento e Logística S.A.

ESG – *Environmental, social and corporate governance*

FEPASA - Ferrovia Paulista S.A.

FGV - Fundação Getúlio Vargas

FGVCELOG - Centro de Excelência em Logística e Cadeia de Suprimentos

FGV CES - Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas

FI - Fator de Impacto

FIOCRUZ - Fundação Oswaldo Cruz

FMM - Fundo da Marinha Mercante

GEE - Gases de Efeito Estufa

GITEC - GITEC Brasil Consultoria Socioambiental

GIZ - *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit*

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

GNL - Gás Natural Liquefeito

GPR - *Ground Penetration*

GSI - Gabinete de Segurança Institucional



HDPO - Óleo de pirólise hidrotratado  
HVO - Óleo vegetal hidrotratado  
IBAPE - Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IBRAM - Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal  
ICT - Infraestrutura crítica de transporte  
IDH – M - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal  
IEC - Infraestrutura crítica  
IEC - Infraestruturas Críticas Europeias  
IME - Instituto Militar de Engenharia  
IMO - *International Maritime Organization*  
INFRAERO - Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária  
IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*  
ISSN - Número Internacional Normalizado para Publicações Seriadas  
JCR - *Journal Citation Report*  
LabTrans - Laboratório de Transportes e Logística da Universidade Federal de Santa Catarina  
LCOF - Custo nivelado da cadeia do combustível  
LGI - Motor marítimo de injeção dupla de gás líquido  
LNG – *Liquefied natural gas*  
Malha Paulista - Malha ferroviária no Estado de São Paulo  
MDR - Ministério do Desenvolvimento Regional  
ME - Ministério da Economia  
MInfra - Ministério da Infraestrutura  
MIT - *Massachusetts Institute of Technology*  
MME- Ministério de Minas e Energia  
MTPA - Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil  
NB - Norma Brasileira  
NBR - Norma Brasileira Registrada  
NCA - Níveis de Critério de Avaliação definidos na NBR 10151  
NDC - Contribuição Nacionalmente Determinada  
nIC – Número de Infraestruturas Críticas  
NOX - Óxidos de Nitrogênio  
ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável  
OECD - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico  
ONU - Organização das Nações Unidas  
PCRV - Programa de Controle de Ruídos e Vibrações  
PDZ - Plano de Desenvolvimento e Zoneamento  
PET/COPPE/UFRJ - Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro  
PIB - Produto Interno Bruto  
PM - Material particulado  
PN - Passagem de nível  
PNA - Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima



PNMC - Política Nacional sobre Mudança do Clima  
PNSIC - Política Nacional de Segurança de Infraestruturas Críticas  
PPI - Programa de Parcerias de Investimentos  
PROADAPTA – Apoio ao governo do Brasil na implementação da sua Agenda Nacional de Adaptação à Mudança do Clima  
PSTM - Plano Setorial de Transporte e Mobilidade Urbana  
PUCMINAS - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais  
QEM - Quadro de Engenheiros Militares  
RIMA - Relatório de Impacto Ambiental  
SENAC - Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial  
SIG - Sistema de Informações Geográficas  
SJRP - São José do Rio Preto  
SNPTA – Secretaria Nacional de Portos e Transportes Aquaviários  
SNTTA - Secretaria Nacional de Transportes Terrestre e Aquaviário  
SNV - Sistema Nacional de Viação  
SOX – Óxidos de Enxofre  
SUST - Subsecretaria de Sustentabilidade  
SVO - Óleo vegetal direto  
TCFD - *Financial Stability Board's Task Force on Climate-related Financial Disclosures*  
TCU - Tribunal de Contas da União  
TKM – Tonelada-quilômetro  
TKU - Tonelada transportada por quilômetro útil  
UEM - Universidade Estadual de Maringá  
UERJ - Universidade Estadual do Rio de Janeiro  
UFLA - Universidade Federal de Lavras  
UFPR - Universidade Federal do Paraná  
UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro  
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina  
UGF - Universidade Gama Filho  
UNALM - *Universidad Nacional Agraria La Molina*  
USACE - *U.S. Army Corps of Engineers*  
USP - Universidade de São Paulo  
USP - *Under-sleeper rubber pads*  
VIA VIVA - Seminário Socioambiental em Infraestrutura de Transportes  
WWF - *World Wide Fund for Nature*

# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
George Yun   Renata Helena da Silva	

## **EIXO I: RESILIÊNCIA NA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES**

<b>IMPACTOS DA MUDANÇA CLIMÁTICA NA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE TERRESTRE À LUZ DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA COM ABORDAGEM BIBLIOMÉTRICA</b> .....	<b>20</b>
Victor Hugo Souza de Abreu   Filipe Batista Ribeiro   Andrea Souza Santos	

<b>AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NO PLANEJAMENTO DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE FERROVIÁRIA</b> .....	<b>36</b>
Bruno Guida Gouveia   Filipe Batista Ribeiro   Marcelino Aurélio Vieira da Silva	

<b>INFRAESTRUTURA CRÍTICA DE TRANSPORTE NO BRASIL E RESILIÊNCIA FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS</b> .....	<b>53</b>
Juliana Júnia Rodrigues   Diego da Silva Camargo	

## **EIXO II: PROMOÇÃO DE UMA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES MAIS SUSTENTÁVEL**

<b>CONTORNO FERROVIÁRIO DE SÃO JOSE DO RIO PRETO: AVALIAÇÃO DOS BENEFÍCIOS SOCIOAMBIENTAIS PARA PROMOÇÃO DA RESILIÊNCIA</b> .....	<b>69</b>
Luciano Augusto Mysczak   Patricia Ruth Ribeiro   Stefani Gabrieli Age	

<b>DESCARBONIZAÇÃO DO TRANSPORTE MARÍTIMO: OPORTUNIDADE PARA ATRAÇÃO DE INVESTIMENTOS SUSTENTÁVEIS</b> .....	<b>82</b>
Cléber Martinez   Maurício Drummond Uzeda	



Aeroporto Internacional de Natal - Governador AluÍzio Alves - 11-01-2021 - Foto: Ricardo Botelho



## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de uma infraestrutura de transporte sustentável deriva de um conjunto de mudanças estruturais que devem ser articuladas em uma sociedade equilibrada nas dimensões social, econômica, ambiental, organizacional, político-institucional e cultural, no qual a informação e o conhecimento precisam ser permutados entre todos os pares, com vistas ao consenso e ao estabelecimento de boas práticas, que extrapolam a avaliação fria da eficiência econômica, frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pelas complexas questões sociais e de governança cada vez mais pungentes no ciclo de vida dos ativos de transportes.

Este livro busca reforçar o diálogo com a sociedade brasileira a respeito da promoção de uma infraestrutura de transportes mais resiliente e, conseqüentemente, mais sustentável. Resultado de reflexões e estudos de doze autores de diversas áreas de conhecimento, representantes do governo, da academia e do setor de transportes.

Dividido em dois eixos, “Resiliência na infraestrutura de transportes” e “Promoção de uma infraestrutura de transportes mais sustentável”, o livro apresenta, inicialmente, estudos relacionados ao diagnóstico sobre as discussões de estudos e perspectivas em torno das mudanças climáticas e da necessidade de promoção de medidas de adaptação para as infraestruturas de transportes, para os modos aéreo, portuário, rodoviário e ferroviário.

O primeiro eixo apresenta, nos dois primeiros trabalhos, uma discussão a respeito do setor de transporte terrestre - rodoviário e ferroviário, e evidencia como os ativos estão expostos aos riscos imediatos ou de longo prazo, acarretados pela mudança climática, estabelecendo a urgência no desenvolvimento de estudos que permitam melhor subsidiar os processos de tomada de decisão. A identificação dos principais impactos da mudança climática na infraestrutura de transporte, por meio da revisão bibliográfica com abordagem bibliométrica ou por análise do ciclo de vida, permite elencar os principais aspectos norteadores sobre o assunto, principais pontos abordados em estudos e estratégias para medidas de adaptação.

O primeiro trabalho, assinado por Victor Hugo Souza de Abreu, Filipe Batista Ribeiro e Andrea Souza Santos demonstra que este tema está crescendo ao longo dos anos, com artigos sendo publicados principalmente em países como Estados

Unidos, China e Reino Unido, com participação ainda tímida do Brasil, ressaltando que existem uma série de potenciais impactos associados a cada ameaça climática, que deve ser encarada de forma contextualizada às particularidades de cada região estudada.

O segundo trabalho, escrito por Bruno Guida Gouveia, Filipe Batista Ribeiro e Marcelino Aurélio Vieira da Silva, com foco no setor ferroviário, aborda a contextualização de estudos desenvolvidos sobre as mudanças climáticas a partir da análise de ciclo de vida. Para tanto, valeu-se de uma extensa revisão bibliométrica direcionada aos temas de “infraestrutura ferroviária” e “análise de ciclo de vida”, na qual foi possível destacar os tópicos e elementos mais relevantes para o setor, cujos resultados indicam recomendações ao planejamento do transporte por ferrovia.

O último artigo do primeiro eixo, escrito por Juliana Júnia Rodrigues e Diego da Silva Camargo, apresenta uma visão mais ampla da resiliência, ao descrever como a sociedade moderna vem estabelecendo uma relação cada vez mais dependente dos sistemas de infraestrutura, críticos na sua interdependência, que em eventual interrupção, reverberariam impactos socioeconômicos, geopolíticos ou de segurança, e, como estas infraestruturas críticas guardam relação aos riscos associados às mudanças climáticas em contexto mundial, por último, o artigo apresenta um panorama sobre a promoção de infraestrutura crítica de transporte resiliente às mudanças climáticas no contexto brasileiro.

O segundo eixo, “Promoção de uma infraestrutura de transportes mais sustentável” apresenta dois artigos relacionados a benefícios ambientais, do ponto de vista da mitigação e adaptação, advindos da execução de empreendimentos e da operação de transportes, nos modos rodoviário e de transporte marítimo.

No primeiro, apresentado por Luciano Augusto Mysczak, Patricia Ruth Ribeiro e Stefani Gabrieli Age, são abordados desafios de coexistência entre ferrovias e áreas urbanas, que alteram a dinâmica das cidades, operações ferroviárias e a qualidade de vida da população. O artigo associa a construção do contorno ferroviário de São José do Rio Preto à minimização de conflitos urbanos acarretando uma promoção da resiliência, sustentada pela indicação de ganhos socioambientais para o Município, bem como o

aumento da eficiência energética, pela destacada redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), e maior eficiência operacional da ferrovia com a implementação do referido projeto de contorno.

Por fim, o artigo escrito por Cléber Martinez e Maurício Drummond Uzeda, reconhecem a descarbonização do transporte marítimo como uma oportunidade efetiva para a atração de investimentos para o setor, por meio da estruturação de projetos sustentáveis, devido à possibilidade de substituição do combustível convencional marítimo, *bunker*, pelos combustíveis alternativos, com destaque àqueles com maior vantajosidade ao mercado nacional, como biocombustíveis e Gás Natural Liquefeito (GNL). Adicionalmente, os autores apresentam oportunidades de revisão do arcabouço de fomento

ao setor naval e do transporte marítimo existentes no mercado internacional, visando à promoção de medidas mais adequadas à transição para uma economia de baixo carbono para o setor.

Este livro agrega e se conecta as edições anteriores, fruto da contribuição de mais de setenta estudiosos, profissionais do setor e pesquisadores de diversas áreas do conhecimento, que se dedicaram a contribuir com o debate desde a primeira edição, inserindo provocações em temas desafiadores, em virtude da complexidade e importância das questões relacionadas à sustentabilidade. Espera-se, assim, que os leitores encontrem, nesta coletânea, motivação para se apropriarem das experiências e reflexões dos autores e se sintam convidados a compartilhar as suas próprias percepções sobre estes temas na edição vindoura.

# EIXO I

## RESILIÊNCIA NA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES



# IMPACTOS DA MUDANÇA CLIMÁTICA NA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE TERRESTRE À LUZ DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA COM ABORDAGEM BIBLIOMÉTRICA

## RESUMO

O setor de transporte terrestre, seja ele rodoviário ou ferroviário, está exposto a riscos acarretados pela mudança climática, que pode causar sérios danos à infraestrutura, com a redução da vida útil do ativo. Dessa forma, torna-se cada vez mais necessário o desenvolvimento de estudos que busquem identificar os principais impactos da mudança climática na infraestrutura de transporte terrestre. Nesse sentido, este artigo tem como objetivo, por meio de revisão bibliográfica com abordagem bibliométrica, realizar um apanhado geral dos principais aspectos norteadores do assunto sob investigação, destacando os principais impactos nas infraestruturas rodoviária e ferroviária, bem como alguns pontos de atenção quanto às estratégias para medidas de adaptação. Os resultados mostram que o tema está crescendo ao longo dos anos, com artigos sendo publicados principalmente em países como Estados Unidos, China e Reino Unido, com participação ainda pequena do Brasil. Além disso, constata-se que para cada tipo de ameaça climática, tem-se uma série de potenciais impactos que devem ser analisados caso a caso, de acordo com as particularidades da região em estudo, considerando uma visão sistêmica de todas as partes interessadas.

**Palavras-chave:** Infraestrutura de Transporte Terrestre, Mudança Climática; Revisão Bibliométrica; Setor de Transportes.

**Victor Hugo Souza de Abreu**, Doutorando em Engenharia de Transportes pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PET/COPPE/UFRJ). Atualmente, é Consultor do Projeto AdaptaVias, Pesquisador do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas e da Rede Mob.Inc e Professor do *Master in Business Administration* (MBA) em Energias e do MBA em Meio Ambiente da COPPE/UFRJ.

**Andrea Souza Santos**, Professora do Programa de Engenharia de Transportes do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PET/COPPE/UFRJ). Atualmente, é Coordenadora do Projeto AdaptaVias, Coordenadora do *Master in Business Administration* (MBA) em Energias e do MBA em Meio Ambiente da COPPE/UFRJ, Vice-Coordenadora do PET/COPPE/UFRJ e Secretária Executiva do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas.

**Filipe Batista Ribeiro**, Doutorando em Engenharia de Transportes pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PET/COPPE/UFRJ). Atualmente, é Consultor do Projeto AdaptaVias e pesquisador do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas.

# 1 INTRODUÇÃO

A mudança climática constitui-se em uma ameaça significativa para a existência humana atual e futura com o prosseguimento do aquecimento global (KIM; KANG, 2016), e, de acordo com o IPCC (2021), não restam dúvidas de que as atividades humanas aqueceram o planeta e que mudanças rápidas e generalizadas ocorreram no clima ao redor do mundo. Impactos estão agora se concretizando e já têm afetado e, provavelmente, continuarão a alterar o modo como a sociedade funcionará neste século, trazendo uma série de desafios para os sistemas de infraestrutura, como os setores de saneamento, construção civil e transporte, inclusive havendo possibilidade de efeitos em cascata em função das interdependências entre os componentes (CHAPPIN; VAN DER LEI, 2014). Diante disso, torna-se necessário que esses sistemas tenham resiliência suficiente para resistir aos efeitos da mudança climática (EVANS; TSOLAKIS; NAUDE, 2009; SANTOS; RIBEIRO; ABREU, 2020). No setor de transportes, os impactos da mudança climática podem causar sérios danos à sua infraestrutura, tanto de rodovias como ferrovias, afetando todo o ciclo de vida, desde o planejamento, projeto, construção, manutenção e operação (MORETTI; LOPRENCIPE, 2018). Isso destaca a necessidade de considerar a mudança climática em projetos de infraestrutura de transportes que considerem o ciclo de vida completo dos ativos (MALLICK *et al.*, 2014; DAWSON, 2014; MNDawe *et al.*, 2015; BORTOLI, BOUHAYA; FERAILLE, 2020).

Dessa forma, os tomadores de decisão de transportes - tais como autoridades rodoviárias e ferroviárias, instituições governamentais e pesquisadores - precisam realizar avaliações aprimoradas da exposição da infraestrutura de transporte terrestres aos eventos climáticos extremos (SCHLÖGL; LAAHA, 2017), projetando, planejando e gerenciando sua infraestrutura para se mostrar resiliente diante dos potenciais impactos (ROWAN *et al.*, 2013; IPCC, 2014).

Portanto, servindo a esse propósito, este estudo tem como objetivo identificar e analisar, por meio de abordagens bibliométricas, estudos sobre os impactos na infraestrutura de transportes terrestres - rodoviário e ferroviário - que contemplam buscas diretas em três das principais bases de dados internacionais, que são: *ScienceDirect*, *Scopus* e *Web of Science*. Cabe ainda mencionar que, para uma avaliação coerente dos estudos, utilizaram-se critérios de inclusão e qualificação (qualidade e aplicabilidade).

A relevância desse estudo está no fato de que, embora haja um amplo conhecimento de como o setor de transporte urbano pode contribuir para a mudança climática por meio de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), refletido nas medidas de mitigação, pouca atenção tem-se dado aos impactos potenciais e às medidas de adaptação da mudança climática nos sistemas de transporte terrestre (SUAREZ *et al.*, 2005; WANG *et al.*, 2020). Destaca-se ainda que este estudo está alinhado aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 para Desenvolvimento Sustentável da Conferência das Nações Unidas, mais especificamente aos ODS 9 - Indústria, inovação e infraestrutura, ODS11 - Cidades e comunidades sustentáveis e ODS13 - Combate às alterações climáticas (UNITED NATIONS, 2015). Finalmente, este artigo está dividido em mais quatro seções após esta Introdução, que são: (i) descrição do procedimento metodológico para condução eficiente da pesquisa; (ii) apresentação e discussão dos resultados bibliométricos; (iii) um apanhado geral dos principais aspectos norteadores do assunto sob investigação, destacando os principais impactos nas infraestruturas rodoviária e ferroviária e alguns pontos de atenção quanto às estratégias de adaptação para o setor; e (iv) considerações finais, incluindo sugestões para pesquisas futuras.

## 2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A produção do conhecimento, durante os últimos anos, tem gerado uma magnitude de dados e informações em um nível tão elevado que a atividade de curadoria dos conteúdos mais relevantes tem sido um dos maiores desafios de

pesquisadores e estudiosos (BUGBEE; RAMACHANDRAN; MASKEY, 2017). Diante disso, visando obter as informações acerca do estado da arte sobre os impactos da mudança climática na infraestrutura de transporte terrestre, foram

consultados os documentos técnicos desenvolvidos nos últimos dez anos, tendo como referência as três principais bases de dados internacionais que são: (i) *Science Direct*; (ii) *Scopus*; e (iii) *Web of Science*. Vale frisar que a pesquisa bibliométrica tem como foco a análise exploratória dos dados relacionados à temática em questão, visto que o principal insumo utilizado são palavras-chave selecionadas pelos autores, e que se encontram nos resultados da consulta aos repositórios. Dessa forma, este estudo adota como procedimento metodológico uma revisão da literatura que busca identificar, com abordagens bibliométricas, a evolução de estudos sobre a temática em análise. Para isso, adotam-se os seguintes passos: (i) Criação do repositório de pesquisa; (ii) Obtenção dos resultados bibliométricos; e (iii) Discussão dos principais estudos.

No Passo 1, há a criação do repositório de pesquisa, que engloba três estágios, que são:

- Protocolo de revisão bibliográfica: Tem como propósito definir os objetivos do artigo, os critérios de inclusão e qualificação (qualidade e aplicabilidade) e o método de busca. Salienta-se que, como critérios de inclusão, foram considerados: (i) tempo de cobertura: preferência aos estudos publicados nos últimos 10 anos; (ii) enquadramento com o objetivo proposto; e (iii) prestígio da fonte. Além disso, como critérios de qualificação tem-se: (i) Os argumentos são expostos claramente e sem viés subjetivo? (ii) Há inovação técnica ou contribuição para o estado da arte? (iii) O estudo busca averiguar os impactos da mudança climática na infraestrutura de transporte terrestre e não o inverso?
- Buscas diretas: Tem como propósito realizar a condução das pesquisas por meio de buscas diretas em bases de dados como *Web of Science*, *Scopus* e *Science Direct*, por meio de combinações entre palavras-chave como: '*Climate Change*', '*Risk*', '*Impact*', '*Land Transport*', '*Road Infrastructure*', '*Highway Infrastructure*', '*Railway*

*Infrastructure*', '*Railroad Infrastructure*', dentre outras.

- Triagem de estudos e obtenção do repositório final: Por fim, realiza-se uma análise completa dos artigos e documentos encontrados e aplicação dos critérios de inclusão e qualificação para triagem final dos estudos, obtendo assim o repositório de pesquisa. O objetivo foi alcançar um equilíbrio entre abrangência e relevância para o assunto.

No Passo 2, são realizadas as análises bibliométricas propriamente ditas, que consistem na construção e análise de gráficos e tabelas, desenvolvidas com auxílio de algumas ferramentas tais como o Excel, Plataforma Bing, VosViewer, Tableau etc. Essas ferramentas permitem auxiliar o processo de visualização dos resultados de forma clara e direta, bem como tornar o estudo mais dinâmico e bem fundamentado, apontando aspectos relevantes acerca da evolução da pesquisa ao longo dos últimos anos.

Por fim, no Passo 3, há uma discussão dos resultados da revisão bibliográfica, que consiste em uma apresentação da visão geral dos principais impactos da mudança climática na infraestrutura de transporte terrestre - dividida em transporte rodoviário e transporte ferroviário -, bem como da necessidade de desenvolvimento de estratégias de adaptação. Essa etapa é corroborada pelas ideias de que os impactos da mudança climática nas infraestruturas de transporte são reais e significativos e que todas as agências de transporte no mundo podem e precisam considerar os efeitos potenciais em suas infraestruturas de transporte e desenvolver estratégias de adaptação adequadas para enfrentar os desafios atuais e futuros (RATTANACHOT et al., 2015). Nesse sentido, a consciência de como adaptar as infraestruturas às consequências da mudança climática é essencial para ponderar o que fazer agora para garantir o fornecimento de energia e serviços de transporte nas próximas décadas (CHAPPIN; VAN DER LEI, 2014).

### 3 RESULTADO DAS ANÁLISES BIBLIOMÉTRICAS

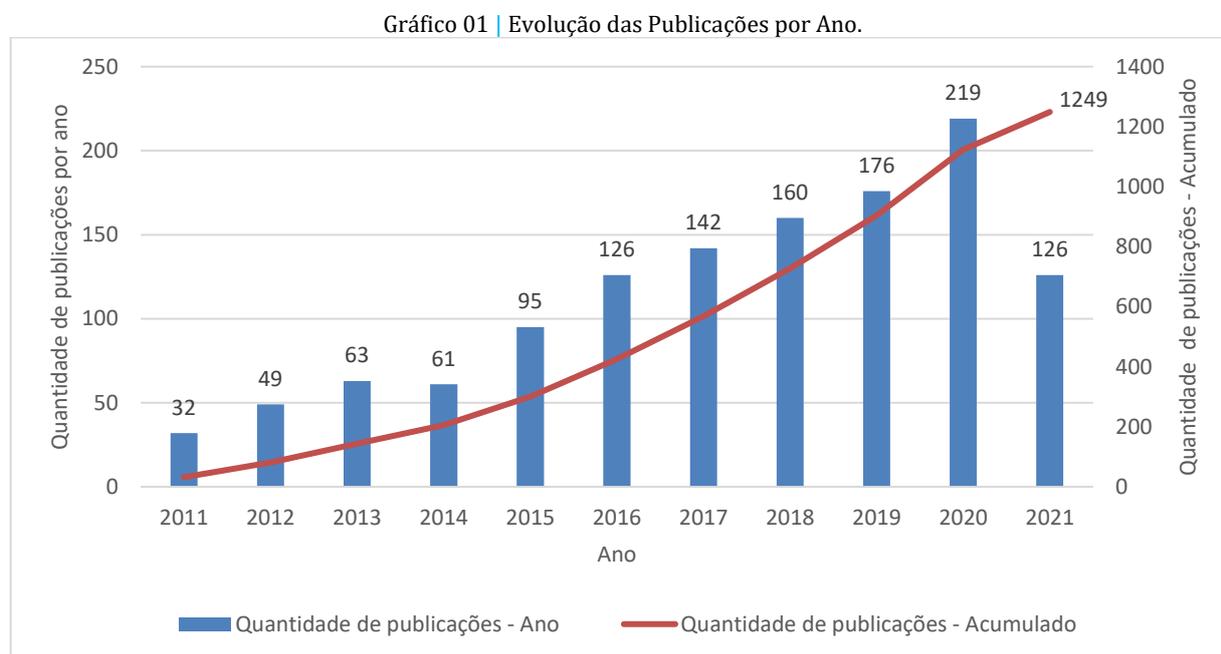
A partir da busca realizada nas bases de dados, foi possível verificar que 1.249 publicações estavam aptas a serem incluídas no repositório de pesquisa, ou seja, atendiam aos critérios de inclusão e

qualificação (qualidade e aplicabilidade). Nesse sentido, nas próximas subseções estão as principais análises realizadas.

### 3.1 Publicações por ano

O Gráfico 01 mostra a evolução das publicações sobre o tema ao longo dos anos. Isso permite identificar se um assunto está defasado ou se está

em alta, seguindo uma curva ascendente, com diversas oportunidades de estudos.



Fonte: Elaboração própria.

Pelo Gráfico 01, verifica-se que, a partir de 2010, o número de publicações tem crescido ao longo dos anos (exceto de 2013 para 2014, que apesar de um pequeno declínio, manteve a ordem de grandeza anterior), informação que demonstra que o assunto é fortemente investigado atualmente e que possivelmente apresenta diversas oportunidades para novos

estudos. Corroborando ainda mais para essa afirmativa, há um ápice no número de publicações em 2020 e a curva acumulada, com inclinação cada vez mais acentuada, representa o interesse crescente sobre o tema ao longo dos anos.

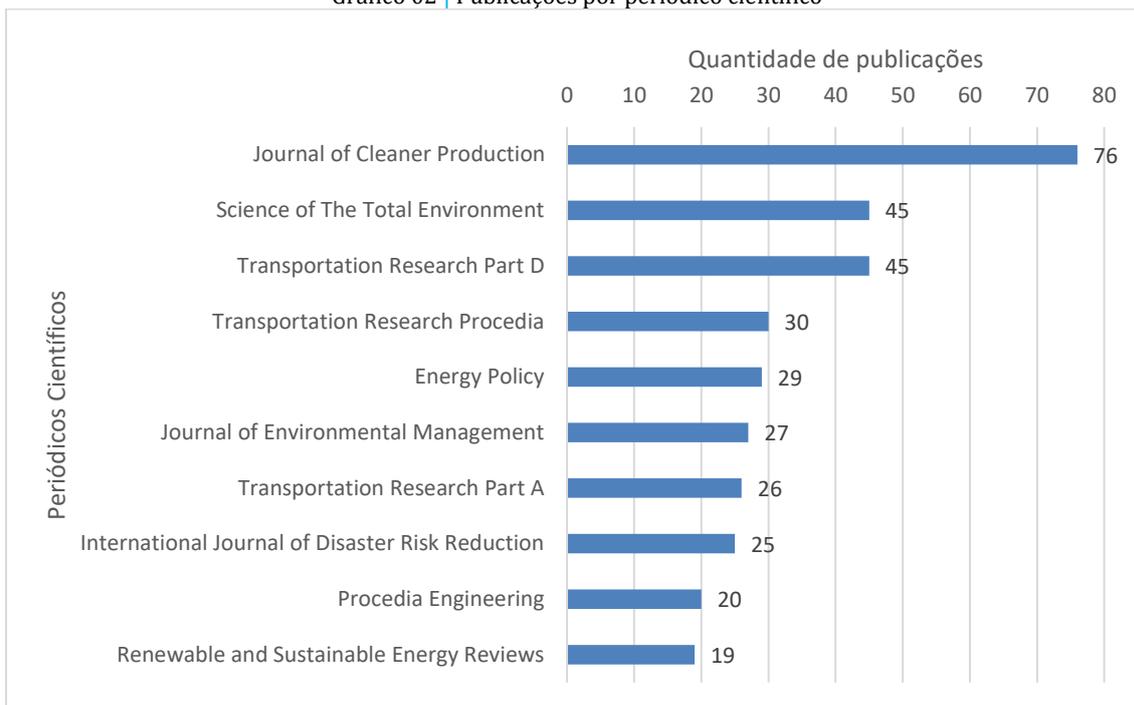
### 3.2 Publicações por periódico

Torna-se também pertinente avaliar os estudos por periódico de publicação, de modo a identificar quais são as revistas que mais se interessam pelo assunto recentemente, bem como o fator de impacto de cada uma delas. Isso permite que pesquisadores direcionem seus esforços de publicação para periódicos que se interessam diretamente pelo assunto estudado, evitando perder tempo na etapa de submissão em revistas que não tratam

especificamente da temática e que, conseqüentemente, rejeitariam a publicação.

Nesse sentido, o Gráfico 02 apresenta os periódicos mais relevantes, bem como seu volume de publicações. Dessa forma, identifica-se que os periódicos que mais abordam o assunto são: o *Journal of Cleaner Production*, com 76 publicações, o *Transportation Research Part D* e o *Science of the Total Environment*, com 45 publicações cada.

Gráfico 02 | Publicações por periódico científico



Fonte: Elaboração própria.

Pode-se ainda realizar avaliação quanto ao Fator de Impacto (FI) desses periódicos, que avalia sua importância científica em suas respectivas áreas de atuação. Nesse sentido, a Figura 01 apresenta os FI dos principais periódicos sobre a

temática, sendo consideradas aquelas revistas que, além de FI, também apresentam *Journal Citation Report* (JCR), com valores correspondentes ao ano de 2019.

Figura 01 | Periódicos por Fator de Impacto.



Fonte: Elaboração própria.

Pela Figura 01, nota-se que o *Journal of Cleaner Production*, além de ser o periódico com maior número de publicações, também é aquele com maior FI, superior a 7,0, seguido do *Journal of Environmental Management*, com FI superior a 5,5, e o *Energy Policy*, com FI em torno de 5,0. Isso

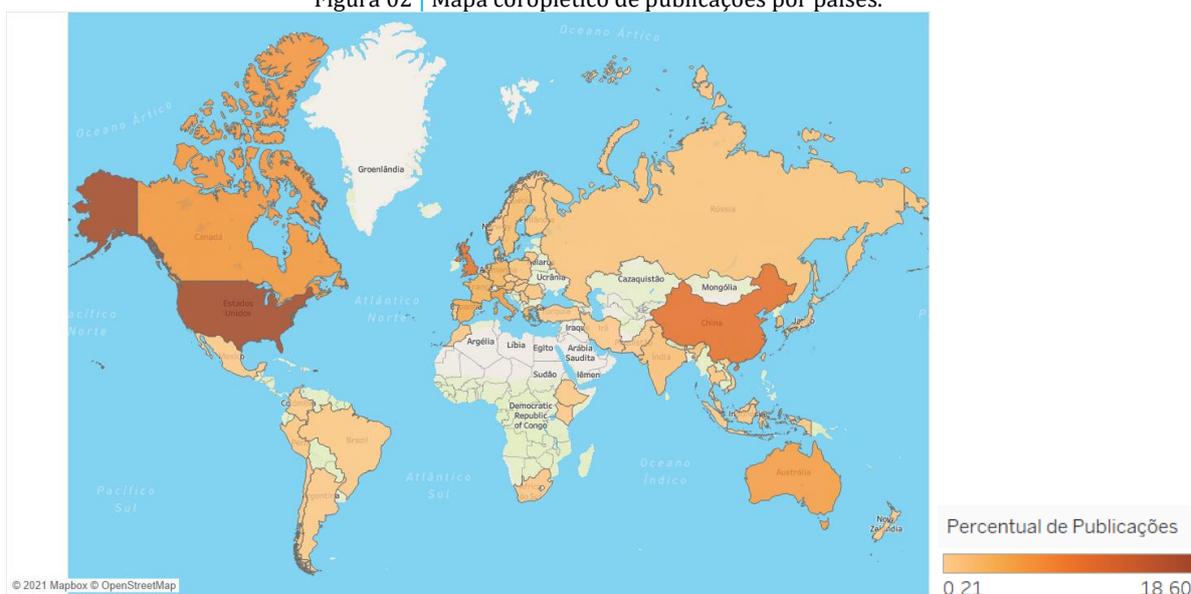
demonstra que o assunto tem despertado interesses de publicação em grandes meios de informação científica, que podem aumentar o prestígio internacional dos autores que publicarem estudos nessas revistas.

### 3.3 Publicações por país

Também se considera pertinente avaliar quais são os países de origem das instituições de ensino e entidades dos autores que mais desenvolvem artigos relevantes sobre o assunto recentemente, ou seja, trata-se de uma identificação da origem/base de trabalho dos pesquisadores. Isso permite mostrar quais são os países que mais se

interessam sobre a temática, bem como demonstrar carência de investimentos em pesquisa em outros, como uma lacuna importante. Dessa forma, os países que apresentam publicações incluídas no repositório de pesquisa se encontram identificados na Figura 02, desenvolvido com auxílio do software Tableau (Ferramenta Open Street Map).

Figura 02 | Mapa coroplético de publicações por países.



Fonte: Elaboração própria.

Pela Figura 02, é possível perceber que os países que mais publicam estudos sobre a temática são os Estados Unidos, com 18% das publicações e República da China e Reino Unido, com 11% das publicações cada. Cabe destacar ainda que o

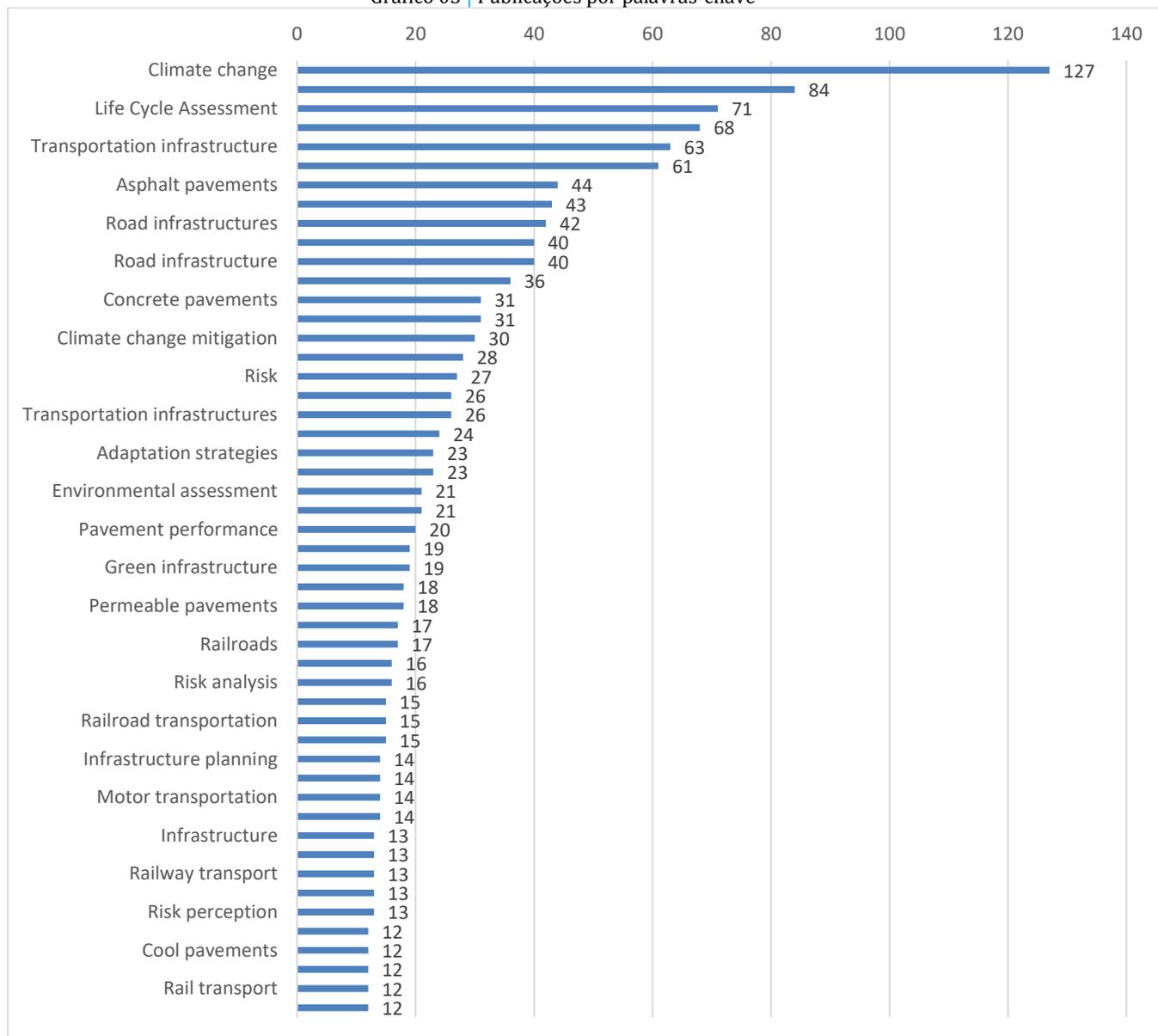
assunto começa a se expandir no restante dos países, inclusive com participação ainda pequena do Brasil, com menos de 1% das publicações.

### 3.4 Publicações por palavras-chave

Considera-se pertinente ainda realizar uma avaliação quanto às principais palavras-chave recentemente utilizadas na literatura, conforme pode ser identificado no Gráfico 03. Essa estratégia permite que pesquisadores encontrem mais

facilmente estudos diretamente relacionados ao assunto investigado, bem como identifiquem novos rumos de pesquisa que podem ser tomados e possam consolidar repositórios de pesquisa sobre a temática sem grandes esforços.

Gráfico 03 | Publicações por palavras-chave



Fonte: Elaboração própria.

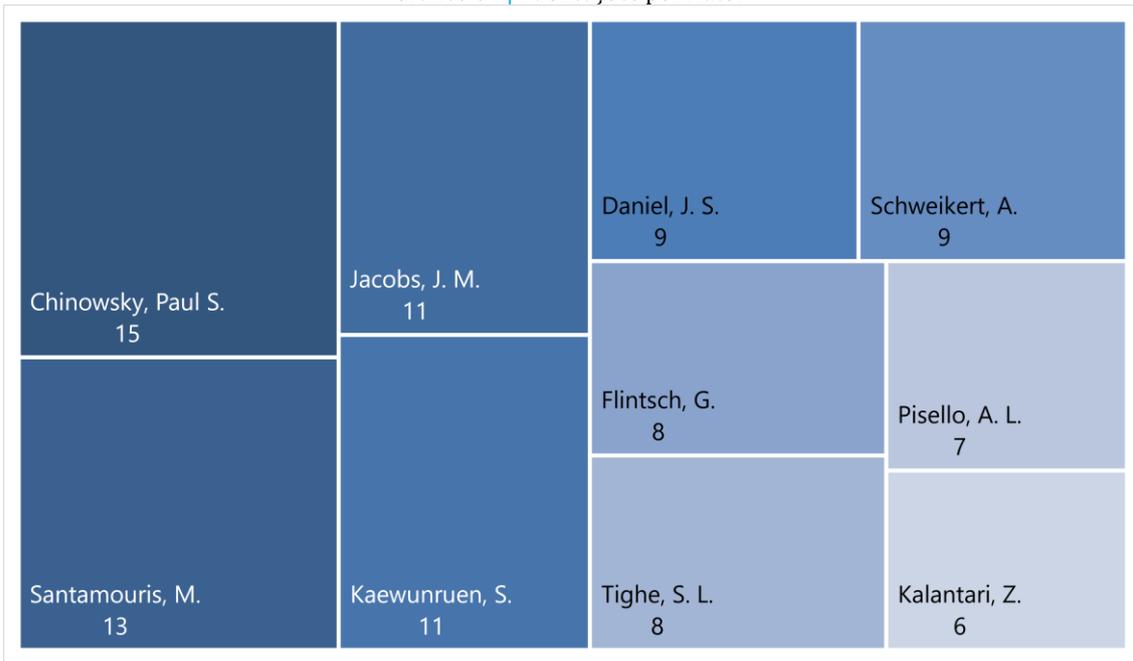
Pelo Gráfico 03, é possível perceber palavras-chave mais recorrentes e intuitivas como ‘mudança climática’ (do inglês, ‘*climate change*’), ‘adaptação à mudança climática’ (do inglês, ‘*climate change adaptation*’) e ‘avaliação do ciclo de vida’ (do inglês, ‘*life cycle assessment*’). Além disso, nota-se a presença de palavras-chave diretamente relacionadas à infraestrutura viária tais como pavimentos asfálticos (do inglês, ‘*asphalt pavements*’), infraestrutura rodoviária (do inglês, ‘*road infrastructure*’) e ferrovias (do inglês, ‘*railway*’), e outras referentes às possíveis ameaças climáticas tais como ilhas de calor (do inglês, ‘*heat island*’) e ainda outras relacionadas diretamente à adaptação tais como estratégias de adaptação (do inglês, ‘*adaptation strategies*’) e sistemas de

drenagem sustentáveis (do inglês, ‘*sustainable drainage systems*’).

Acredita-se também ser interessante avaliar as redes de interconexão entre as palavras-chave encontradas nos artigos incluídos no repositório de pesquisa, conforme identificado na Figura 03, desenvolvida com auxílio do software VosViewer. Na rede apresentada na Figura 03, é possível identificar as palavras-chave mais utilizadas (de acordo com o diâmetro do círculo sob sua representação), as interconexões entre elas (de acordo com as conexões entre os círculos) e o ano médio de publicação dos trabalhos que contém as palavras-chave (de acordo com a cor delas e de suas ligações).



Gráfico 04 | Publicações por Autor.

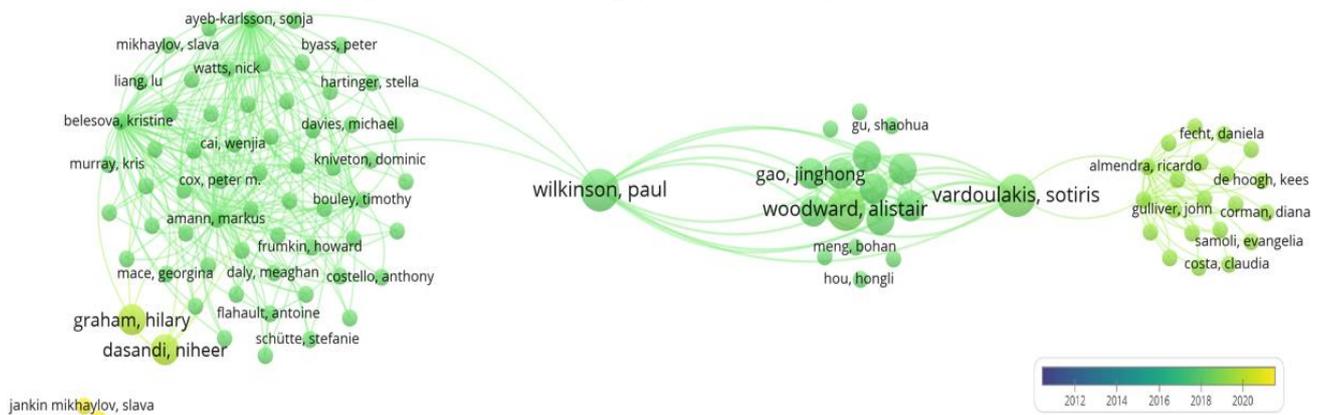


Fonte: Elaboração própria.

Além disso, assim como a rede de interligação entre as palavras-chave, também é possível desenvolver uma rede de interligação entre os autores, que também apresenta o ano de realização das parcerias, conforme apresentado na Figura 05, elaborada, mais uma vez, com auxílio do

software VosViewer. Cabe mencionar que a maioria das parcerias/autores identificados referem-se ao transporte rodoviário, que inclusive representa a maior parte das publicações.

Figura 05 | Rede de interligação entre os principais autores.



Fonte: Elaboração própria.

## 4 RESULTADOS DAS ANÁLISES BIBLIOGRÁFICAS

As infraestruturas de transporte proporcionam o deslocamento de pessoas e bens, em condições normais e de emergência (MORETTI; LOPRENCIPE, 2018), permitindo assim acesso aos bens e serviços disponíveis nas cidades (SANTOS *et al.*, 2021), e sendo assim essenciais para a

economia e a sociedade (COLIN; PALHOL; LEUXE, 2016). A mudança climática cria vários desafios para o setor de transportes, que é altamente vulnerável às condições de tempo e clima devido à ocorrência de eventos climáticos extremos (KOETSE; RIETVELD, 2012; IPCC, 2014; PBMC,

2014; RATTANACHOT *et al.*, 2015; BACHNER, 2016). Também, o risco climático de uma infraestrutura de transporte depende de uma variedade de fatores, incluindo sua natureza, localização, características de projeto e práticas de construção (RATTANACHOT *et al.*, 2015).

Atualmente, embora a maior quantidade de estudos foque em medidas de mitigação da mudança climática, ou seja, a redução de emissão de Gases de Efeito Estufa (HUNT; WATKISS, 2011; IPCC, 2014), uma crescente quantidade de estudos tem sido elaborada para avaliar e documentar os impactos da mudança climática na infraestrutura de transporte terrestre (WANG *et al.*, 2020), fornecendo orientações sobre os tipos de impactos potenciais, bem como possíveis estratégias para adaptação a esses impactos (MALLICK *et al.*, 2016; COLIN; PALHOL; LEUXE,

2016).

Isso porque os efeitos das mudanças climáticas nos sistemas de infraestrutura podem ser percebidos de várias maneiras (LAMBERT *et al.*, 2011) e medidas de prevenção e proteção devem ser adotadas com maior frequência no interesse da segurança coletiva (MORETTI; LOPRENCIPE, 2018). Nesse sentido, nesta seção busca-se destacar os principais pontos relevantes no que se concebe aos impactos da mudança climática na infraestrutura de transporte terrestre, dividida em transporte rodoviário e transporte ferroviário. Além disso, fazem-se considerações sobre a necessidade de implementação de medidas de adaptação na infraestrutura de transporte terrestre.

## 4.1 Transporte Rodoviário

Estudos anteriores mostraram que, durante eventos climáticos extremos, a integridade e a segurança da infraestrutura rodoviária podem ser comprometidas, levando muitas vezes a acidentes graves (MITSAKIS *et al.*, 2014; DIAKAKIS *et al.*, 2016). Além disso, existem provas concretas da redução da vida útil do pavimento relacionada à mudança climática, destacando a necessidade de considerá-las em projetos regulares de infraestrutura rodoviária que considerem todos os estágios do ciclo de vida (MALLICK *et al.*, 2014; DAWSON, 2014; MNDawe *et al.*, 2015). Os impactos na infraestrutura de transporte rodoviário podem ser divididos por ameaça climática, tais como altas temperaturas/ondas de calor, precipitação intensa, condições de secas, elevação do nível do mar, ventos fortes e degelo do *permafrost* (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008).

Em relação às temperaturas extremas, tanto altas quanto baixas, podem existir preocupações com relação à integridade do pavimento em virtude de danos, tais como: deflexões elevadas, fissuras transversais, redução da taxa de deformação do pavimento asfáltico e deformação permanente (DAWSON, 2014; DAWSON *et al.*, 2016; SONG *et al.*, 2018), degradação precoce de juntas de dilatação de pontes/viadutos e superfícies pavimentadas, principalmente de concreto de cimento Portland (EVANS; TSOLAKIS; NAUDE, 2009) e impactos na fase de construção e manutenção de rodovias e

estruturas de concreto, devido a exposição dos trabalhadores às condições extremas (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008).

Quanto à precipitação intensa, podem ser destacados impactos tais como: aumentos na inundação de rodovias (pavimentadas e não pavimentadas) e túneis subterrâneos (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008; DAWSON *et al.*, 2016; ALAMDARI *et al.*, 2018), diminuição da vida útil do pavimento devido aos danos prematuros de materiais e estrutura (MNDawe *et al.*, 2015; DAWSON, 2014; RATTANACHOT *et al.*, 2015), deslocamento de massa de solo e rocha mais frequentes (deslizamentos), que geram bloqueios ou mesmo colapso da via (EVANS; TSOLAKIS; NAUDE, 2009; NEMRY; DEMIREL, 2012; RATTANACHOT *et al.*, 2015) e erosão das camadas do pavimento rodoviário e fundações de ponte (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008; NEMRY; DEMIREL, 2012; DAWSON *et al.*, 2016; WORLD BANK, 2017).

As condições de secas acarretam impactos como problemas de instabilidade na infraestrutura (GÜNERALP; GÜNERALP; LIU, 2015), maior suscetibilidade aos incêndios florestais, que ameaçam diretamente a infraestrutura de transporte, e aos deslizamentos de solo em áreas devastadas por esses incêndios (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008; EVANS; TSOLAKIS; NAUDE, 2009) e perda de cobertura do solo, favorecendo a erosão pela lixiviação de solos finos, resultando na obstrução dos dispositivos de drenagem (DAWSON, 2014).

Outra ameaça climática bem recorrente é a elevação do nível do mar, que pode causar inundação, ou mesmo colapso, de estradas em áreas costeiras (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008; REGMI; HANAOKA, 2011; DAWSON, 2014; DAWSON *et al.*, 2016; ASADABADI; MILLER-HOOKS, 2017), inundações mais frequentes ou graves de túneis subterrâneos e infraestrutura de baixa altitude (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008; EVANS; TSOLAKIS; NAUDE, 2009; DAWSON *et al.*, 2016), erosão das camadas da estrada e fundações de ponte, assim como desgaste da estrutura (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008; EVANS; TSOLAKIS; NAUDE, 2009; NEMRY; DEMIREL, 2012; DAWSON, 2014; DAWSON *et al.*, 2016; ASADABADI; MILLER-HOOKS, 2017).

Deve-se atentar ainda aos ventos fortes que podem causar impactos na operação das

rodovias, podendo em certas velocidades até mesmo causar sérios danos à infraestrutura (WORLD BANK, 2017), danos permanentes à sinalização (DAWSON *et al.*, 2016), tensões de fadiga nas pontes, podendo ocasionar efeito de ressonância (WORLD BANK, 2017).

Por último, em relação a elevação da temperatura do Ártico que provoca o degelo do *permafrost*, acredita-se que os impactos mais sentidos são deformação plástica (afundamento) de rodovias, descalçamento de fundações de pontes (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008; RATTANACHOT *et al.*, 2015), redução do tempo de uso para estradas de gelo (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008) e comprometimento grave da infraestrutura de estradas de gelo (PROWSE *et al.*, 2009).

## 4.2 Transporte Ferroviário

As condições meteorológicas extremas têm muitos impactos nas operações ferroviárias e na segurança de tráfego, e podem causar danos materiais, ferimentos e mortes (BINTI SA'ADIN; KAEWUNRUEN; JAROSZWESKI, 2016). A infraestrutura ferroviária, incluindo trabalhos de terraplenagem, obras de arte especiais e correntes, estrutura de via permanente, sinalização e rede de alimentação elétrica aérea assim como as operações ferroviárias, são, em muitos países, alguns dos elementos mais afetados pelos impactos da mudança climática (HEINZ-PETER, 2017), sendo reconhecida a necessidade de considerar esses impactos nas políticas e projetos de desenvolvimento e adaptação nos sistemas ferroviários (KRAMER; PRUDENT-RICHARD; SAINSBURY, 2010; DIAKAKIS *et al.*, 2016), principalmente com a ocorrência de eventos mais frequentes e graves (WANG *et al.*, 2020).

Nesse sentido, os potenciais impactos que podem ser ocasionados pelos riscos climáticos à infraestrutura de transporte ferroviário são apresentados a seguir, seguindo a mesma linha de raciocínio da Subseção 4.1. que aponta os principais riscos para as seguintes ameaças climáticas: (i) temperaturas extremas /ondas de calor; (ii) precipitação intensa; (iii) condições de secas; (iv) elevação do nível do mar, (v) ventos fortes; e (vi) degelo do *permafrost*.

As temperaturas extremas e ondas de calor podem causar flambagem do trilho (empenamento), gerando defeitos de geometria e comprometendo o uso da via (NATIONAL

RESEARCH COUNCIL, 2008; NEMRY; DEMIREL, 2012; DAWSON *et al.*, 2016; HEINZ-PETER, 2017; WORLD BANK, 2017; WANG *et al.*, 2020). Sobre os trens movidos a energia elétrica, como os de passageiros do transporte urbano, essa ameaça climática pode ainda acarretar alterações na catenária (rede de alimentação elétrica aérea), devido a variação na cota do terreno em torno das fundações dos postes de fixação (WORLD BANK, 2017; HEINZ-PETER, 2017) e superaquecimento de equipamentos elétricos (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008).

Em relação à precipitação intensa, tem-se impactos como aumento das inundações de linhas ferroviárias e túneis subterrâneos (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008; DAWSON *et al.*, 2016; WANG *et al.*, 2020), inundação de sistemas de passagem subterrânea (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008; NEMRY; DEMIREL, 2012; DAWSON *et al.*, 2016), transporte de material de aterro (erosão), podendo resultar em colmatação do lastro (WANG *et al.*, 2020), sobrecarga nos dispositivos de drenagem da via permanente (WANG *et al.*, 2020) e deslocamento de massa de solo e rocha mais frequentes (deslizamentos) e riscos associados a obstrução da via, os quais podem causar descarrilamento, por exemplo (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008; NEMRY; DEMIREL, 2012; RATTANACHOT *et al.*, 2015; BINTI SA'ADIN; KAEWUNRUEN; JAROSZWESKI, 2016).

As condições de seca podem provocar falhas em taludes, devido à dessecação (HEINZ-PETER, 2017), alterações na catenária, devido

variação na cota do terreno em torno das fundações dos postes de fixação (HEINZ-PETER, 2017), maior suscetibilidade a incêndios florestais que ameaçam diretamente a infraestrutura de transporte e a deslizamentos de solo e rochas em áreas devastadas por esses incêndios (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008).

Já a elevação do nível do mar pode ter impactos como inundação de ferrovias em áreas costeiras (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008; ASADABADI; MILLER-HOOKS, 2017; WANG *et al.*, 2020), inundações mais frequentes ou graves de túneis subterrâneos e infraestrutura de baixa altitude (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008), erosão costeira de taludes (HEINZ-PETER, 2017), galgamento (extrapolação da água do mar sobre as barreiras físicas) e dano de defesas marítimas (PALIN *et al.*, 2013; DAWSON *et al.*, 2016), erosão das camadas inferiores da plataforma e fundações de ponte (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008),

assim como a redução do espaço entre a lâmina d'água e tabuleiro de pontes (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008).

Os ventos fortes acarretam danos ao equipamento de linha de alimentação de energia aérea (catenária) (DAWSON *et al.*, 2016; HEINZ-PETER, 2017), instabilidade de estruturas (WANG *et al.*, 2020) e queda de árvores sobre a linha, bloqueando as vias, causando danos aos trens e derrubando cabeamento (DAWSON *et al.*, 2016; WORLD BANK, 2017; WANG *et al.*, 2020).

E por fim, a elevação da temperatura do Ártico, que provoca o degelo do *permafrost*, pode acarretar elevação da deformação plástica das camadas de suporte do pavimento ferroviário (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008; RATTANACHOT *et al.*, 2015) e colapso das fundações de pontes (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008).

### 4.3 Estratégias de adaptação aos impactos da mudança climática

A mudança climática é uma realidade em todo o mundo e tem representado sérias ameaças às infraestruturas de engenharia, bem como a outras infraestruturas críticas (UGWUSIHIWU *et al.*, 2019). Diante desse cenário, governos, as agências de transporte e outras partes interessadas precisam desenvolver políticas e planos de ações para, além de desenvolver medidas de mitigação das emissões de GEE, priorizar também estratégias de adaptação para melhorar a resiliência das infraestruturas urbanas aos impactos das mudanças climáticas, principalmente naquelas regiões que são as mais vulneráveis aos danos potenciais (RATTANACHOT *et al.*, 2015).

No Brasil, por exemplo, deve-se haver articulação entre os órgãos de governo, instituições privadas ligadas aos transportes, academia e sociedade civil para avançar na adoção das estratégias de adaptação aos impactos da mudança climática nas infraestruturas críticas, principalmente de transportes. Isso porque a mitigação pode revelar-se insuficiente para salvaguardar o bom funcionamento das nossas infraestruturas nas próximas décadas (CHAPPIN; VAN DER LEI, 2014). Cabe destacar ainda que muitas opções de mitigação e de adaptação podem ajudar no enfrentamento da mudança climática, mas nenhuma opção é suficiente por si só (IPCC, 2014). Por isso, cada vez mais faz-se necessário promover a sinergia dessas opções, de forma a

caminhar para uma transição para um transporte de baixo ou zero carbono, bem como adaptar, de forma a aumentar a resiliência do setor.

Especialmente em relação à adaptação, primeiramente, deve-se considerar como os efeitos da mudança climática no sistema de infraestrutura geram impactos em comunidades inteiras e em seu bem-estar. Assim, todo procedimento adotado para estimar e avaliar esses efeitos, bem como que medidas de adaptação devem ser implementadas a partir de uma análise dos possíveis impactos técnicos, econômicos e sociais, envolvendo todas as partes interessadas (MORETTI; LOPRENCIPE, 2018). Além disso, o processo de desenvolvimento de uma estratégia para reduzir os impactos adversos da mudança climática envolve a análise de risco das infraestruturas de transporte, considerando o aumento na frequência e intensidade de eventos meteorológicos adversos; a análise das opções e constrangimentos das estratégias de controle e adaptação e a identificação das estratégias adequadas, com base na análise de risco (RATTANACHOT *et al.*, 2015).

Nesse sentido, as estratégias de adaptação precisam englobar três objetivos principais: (i) prevenir os danos; (ii) proteger as estruturas; e (iii) monitorizar e comunicar sobre as condições atuais das vias (MORETTI; LOPRENCIPE, 2018). Engenheiros e outros profissionais precisam estar

cientos dos possíveis impactos da mudança climática e considerar as projeções climáticas em conjunto com as tendências históricas e as condições atuais, a partir de dados climáticos, enquanto elaboram projetos de engenharia, construções, operações e decisões de manutenção para aumentar a resiliência das infraestruturas de engenharia a esses impactos (UGWUSIHIWU *et al.*, 2019). Além disso, a adaptação baseada em ecossistemas e a criação de infraestruturas verdes têm se tornado estratégias cada vez mais comuns nas grandes cidades do mundo, para estabelecer uma melhor conexão da área urbana com elementos naturais, contribuindo para a adaptação e para a adoção de metas de sustentabilidade mais amplas (LINDLEY *et al.*, 2015).

Para maximizar os benefícios do combate à mudança climática, Regmi e Hanaoka (2011), embora focados em analisar especificamente a infraestrutura rodoviária, extrapolam-se essas análises à infraestrutura ferroviária, identificando a necessidade de: (i) aumentar a conscientização

das partes interessadas sobre os impactos da mudança climática; (ii) revisar os padrões existentes de projeto viário e práticas de construção, considerando os prováveis impactos da mudança climática; (iii) introduzir diretrizes de avaliação do impacto da mudança climática; (iv) estabelecer unidades organizacionais para implementar estratégias de adaptação e (v) melhorar a coordenação entre as várias partes interessadas, para desenvolver uma infraestrutura de transporte resiliente.

Destaca-se ainda que os formuladores de políticas públicas precisam cada vez mais estar atentos sobre as causalidades das e entre as infraestruturas, tanto no domínio técnico quanto no social. Nesse sentido, cada vez mais, estudos são desenvolvidos sobre as interdependências entre as infraestruturas, apresentados principalmente em termos qualitativos e descritivos, havendo ainda a necessidade de explorar essas questões quantitativamente e avaliar as consequências por meio de modelagem (CHAPPIN; VAN DER LEI, 2014).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora os sistemas de transporte e sua infraestrutura sejam projetados para resistir aos padrões climáticos típicos, os impactos da mudança climática, que surgem a curto e longo prazo, podem influenciar na eficiência das operações de transporte e na capacidade da infraestrutura de resistir a eventos extremos. Nesse sentido, este artigo teve como objetivo realizar um apanhado geral de estudos sobre os impactos da mudança climática na infraestrutura de transporte terrestres, ou seja, inclui os modos de transporte rodoviário e ferroviário, por meio de revisão da literatura com abordagem bibliométrica.

As discussões apresentadas ao longo desse estudo sugerem ainda que é importante desenvolver capacidades para análise dos impactos da mudança climática na infraestrutura de transporte terrestre, bem como apontar principais medidas de adaptação que possam ser adotadas para reduzir as consequências potencialmente devastadoras da mudança climática nessa infraestrutura, tais como a

implantação de infraestrutura verde, que tem fornecido opções alternativas e sustentáveis. Além disso, aconselha-se que haja um planejamento participativo que reflita o conhecimento e as sugestões locais para a realização das adaptações necessárias no contexto do planejamento espacial e comunitário, envolvendo todas as partes interessadas.

Apesar de recentes pesquisas demonstrarem um conjunto de possíveis impactos na infraestrutura de transporte, muitas são as lacunas de conhecimento na literatura nacional e internacional, principalmente no que se concebe ao transporte ferroviário. Dessa forma, é preciso fomentar pesquisas para conhecer as vulnerabilidades, riscos e ameaças frente aos possíveis cenários de aquecimento global. Além disso, recomendam-se que códigos de obras e normas levem em conta esses possíveis cenários de mudança climática e a ocorrência de eventos climáticos, cada vez mais frequentes e intensos.

## AGRADECIMENTOS

Os pesquisadores deste estudo, desenvolvido no âmbito do Projeto PROADAPTA, agradecem a toda equipe

do Projeto AdaptaVias. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Além disso, este trabalho foi financiado pela Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, sob matrícula #2021007191.

## REFERÊNCIAS

1. ALAMDARI, Nasrin *et al.* Assessing climate change impacts on the reliability of rainwater harvesting systems. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 132, p. 178-189, 2018. doi: 10.1016/j.resconrec.2017.12.013
2. ASADABADI, Ali; MILLER-HOOKS, Elise. Assessing strategies for protecting transportation infrastructure from an uncertain climate future. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 105, p. 27-41, 2017. doi: 10.1016/j.tra.2017.08.010
3. BACHNER, Gabriel. Assessing the economy-wide effects of climate change adaptation options of land transport systems in Austria. **Regional Environmental Change**, v. 17, n. 3, p. 929-940, 2017. doi: 10.1007/s10113-016-1089-x
4. BINTI SA'ADIN, Sazrul Leena; KAEWUNRUEN, Sakdirat; JAROSZWESKI, David. Operational readiness for climate change of Malaysia high-speed rail. In: **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport**. Thomas Telford Ltd, 2016. p. 308-320. doi: 10.1680/jtran.16.00031
5. BORTOLI, A.; BOUHAYA, L.; FERAILLE, A. A life cycle model for high-speed rail infrastructure: environmental inventories and assessment of the Tours-Bourdeaux railway in France. *The Journal of Life Cycle Assessment*. 2020. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01727-2>BUGBEE, Kaylin *et al.* The art and science of data curation: Lessons learned from constructing a virtual collection. **Computers & Geosciences**, v. 112, p. 76-82, 2018. doi: 10.1016/j.cageo.2017.11.021
6. CHAPPIN, Emile JL; VAN DER LEI, Telli. Adaptation of interconnected infrastructures to climate change: A socio-technical systems perspective. **Utilities Policy**, v. 31, p. 10-17, 2014.
7. COLIN, Marie; PALHOL, Fabien; LEUXE, André. Adaptation of transport infrastructures and networks to climate change. **Transportation Research Procedia**, v. 14, p. 86-95, 2016.
8. DAWSON, R. J. *et al.* **UK climate change risk assessment evidence report: chapter 4, infrastructure**. Report prepared for the Adaptation Sub-Committee of the Committee on Climate Change. 2016.
9. DAWSON, Andrew. Anticipating and responding to pavement performance as climate changes. In: **Climate change, energy, sustainability and pavements**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2014. p. 127-157. doi: 10.1007/978-3-662-44719-2\_4
10. DIAKAKIS, Michalis *et al.* Vulnerability of transport infrastructure to extreme weather events in small rural catchments. **European Journal of Transport and Infrastructure Research**, v. 16, n. 1, 2016. doi: 10.18757/ejtir.2016.16.1.3117
11. EVANS, Caroline; TSOLAKIS, Dimitris; NAUDÉ, Clifford. Framework to address the climate change impacts on road infrastructure assets and operations. In: **ATRF Conference**. 2009.
12. GÜNERALP, Burak; GÜNERALP, İnci; LIU, Ying. Changing global patterns of urban exposure to flood and drought hazards. **Global environmental change**, v. 31, p. 217-225, 2015. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2015.01.002
13. HEINZ-PETER, B. Risks and consequences of wards on railway infrastructure. *Journal of Polish Safety and Reliability Association*. **Summer Safety and Reliability Seminars**, 8(1), 1-11, 2017.
14. HUNT, Alistair; WATKISS, Paul. Climate change impacts and adaptation in cities: a review of the literature. **Climatic change**, v. 104, n. 1, p. 13-49, 2011. doi: 10.1007/s10584-010-9975-6
15. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press, 2021.
16. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **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, 1132 pp, 2014.
17. KIM, Donghyun; KANG, Jung Eun. Integrating climate change adaptation into community planning using a participatory process: The case of Saebat Maeul community in Busan, Korea. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, v. 45, n. 4, p. 669-690, 2018. doi: 10.1177/026581351668318844
18. KOETSE, Mark J.; RIETVELD, Piet. The impact of climate change and weather on transport: An overview of

- empirical findings. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 14, n. 3, p. 205-221, 2009. doi: 10.1016/j.trd.2008.12.004
19. KRAMER, S. A.; PRUDENT-RICHARD, A. G.; SAINSBURY, M. Incorporating climate change impacts and adaption in Environmental Impact Assessments: Opportunities and challenges. **OECD Environmental Working Paper No. 24**, 2010.
  20. LAMBERT, J. H. *et al.* Adaptation of inland systems to climate change with challenges and opportunities for physical, social, and engineering disciplines. In: **Climate**. Springer, Dordrecht, 2011. p. 479-490. doi: 10.1007/978-94-007-1770-1\_25
  21. LINDLEY, Sarah J. *et al.* Green infrastructure for climate adaptation in African cities. In: **Urban vulnerability and climate change in Africa**. Springer, Cham, 2015. p. 107-152. doi: 10.1007/978-3-319-03982-4\_4
  22. MALLICK, Rajib B. *et al.* Understanding the impact of climate change on pavements with CMIP5, system dynamics and simulation. **International Journal of Pavement Engineering**, v. 19, n. 8, p. 697-705, 2018. doi: 10.1080/10298436.2016.1199880
  23. MALLICK, Rajib B. *et al.* Use of system dynamics to understand long-term impact of climate change on pavement performance and maintenance cost. **Transportation Research Record**, v. 2455, n. 1, p. 1-9, 2014. doi: 10.3141/2455-01
  24. MITSAKIS, Evangelos *et al.* Optimal allocation of emergency response services for managing disasters. **Disaster Prevention and Management**, 2014. doi: 10.1108/dpm-10-2013-0182
  25. MNDawe, M. B. *et al.* Assessment of the effects of climate change on the performance of pavement subgrade. **African Journal of Science, Technology, Innovation and Development**, v. 7, n. 2, p. 111-115, 2015. doi: 10.1080/20421338.2015.1023649
  26. NATIONAL RESEARCH COUNCIL *et al.* Potential impacts of climate change on US transportation: Special report 290. **Transportation Research Board**, 2008. doi: 10.17226/12179.
  27. NEMRY, Françoise *et al.* Impacts of Climate Change on Transport: A focus on road and rail transport infrastructures. **European Commission, Joint Research Centre (JRC), Institute for Prospective Technological Studies (IPTS)**, p. 93, 2012.
  28. PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS - PBMC. **Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas** [Assad, E.D., Magalhães, A. R. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 414 pp, 2014.
  29. PALIN, Erika J. *et al.* Future projections of temperature-related climate change impacts on the railway network of Great Britain. **Climatic Change**, v. 120, n. 1, p. 71-93, 2013. doi: 10.1007/s10584-013-0810-8
  30. PROWSE, Terry D. *et al.* Implications of climate change for economic development in northern Canada: Energy, resource, and transportation sectors. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, v. 38, n. 5, p. 272-281, 2009. doi: 10.1579/0044-7447-38.5.272
  31. RATTANACHOT, Wit *et al.* Adaptation strategies of transport infrastructures to global climate change. **Transport Policy**, v. 41, p. 159-166, 2015. doi: 10.1016/j.tranpol.2015.03.001
  32. REGMI, Madan B.; HANAOKA, Shinya. A survey on impacts of climate change on road transport infrastructure and adaptation strategies in Asia. **Environmental Economics and Policy Studies**, v. 13, n. 1, p. 21-41, 2011. doi: 10.1007/s10018-010-0002-y
  33. ROWAN, Emily *et al.* Assessing the sensitivity of transportation assets to extreme weather events and climate change. **Transportation Research Record**, v. 2326, n. 1, p. 16-23, 2013. doi: 10.3141/2326-03
  34. SANTOS, Andrea Souza *et al.* An Overview on Costs of Shifting to Sustainable Road Transport: A Challenge for Cities Worldwide. **Carbon Footprint Case Studies**, p. 93-121, 2021. doi: 10.1007/978-981-15-9577-6\_4
  35. SANTOS, Andrea Souza; RIBEIRO, Suzana Kahn; DE ABREU, Victor Hugo Souza. Addressing Climate Change in Brazil: Is Rio de Janeiro City acting on adaptation strategies?. In: **2020 International Conference and Utility Exhibition on Energy, Environment and Climate Change (ICUE)**. IEEE, 2020. p. 1-11. doi: 10.1109/ICUE49301.2020.9307010
  36. SCHLÖGL, Matthias; LAAHA, Gregor. Extreme weather exposure identification for road networks—a comparative assessment of statistical methods. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 17, n. 4, p. 515-531, 2017. doi: 10.5194/nhess-17-515-2017
  37. SONG, Yongze *et al.* Segment-based spatial analysis for assessing road infrastructure performance using monitoring observations and remote sensing data. **Remote Sensing**, v. 10, n. 11, p. 1696, 2018. doi: 10.3390/rs10111696
  38. SUAREZ, Pablo *et al.* Impacts of flooding and climate change on urban transportation: A systemwide performance assessment of the Boston Metro Area. **Transportation Research Part D: transport and environment**, v. 10, n. 3, p. 231-244, 2005. doi: 10.1016/j.trd.2005.04.007
  39. UGWUSIHIWU, Boniface Obi *et al.* Climate change and vulnerability of engineering infrastructures: A critical review. In: 2019 ASABE Annual International Meeting. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, 2019. p. 1.
  40. UNITED NATIONS. **Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development - A/RES/70/1**. 2015.

41. VAN DER SLUIJS, Jurjen *et al.* Permafrost terrain dynamics and infrastructure impacts revealed by UAV photogrammetry and thermal imaging. **Remote Sensing**, v. 10, n. 11, p. 1734, 2018. doi: 10.3390/rs10111734
42. WANG, Tianni *et al.* Impact analysis of climate change on rail systems for adaptation planning: A UK case. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 83, p. 102324, 2020. doi: 10.1016/j.trd.2020.102324.
43. WORLD BANK. **Climate and Disaster Risk Screening - Sector Screening Guidance note Transportation sector**. 2017. Disponível em: [https://climatescreeningtools.worldbank.org/sites/default/files/guidance\\_note/TRANSPORTATION\\_Guidance\\_Note.pdf](https://climatescreeningtools.worldbank.org/sites/default/files/guidance_note/TRANSPORTATION_Guidance_Note.pdf)



# AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NO PLANEJAMENTO DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE FERROVIÁRIA

## RESUMO

Diante do atual crescimento do transporte ferroviário brasileiro, reforça-se a necessidade de uma visão estratégica sobre a infraestrutura do setor, a qual permita o direcionamento dos esforços nos processos de tomada de decisão. Em paralelo a isso, a evidente demanda pelas considerações dos impactos ambientais nos projetos voltados ao transporte se mostra cada vez mais relevante. Logo, o presente trabalho trata da contextualização sobre os estudos que vem sendo desenvolvidos acerca da infraestrutura ferroviária no mundo, a partir da análise do seu ciclo de vida. Isto utilizando as ferramentas da revisão bibliométrica, realizada em base de documentos técnicos internacionais dos últimos 10 anos, os quais abordam simultaneamente os temas de “infraestrutura ferroviária” e “análise de ciclo de vida”. A partir desses trabalhos, no primeiro momento, foram detalhados os principais tópicos do setor, com aprofundamento em elementos específicos da infraestrutura de transporte ferroviária numa segunda etapa. A partir das conclusões obtidas, foram apontadas as seguintes recomendações voltadas para a melhoria do planejamento do transporte por ferrovia: (1) Revisão de normas e pesquisa para validação nacional do uso de solos lateríticos tropicais em camadas do pavimento ferroviário; (2) Aquisição de dados de monitoramento dos ativos de infraestrutura como exigência nos contratos de concessão ferroviária; (3) Análise do ciclo de vida completo dos materiais, com inclusão de fatores ambientais, para avaliação dos investimentos em infraestrutura ferroviária.

**Palavras-chave:** Ciclo de vida; Ferrovia; Infraestrutura; Revisão Bibliométrica; Transporte.

**Bruno Guida Gouveia, M.Sc.**, Doutorando em Engenharia de Transportes pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PET/COPPE/UFRJ). Atualmente, é Professor da Universidade Estadual do Rio de Janeiro – UERJ.

**Filipe Batista Ribeiro, M.Sc.**, Doutorando em Engenharia de Transportes pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PET/COPPE/UFRJ). Atualmente, é Consultor do Projeto AdaptaVias (MInfra / GIZ/ COPPE/ GITEC).

**Marcelino Aurélio Vieira da Silva, D.Sc.**, Professor no Programa de Engenharia de Transportes pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PET/COPPE/UFRJ).

# 1 INTRODUÇÃO

Em se tratando da realidade brasileira, atualmente tem-se uma conjuntura desafiadora no que se refere à atração de investidores. Essa situação encontra-se embasada no cenário descrito por Ochieng, Zuofa e Badi (2020) que atribui tais dificuldades a eventos que englobam escândalos de corrupção, recessões, inadimplências e a escassez de instrumentos financeiros que cubram os riscos dos investimentos em projetos. Contudo, o transporte ferroviário se mostrou resiliente, pois, apesar do volume decrescente de recursos advindos do setor público ao longo da última década, houve elevação considerável do capital privado (ONTL, 2021), produzindo um resultado de crescimento superior a 71% nos montantes em TKU transportados entre os anos de 2006 e 2019 (CNT, 2020). Além disso, recentes trabalhos, como o desenvolvido por Angarten, Silva e Silva (2020), mostram essa expansão da malha ferroviária nacional já com uma consciência ambiental amadurecida.

Segundo CONAMA (1986), impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas, seja de forma direta ou indireta, que venham modificar alguns aspectos como: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais.

Para Hauschild *et al.* (2018), a base e o ponto de partida de qualquer modelo de caracterização é sempre o estabelecimento de um mecanismo ambiental representado por uma causa-efeito corrente. O seu ponto de partida é sempre a intervenção ambiental (representada por fluxos elementares), essencialmente de dois tipos, quais sejam: (1) uma emissão para o meio ambiente; (2) uma extração de recursos do meio ambiente. Dentre as interferências oriundas de emissões estão: (a) alterações climáticas; (b) degradação da camada de ozônio; (c) formação fotoquímica de ozônio; (d) acidificação terrestre e aquática; (e) formação de material particulado. Logo, uma das melhores formas de se avaliar tais efeitos é pela redução dos riscos baseados em ecossistemas.

Existem vários métodos de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) para um determinado produto ou serviço (CRAWFORD *et al.* 2008). Entre os planejadores de transporte, tem crescido o interesse em determinar os impactos ambientais gerados por todas as etapas do ciclo de vida de infraestruturas de transportes, desde a extração até o descarte ou reciclagem dos materiais. Nesse sentido, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) tem ganhado destaque como a ferramenta mais apropriada para o cumprimento desse tipo de tarefa, já que é capaz da qualificação, quantificação e comparação das repercussões das estruturas estudadas. Em última instância, esse tipo de capacidade permite que a determinação do projeto a ser implantado seja feita de forma a se considerar as influências no meio ambiente (AZARIJAFARI *et al.*, 2016).

Segundo Hasan *et al.*, (2019), pode-se descrever as etapas de uma ACV assim: (1) identificação dos processos, com o estabelecimento de períodos e abrangências, do ciclo de vida do produto contendo todas as variáveis, em unidades funcionais pertinentes, julgadas como necessárias para sua avaliação; (2) levantamento do inventário com os parâmetros de avaliação estabelecidos como necessários; (3) tabulação, quantificação e ponderações sobre as trocas energéticas com o meio ambiente, as emissões de resíduos e insumos consumidos; (4) interpretação, idealmente permeando todas as demais etapas da ACV com o objetivo principal de fornecer, aos tomadores de decisão, as informações necessárias para realização das escolhas.

Logo, considerando-se os diferentes modos de transporte nos diferentes estágios do ciclo de vida, UMWELTBUNDESAMT (2013) evidencia as intensidades com que cada modo impacta o meio ambiente, conforme Tabela 01, deixando claro que o transporte ferroviário é o que menos produz emissões (gCO<sub>2</sub>) e impactos (gCO<sub>2</sub> eq) por TKM.

Tabela 01 | Índices específicos de emissão e impacto para os diferentes modos de transporte de carga.

	Transporte de cargas							
	Transporte Aéreo		Transporte Rodoviário		Transporte Hidroviário		Transporte Ferroviário	
	g/tkm	%	g/tkm	%	g/tkm	%	g/tkm	%
<b>Total CO<sub>2</sub></b>	<b>931,5</b>	<b>100%</b>	<b>93,6</b>	<b>100%</b>	<b>37,8</b>	<b>100%</b>	<b>33,6</b>	<b>100%</b>
Operação do veículo	895,1	96%	77,5	83%	29,7	79%	23,7	71%
Construção e manutenção da infraestrutura	9,4	1%	13,9	15%	7,3	19%	6,0	18%
Operação da infraestrutura	26,8	3%	0,1	0%	0,2	1%	2,2	7%
Construção e manutenção do veículo	0,18	0,02%	2,1	2%	0,5	1%	1,7	5%
<b>Total CO<sub>2</sub> Equivalente</b>	<b>945,5</b>	<b>100%</b>	<b>95,9</b>	<b>100%</b>	<b>38,3</b>	<b>100%</b>	<b>36,0</b>	<b>100%</b>
Operação do veículo	907,2	96%	78,6	83%	29,8	79%	25,4	71%
Construção e manutenção da infraestrutura	9,8	1%	14,9	15%	7,7	19%	6,4	18%
Operação da infraestrutura	28,3	3%	0,1	0%	0,2	1%	2,3	7%
Construção e manutenção do veículo	0,19	0,02%	2,3	2%	0,6	1%	1,9	5%

Fonte: Adaptado de UMWELTBUNDESAMT (2013).

Do exposto, o presente estudo se propõe a realizar uma contextualização dos recentes estudos sobre a infraestrutura do transporte ferroviário, a partir da temática da avaliação do ciclo de vida. Isto visando à identificação de oportunidades em ações que culminem no direcionamento proveitoso de esforços e recursos. Para tanto, foram utilizadas informações dos últimos 10 anos de base de dados técnicos internacional, consolidadas em softwares específicos para análise bibliométrica, em duas etapas. A primeira, consistiu numa agregação geral dos dados, com foco no entendimento da evolução histórica, identificação dos principais *journals* e autores, assim como o mapeamento de palavras-

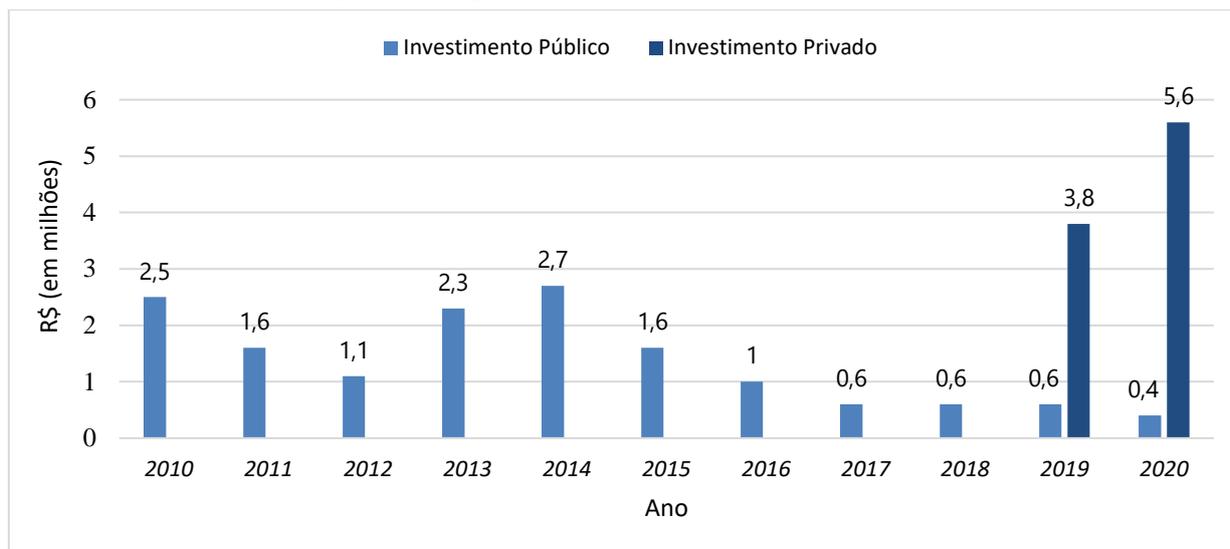
chave (*keywords*), que permitem fornecer uma visão geral do assunto abordado nos trabalhos. Finda essa análise, a segunda etapa identificou o *gap* de pesquisa em um dos elementos que compõe a infraestrutura ferroviária, no caso o subleito, sendo nesse momento aprofundado o estudo dessa temática a partir dos mesmos parâmetros utilizados na etapa 01. Finalmente, foram apresentadas algumas considerações que podem ser adotadas para a melhoria da infraestrutura do transporte ferroviário do Brasil.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Diante do cenário crescente de investimentos no transporte ferroviário, conforme o Gráfico 01, alinhada à demonstração clara do Governo Federal brasileiro em se alinhar à política de investimento com uso de títulos verdes (*Green Bonds*) conforme descrito por Angarten, Silva e Silva (2020), é possível notar que a temática que trata dos impactos ambientais tende a se tornar foco das discussões no setor de infraestrutura durante os próximos anos. Com isso em vista, e tendo como referência o alinhamento existente entre a ACV e os

impactos ambientais (NASCIMENTO *et. al.*, 2020), o presente estudo se propõe a realizar, no primeiro momento, uma revisão bibliométrica dos estudos relacionados entre o transporte ferroviário e ACV. Estabelecido o overview sobre a temática, no segundo momento serão abordados os principais *gaps* encontrados nas pesquisas que tratam da infraestrutura ferroviária, com o objetivo de lançar luz aos gargalos que necessitam de investimento em pesquisa no setor.

Gráfico 01 | Redução do investimento público em face ao crescente aporte do setor privado no transporte ferroviário de transportes de carga brasileiro – Período 2010-2020 (ONTL, 2021)



Fonte: Elaboração própria.

Para o desenvolvimento do estudo foram consultados os dados existentes na plataforma de estudos científicos da *ScienceDirect*, devido à abrangência e magnitude da fonte. Segundo consulta feita na plataforma durante a elaboração deste estudo (SCIENCE DIRECT, 2021), a base comportava 4.456 *journals* e 31.603 livros, representando uma fonte robusta de dados. Além disso, no estudo de Figueiredo *et al.* (2017), sobre o comparativo entre diferentes portais de documentos técnicos, a base utilizada no presente estudo retornou a maior proporção de quantidade de artigos relevantes por artigos retornados.

Portanto, dispensou-se para este estudo a consulta em outras plataformas de estudos científicos.

A partir das palavras-chave relativas ao objeto do estudo, foram obtidos dados bibliométricos dos documentos referentes aos artigos técnicos de pesquisa e revisão, sendo os mesmos consolidados e tratados no software EndNote e, posteriormente, empregados nos softwares Tableau® e Vosviewer® para a produção de elementos gráficos. A Tabela 02 apresenta a estrutura dos critérios utilizados para a coleta dos dados e os resultados iniciais.

Tabela 02 | Estrutura de critérios utilizados para a coleta dos dados

Base de dados	Etapa	Tema	Palavras-chave	Tipos de documentos	Período	Resultados
Science Direct	01	Life Cycle Railway Railroad Infrastructure	"life cycle AND railway AND railroad AND infrastructure"	Artigos Técnicos (Pesquisa e Revisão) e	2010 - 2021	583
	02	Life Cycle Railway Railroad Subgrade	"life cycle AND railway AND railroad AND subgrade AND life span AND moisture content AND permanent deformation AND soil fatigue failure"	Capítulos de livro		254

Fonte: Elaboração própria.

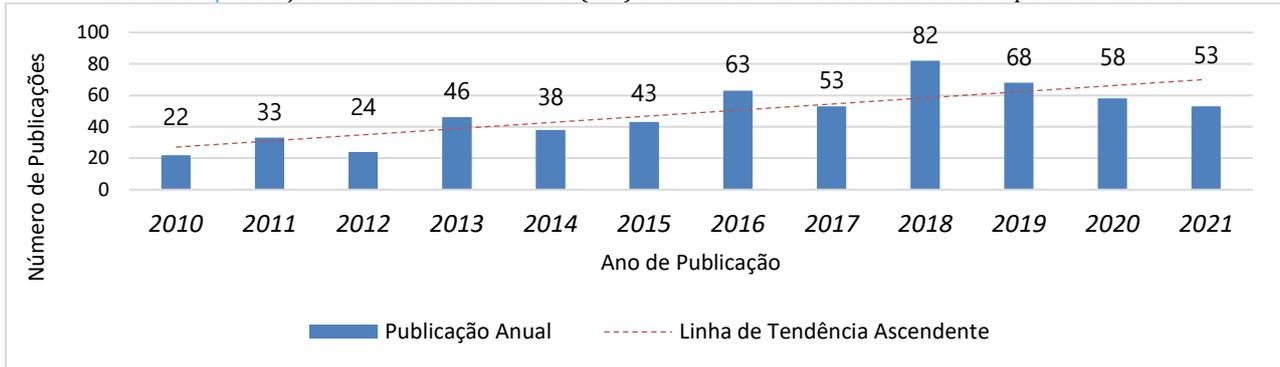
### 3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 3.1 Resultados da Etapa 01 – Contextualização Geral

Sobre os resultados obtidos para a Etapa 01, dos 583 documentos analisados, foram encontrados 436 artigos técnicos (74,8%) e 147 capítulos de livro (25,2%), sendo que, apesar das constantes variações apresentadas nos últimos dez anos,

conforme Gráfico 02, é possível inferir uma tendência de crescimento de estudos publicados sobre o tema em questão, conforme linha de tendência ascendente, evidenciando a relevância e atualidade do assunto.

Gráfico 02 | Evolução histórica dos últimos 10 (dez) anos sobre ACV relacionada ao transporte ferroviário

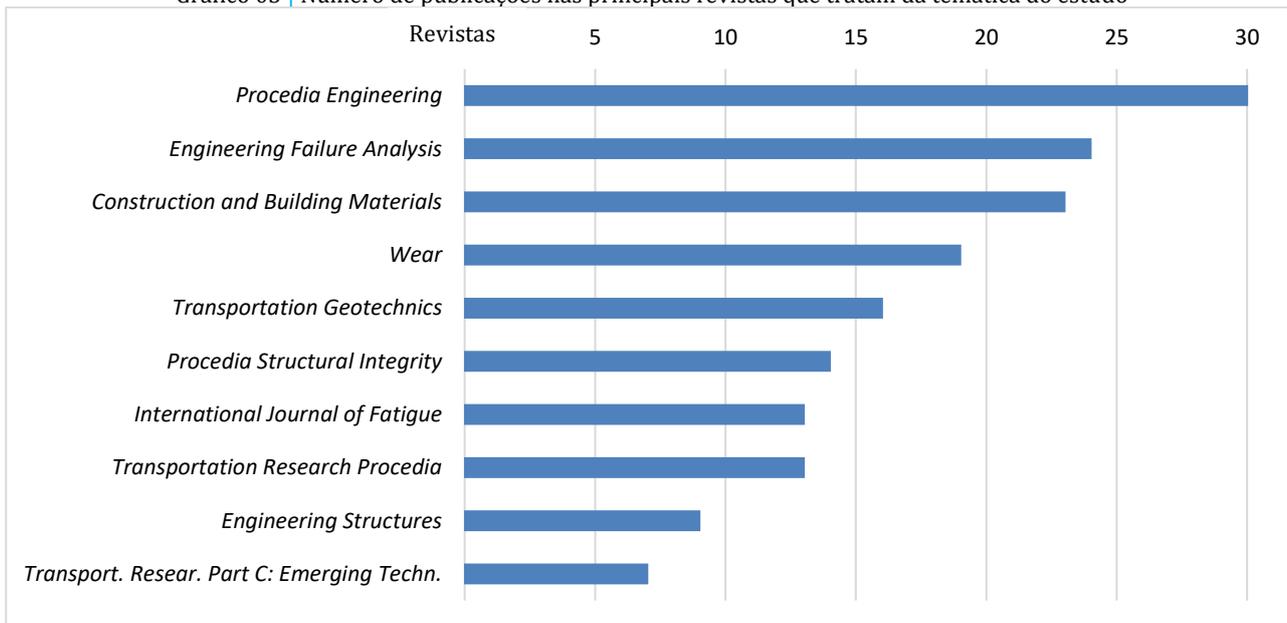


Fonte: Elaboração própria.

Uma vez identificada a importância atual do tema, é possível identificar no Gráfico 03 as principais revistas que tratam do assunto, tornando-se referência para consultas futuras. É preciso reforçar que tais indicações se referem àquelas indexadas na base da *ScienceDirect*. Em resumo, as revistas se mostram alinhadas com a

área de Engenharia e Transportes, com foco na área de materiais. Sobre a relevância das fontes consultadas, dos 10 *journals* listados, 6 possuem indexação JCR – *Journal Citation Report*, com fator de impacto variando de 2,436 a 6,077, podendo ser considerado um intervalo de valor razoável comparado com revistas da área.

Gráfico 03 | Número de publicações nas principais revistas que tratam da temática do estudo



Fonte: Elaboração própria.

Sobre os autores mais relevantes no que diz respeito à temática em questão, o Gráfico 04

apresenta aqueles cujos nomes aparecem como principais autores nos documentos analisados.

Gráfico 04 | Autores mais relevantes listados nos documentos consultados

Indraratna, Buddhima 8	Biron, Michel 6	Kwon, Seok-Jin 5	Seo, Jung-Won 5	Kaewunr... Sakdirat 4	Lee, Seong-Hyeok 4	Liu, Q. Y. 4
		Liu, Xiang 5	Coppola, Damon P. 4	Nimbalkar, Sanjay 4		Rujikiatkamjorn, Cholachat 4
Qian, Yu 7	Jun, Hyun-Kyu 5	Park, Dae-Wook 5	Guo, J. 4	Pucillo, Giovanni Pio 4		Wang, W. J. 4

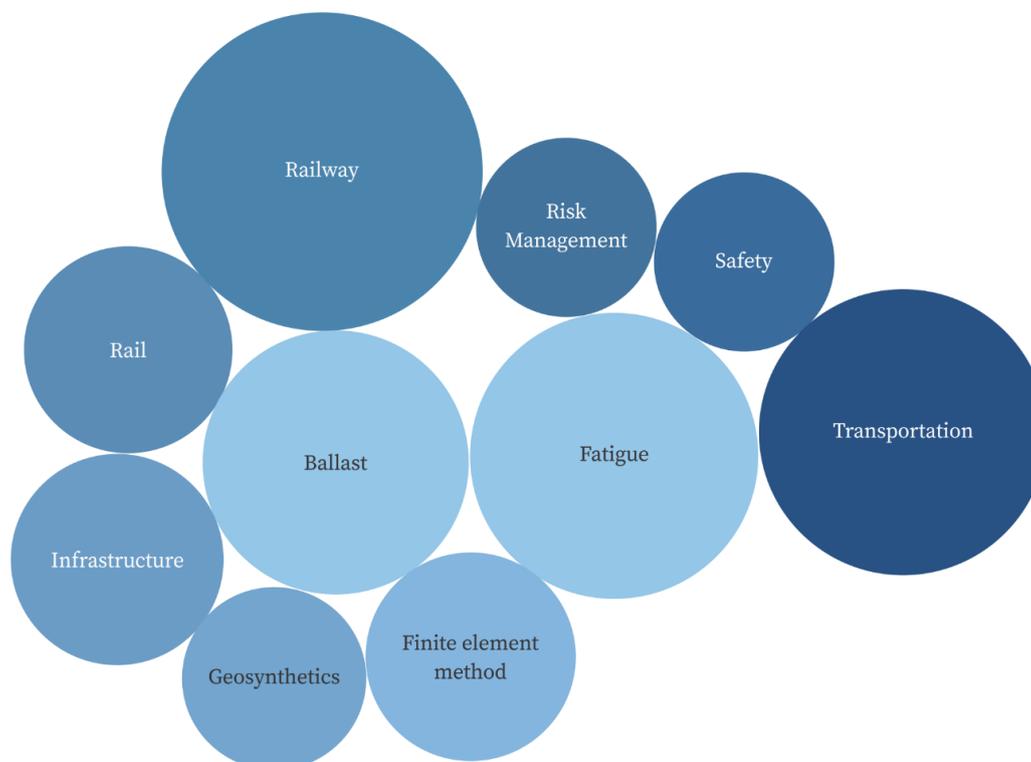
Fonte: Elaboração própria.

O resultado se mostra bem alinhado com a evidência de nomes como Buddhima, Yu e Kaewunruen diante das recentes pesquisas desenvolvidas na área de desempenho mecânico do pavimento ferroviário, assim como Jun sobre seus

estudos direcionados para a análise de fadiga dos componentes do transporte por ferrovia.

A seguir são apresentadas as palavras-chave mais relevantes encontradas nos artigos e capítulos de livros consultados, conforme Gráfico 05.

Gráfico 05 | Principais palavras-chave identificadas para Etapa 01- Contextualização Geral



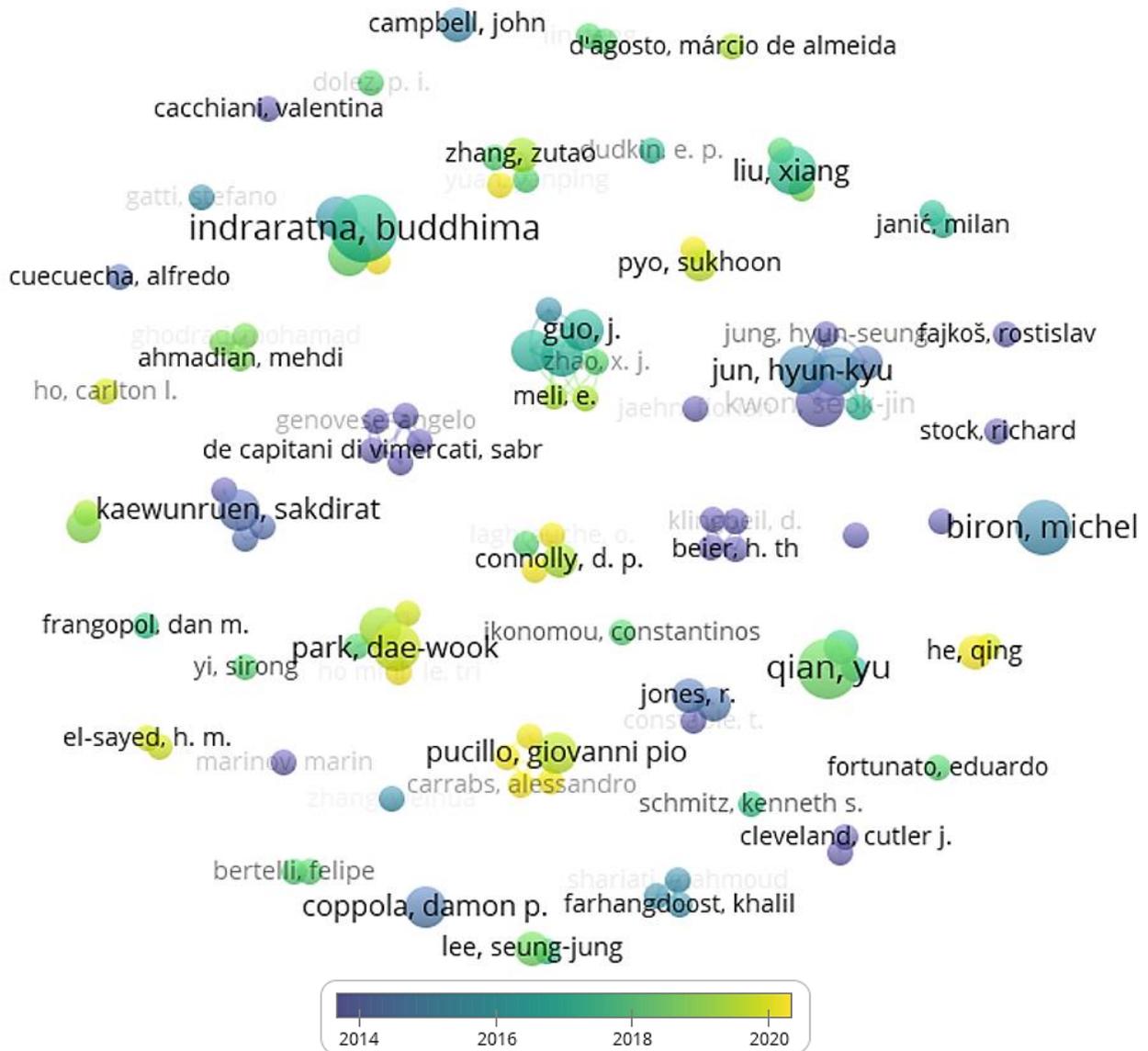
Fonte: Elaboração própria.

Com vistas a entender a relação entre os pesquisadores e sua relevância durante o período considerado, foi elaborada a Figura 01. Como resultado, podemos inferir que os pesquisadores têm atuado de forma segregada, dentro de seus

próprios grupos de estudos, durante o período consultado. Além disso, é possível notar que, apesar de Buddhima e Yu e Michel se mostrarem com maior número de publicações, os estudos mais recentes têm sido desenvolvidos por outros grupos,

destacados em amarelo.

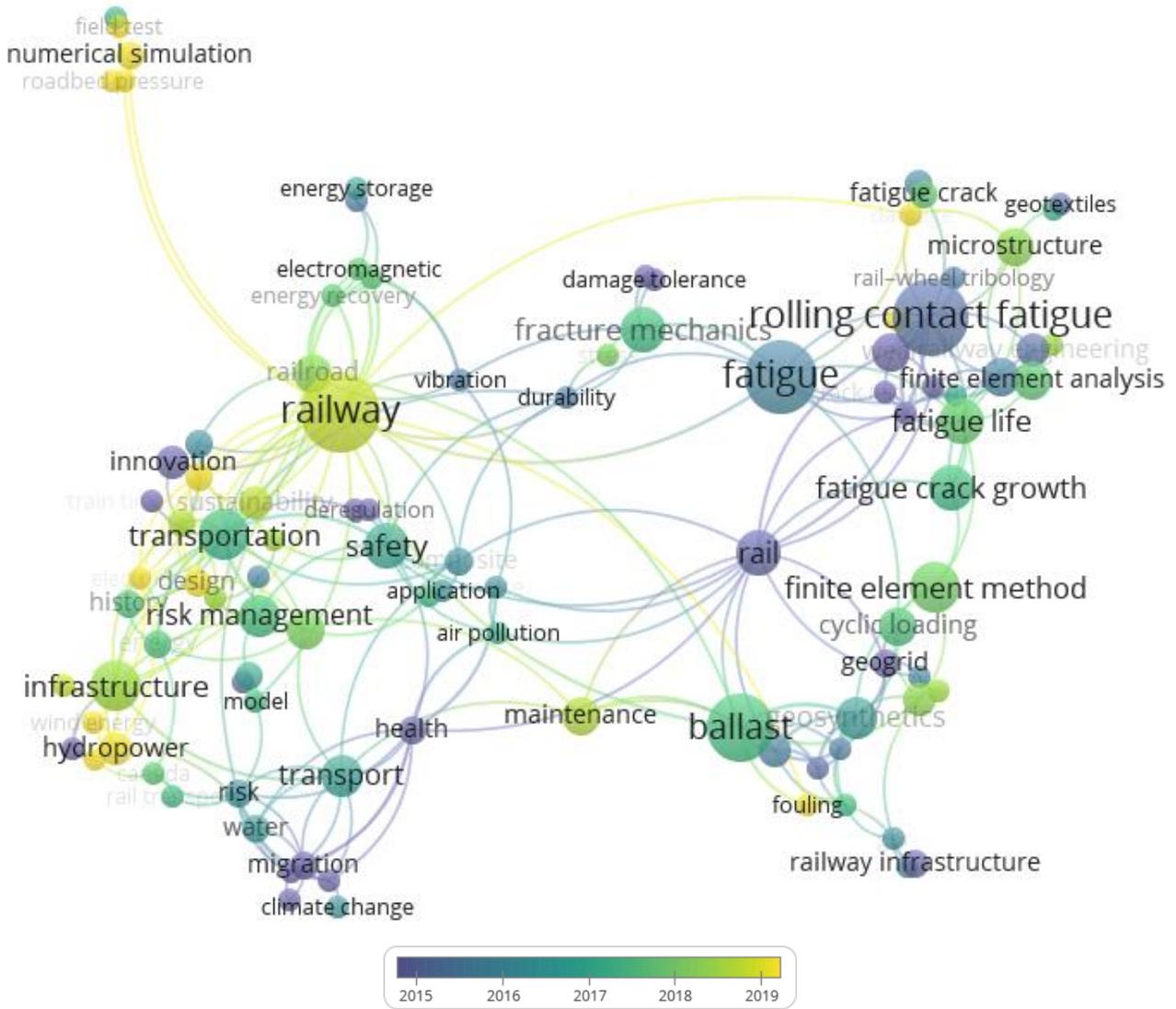
Figura 01 | Mapa de rede e relevância dos autores – Período 2014 a 2020



Tratando sobre a correlação entre as palavras-chave, com o objetivo de entender como as temáticas consultadas se relacionam, é possível notar a existência de diferentes nichos, com certo destaque para a segregação entre ferrovia e a temática de fadiga / fadiga contato roda-trilho, conforme apresentado na Figura 02. De toda forma, esse segundo grupo parece perder força nos últimos anos com relação aos estudos da consulta.

Interessante observar que um terceiro grupo evidenciado pelo lastro retrata justamente os elementos do pavimento ferroviário, tendo a colmatação (*fouling*), ou seja, a redução dos espaços vazios entre os agregados, como um dos tópicos mais recentes de pesquisa. Este fenômeno pode elevar a rigidez da via, gerando diversos defeitos, como a quebra do lastro, entre outros (KUMARA; HAYANO, 2016).

Figura 02 | Mapa de rede e relevância das palavras-chave - Período 2015 a 2020

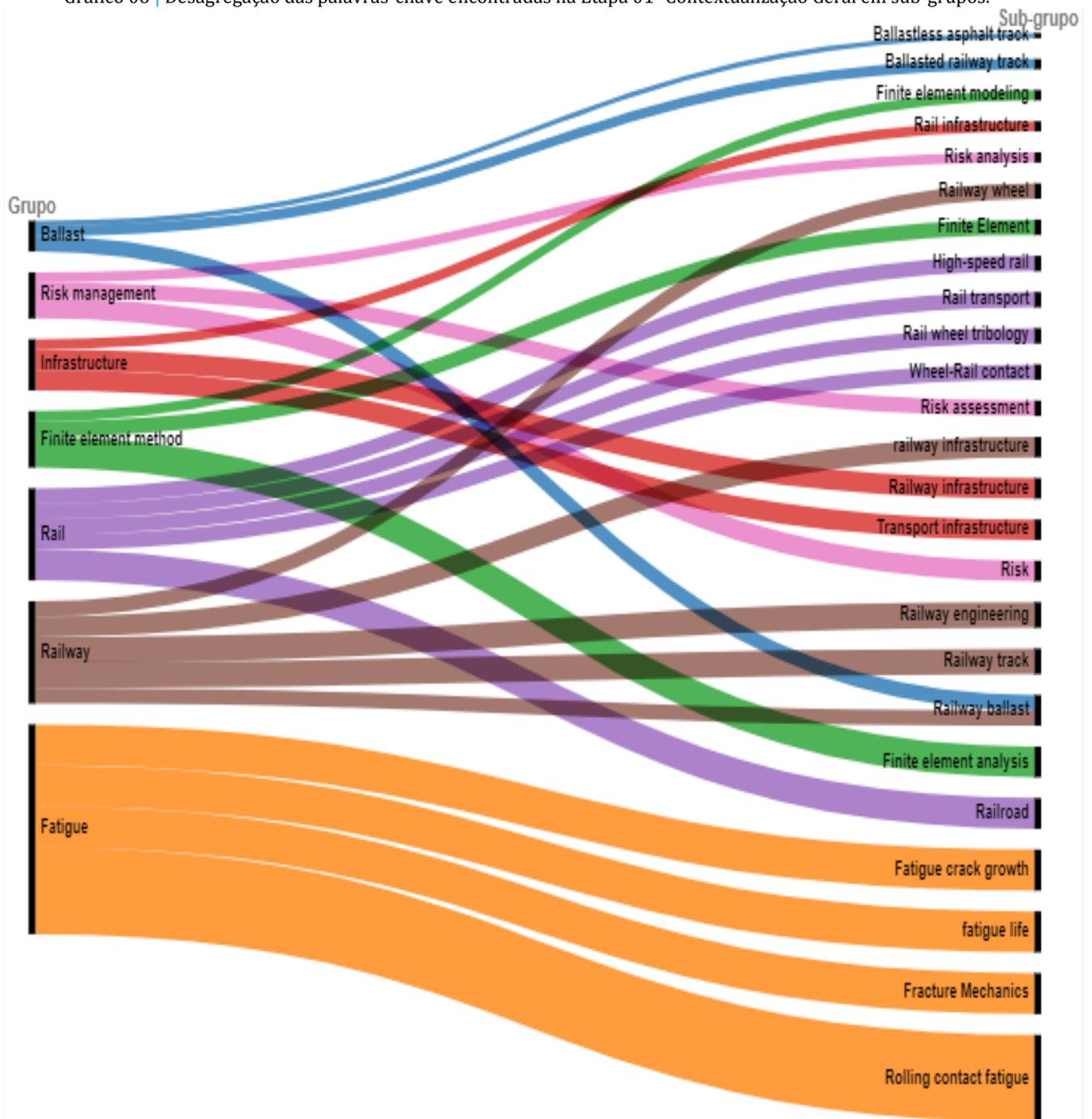


Fonte: Elaboração própria.

Sobre as palavras-chave, estas retratam um grupo mais detalhado de áreas dos quais podem ser obtidas melhores percepções sobre as tendências

dos estudos em infraestrutura de transporte ferroviário, detalhados no Gráfico 06.

Gráfico 06 | Desagregação das palavras-chave encontradas na Etapa 01- Contextualização Geral em sub-grupos.

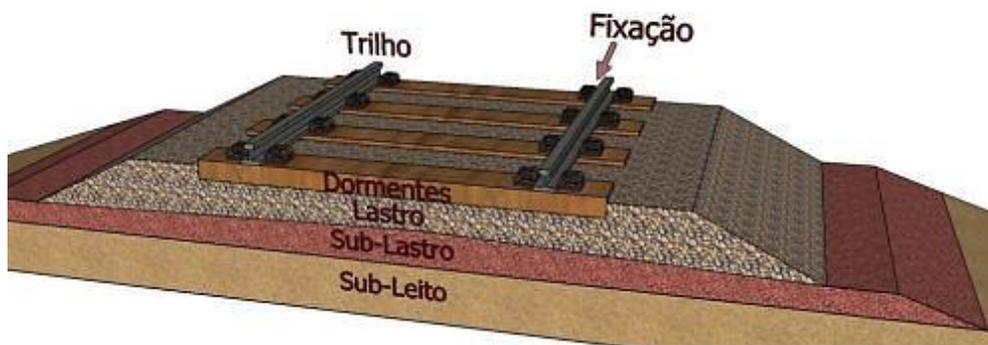


Fonte: Elaboração própria.

Diante dos resultados obtidos na análise mais granular das palavras-chave, é possível perceber que a temática sobre fadiga referente ao contato roda-trilho corresponde ao assunto predominante nos estudos consultados. Além disso, a modelagem utilizando o método dos elementos finitos se mostra o método mais frequente no desenvolvimento dos estudos. Já nas temáticas sobre infraestrutura e ferrovia, o destaque parece se concentrar na via permanente, mas com menção

sobre o material rodante. Tratando sobre os riscos inerentes ao transporte ferroviário, os assuntos são tratados de forma ampla nos estudos de análise e avaliação. Finalmente, considerando que o pavimento ferroviário é composto pelos elementos demonstrados na Figura 03, fica claro que, conforme os resultados obtidos no Gráfico 06, existe um foco explícito nas pesquisas sobre trilho e lastro, trazendo luz a existência do *gap* na pesquisa sobre os demais elementos, como o subleito.

Figura 03 | Esquema dos elementos do pavimento ferroviário



Fonte: (KLINCEVICIUS, 2001).

Sobre esse assunto, estudos como Selig e Li (1994) mostram a importância dessa camada na determinação em um dos principais critérios para avaliar o desempenho mecânico da plataforma ferroviária, o módulo de via. Para Landgraff (2011), a degradação do pavimento depende do nível de qualidade presente da via, visto que uma boa estrutura se comporta bem, enquanto uma estrutura precária se deteriora mais rápido. Diante disso, em seu estudo sobre a influência da umidade do pavimento ferroviário, ele utiliza uma quantidade robusta de dados, seja pela

instrumentação, ensaios de laboratório ou mesmo informações obtidas pelo levantamento da geometria da via, para estimar o custo do ciclo de vida da infraestrutura da ferrovia. Finalmente, Lazorenko *et al.* (2019), em seu trabalho de revisão acerca da estabilidade do solo de fundação de ferrovia de transporte de carga, direciona a análise para os processos de degradação do solo sob o impacto das cargas dinâmicas. Uma das principais fontes de problemas para o pavimento é a elevada umidade, conforme apresenta a Tabela 03.

Tabela 03 | Fontes de problemas na via em relação à umidade.

Falha ou tipo de deformação	Possíveis razões	Características e Descrição
a) Falha progressiva por cisalhamento	1.1. Aplicação repetida de sobrecarga acima da admissível pelo subleito; 1.2. Subleito composto por solos finos; 1.3. Alta umidade.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Afundamento plástico próximo à superfície do subleito.</li> <li>▪ Bombeamento de finos, gerando aumento do relevo entre dormentes e nos ombros.</li> <li>▪ Depressão sob os dormentes.</li> </ul>
b) Expansão / Retração	2.1. Solos altamente plásticos; 2.2. Variação da umidade; 2.3. Combinação entre chuva e solos alcalinos; 2.4. Solos com elevado percentual de silte no subleito ou sublastro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Irregularidade da superfície da via</li> </ul>
c) Abrasão com bombeamento de lama	3.1. Aplicação de carga repetida do lastro cravado no subleito; 3.2. Altura elevada do lastro: tensão no subleito. 3.3. Rochas ricas em argila ou solos. 3.4. Elevada umidade em contato com a superfície do subleito.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lastro desgastado.</li> <li>▪ Sublastro inadequado.</li> <li>▪ Lastro com drenagem insuficiente.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Lazorenko *et al.* (2019)

Finalmente, considerando a relevância do subleito no comportamento mecânico do pavimento ferroviário e o *gap* identificado durante a Etapa 01 - Contextualização Geral da pesquisa bibliométrica, é possível assumir que, na Etapa 02 -

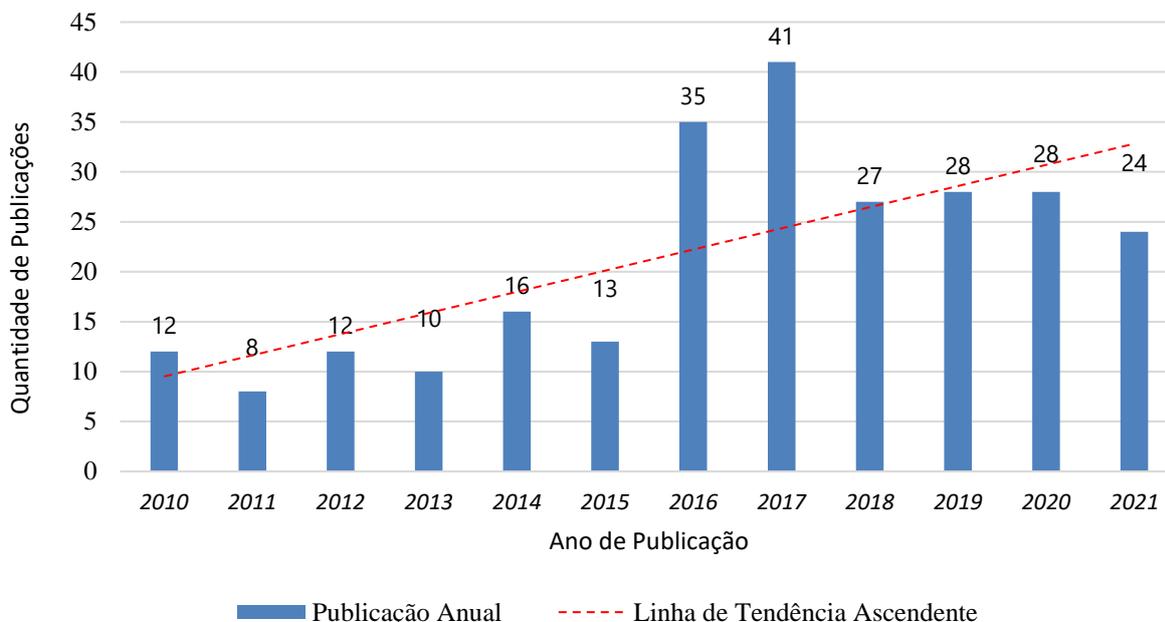
Subleito Ferroviário, seja direcionado o esforço para compreender quais os principais assuntos vêm sendo tratados sobre esse elemento nos estudos desenvolvidos nos últimos dez anos.

### 3.2 Resultados da Etapa 02 - Subleito Ferroviário

Assim como na Etapa 01, apesar das flutuações ocorridas durante o período analisado, é possível constatar o crescimento das pesquisas pela linha de tendência ascendente sobre os elementos referente ao subleito aplicado ao transporte ferroviário, conforme Gráfico 07. Considerando que a coleta de

dados ocorreu ainda no primeiro semestre de 2021, pode-se assumir que é alta a probabilidade de, no final do segundo semestre, ocorrer uma superação da quantidade de estudos em relação aos últimos três anos.

Gráfico 07 | Evolução histórica dos últimos 10 (dez) anos sobre os elementos do subleito relacionado à infraestrutura ferroviária.

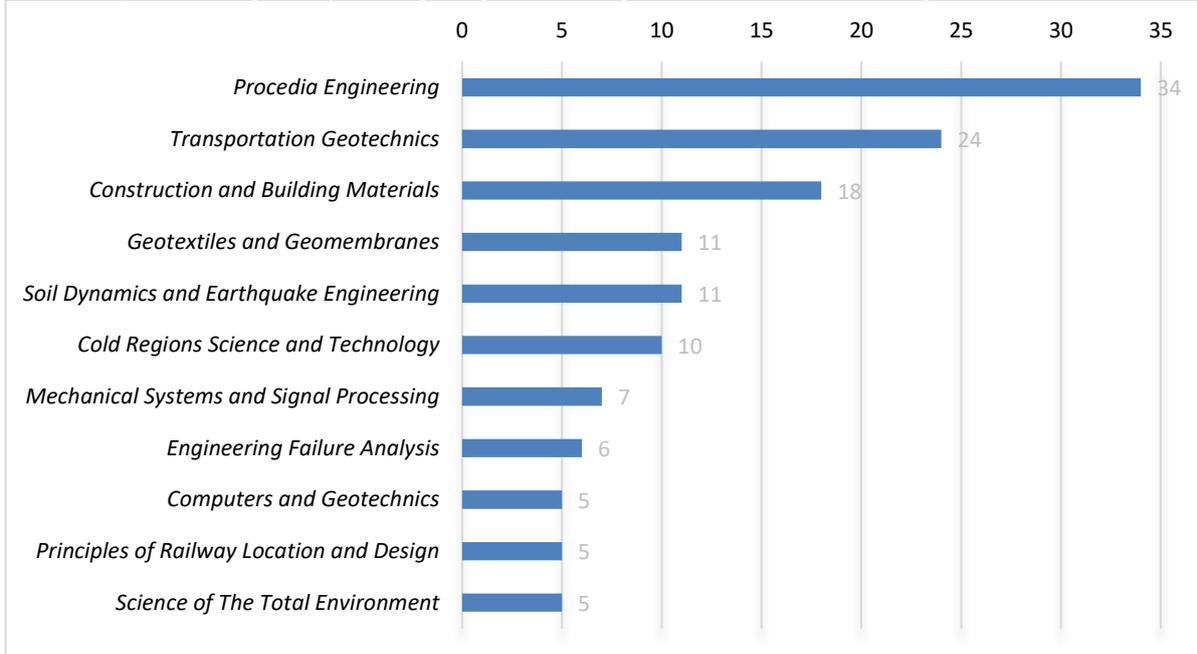


Fonte: Elaboração própria.

As revistas encontradas tratam predominantemente da área geotécnica, coerente com os termos usados na consulta, com resultados interessantes para as temáticas de regiões geladas, mostrado no Gráfico 08. Sobre a relevância das fontes consultadas, dos 11 *journals* listados, 9

possuem indexação JCR, com fator de impacto variando de 2,436 a 6,551, revelando que, mesmo considerando fontes distintas da Etapa 01, os estudos se mostram em publicações com fator de impacto similar.

Gráfico 08 | Número de publicações nas principais revistas que tratam da temática da Etapa 02- Subleito Ferroviário

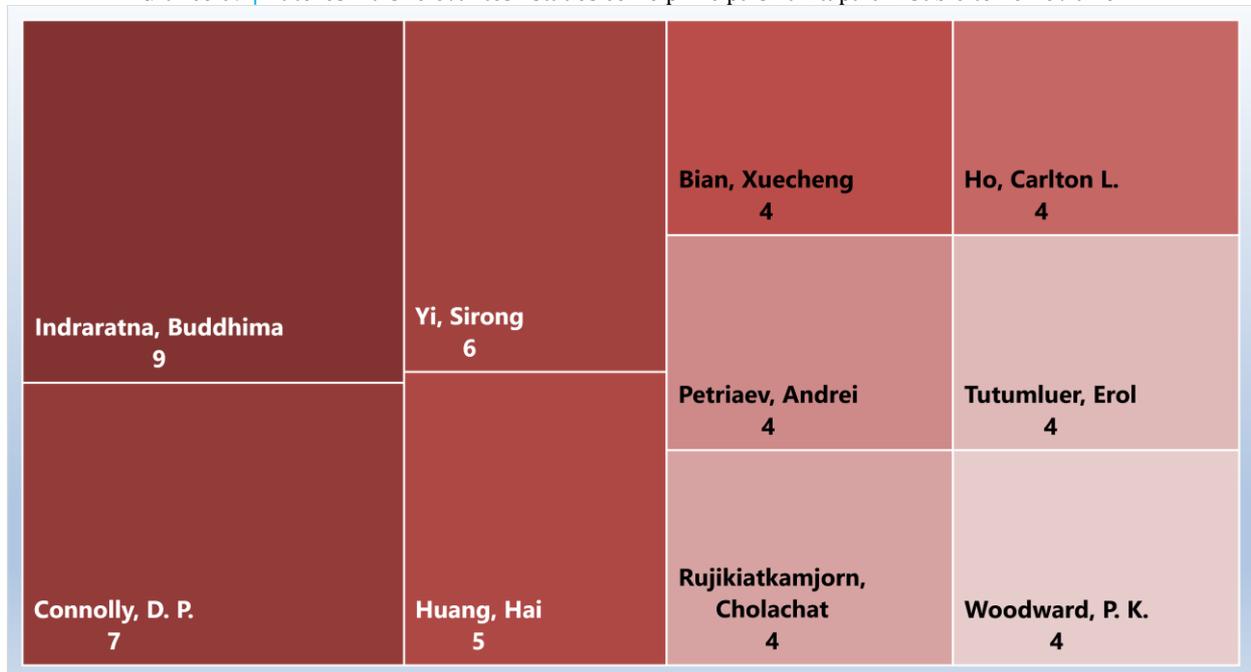


Fonte: Elaboração própria.

Para os autores da Etapa 02, apenas Buddhima se manteve na lista quando comparado com a Etapa 01, conforme Gráfico 09. Sobre os demais, Connolly e Hai têm direcionado seus

estudos para a avaliação do pavimento ferroviário para aplicação no transporte de trens de alta velocidade, utilizando ensaios de laboratório e modelagens computacionais.

Gráfico 09 | Autores mais relevantes listados como principais na Etapa 02- Subleito Ferroviário.



Fonte: Elaboração própria.

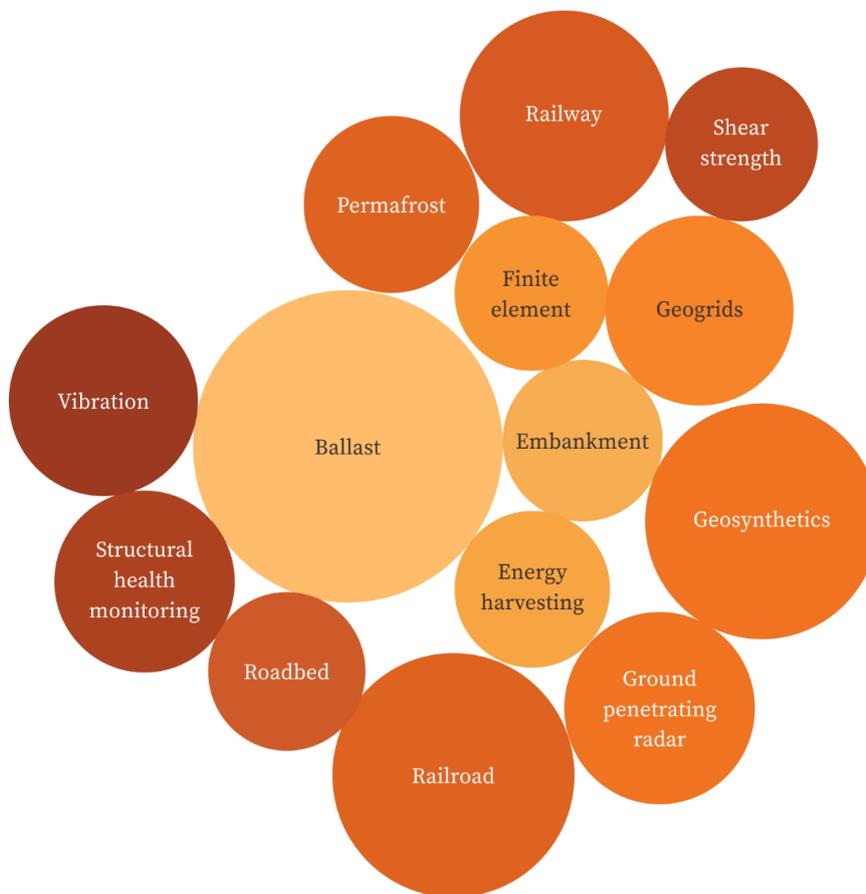
Finalmente, são apresentadas no Gráfico 10 as palavras-chave correlacionadas com os estudos

que tratam do subleito na infraestrutura do transporte ferroviário. É interessante observar a

diversidade de subtemas abordados sobre a temática da fundação da via permanente, variando desde ensaios de campo para coleta de dados sobre o desempenho da estrutura, passando por assuntos

relacionados às mudanças climáticas, como o *permafrost*, e às soluções para reforço da estrutura, como geossintéticos.

Gráfico 10 | Principais palavras-chave identificadas para Etapa 02- Subleito Ferroviário



Fonte: Elaboração própria.

Para entender melhor essa gama de assuntos tratados, no Gráfico 11 são detalhadas as palavras-chave desagregadas que se correlacionam com aquelas encontradas no Gráfico 10, sendo possível inferir as seguintes conclusões sobre os estudos na área em questão:

a) Mesmo diante do direcionamento da pesquisa para a camada de subleito, é relevante a quantidade de estudos sobre o lastro, mostrando claramente a relação entre esses dois elementos, assim como a camada de sublastro. Outro ponto a destacar são os estudos apontando para a degradação do lastro (*ballast fouling*), demonstrando a interdependência das camadas no comportamento mecânico da estrutura. Além disso, sobre o método utilizado para realizar as modelagens na infraestrutura, a análise por elementos finitos se mostra como a ferramenta mais empregada nos estudos analisados. Vale ressaltar as soluções de engenharia para melhorar o desempenho da camada de subleito,

com uso de material artificial, nesse caso representado pelos geossintéticos;

b) Outro ponto interessante são os métodos e ensaios para coleta de dados de monitoramento do pavimento ferroviário, como o *Ground Penetration Radar* - GPR. Seja em campo ou em laboratório, para permitir a predição acerca da qualidade da via permanente, assim como garantir previsibilidade nas atividades de manutenção, esses esforços visam garantir a confiabilidade do ativo. Têm-se também os estudos que tratam dos parâmetros geotécnicos do subleito em relação às condições de campo, tais como umidade (*moisture content*) e tipo de solo (*soft subgrade*). Já sobre os efeitos do material rodante sobre o comportamento da via permanente, um dos principais elementos trata justamente da vibração e seus componentes.

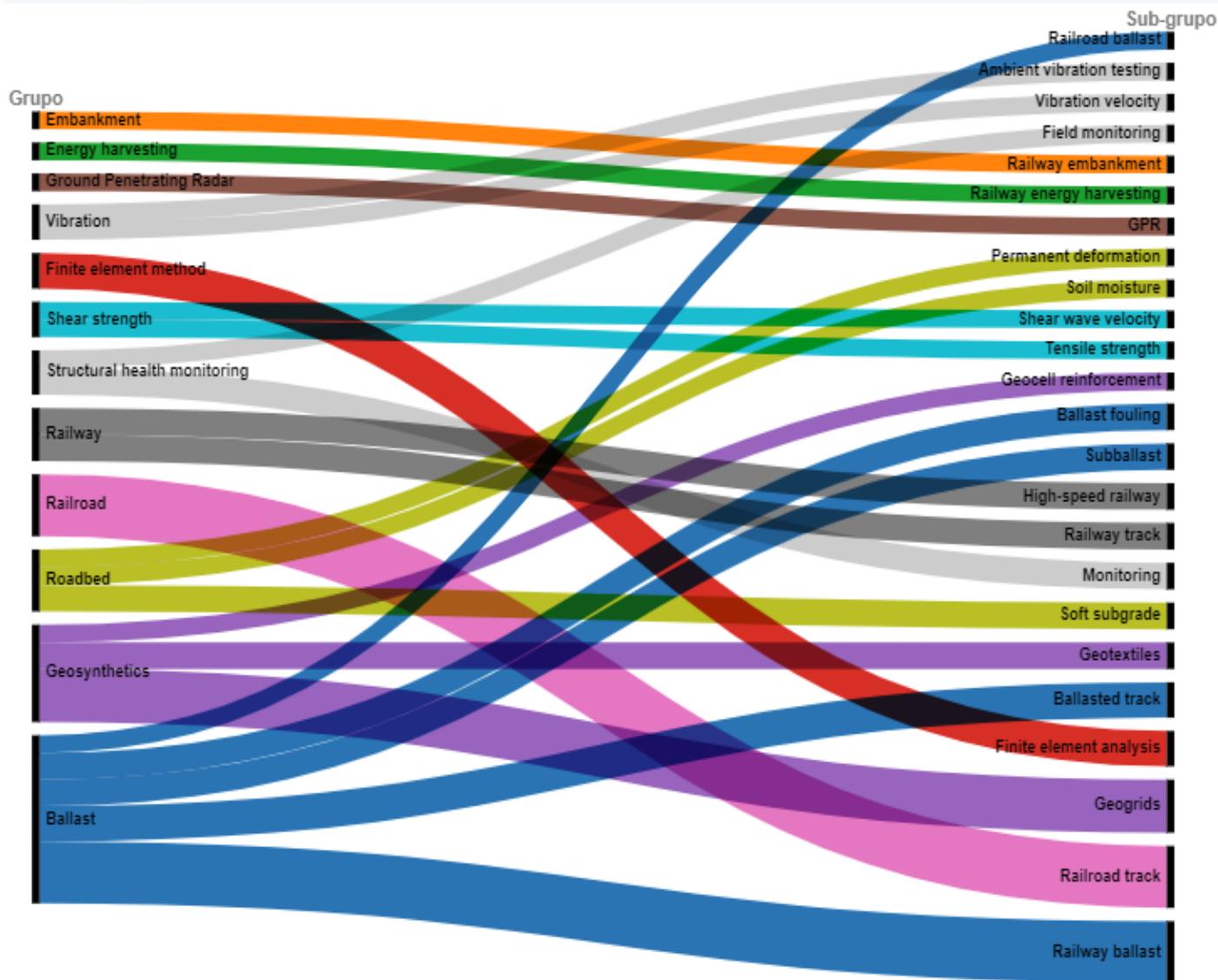
c) Ainda tratando da mitigação dos gases de efeito estufa produzidos pelo setor de transporte, esforços vêm sendo empreendidos para permitir

a transição do transporte aéreo para o transporte ferroviário de passageiros com utilização de trens de alta velocidade, ou *High-Speed Rail* (ZHANG; GRAHAM; WONG; 2018);

d) Finalmente, outra temática interessante trata justamente das mudanças climáticas na

infraestrutura de transporte, seja na mitigação (pela geração de energia alternativa – *energy harvesting*) ou mesmo na adaptação (ao tratar da influência do derretimento do *permafrost*).

Gráfico 11 | Desagregação das palavras-chave encontradas na Etapa 02 – Subleito Ferroviário em sub-grupos.



Fonte: Elaboração própria.

### 3.3 Considerações sobre possíveis melhorias na infraestrutura ferroviária brasileira

Diante do exposto, é possível situar o cenário brasileiro sobre as demandas de investimento em pesquisa e desenvolvimento de estudos na infraestrutura de transporte ferroviária, tendo como benchmarking a revisão bibliométrica realizada para os estudos internacionais apresentados. Portanto, a seguir são descritas medidas estratégicas para que o mercado brasileiro possa se ajustar diante das pendências existentes:

- a) Revisão de normas e pesquisa para solos lateríticos tropicais em ferrovia: as principais normas e diretrizes que regem o transporte ferroviário nacional advêm do modo rodoviário, ou mesmo foram absorvidas de instituições internacionais (SILVA FILHO, 2018), o que, aliado à falta de investimento em pesquisa no setor, acaba por limitar o potencial dos materiais geotécnicos disponíveis no Brasil. Diante disso, Guimarães, Silva Filho e Castro (2021) propõem o uso de solos finos lateríticos

arenosos em camada de sublastro ferroviário. Dessa forma, entende-se ser possível utilizar um material com competente capacidade de suporte, sem a necessidade de empregar o deslocamento, muitas vezes bastante oneroso, em regiões com difícil acesso ao material granular para a construção da via permanente. Além disso, alinhado ao conceito de ciclo de vida, a quantidade de emissão e impacto ambiental gerado tem um relevante potencial de redução.

- b) Aquisição de dados de monitoramento dos ativos de infraestrutura como exigência nos contratos de concessão ferroviária: diante do relatório de TCU (2020), o qual trata da Auditoria Operacional sobre a atuação da Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT sobre a Concessão da Ferrovia Malha Oeste, cuja conclusão foi a não comprovação de prestação de serviço adequado, atendimento às demandas de transporte e manutenção dos bens arrendados, com data da sessão em 16/06/2021, fica evidente a necessidade de disponibilizar instrumentos ao agente fiscalizador que viabilizem o monitoramento do desempenho dos ativos da União que se encontram concessionados. Tratando especificamente da infraestrutura de transporte ferroviário, dados de confiabilidade e monitoramento se mostram como elementos que podem alimentar a base de informações, com o intuito de compor a cesta de indicadores para acompanhamento do desempenho do transporte. Nesse sentido, Landgraff (2011) mostra que o caminho para tornar tais informações aplicáveis, no sentido de obter previsões sobre o comportamento mecânico da

As medidas se mostram coerentes ao considerar os diferentes elementos que constituem tanto a infraestrutura quanto a operação ferroviária. Entretanto, entende-se que aspectos referentes ao ciclo de vida completo das soluções adotadas devam ser consideradas, como discutido na avaliação do uso de diferentes tipos de dormentes por Studiengesellschaft Holzschwellenoberbau e.V. (2009) e Rempelos, Preston e Blainey (2020), que, em linhas gerais, compararam os dormentes de madeira, concreto e aço pela análise do ciclo de vida completo do elemento de construção, ficando evidente que o aço apresenta a maior emissão de gás de efeito estufa. Finalmente, sobre a comparação entre madeira e

via permanente, não é trivial ou mesmo elementar, mas possível;

- c) Análise do ciclo de vida dos materiais, com inclusão de fatores ambientais, para avaliação dos investimentos em infraestrutura: recentemente, uma das empresas do transporte logístico ferroviário brasileiro fez a captação de US\$500 milhões em *green bonds*, com uma demanda quase cinco vezes maior que a oferta, com prazo de sete anos e taxa pré-fixada de 5,25% (REVISTA FERROVIÁRIA, 2020). Os recursos têm como destino serem aplicados na modernização da frota e de obras de infraestrutura. Para essa captação, a empresa foi certificada pela *Climate Bonds Initiative - CBI*. Para obter a certificação, o principal requisito a ser atendido tratava da meta de emissão de menos de 21 gramas de CO<sub>2</sub> por tonelada e quilômetro transportado. Atualmente, as operações dessa empresa apresentam valores médios de 15,8 gramas de CO<sub>2</sub> por tonelada e quilômetro transportado em seus mais de 12 mil quilômetros de ferrovias (CLIMATE BONDS INITIATIVE, 2020).

Segundo a entidade que tratou da Estrutura e Panorama sobre a emissão dos *green bonds*, CBI (2020), um dos dois pilares de estratégias sustentáveis para atingir as metas de emissão específica, trata de:

*“Melhorar a qualidade das matérias-primas, proporcionando maior durabilidade e menos manutenção. Ex.: substituição de dormentes de madeira (que duram 6 anos) por dormentes de concreto ou aço (que duram 30 anos).”* (CBI, 2020, p.3)

concreto, o recente de estudo de Rempelos, Preston e Blainey (2020) mostra que o custo do ciclo de vida para uso de dormente em vias com tráfego leve é mais atrativo quando se utiliza madeira macia, mas em vias com tráfego pesado o ideal é o uso de dormente de concreto com *under-sleeper rubber pads* (USP), mesmo porque, segundo Ngo e Indraratna (2020), o uso de USP auxilia na mitigação da degradação do lastro. Logo, entende-se que, para uma atingir o segundo pilar de estratégia de sustentabilidade, é preciso que os elementos sob análise sejam avaliados mediante todo o ciclo de vida, desde a construção, operação, manutenção e final da vida útil.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O transporte ferroviário recentemente tem recebido o merecido destaque no âmbito nacional brasileiro. Além da mudança das fontes de recursos para os seus investimentos, a temática ambiental tem se destacado nos estudos que vem sendo desenvolvidos nos últimos anos. Diante disso, é possível perceber que a temática da Avaliação do Ciclo de Vida alinhada ao investimento em pesquisa e desenvolvimento na área de infraestrutura de transporte ferroviário tende a contribuir de forma significativa para o planejamento do desenvolvimento do país, permitindo vislumbrar novas oportunidades.

Logo, uma interessante temática para discussão durante os próximos anos passa pelo uso de materiais a partir da perspectiva da ACV, assim como pela implementação de ações de governança que permitam maior acesso aos dados que tratam desse modo de transporte, ou mesmo um melhor entendimento de como aspectos relacionados ao meio ambiente podem tornar os projetos mais eficientes tanto no uso racional dos recursos quanto para captação de crédito financeiro.

## REFERÊNCIAS

1. ANGARTEN, N. B. O.; SILVA, P. A. M.; SILVA, A. C. A. Estimativa de emissões de GEE para FIOLE e FICO. **Via Viva**. Eixo I – Estudos sobre emissão de gases de efeito estufa na infraestrutura de transportes. IV Seminário Socioambiental em infraestrutura de transportes. Brasil. 2020.
2. AZARIJAFARI, H.; YAHIA, A.; AMOR, M. B. Life cycle assessment of pavements: reviewing research challenges and opportunities. **Journal of Cleaner Production**, 112, 2187-2197. 2016.
3. CBI - CLIMATE BONDS INITIATIVE. **Green Bonds – Framework and overview**. 2020. Acesso em: 03/07/2021. Disponível em: <https://www.climatebonds.net/files/files/Rumo%20Green%20Bond%20Framework.pdf>
4. CBI - CLIMATE BONDS INITIATIVE. **Rumo emite o primeiro título verde da história das ferrovias de carga na América Latina**. Media Release. São Paulo. 2020. Disponível em: [https://www.climatebonds.net/files/releases/rumo\\_mediarelease\\_portugues.pdf](https://www.climatebonds.net/files/releases/rumo_mediarelease_portugues.pdf)
5. CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Anuário do transporte. 2020**. Disponível em: < <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2020/Ferrovuario/2-6-/Transporte-de-cargas>>
6. CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986.
7. CRAWFORD, R. H. Validation of a hybrid life-cycle inventory analysis method. **Journal of Environment Management**, 88, 496-506. 2008
8. FIGUEIREDO, A.R.; WANDERLEY, B.G.; VILAS BOAS, T. S.; SANTOS, M. C. Estudo da eficiência dos portais ScienceDirect, Scopus, Lilacs e Periódicos CAPES, evidenciando seus aspectos positivos e negativos. **Revista Scientia Amazonia**. V.6, 2017
9. GUIMARÃES, A.C.R.; SILVA FILHO, J. C.; CASTRO, C.D. Contribution to the use of alternative material in heavy haul railway sub-ballast layer. **Transportation Geotechnics**. Vol. 30. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2021.100524>
10. HASAN, U., WHYTE, A., JASSMI, H. AL. Critical review and methodological issues in integrated life-cycle analysis on road networks. **Journal of Cleaner Production** v. 206 541 e 558. 2019.
11. HAUSCHILD, Z. M., ROSENBAUM, R. K., OLSEN, S. I. (2018). Life Cycle Assessment: Theory and Practice. Springer International Publishing. Disponível em: doi: 10.1007/978-3-319-56475-3
12. KLINCEVICIUS, M.G.Y. **Estudo de propriedades, de tensões e do comportamento mecânico de lastros ferroviários**. Dissertação de Mestrado. USP. São Paulo, 2011.
13. KUMARA, J.J.; HAYANO, K. Deformation characteristics of fresh and fouled ballasts subjected to tamping maintenance. *Soils and Foundations*. Vol 56. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2016.07.006>
14. LANDGRAF, M. Der Einfluss von Unterbau, Untergrund und Wasserwegigkeit auf die Gleislagequalität. Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft. Technische Universität Graz. 2011. Disponível em: <https://diglib.tugraz.at/download.php?id=576a770bb1861&location=browse>
15. LAZORENKO, G.; KASPRZHITSKII, A.; KHAKIEV, Z.; YAVNA, V. Dynamic behavior and stability of soil foundation in heavy haul railway tracks: A review. **Construction and Building Materials**. 2019.
16. NASCIMENTO, F.; GOUVEIA, B.; DIAS, F.; RIBEIRO, F.; SILVA, M. A. A method to select a road pavement structure with life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**. 2020. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122210

17. NGO, T.; INDRARATNA, B.; Mitigating ballast degradation with under-sleeper rubber pads: Experimental and numerical perspectives. **Computers and Geotechnics**. Vol. 122. Australia. 2020
18. OCHIENG, E.; ZUOFA, T.; BADI, S. Routledge Handbook of Planning Management of Global Strategic Infrastructure Projects. **Taylor & Francis**. 2020.
19. ONTL – OBSERVATÓRIO NACIONAL DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA. **Anuário Estatístico de Transportes 2010-2020**. EPL S/A. Ministério da Infraestrutura. 2021. Acesso em: 03/07/21. Disponível em: <https://ontl.epl.gov.br/paineis-analiticos/painel-do-anuario-estatistico/>
20. REMPELOS, G.; PRESTON, J.; BLAINEY, S. A carbon footprint analysis of railway sleepers in the United Kingdom. **Transportation Research Part D**. 2020. doi: 10.1016/j.trd.2020.102285
21. REVISTA FERROVIÁRIA. Rumo anuncia emissão de US\$ 500 milhões em green bonds. 2020. Acesso em: 03/07/2021. Disponível em: <http://www.revistaferroviaria.com.br/detalhe-noticias.asp?InCdEditoria=1&InCdMateria=32458>
22. SCIENCEDIRECT. Journals and Books. 2021. Acesso em 23/08/2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/browse/journals-and-books>
23. SELIG, E. T., LI, D. Track Modulus: Its Meaning and Factors Influencing It. **Transportation Research Board** 1470. Washington, D. C., p. 47-54. 1994.
24. SILVA FILHO, J.C. **Contribuição para o desenvolvimento de um método de dimensionamento mecânico-empírico de pavimentos ferroviários com foco nos solos tropicais**. Tese de doutorado, Instituto Militar de Engenharia. 2018.
25. STUDIENGESELLSCHAFT HOLZSCHWELLENBERBAU E.V. Life cycle assessment of railway sleepers. Comparison of railway sleepers made from concrete, steel, beech wood and oak wood. Schweiz. 2009. Disponível em: <http://www.frankwerner.ch/LCAHolzschwellenfassung091012KurzfassungEnglisch1.pdf>
26. UMWELTBUNDESAMT. Treibhausgas-Emissionen durch Infrastruktur und Fahrzeuge des Straßen-, Schienen- und Luftverkehrs sowie der Binnenschifffahrt in Deutschland. Deutschland. 2013.
27. TCU - Tribunal de Contas da União. **Auditoria operacional sobre a Atuação da ANTT sobre a concessão da ferrovia Malha Oeste**. TC 026.116/2020-0. 2020. Disponível em: <https://portal.tcu.gov.br/data/files/7D/02/F0/7F/0171A710ABFA7E97F18818A8/026.116-2020-0-RC%20-%20Anop%20autacao%20ANTT%20Malha%20Oeste.pdf>
28. ZHANG, F.; GRAHAM, D.; WONG, M. S.C. Quantifying the substitutability and complementarity between high-speed rail and air transport. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**. vol.118. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.08.004>



# INFRAESTRUTURA CRÍTICA DE TRANSPORTE NO BRASIL E RESILIÊNCIA FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

## RESUMO

A sociedade moderna possui dependência cada vez maior de sistemas de infraestrutura para o progresso econômico e qualidade de vida, como transportes, por exemplo. Esses sistemas são considerados críticos na medida em que se apresentam interdependentes e, em uma situação de ruptura, pode gerar uma reação em cadeia, com possibilidade de impactos socioeconômicos, geopolíticos ou de segurança. O termo resiliência perpassa diferentes áreas do conhecimento e aplicabilidades, sendo atribuído, no âmbito deste estudo, à capacidade de adaptação ou minimização dos impactos negativos sobre a infraestrutura crítica. As discussões sobre adaptação às alterações climáticas em contexto mundial vêm sendo reforçadas ao longo dos últimos anos. Assim, este artigo apresenta uma revisão sobre o assunto e objetiva avaliar o estágio atual do Brasil na promoção de infraestrutura crítica de transporte resiliente às mudanças climáticas, a partir de buscas de produções acadêmicas e de análise de dados de documentos técnico-políticos internacionais. O resultado evidenciou que o Brasil, por meio de seu arcabouço legal e organizações, apresenta-se alinhado às qualidades previstas na Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) para a promoção de ações de resiliência para Infraestrutura Crítica de Transporte (ICT) no país.

**Palavras-chave:** ICT; Infraestrutura Crítica; Mudanças Climáticas; Resiliência.

**Juliana Júnia Rodrigues**, Engenheira Ambiental pela Universidade Católica de Brasília. Empregada pública da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO desde 2009, atuando nos programas ambientais, em especial licenciamento e *compliance* ambiental; Pós-graduada em Perícia, Auditoria e Gestão Ambiental; Aluna especial do Programa de Mestrado em Transportes da Universidade de Brasília.

**Diego da Silva Camargo**, Engenheiro Civil pela UNIPLAN/DF. Atua, desde 2018, como analista de projetos de licenciamento de obras de infraestrutura e saneamento no Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal - IBRAM; Pós-graduado em Infraestrutura de Transportes e Rodovias; Aluno regular do Programa de Mestrado em Transportes da Universidade de Brasília.

# 1 INTRODUÇÃO

A sociedade industrializada usa recursos fornecidos por infraestrutura crítica. No entanto, essas infraestruturas podem exigir o fornecimento de recursos suplementares fornecidos por outras redes para funcionar corretamente. Assim, existem fortes interdependências entre essas redes, por meio dos recursos trocados. Uma falha de uma estrutura ou a degradação de um recurso pode, então, levar a uma cascata de mau funcionamento e prejudicar outras entidades (MOTEFF, 2015; KORKALI *et al.*, 2017 *apud* HOSSAIN *et al.*, 2020).

O próprio setor de transportes pode ser a fonte geradora da disfunção, sendo que a crise no setor aéreo no Brasil, que ficou conhecido como “Apagão Aéreo” nos anos de 2006 e 2007, evidenciou a carência de melhor infraestrutura do setor no Brasil, segundo Senado Federal (2007), após uma série de colapsos no transporte aéreo, como o acidente entre o avião da companhia Gol e o jato Legacy, os movimentos de paralisação dos postos de trabalho pelos controladores de voo e o acidente da empresa TAM no Aeroporto de Congonhas.

Segundo Lourenço (2018), a Greve Geral dos Caminhoneiros, de maio de 2018, trouxe luz à interdependência das infraestruturas pelos danos no ambiente de negócios, gerando uma reação danosa sobre a produção e os fluxos de distribuição de bens e serviços, em cadeia, no qual o país amargou um expressivo recuo de 3,34% no Índice de Atividade Econômica do Banco Central (IBC-Br) em relação ao mês anterior, afetando o consumo de forma geral, o sistema de saúde, a comunicação, o abastecimento de combustível e gás e outros produtos essenciais.

A formulação de políticas sobre infraestrutura crítica ainda se mostra em constante evolução e geralmente é ambígua, segundo Radvanovsky e McDougall (2019), dado que a palavra infraestrutura era definida, a pouco mais de duas décadas atrás, exclusivamente em relação às obras públicas da comunidade.

As infraestruturas críticas apresentam entre si as mais variadas condições: relacionamento acessório, dispensabilidade, imprescindibilidade, compartilhamento físico, complementaridade, dentre outras, cujas relações frente à ocorrência de um evento disruptivo pode causar impactos diretos ou indiretos, imediatos ou a longo prazo, com distintos graus de severidade e em uma gama de resultados negativos individuais ou cumulativos.

Brunner e Suter (2008) consideram que a indicação de infraestruturas críticas (IC) varia entre os países por razões de reconhecimento destas por cada nação, pelas peculiaridades e tradições, aos

fatores sociopolíticos como condições geográficas e históricas. Por isso, o número de infraestruturas críticas pode ser considerado ilimitado, estabelecendo-se nIC, da mesma forma, em relação aos possíveis inter-relacionamentos.

A constante atenção aos atos de terrorismo e outras ameaças, como clima severo, mudança climática e ameaças cibernéticas, mantiveram e ampliaram o espectro de ameaças, gerando cada vez mais a necessidade de se propor uma abordagem mais holística (RADVANSKY; MCDOUGALL, 2019). Como resultado, sucessivas políticas e leis governamentais foram refinadas e contemplavam cada vez mais um maior número de setores de infraestrutura e os tipos de ativos considerados críticos para fins de segurança de uma economia (MOTEFF, 2015).

De acordo com OECD (2019), os governos desempenham papel fundamental na promoção da resiliência da infraestrutura crítica, pois, além de serem responsáveis por fornecer segurança e proteção aos cidadãos, também são formuladores de políticas de infraestrutura e reguladores, proprietários ou operadores em alguns casos, e principais usuários ou clientes.

No Brasil, a definição normativa de infraestrutura crítica (IEC) foi trazida por portaria do Gabinete de Segurança Institucional – GSI (2008), a qual “consideram-se IEC as instalações, serviços e bens que, se forem interrompidos ou destruídos, provocarão sério impacto social, econômico, político, internacional ou à segurança nacional”. O normativo também traz um rol de áreas prioritárias de IEC: I - Energia; II - Transporte; III - Água; IV - Telecomunicações; e V - Finanças. Mais recentemente, também foram instituídos no âmbito federal: Sistema Integrado de Dados de Segurança de Infraestruturas Críticas; organização do Plano e do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil; Sistema Nacional de Informações sobre Desastres; e instituição de Grupos Técnicos para elaboração do diagnóstico nacional sobre a segurança das infraestruturas críticas de diversas áreas.

Antes de se considerar o setor de transportes no Brasil como infraestrutura crítica, é importante entender a organização desta infraestrutura federal, que se mostra distribuída em três ministérios: Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), Ministério de Minas e Energia (MME) e o próprio Ministério da Infraestrutura (MInfra), cujas competências associadas aos modais rodoviário, ferroviário, aquaviário, aeroportuário, dutoviário e mobilidade urbana se complementam (BRASIL, 2019a; 2019e; 2020b; 2020d).

O Ministério da Economia (ME) apresenta papel estratégico na implementação de políticas, fomento e ações destinadas à ampliação da infraestrutura pública, em específico, em relação à qualificação de projetos direcionados à infraestrutura de transportes no Programa de Parcerias de Investimentos (PPI). O PPI qualifica empreendimentos nos setores de transportes, contemplando a realização de estudos, apoio ao licenciamento ambiental e medidas visando à desestatização dos ativos (BRASIL, 2016; 2019c; 2019d; 2020a; 2020c; 2020e). O MInfra e suas vinculadas são responsáveis, dentre outras competências, pela política nacional de transportes ferroviário, rodoviário, aquaviário, aeroportuário e aeroviário (BRASIL, 2019b).

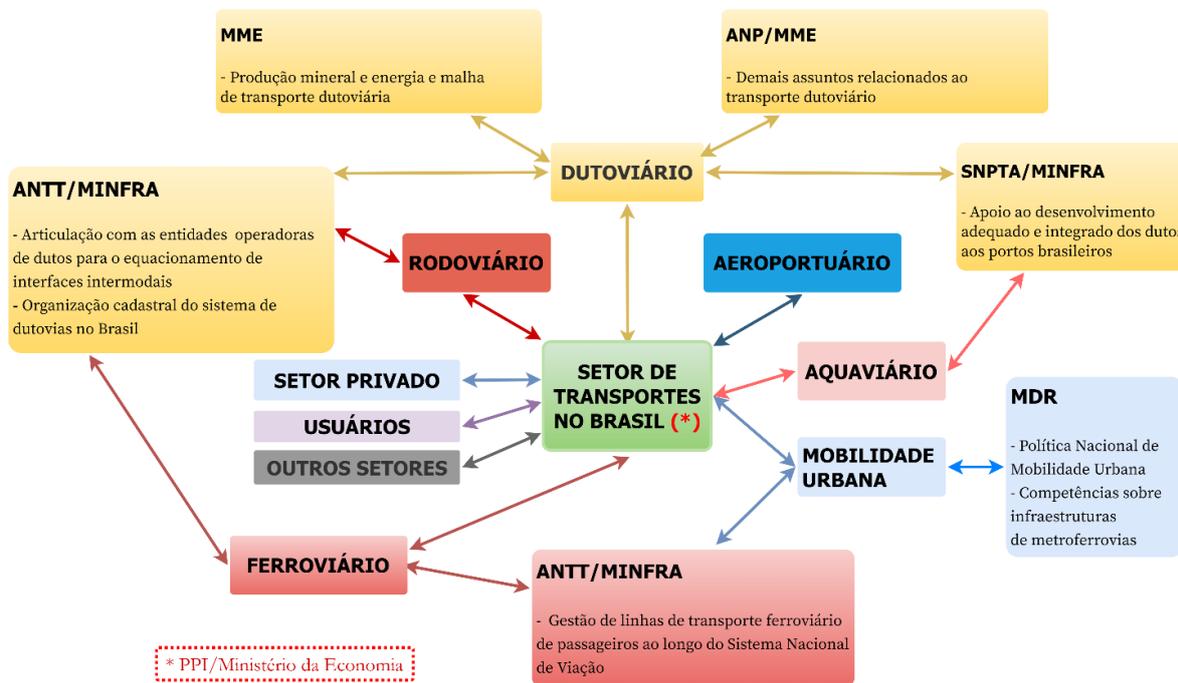
Verifica-se, para o transporte dutoviário, o compartilhamento de competências, uma vez que o MME é responsável pelo o tratamento de assuntos relativos à produção mineral e energia, incluindo-se, neste último, a malha de transporte dutoviária, enquanto que à Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) compete a articulação com as entidades operadoras de dutos para o

equacionamento de interfaces intermodais e a organização cadastral do sistema de dutovias no Brasil, enquanto que compete à Secretaria Nacional de Portos e Transportes Aquaviários (SNPTA) do MInfra o apoio ao desenvolvimento adequado e integrado dos dutos aos portos brasileiros, e, por último, todos os demais assuntos relacionados ao transporte dutoviário são de responsabilidade da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), vinculada ao MME (BRASIL, 1960; 1997; 2001; 2019a; 2020d).

O MDR possui a competência para tratar sobre a Política Nacional de Mobilidade Urbana e, conseqüentemente, também sobre infraestruturas de metroferrovias, apesar de existirem linhas de transporte ferroviário de passageiros ao longo do Sistema Nacional de Viação (SNV), sob a esfera de atuação da ANTT (BRASIL, 2001;2012;2020b).

A Figura 01 mostra as competências dos órgãos e ministérios sobre o setor de transportes no Brasil, considerando a atuação transversal do Ministério da Economia, bem a presença do setor privado, usuários e outros setores.

Figura 01 | Competências dos diversos órgãos governamentais sobre o setor de transportes no Brasil



Fonte: Elaboração Própria.

A austeridade fiscal impõe um cenário reduzido de investimentos em infraestrutura no Brasil, não sendo fator único da ineficiência governamental na realização de empreendimentos. Para tanto, acrescenta-se o caráter fragmentado e conflituoso de seleção de projetos e realização de

planejamento, bem como de deficiência nos controles administrativos e na coordenação governamental (GOMIDE; PEREIRA, 2018). Por isso, os investimentos a serem direcionados para a infraestrutura requerem que os modelos de

governança façam da resiliência um dos critérios de tomada de decisão (OECD, 2019).

Este artigo apresenta uma revisão sobre Infraestrutura Crítica de Transportes – ICT e objetiva avaliar o estágio atual do Brasil na promoção de infraestrutura crítica de transporte resiliente às mudanças climáticas, a partir de uma busca sistemática de produção acadêmica, de análise de dados e de documentos técnico-políticos de instituições internacionais, que permitem a identificação dos procedimentos e diretrizes indutores de resiliência de infraestrutura crítica de

transportes no mundo que poderiam ser aplicáveis no Brasil, tendo em vista a estrutura governamental do setor de transportes nacional.

O artigo foi organizado em cinco seções. Na Seção 2, tem-se o referencial teórico que compreende a resiliência na infraestrutura de transportes e os impactos das mudanças climáticas. Na Seção 3, é apresentada a metodologia proposta. Na Seção 4, são apresentados os principais resultados alcançados no estudo. Na Seção 5, são apresentadas as conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

## 2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Para a realização deste estudo descritivo foi realizada uma busca sistemática da literatura que integra pesquisa de banco de dados e relatórios de instituições e organizações governamentais, a fim de direcionar o entendimento sobre os impactos das mudanças climáticas e eventos extremos do tempo sobre a ICT.

É apresentado um resumo de competências ministeriais nas políticas, planos e programas do setor de transportes, incluindo o papel estratégico do Ministério da Economia, conforme Figura 01, na elaboração de políticas, fomento e ações destinadas à ampliação da infraestrutura pública, bem como sua atuação transversal na qualificação de projetos direcionados à infraestrutura de transportes.

A partir dos dados disponíveis no sistema EM-DAT Public (2020), foram realizados filtros para os principais desastres naturais relacionado às condições meteorológicas (tempestades, ondas de calor/frio ou temperaturas extremas), hidrológicas (inundações, deslizamentos ou movimentos de massa) e ao clima (secas extremas e incêndios florestais), no período de 2000 até novembro de 2020, em escala global, para Europa, África,

América Central e do Norte, América Latina e para o Brasil, como mostra o Quadro 01, de modo a se verificar os desastres mais registrados nestas regiões.

Com base na revisão bibliográfica, elaborou-se o Quadro 02, que considera os principais impactos das mudanças climáticas e ocorrência de eventos extremos no setor de infraestrutura de transportes, de forma segmentada, para os modos: rodoviário, ferroviário, aquaviário, portuário e aeroportuário, e, classifica os impactos negativos sobre infraestrutura ou operações. Uma revisão das estratégias de promoção de segurança da infraestrutura crítica, em específico ao setor de transportes, nos países que compõem a OECD, foi realizada e considerada a existência de organismos governamentais que definem questões de adaptação às mudanças climáticas.

Por fim, buscou-se indicar o que o Brasil vem realizando, de modo a estabelecer estratégias de resiliência climática para a infraestrutura crítica de transportes.

### 2.1 Resiliência na Infraestrutura Crítica de Transportes

O termo “resiliência” com raízes no pensamento antigo possui origem etimológica no latim, “*resilio*”, “*resilire*”, apresentando como um dos significados, com maior aderência a este estudo, a ação de “saltar para trás” (BODIN; WIMAN, 2004; BRANDÃO, 2009).

Nas ciências exatas, o termo resiliência integra os estudos sobre as propriedades físicas dos materiais desde o início do século XIX, quando a noção de módulo de elasticidade foi primeiramente introduzida por Thomas Young, sendo que atualmente na disciplina Resistência dos Materiais, a resiliência é definida como a capacidade de um

material absorver energia na região elástica - região capaz de voltar à forma original quando finda a causa de sua deformação, servindo de referência para interpretações e adaptações por outras áreas do conhecimento (BRANDÃO, 2009).

O estudo da resiliência nas ciências ambientais, com visão ecológica, se mostra mais recente, sendo Holling (1973) considerado o seu precursor, que apresenta uma análise sobre a forma como sistemas conseguem absorver perturbações antes que estes mudem sua estrutura. Em outro estudo, Holling (1996) compara a resiliência nas perspectivas da engenharia e da ecologia, sendo a

primeira concentrada na previsível medição das propriedades físicas de resistência à perturbação, a velocidade de retorno ao equilíbrio de determinado matéria e o alcance da estabilidade perto de um estado estacionário de equilíbrio; e a segunda, focada na persistência, mudança e imprevisibilidade, apresentando uma perspectiva evolucionária, receptivo de falhas, dentro do melhor possível.

A resiliência, segundo Folke (2006), incorpora a relação socioecológica de processos adaptativos relacionados à capacidade de tolerar a perturbação e lidar com mudanças emergentes da reorganização do sistema, cultivando a capacidade de sustentar o desenvolvimento frente a novas mudanças.

Diante da variedade de definições do termo “resiliência” nos vários campos da Ciência, é possível inferir que inexistente uma definição unívoca para a resiliência no estudo da infraestrutura de transportes, inclusive que pode apresentar conotações distintas dependentes do modal estudado ou mesmo entre fases do ciclo de vida de seus projetos: planejamento, contratação, execução, operação, manutenção e demolição ou *retrofit*.

Independentemente de um consenso quanto a melhor definição de resiliência, cada vez mais tem se dado atenção ao tema da resiliência associada aos setores de infraestrutura, que são considerados críticos e essenciais para qualquer sociedade, citando-se os sistemas de transportes, de

comunicações, de energia, de abastecimento de água, dentre outros (CURT; TACNET, 2018).

O termo resiliência perpassa diferentes áreas do conhecimento e aplicabilidades, sendo atribuída, no âmbito deste estudo, a conceituação de que a Resiliência na Infraestrutura Crítica de Transportes corresponde à habilidade e responsividade para se evitar eventos disruptivos, ou, quando não possível, minimizar os impactos negativos sobre a infraestrutura crítica de transportes – ativos, infraestrutura, sistemas, serviços, operação e outros – necessários à disponibilidade, integridade e segurança vitais para o funcionamento socioambiental e econômico da população, com visão integrada sobre a dependência de múltiplos setores e stakeholders, com propósito de acúmulo de conhecimento, para futuras ações de reconstrução aperfeiçoada, preparação, adaptação preventiva, inovações, vigilância e constante gerenciamento de riscos adaptativos.

Neste sentido, a promoção da resiliência na Infraestrutura Crítica de Transportes deve preparar e implementar adaptações preventivas, de modo a ampliar o nível de funcionalidade e melhorar as qualidades de robustez, responsividade e de recuperação, a fim de que sejam reduzidos os tempos de interrupção e de redundância, com o intuito de minimizar a própria perda de resiliência da infraestrutura e auxiliar na recuperação das demais infraestruturas críticas.

## 2.2 Mudanças Climáticas e Infraestrutura Crítica de Transportes

As discussões concernentes às medidas de adaptação às alterações climáticas em contexto mundial foram reforçadas desde o ano de 2013, com o desenvolvimento de acordos internacionais, como o Acordo de Paris, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e o Quadro de Sendai para a Redução dos Riscos de Catástrofes (EUROPEIA, 2018).

A última grande discussão sobre o tema de mudanças climáticas resultou na celebração do Acordo de Paris, negociado na 21ª Conferência das Partes (COP), em 2015, no qual 195 países apresentaram compromissos com a ação climática por meio de Contribuições Nacionalmente Determinadas – NDC, em relação à adaptação às mudanças climáticas e financiamento, tendo registrado a participação de coalizões nacionais e transnacionais de empresas, organizações ambientais, movimentos sociais e povos indígenas, dentre outros, redirecionado para uma abordagem mais inclusiva, de “baixo para cima” em nível organizacional (CASHORE *et al.*, 2016).

As mudanças climáticas implicam no estabelecimento de desafios a serem gerenciados

pelos setores de infraestrutura crítica, devido ao comprovado aumento do nível do mar ou pela recorrência, cada vez mais frequente, de eventos climáticos extremos, incluindo-se ondas de calor, secas, tempestades, inundações, incêndios generalizados, dentre outros (CIRCLE, 2016; FORZIERI *et al.*, 2018; HUMMEL *et al.*, 2020; IZAGUIRRE *et al.*, 2020; MIKELLIDOU *et al.*, 2018; ORTEGA; MARTÍN; APARICIO, 2020; SHAKOU *et al.*, 2019), sendo importante, conforme Hossain *et al.* (2020), compreender as interdependências e os efeitos em cadeia sobre cada infraestrutura, de modo a auxiliar no desenvolvimento de um acurado planejamento de emergência, esclarecendo os papéis de cada entidade e priorizando-se os vínculos de dependências entre as infraestruturas críticas.

Korkali *et al.* (2017) advertem para a impraticabilidade da experimentação física das falhas em cascata em relação aos sistemas de infraestrutura crítica e, portanto, para a quantificação dos riscos e benefícios da interdependência da rede com o uso de modelos de simulação, sempre a partir de premissas dentro de

um contexto específico.

Fisher *et al.* (2017) relatam que a região da América Latina e do Caribe estão particularmente expostas a riscos naturais, incluindo condições climáticas extremas. Apesar disso, demonstram oportunidades para muitos destes países incluírem a resiliência na reabilitação e modernização de suas infraestruturas críticas existentes e no desenvolvimento de procedimentos futuros de planejamento dessas infraestruturas.

A partir da realização de filtros nos dados do EM-DAT Public (2020) do Centro de Pesquisas em Epidemiologia de Desastres da Universidade Católica de Louvain (Bélgica), foi possível obter o quantitativo dos principais desastres naturais no mundo

relacionados às condições meteorológicas, hidrológicas e ao clima, no período de 2000 até novembro de 2020, conforme o Quadro 01, sendo importante destacar um único registro de incêndio florestal no Brasil neste período, o que permite discutir a forma de obtenção dos dados, uma vez que em setembro de 2020, segundo Garcia (2020), ocorreram incêndios florestais nos biomas da Amazônia, Pantanal, Mata Atlântica e Cerrado. Mesmo assim, é importante apresentar os dados neste trabalho para se destacar as expressivas ocorrências de inundações em diversas as regiões do globo, enquanto na América do Norte, a maior atenção à promoção de resiliência da infraestrutura de transportes deva se dar frente às tempestades.

**Quadro 01** | Principais desastres naturais 2000 a 2020.

Desastres climáticos/ Região ou País	Inundações	Tempestades	Ondas de calor/frio ou temperaturas extremas	Deslizamentos ou movimentos de massa	Secas extremas	Incêndios florestais
Global	3355	2112	433	403	334	244
Europa	419	267	226	13	20	67
África	682	158	15	40	120	16
América Central e do Norte	364	604	27	24	52	81
América Latina	326	45	39	50	34	22
Brasil	75	8	3	7	8	1

Fonte: EM-DAT Public (2020)

Neste sentido, de acordo com MunichRe (2020), somente as inundações representam cerca de 40% das perdas relacionadas aos desastres naturais, totalizando, desde o ano de 1980, cerca de um trilhão de dólares de prejuízos mundiais.

Os efeitos dos desastres naturais sobre as infraestruturas e a economia sempre se destacam, pois, de acordo com Fisher *et al.* (2017), somente na última década foi contabilizado um prejuízo econômico de 1,5 trilhão de dólares, considerando-se apenas os países componentes da OECD e do grupo BRICS – Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul.

Forzieri *et al.* (2018) projetaram em 3,4 bilhões de euros por ano os danos nas infraestruturas multissetoriais para a União Europeia, derivados apenas dos resultados dos efeitos das mudanças climáticas, com expectativa de aumento contínuo até alcançar uma projeção de 37 bilhões de euros por ano em 2080, com maior aumento projetado para o setor de energia e para o setor de transportes. A linha de base de danos anuais esperados para os transportes é de 0,8 bilhões de euros por ano, devendo atingir 11,9 bilhões de euros por ano no final deste século.

Os riscos climáticos, conforme argumenta Benzie *et al.* (2018), extrapolam seus impactos ao ordenamento político das fronteiras nacionais e, portanto, as complexas interconexões globais existentes, como a economia e, segundo a Comissão

Europeia (2018), o impacto no PIB anual do bloco econômico decorrentes dos impactos climáticos no comércio com a América Latina alcançaria a ordem de 1,15 bilhões de euros por ano, no cenário em que o aumento da temperatura global se limitasse a 2°C, chegando a 3,95 bilhões de euros por ano, em um cenário de temperatura mais elevada até o final do século, impondo reflexões quanto a necessidade de se racionalizar uma adaptação à resiliência global.

Stamos *et al.* (2015) destacam que a ocorrência de eventos climáticos extremos pode tornar as redes de todos os modos de transporte vulneráveis, dificultando sua operação, que podem resultar em perturbações parciais ou totais.

Os danos causados pela dinâmica do clima apresentaram uma distribuição desigual em quantidade e níveis de impactos entre diferentes setores e economias nacionais, dependente de suas próprias vulnerabilidades, sendo que, para o setor de transporte, as ondas de calor, segundo Forzieri *et al.* (2018), corresponderão a maior proporção de danos futuros, representando cerca de 92% do total dos danos até 2080, principalmente por afetar estradas e ferrovias.

Os principais impactos das mudanças climáticas e ocorrência de eventos extremos no setor de infraestrutura de transportes são exemplificados no Quadro 02.

**Quadro 02** | Impactos das mudanças climáticas e ocorrência de eventos extremos para o setor de transportes.

Alterações de clima e tempo	Eventos / Desastres	Modo Rodoviário	Modo Ferroviário	Modo Aquaviário e Portuário	Modo Aeroportuário	
		Referências: (Transportation Research Board, 2008; Bollinger <i>et al.</i> , 2014; CIRCLE, 2016; Forzieri <i>et al.</i> , 2018; Shakou <i>et al.</i> , 2019; Hummel, 2020; Ortega <i>et al.</i> , 2020)	Referências: (Transportation Research Board, 2008; CIRCLE, 2016; Forzieri <i>et al.</i> , 2019; Ortega <i>et al.</i> , 2020)	Referências: (Transportation Research Board, 2008; CIRCLE, 2016; Forzieri <i>et al.</i> , 2018; Izaguire <i>et al.</i> , 2020)	Referências: (Transportation Research Board, 2008; Coffel <i>et al.</i> , 2015; CIRCLE, 2016; Kreuz <i>et al.</i> , 2016; Forzieri <i>et al.</i> , 2018; Watt, 2019; Özeren, 2019; Counsell, 2019)	
Eventos extremos	Tempestades, Furacões, Ciclones	Carreamento de materiais e objetos.	Falha nos ativos como resultado de relâmpagos sobre a equipamentos elétricos	Danos à infraestrutura, equipamentos e carga (infraestrutura costeira, estruturas relacionadas ao porto, conexões do interior)	Danos a infraestrutura do aeroporto, controle aéreo e aeronaves	
		Redução da segurança dos usuários	Quedas de árvores	Aumento dos custos de construção e manutenção de controle de erosão e sedimentação	Danos em aeronaves por choque com materiais em suspensão	
			Carreamento de materiais e objetos		Redução de visibilidade Redução da aderência de pouso Cancelamento de voos Redução da performance das aeronaves	
	Inundações	Bombagem de finos das camadas inferiores	Desgaste e colapso da infraestrutura ferroviária	Danos à infraestrutura, equipamentos e carga (infraestrutura costeira, estruturas relacionadas ao porto, conexões do interior)	Interrupção de funcionamento de sistemas elétricos, de segurança e controle de voo, dentre outros	
		Desagregação de camada asfálticas e placa de concreto	Danos em obras de arte correntes ou especiais	Aumento dos custos de construção e manutenção de controle de erosão e sedimentação	Perda de área física do aeroporto	
		Desgaste e colapso do corpo estradal	Carreamento de materiais e detritos		Inundação de acesso aos aeroportos	
		Danos em obras de arte correntes ou especiais	Interrupção de funcionamento de sistemas de segurança viária e de linhas laterais, energizadas ou não			
		Interrupção de passagem, funcionamento de sistemas de iluminação e segurança viária	Interrupção de passagem devido ao nível da água			
	Alteração dos níveis de precipitação e regime	Chuvas torrenciais (com possibilidade de granizo)	Carreamento de objetos	Carreamento de objetos	Danos à infraestrutura, equipamentos e carga (infraestrutura costeira, estruturas relacionadas ao porto, conexões do interior)	Danos as infraestruturas do aeroporto
			Quedas de árvores	Quedas de árvores	Aumento dos custos de construção e manutenção de controle de erosão e sedimentação	Danos as aeronaves
Redução de visibilidade			Redução de visibilidade em cruzamentos		Redução da aderência de pouso	
Alteração na		Movimentação de massa	Alteração do fluxo dos rios com risco de			

			escorregamento e danos em Obras de Artes Especiais		
		Carreamento de objetos	Carreamento de objetos		
		Danos físicos à infraestrutura	Movimentação de massa		
		Interrupção de passagem	Interrupção de passagem		
	<b>Seca Prolongada</b>	Instabilidade da subestrutura das rodovias	Dessecação de aterros, resultando em falhas na geometria da pista e falhas em equipamentos de beira de linha suportados	Baixa navegabilidade interior	
		Danos ao paisagismo rodoviário			
	<b>Incêndios florestais</b>	Descobertura da vegetação de encostas, tornando mais vulnerável a erosões e deslizamentos em novos períodos chuvosos	Descobertura da vegetação de encostas, tornando mais vulnerável a erosões e deslizamentos em novos períodos chuvosos		Emissão de fumaça e geração de cinzas flutuantes
		Danos às estruturas metálicas, pontes, postes, etc.	Danos às estruturas metálicas, pontes, postes, etc.		
		Queima de cercas de delimitação de faixa de domínio	Queima de cercas de delimitação de faixa de domínio		
		Fissuramento de rochas por variação brusca de temperaturas, gerando pedras soltas	Fissuramento de rochas por variação brusca de temperaturas, gerando pedras soltas		
		Redução da visibilidade	Deformação estrutural dos trilhos - "flambagem"		
		Geração de cinzas flutuantes	Geração de cinzas flutuantes		
		Calor lateral	Calor lateral		
Interrupção de tráfego de passagem		Interrupção de tráfego de passagem			
Afugentamento de animais em direção à estrada		Afugentamento de animais em direção à ferrovia			
<b>Alteração da temperatura</b>	<b>Ondas de calor extremas</b>	Danos sobre a pavimentação de concreto devido a juntas de dilatação subdimensionadas	Deformação estrutural dos trilhos - "flambagem"	Danos à infraestrutura, equipamentos e carga	Danos sobre a pavimentação de concreto devido a juntas de dilatação subdimensionadas (Runway Buckling)
		Deformação e sulcos nas estradas	Queda da linha aérea e perda de contato entre o pantógrafo aos fios energizados de trens elétricos	Aumento dos serviços de suporte e auxílios à navegação, como busca e resgate para quebrar o gelo	Redução da performance das aeronaves e aumento do nível de ruído das aeronaves
			Falhas nos sistemas de controles de temperatura e superaquecimento de equipamentos eletrônicos	Aumento dos custos de construção e manutenção; novo projeto de navio e cascos reforçados;	Aumento de custo operacional de condicionamento de temperatura dos aeroportos
	<b>Ondas de frio extremas (geadas, neve,</b>		Aumento da necessidade de manutenções periódicas dos trilhos	Temporada de embarque mais longa (NSR), nova rota marítima (NWP)	
		Deformação devido a gelo-degelo	Descarrilhamento de composições		Redução de visibilidade pela neblina
		Interrupção de passagem devido a camada de gelo	Redução de aderência entre trilhos e material rodante, para início de movimento e para frenagem		Aumento de custo operacional de condicionamento de temperatura dos aeroportos

		Fissuramento de rochas devido ao gelo-degelo, gerando pedras soltas	Aumento da necessidade de manutenções		Redução da performance das aeronaves
			Bloqueio por neve ou gelo		Redução da aderência de pouso
			Gelo nas estradas e incursão de veículos no sistema de trilhos		
			Falha operacional de equipamentos mecânicos devido ao acúmulo de gelo, inclusive pantógrafos		
Alteração de direção e velocidade dos ventos	Vendaval ou tempestade de areia	Carreamento de material particulado, gerando poeira e acúmulo de sedimento	Perda de contato entre o pantógrafo aos fios energizados de trens elétricos	Danos à infraestrutura, equipamentos e carga (infraestrutura costeira, estruturas relacionadas ao porto, conexões do interior)	Danos a infraestrutura de controle aéreo
		Alta concentração de material particulado	Quedas de postes, árvores, elementos de segurança e estruturas	Sedimentação de materiais	Redução da performance das aeronaves
		Quedas de postes, árvores, elementos de segurança e estruturas	Carreamento de material particulado, gerando poeira e acúmulo de sedimento		Redução da performance das aeronaves devido a maior recorrência de turbulências e "Jet stream"
		Tombamento de veículos			Redução de visibilidade
		Bloqueio do tráfego			Risco de choque de materiais
					Cancelamento de voos
Aumento do nível do mar, subsidência e outros	Aumento do nível do mar ou subsidência	Inundação do corpo estradal, danos aos sistemas de controle de tráfego, em rodovias de baixa altitude	Inundação da ferrovia de baixa altitude	Danos à infraestrutura, equipamentos e carga (infraestrutura costeira, estruturas relacionadas ao porto, conexões do interior)	Inundação do mar em aeroportos de baixa altitude
				Aumento dos custos de construção e manutenção, de controle de erosão e sedimentação	Inundação de acesso aos aeroportos
				Relocalização e migração de pessoas e negócios, escassez de mão de obra e fechamento do estaleiro	Impactos nas rotas de voo devido à ausência de área física do aeroporto
				Variação na demanda e fornecimento de serviços de transporte marítimo e portuário	Perda de capacidade operacional do aeroporto
				Desafio para a confiabilidade do serviço e redução da dragagem, redução da segurança e das condições de navegação	

**LEGENDA:**

	Impacto nas operações
	Impacto na infraestrutura

Fonte: Elaboração própria.

Levin *et al.* (2012) anteriormente ao Acordo de Paris, já se posicionavam a favor da dependência do caminho, abordagem que analisa a capacidade de mudança das instituições, levando em consideração suas estruturas históricas, para uma transformação significativa e incremental frente às mudanças climáticas. Neste sentido, entender os riscos que a Infraestrutura Crítica de Transportes enfrenta em relação às mudanças climáticas e verificar a abordagem estabelecida nos documentos

direcionadores das estratégias de adaptação às mudanças climáticas é fundamental na promoção de uma infraestrutura crítica de transportes mais resiliente e em buscas de oportunidades.

As mudanças climáticas também poderão gerar ao setor portuário impactos considerados positivos, como por exemplo a redução das distâncias de comércio Ásia-Europa e menos consumo de combustível, novas competições por mercado de transportes, dentre outros (CIRCLE, 2016).

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Governança de riscos internacionais e qualidades para a promoção de resiliência para a Infraestrutura Crítica de Transporte

Cabe aos governos nacionais a importante função de governança de risco e identificação dos perigos e ameaças que podem representar riscos críticos, visando estabelecer estratégias integradas, por meio de documentos direcionadores que possibilitem a definição de como uma sociedade pode construir uma confiável proteção e prosperidade para o seu país. Neste sentido, os resultados da OECD (2018) apontam que, do total de 34 respondentes a uma pesquisa sobre Governança de Riscos Críticos, 28 informaram existir estratégias nacionais de infraestruturas críticas, sendo que 33 identificaram preocupação quanto aos riscos naturais repentinos (terremotos, incêndios florestais, inundações, outros) e 28 identificaram os riscos naturais lentos (seca, ondas de calor, outros) como potenciais riscos críticos, correspondendo à primeira e à quarta maiores frequências de preocupação, respectivamente.

Ao se considerar uma pergunta excludente, sobre qual seria o risco crítico “mais importante”, 14 respondentes consideraram os riscos naturais repentinos, demonstrando a grande preocupação quanto aos desastres naturais.

No mesmo sentido, o setor de transportes é relacionado como infraestrutura crítica em 24 do total de 25 países da OECD respondentes a pesquisa: Áustria, Bélgica, Canadá, República Tcheca, Estônia, Finlândia, França, Alemanha, Irlanda, Israel, Coréia, Letônia, Luxemburgo, Holanda, Nova Zelândia, Noruega, Polônia, Portugal, República Eslovaca, Espanha, Suécia, Suíça, Turquia, o Reino Unido e os Estados Unidos, sendo que somente a Estônia não considerou este setor como crítico. Adicionalmente, Brunner e Suter

(2008), relacionam mais quatro países que consideram o setor de transportes na lista de infraestruturas críticas: Brasil, Índia, Malásia e Singapura.

Foram identificadas no estudo da OECD (2018a) diversas formas de governança de riscos críticos adotados pelos países, variando desde a completa descentralização em múltiplos órgãos até o estabelecimento de autoridade central ou convocadora, de modo que a ampla variedade de riscos críticos e a multiplicidade de atores competentes constituem grandes desafios, principalmente quando os riscos envolvem vários setores.

A Diretiva 114/2008 do Conselho da União Europeia estabelece procedimentos de identificação e designação de Infraestruturas Críticas Europeias – ICE, sendo destacado no documento Avaliação da Estratégia da UE a necessidade de se garantir a resiliência climática das IC existentes e futuras, a fim de garantir a confiabilidade da prestação de serviços e o aumento da vida útil dos ativos (UNIÃO EUROPEIA, 2008; COMMISSION, 2019). Apesar disso, a avaliação da Comissão Europeia considera que a Diretiva 114/2008 apresenta limitada relevância quanto ao contexto de adaptação às mudanças climáticas ao reconhecer sua inserção apenas de forma transversal e não imperativa (UNIÃO EUROPEIA, 2008).

De forma a apresentar um panorama de como as mudanças climáticas estão sendo incorporadas por outros países no contexto de infraestrutura crítica, buscou-se relacionar documentos dos países pertencentes a OECD (OECD, 2018b), sendo observado que, do total de 37

países membros, somente a República Eslovaca não apresentou estruturas governamentais ou comissões específicas para avaliações nacionais de risco climático. Para os demais países, verificou-se que os documentos elaborados foram constituídos entre os anos de 2005 e 2017.

Nota-se que 5 países apresentam comitês ou departamentos específicos ligados ao clima ou à mudança do clima: Bélgica, Irlanda, Suécia, Rússia, Reino Unido; em outros 2, o assunto em tela está ligado diretamente ao governo central (Nova Zelândia e Portugal); em 1, está ligado a uma estrutura de Ministério de Desenvolvimento Sustentável e Infraestrutura (Luxemburgo) e na maior parte (26), o assunto é tratado exclusivamente por ministérios, agência ou escritório de meio ambiente.

Foi abordado o setor-foco de cada documento dos respectivos países, sendo abordadas 3 categorias: multisetorial, apenas

transportes e apenas água. Entre os países, a maior parte trata de multisetorial, sendo que apenas Índia, México e Eslováquia abordam “apenas água”, e somente Austrália aborda “apenas transportes”. Nota-se que múltiplos impactos compõem a maior parte dos documentos dos países, sendo que Austrália e México tratam de mudanças costeiras e México de inundação.

Cada país adota diretrizes próprias para promover a resiliência dos seus sistemas de infraestrutura crítica, sendo que a OECD (2018a) estabelece oito principais: avaliar todos os riscos e ameaças, abordar os riscos em nível de sistema, coordenar de forma multissetorial, cooperar com o setor privado e estabelecer parcerias, abordar ciclo de vida completo, atender todo o ciclo de gestão de risco, abordar de forma integrada e por camadas todos os riscos, e manter uma dimensão transfronteiriça.

### 3.2 Análise das qualidades previstas na OECD para a promoção de resiliência para Infraestrutura de Crítica de Transporte no Brasil

A Política Nacional de Segurança de Infraestruturas Críticas (PNSIC) no Brasil foi estabelecida pelo Decreto nº 9.573/2018, com a finalidade garantir a segurança e a resiliência das infraestruturas críticas do país e a continuidade da prestação de seus serviços. Na Figura 02, são apresentados os itens

normativos do referido decreto, que apresentam convergência às qualidades previstas na OECD para a promoção de resiliência para Infraestrutura Crítica de Transporte para o caso do Brasil, além das ações direcionadoras nacionais de promoção de resiliência climática para ICT no Brasil

**Figura 02** | Convergência de qualidades previstas na OECD para promoção de resiliência climática para ICT no Brasil.



Fonte: Elaboração própria.

Neste contexto de promoção de resiliência para ICT, no âmbito do GSI (Brasil, 2020f), foram instituídos grupos temáticos para elaboração de análise de risco e recomendações relacionadas à segurança das infraestruturas críticas do setor brasileiro de transportes terrestre, aéreo e aquaviário.

O Brasil assumiu o compromisso de implantar ações e medidas que apoiem o cumprimento das metas estabelecidas na sua Contribuição Nacionalmente Determinada ao Acordo de Paris, e o país possui marcos históricos na

temática, como a instituição da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), de 2009, e do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA), de 2016, bem como planos setoriais de adaptação e mitigação. O setor de transportes, por exemplo, desenvolveu o Plano Setorial de Transporte e Mobilidade Urbana (PSTM), de 2013, para a mitigação e adaptação à mudança do clima, dentre outros objetivos. O desafio atual é avançar na integração do tema às ações do setor, de forma a internalizar e incorporar as medidas já definidas.

## 4 CONCLUSÕES

A seleção das infraestruturas consideradas críticas varia de país a país e pode ser alterada ao longo do tempo, sendo que os riscos advindos das mudanças climáticas e eventos naturais extremos, principalmente os repentinos, foram destacados como de mais frequente preocupação.

Com base nos estudos, verificou-se que os 42 países analisados e componentes da OECD ou BRICS possuem estruturas governamentais ou comissões que, entre os anos de 2005 e 2017, abordaram a infraestrutura em avaliações nacionais de risco climático. Deve-se destacar que o banco de dados EM-DAT Public foi intensamente referenciado no documento OECD (2018b), contudo os dados apresentados sobre incêndios florestais no Brasil se mostraram passíveis de questionamento.

No estudo, o Brasil é citado como um dos 26 países que possuem Ministério de Meio Ambiente para tratar das questões voltadas às mudanças climáticas. Verificou-se também que em 2016 foi editado pelo Ministério de Meio Ambiente o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima. Da mesma forma, foram identificados outros marcos históricos como a instituição da Política Nacional sobre Mudança do Clima, de 2009, o Plano Setorial de Transporte e Mobilidade Urbana, de 2013, bem como planos setoriais de mitigação e adaptação à mudança do clima, que ratificam o compromisso de implantar ações e medidas que apoiem o Acordo de Paris.

O Brasil também estabeleceu, em 2018, a Política Nacional de Segurança de Infraestruturas Críticas, com a finalidade de garantir a segurança e a resiliência das infraestruturas críticas do país e a continuidade da prestação de seus serviços; Plano

Nacional de Segurança de Infraestruturas Críticas; e Estratégia Nacional de Segurança de Infraestruturas Críticas.

A implementação da PNSIC no âmbito dos transportes ainda se mostra em execução, sendo estabelecidos grupos técnicos setoriais, para elaboração da análise de risco de cada infraestrutura crítica no setor de transportes terrestre, aéreo e aquaviário. Pela análise do Decreto que aprova o PNSIC, verifica-se o completo alinhamento do Brasil com as qualidades previstas na OECD, sendo importante acompanhar a implementação das ações brasileiras na promoção de resiliências às IC, com atenção a forma que a resiliência frente às mudanças climáticas está sendo inserida.

O resultado evidenciou que o Brasil, por meio do seu arcabouço legal e organizações, apresenta-se alinhado às qualidades previstas na OECD para a promoção de ações de resiliência para Infraestrutura de Crítica de Transporte (ICT) no país.

Apesar de serem apresentados em forma de quadro os principais impactos da mudança climática e ocorrência de eventos extremos sobre as infraestruturas de transportes, recomenda-se, para trabalhos futuros, a apresentação de estudos de caso que tenham utilizado as qualidades previstas na OECD para a promoção de resiliência para infraestruturas críticas, que contemplem mais de um setor.

Outra recomendação é a realização de estudos sobre a percepção dos gestores públicos no Brasil frente à resiliência às mudanças climáticas para as infraestruturas críticas de transportes.

## REFERÊNCIAS

1. BENZIE, M.; ADAMS, K. M.; ROBERTS, E; MAGNAN, A. K.; PERSSON, A.; NADIN R.; KLEIN, R. J.T.; HARRIS, K.; TREYER, S.; KIRBYSHIRE, A. Meeting the global challenge of adaptation by addressing transboundary climate

- risk: A joint collaboration between SEI, IDDRI, and ODI. **Discussion Brief. Stockholm: Stockholm Environment Institute**, 2018.
2. BODIN, P.; WIMAN, B. Resilience and other stability concepts in ecology: Notes on their origin, validity, and usefulness. **ESS bulletin**, v. 2, n. 2, p. 33-43, 2004.
  3. BOLLINGER, L.A., BOGMANS, C.W.J., CHAPPIN, E.J.L. *et al.* **Climate adaptation of interconnected infrastructures: a framework for supporting governance**. Reg Environ Change 14, 919–931 (2014). <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0428-4>
  4. BRANDÃO, J. M. **Resiliência: de que se trata?: o conceito e suas imprecisões**. 2009.
  5. BRASIL. **Lei nº 9.478**, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. DOU, 1997.
  6. BRASIL. **Lei nº 10.233**, de 5 de junho de 2001. Dispõe sobre a reestruturação dos transportes aquaviário e terrestre, cria o Conselho Nacional de Integração de Políticas de Transporte, a Agência Nacional de Transportes Terrestres, a Agência Nacional de Transportes Aquaviários e o Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, e dá outras providências. DOU, 2001.
  7. BRASIL. **Portaria GSIPR nº 2**, de 08 de fevereiro de 2008. Institui Grupos Técnicos de Segurança de Infra-estruturas Críticas (GTSIC) e dá outras providências. DOU, 2008.
  8. BRASIL. **Lei nº 12.587**, de 3 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. DOU, 2012.
  9. BRASIL. **Lei nº 13.334**, de 13 de setembro de 2016. Cria o Programa de Parcerias de Investimentos - PPI; altera a Lei nº 10.683, de 28 de maio de 2003, e dá outras providências. DOU, 2016.
  10. BRASIL. **Decreto nº 9.573**, de 22 de novembro de 2018. Aprova a Política Nacional de Segurança de Infraestruturas Críticas. DOU, 2018.
  11. BRASIL. **Decreto nº 9.675**, de 2 de janeiro de 2019. Aprova a Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e das Funções de Confiança do Ministério de Minas e Energia. DOU, 2019a.
  12. BRASIL. **Decreto nº 9.676**, de 2 de janeiro de 2019. Aprova a Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e das Funções de Confiança do Ministério da Infraestrutura. DOU, 2019b.
  13. BRASIL. **Decreto nº 9.972**, de 14 de agosto de 2019. Dispõe sobre a qualificação de empreendimentos dos setores portuário, aeroportuário, rodoviário, ferroviário e hidroviário no âmbito do Programa de Parcerias de Investimentos da Presidência da República e sua inclusão no Programa Nacional de Desestatização. DOU, 2019c.
  14. BRASIL. **Decreto nº 10.138**, de 28 de novembro de 2019. Dispõe sobre a qualificação de empreendimentos públicos federais dos setores portuário e rodoviário no âmbito do Programa de Parcerias de Investimentos da Presidência da República. DOU, 2019d.
  15. BRASIL. **Lei nº 13.844**, de 18 de junho de 2019. Estabelece a organização básica dos órgãos da Presidência da República e dos Ministérios. DOU, 2019e.
  16. BRASIL. **Decreto nº 10.218**, de 30 de janeiro de 2020. Transfere a Secretaria Especial do Programa de Parcerias de Investimentos da Casa Civil da Presidência da República para o Ministério da Economia. DOU, 2020a.
  17. BRASIL. **Decreto nº 10.290**, de 24 de março de 2020. Aprova a Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e das Funções de Confiança do Ministério do Desenvolvimento Regional. DOU, 2020b.
  18. BRASIL. **Decreto nº 10.330**, de 28 de abril de 2020. Dispõe sobre a qualificação de empreendimentos públicos federais do setor portuário, no âmbito do Programa de Parcerias de Investimentos da Presidência da República. DOU, 2020c.
  19. BRASIL. **Decreto nº 10.368**, de 22 de maio de 2020. Aprova a Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e das Funções de Confiança do Ministério da Infraestrutura e remaneja e transforma cargos em comissão e funções de confiança. DOU, 2020d.
  20. BRASIL. **Decreto nº 10.390**, de 5 de junho de 2020. Dispõe sobre a qualificação de empreendimentos públicos federais do setor portuário e do setor de transporte rodoviário no âmbito do Programa de Parcerias de Investimentos da Presidência da República. DOU, 2020e.
  21. BRASIL. **Portaria GSI/PR nº 76**, de 13 de novembro de 2020. Dispõe sobre os grupos temáticos da Câmara de Relações Exteriores e Defesa Nacional do Conselho de Governo. DOU, 2020f.
  22. BRUNNER, E. M.; SUTER, M. International CIIP handbook 2008/2009. **Center for Security Studies, ETH Zurich**, p. 61, 2008.
  23. CASHORE, B.; AULD, G.; BERNSTEIN, S.; LEVIN, K. **Paris could be different: But it requires policy makers apply path dependency analysis to the “super wicked problem” of climate change**: Macmillan Center, Yale University 2016.
  24. CIRCLE, E. **Impacts of Climate Change and Extreme Weather Events on Critical Infrastructure: State of the Art Review and Taxonomy of Existing Knowledge**. EU-CIRCLE consortium. 2016. (D1.2)
  25. COFFEL, E. HORTON, R. Climate Change and the Impact of Extreme Temperatures on Aviation. **Weather, Climate and Society**. American Meteorological Society. v.7, 2015
  26. COMMISSION, E. **Evaluation Study of Council Directive 2008/114 on the identification and designation of European critical infrastructures and the assessment of the need to improve their protection**. European Union. Luxembourg, 2019.

27. COUNSELL, J. The impact of Climate Change on Aviation. **IATA Safety & Flight Operations Conference**. Barcelona, 2019.
28. CURT, C.; TACNET, J. M. Resilience of critical infrastructures: Review and analysis of current approaches. **Risk Analysis**, v. 38, n. 11, p. 2441-2458, 2018.
29. EM-DAT Public. The international disasters data base. Disponível em: <www.emdat.be>. Acesso em: 30 nov. 2020.
30. EUROPEIA, C. **Relatório da Comissão ao Parlamento Europeu e ao Conselho sobre a execução da estratégia da UE para a adaptação às alterações climáticas**. 2018
31. FISHER, M. K. *et al.* Marco de Avaliação de Políticas sobre a Governança de Infraestruturas Críticas Resilientes na América Latina. 2017.
32. FOLKE, C. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. **Global environmental change**, v. 16, n. 3, p. 253-267, 2006.
33. FORZIERI, G. *et al.* Escalating impacts of climate extremes on critical infrastructures in Europe. **Global environmental change**, v. 48, p. 97-107, 2018.
34. GARCIA, M. F. Brasil em chamas: incêndios atingem Amazônia, Pantanal e Mata Atlântica (2020). Observatório do Terceiro Setor. Disponível em: < <https://observatorio3setor.org.br/noticias/amazonia-pantanal-mata-atlantica-tem-incendios/>>. Acesso em: 04 dez. 2020.
35. GOMIDE, A. D. Á.; PEREIRA, A. K. E. Governança da política de infraestrutura: condicionantes institucionais ao investimento. 2018.
36. HOLLING, C. S. Resilience and stability of ecological systems. **Annual review of ecology and systematics**, v. 4, n. 1, p. 1-23, 1973.
37. HOLLING, C. S. **Engineering resilience versus ecological resilience**. 1996. 32
38. HOSSAIN, N.U.I.; AMRANI, S. E.; JARADAT, R.; MARUFUZZAMAN, M.; BUCHANAN, R.; RINAUDO, C; HAMILTON, M. Modeling and assessing interdependencies between critical infrastructures using Bayesian network: A case study of inland waterway port and surrounding supply chain network. **Reliability Engineering and System Safety**, 2020
39. HUMMEL, M. A.; SIWE, A. T.; CHOW, A.; STACEY, M. T.; MADANAT, S. M. Interacting Infrastructure Disruptions Due to Environmental Events and LongTerm Climate Change. **Earth's Future**, v. 8, n. 10, p. e2020EF001652, 2020.
40. IZAGUIRRE, C.; LOSADA, I. J.; CAMUS, P.; VIGH, J. L.; STENEK, V. Climate change risk to global port operations. **Nature Climate Change**, p.1-7, 2020.
41. KORKALI, M.; VENEMAN, J. G.; TIVNAN, B. F.; BAGROW, J. P.; HINES, P. D. H. Reducing cascading failure risk by increasing infrastructure network interdependence. **Scientific reports**, v. 7, p. 44499, 2017.
42. KREUZ, M.; LUCHKOVA, T.; SCHULTZ, M. Effect Of Restricted Airspace On The ATM System. **Transportation Research Procedia**. World Conference on Transport Research Shanghai. 10-15 July 2016. WCTR 2016.
43. LEVIN, K.; CASHORE, B.; BERNSTEIN, S.; AULD, G. Overcoming the tragedy of super wicked problems: constraining our future selves to ameliorate global climate change. **Policy sciences**, v. 45, n. 2, p. 123-152, 2012.
44. LOURENÇO, G. M. Os efeitos da greve dos caminhoneiros. **Revista Vitrine da Conjuntura**, v.11, n.6, 2018.
45. MIKELLIDOU, C. V. *et al.* Energy critical infrastructures at risk from climate change: A state of the art review. **Safety Science**, v. 110, p. 110-120, 2018.
46. MOTEFF, J. D. Critical Infrastructures: Background, Policy, and Implementation. **Congressional Research Service**, CRS Report. 2015.
47. MunichRe. Population density determines risk of loss. 2020. Disponível em: < <https://www.munichre.com/en/risks/natural-disasters-losses-are-trending-upwards/floods-and-flash-floods-underestimated-natural-hazards.html#-24989000> >. Acesso em: 29 nov. 2020
48. OECD. Assessing Global Progress in the Governance of Critical Risks. **OECD Reviews of Risk Management Policies**, 2018a.
49. OECD. Climate-Resilient Infrastructure: Policy Perspectives. **OECD Environmental Policy Paper no. 14**, 2018b.
50. OECD. Good Governance for Critical Infrastructure Resilience. **OECD Reviews of Risk Management Policies**, 2019.
51. 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, p. 102691, 2020.
52. ÖZEREN, U. Istanbul Airport Climate Change Action Plan. **IATA Safety & Flight Operations Conference**. Barcelona, 2019.
53. RADVANOVSKY, R; MCDUGALL, A. **Critical infrastructure: homeland security and emergency preparedness**. CRC Press, 4<sup>th</sup> ed. 2019.
54. SHAKOU, L. M; WYBO, J; RENIERS, G; BOUSTRAS, G. Developing an innovative framework for enhancing the resilience of critical infrastructure to climate change. **Safety science**, v. 118, p. 364-378, 2019.
55. STAMOS, I, E. SALANOVA, J.M. Roadmaps for Adaptation Measures of Transportation to Climate Change. **Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board** 2532(1):1-12, 2015.
56. TRANSPORTATION RESEARCH BOARD OF THE NATIONAL ACADEMIES. Annual Report, 2008.

57. UNIÃO EUROPEIA, C. Directiva 2008/114/CE. **Jornal Oficial da União Europeia**, p. 75-82, 2008. Disponível em: <[https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0114& from=EL](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0114&from=EL)>. Acesso em: 01 dez 2020.
58. WATT, A. Adapting Aviation to a Changing Climate. **IATA Safety & Flight Operations Conference**. Barcelona, 2019.

# EIXO II

PROMOÇÃO DE UMA  
INFRAESTRUTURA DE  
TRANSPORTES MAIS  
SUSTENTÁVEL





## CONTORNO FERROVIÁRIO DE SÃO JOSE DO RIO PRETO: AVALIAÇÃO DOS BENEFÍCIOS SOCIOAMBIENTAIS PARA PROMOÇÃO DA RESILIÊNCIA

### RESUMO

A relação de coexistência entre ferrovias e áreas urbanas é frequentemente atrelada a conflitos e incômodos causados pelo tráfego de trens. Tais conflitos podem resultar em transtornos para a dinâmica da cidade, afetar a qualidade de vida da população e o desempenho das empresas e cidades em seus indicadores de desenvolvimento social e econômico. A manutenção do crescimento da economia é condicionada pelo bom funcionamento do meio ambiente. Neste sentido, a adoção de medidas que visem à continuidade do desenvolvimento social, econômico e ambiental corrobora para a seguridade da capacidade de resiliência dos entes envolvidos. O presente artigo analisa a associação entre conflitos urbanos ferroviários à capacidade de resiliência, esta que vai além do aspecto ecológico e contempla as esferas social e econômica. Com base nisso, este estudo de caso avalia as contribuições e justificativas socioambientais da construção do contorno ferroviário de São José do Rio Preto para a minimização de conflitos urbanos e promoção da resiliência. Por meio de informações cedidas pela empresa concessionária, realizou-se a análise qualitativa dos dados apresentados e o diálogo com a literatura científica sobre o tema. Os resultados expressam os ganhos socioambientais para a cidade de São José do Rio Preto, bem como o aumento da eficiência energética e operacional da ferrovia. Não obstante, subsidiam os prognósticos de aumento da resiliência urbana e econômica.

**Palavras-chave:** Conflitos Urbanos; Desenvolvimento; Ferrovia; Resiliência.

**Luciano Augusto Mysczak**, Graduado e mestrando em Geografia pela Universidade Federal do Paraná – UFPR, Especialista em Análise Ambiental pela mesma instituição. Desenvolve pesquisas relacionadas a geotecnologias, modelagem e soluções ambientais. Atualmente é colaborador na Rumo Logística, lotado na Coordenação de Meio Ambiente, atuando como Auditor Ambiental.

**Patricia Ruth Ribeiro**, Graduada em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura pela Universidade Federal do Paraná – UFPR, Especialista em Análise Ambiental pela mesma instituição. Com experiência de 6 anos no setor ferroviário, atuando na área ambiental. Atualmente é Coordenadora de Licenciamento Ambiental na Rumo Logística.

**Stefani Gabrieli Age**, Graduada em Ciências Biológicas pela Unibrasil com MBA em Gestão Empresarial pela FGV. Trabalha há mais de 11 anos no setor ferroviário, atuando na área ambiental. Atualmente é Gerente de Licenciamento Ambiental na Rumo Logística.

# 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico e social brasileiro ocorrido nos últimos 50 anos promoveu profundas mudanças demográficas e de ocupação do território. Em 2010, o censo demográfico apontou que 84% da população do país residia em áreas urbanas (IBGE, 2010). De acordo com ONU-Habitat (2016), há uma tendência global de aumento população urbana, que deve subir dos atuais 50% para cerca de 70% até o ano de 2050. Neste sentido, é preciso considerar, além do incremento populacional, elementos como o aumento da frota de veículos em circulação, o crescimento das áreas urbanas, demanda por produção de alimentos, energia e infraestruturas. Tal cenário se mostra especialmente alarmante quando considerados os aspectos atrelados às mudanças climáticas (MONTGOMERY, 2007; GONZÁLEZ, *et al.*, 2021) e à sustentabilidade dos sistemas urbanos contemporâneos (EGID; ATI; VINCI, 2020), como o aumento de temperatura média global, aumento no nível do mar, formação de ilhas de calor, ocorrência de inundações, escassez hídrica, segurança alimentar, acidificação dos oceanos e eventos extremos (PBMC, 2016).

As cidades concentram uma diversidade de elementos que fazem com que tais ambientes estejam mais vulneráveis à ocorrência de fenômenos ambientais (PBMC, 2016). Não obstante, é inerente ao desenvolvimento das cidades o aumento populacional e a demanda por espaços, tornando frequentes as disputas por territórios. Fato este que é também expresso por conflitos imobiliários e de trânsito. A resolução destas questões pode ser mitigada com mecanismos de planejamento e gestão urbana. Vale salientar que, em cidades mal planejadas, os conflitos mencionados, quando associados a problemas ambientais, podem resultar em obstáculos para o desenvolvimento econômico e contribuir para a degradação social (SANTOS, 2004).

Considerando a natureza sistêmica e interdependência dos fatores econômicos, sociais e ambientais, conforme discutido por Mendonça (2009), destaca-se que as mesmas atividades econômicas que emitem gases de efeito estufa (GEE) estão sujeitas aos prejuízos causados pelas mudanças climáticas (SUERTEGARAY; NUNES, 2009). Tal argumento é reforçado por Chinowskya *et al.* (2019), que discutem a relação entre o aumento das temperaturas globais decorrentes das mudanças climáticas e os prejuízos causados à operação ferroviária em função da dilatação térmica dos trilhos.

A partir das perspectivas de mercado combinadas com a emergência das questões ambientais salientadas nos anos 1980 (BRUNDTLAND *et al.*, 1987), discutem-se, com maior frequência nos últimos anos, termos como economia verde e desenvolvimento sustentável (NESSHÖVER *et al.*, 2016). Nestas discussões, segundo Nesshöver *et al.* (2016), é crescente a perspectiva antrópica e a narrativa envolvendo biodiversidade e serviços ecossistêmicos, alinhados com metas de inovação para o desenvolvimento sustentável, tal como o conceito ESG (*Environmental, Social and Governance*), modelo de negócios e estratégias financeiras baseados na sustentabilidade (KLUZA, ZIOLO; SPOZ, 2021).

Discute-se também a recorrência de crises econômicas (DAMAS, 2017) e ambientais que possam influenciar negativamente o desempenho dos indicadores de desenvolvimento e a capacidade de recuperação das cidades e empresas (SELES *et al.*, 2019), isto é, a resiliência urbana e a econômica (LEOBONS; CAMPOS; BANDEIRA, 2019). De acordo com Junior (2016), há uma estreita relação entre crises ambientais e crises econômicas, onde a manutenção do crescimento da economia é condicionada pelo bom funcionamento do meio ambiente. Neste sentido, Seles *et al.* (2019) sugere que as práticas ambientais melhoram o desempenho dos negócios, mesmo em situações de crise econômica, exemplificadas: crise do petróleo na década de 1970 (NGUYEN *et al.*, 2021), crise da inflação brasileira na década de 1980 (NASSIF *et al.*, 2020) e crise global em 2007 e 2008 causada pelo colapso das hipotecas americanas (AGYEMANG; CHOWDHURY; BALLI, 2021).

Destaca-se que há um reconhecimento crescente da crise ambiental (TREGIDGA; LAINE, 2021) expressa em situações recorrentes de crise hídrica, secas prolongadas e inundações provocadas por eventos extremos, incêndios florestais e intensificação do desmatamento. A frequência de tais acontecimentos prejudica o restabelecimento da normalidade econômica e social de regiões atingidas por desastres (LEOBONS; CAMPOS; BANDEIRA, 2019), diminuindo, portanto, a resiliência dos ambientes e das populações.

Com base nisso, abordagens sustentáveis têm sido priorizadas no planejamento de novas áreas urbanas, principalmente em países desenvolvidos e na China (SEDDON *et al.*, 2020). Nestas abordagens, preconiza-se, com frequência, o conceito de cidades resilientes (MENDIZABAL *et al.*, 2018), definidas como cidades planejadas para

adaptação às mudanças do clima e mitigação de impactos decorrentes das atividades humanas sobre o meio ambiente e qualidade de vida da população. Discutem-se modelos de planejamento que visam aferir e prever riscos sociais, econômicos e ambientais, de modo a adaptar, controlar e transpor tais condições (SILVA; FARIAS; EDELWEIS, 2018). Associam-se também a este debate temas como a modelagem do clima futuro, adaptação às mudanças climáticas, qualidade do ar, saúde, geração de energia, planejamento urbano e governança (GONZALES *et al.*, 2021). Preconiza-se também o conceito *Smart Cities*, que se refere a mecanismos e estratégias combinadas para promoção do desenvolvimento econômico e da melhoria da qualidade de vida em ambientes urbanos (UNIÃO EUROPEIA, 2021).

A infraestrutura, principalmente das cidades, é reconhecida como um elemento crítico para o desenvolvimento de atividades econômicas e para a vida em comunidades.

As infraestruturas permitem a conectividade entre redes de comércio, movimentação de pessoas, bens e informações. Em ambientes urbanos, são frequentes as situações que comprometem o funcionamento da cidade, tais como engarrafamentos, tumultos, eventos públicos, alagamentos, deslizamentos de terra, entre outros. Quando tais ocorrências afetam o desempenho do sistema de transporte, muitos setores da cidade podem ser comprometidos, causando transtornos e prejuízos econômicos (SANTOS, 2014; LEOBONS; CAMPOS; BANDEIRA, 2019).

Assim, a capacidade de recuperação dos sistemas viários, bem como da operação ferroviária, para que se mantenham funcionando ou se mostrem resilientes mediante eventos adversos, é fundamental para o desenvolvimento e estabilidade econômica, bem como para a qualidade de vida de uma população (HUGHES; HEALY, 2014; LEOBONS; CAMPOS; BANDEIRA, 2019). Neste sentido, melhorar a resiliência compreende a adoção de estratégias que incluam restauração, mitigação e prevenção, (ADAMS *et al.*, 2012), especialmente mediante os cenários de mudanças climáticas (MONTGOMERY, 2007; GONZÁLEZ *et al.*, 2021).

O modal ferroviário é discutido como medida contra o aquecimento global, pois, em detrimento do modal rodoviário, é mais ecológico no que se refere às emissões de gases causadores do efeito estufa (KANAGAWA, 2019). A ANTF (2021) aponta que, individualmente, vagões de carga transportam aproximadamente 100 toneladas de mercadorias, enquanto os caminhões, 28 toneladas. Neste sentido, um trem composto por 100 vagões substituiria 357 caminhões. Ressalta-se ainda que tais valores variam conforme modelos e técnicas construtivas dos trilhos. Ademais, segundo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC,

2019), a emissão de CO<sub>2</sub> por tonelada transportada por quilômetro em caminhões é seis vezes maior que dos trens.

No Brasil, é comum a existência de cidades que se desenvolveram em pontos de parada e entroncamentos ao longo de estradas, ferrovias e hidrovias (MONASTIRSKY, 2013), fato este justificado pela facilidade de trocas comerciais e deslocamentos que tais vias possibilitam. Com o crescimento das cidades e o incremento populacional e de veículos, no entanto, ocorreu também aumento de conflitos ferroviários urbanos (CONTICELLI; TONDELLI, 2011), tais como acidentes de trânsito, poluição sonora e do ar, vibrações no solo, entre outros. Tais impactos podem resultar em danos materiais, diminuição da qualidade de vida (KANAGAWA, 2011) e degradação do meio ambiente (SANTOS, 2004; TORRES *et al.*, 2013).

Os conflitos urbanos atrelados à atividade ferroviária são notadamente marcados por dificuldades relacionadas à circulação urbana e travessias sobre a linha férrea, situação em que a ferrovia interfere significativamente na condição de ir e vir da população urbana (ANTT, 2014). Ruídos e incômodos causados pela vibração são importantes questões sociais, pois frequentemente são relatados efeitos fisiológicos associados à ocorrência intermitente do incômodo, como problemas auditivos, cefaleia, distúrbios gastrointestinais, hipertensão, efeitos mentais e psicológicos (KANAGAWA, 2011). Não obstante, vibrações associadas ao tráfego de trens causam vibrações no solo e podem levar a danos estruturais em edificações próximas. De acordo com Cidell (2019), o transporte logístico em espaços urbanos com caminhões e trens apresenta impactos negativos nos bairros, na morfologia urbana e, por consequência, na vida e meios de subsistência da população.

Ao longo das vias férreas que cruzam áreas urbanas são instituídos mecanismos regulatórios legais e aparatos técnicos que contribuem para a redução da velocidade, diminuição de ruídos e aumento da segurança. Tais medidas, no entanto, ainda que positivas, limitam o potencial de utilização do modal, prejudicando a eficiência do transporte. Não obstante, tendem a se tornar insuficientes se forem consideradas as tendências de aumento populacional das cidades (TORRES *et al.*, 2013; ONU-Habitat, 2016), a crescente demanda por eficiência energética no transporte ferroviário e a redução de impactos ambientais. Neste sentido, conflitam-se os interesses da população urbana afetada pelo tráfego de trens e das empresas operadoras do sistema ferroviário. No Brasil, registram-se grande número de demandas locais contrárias à operação ferroviária (UOL, 2013; TISCHER, 2018; G1, 2020).

Da existência de tais conflitos decorrem riscos às condições socioambientais da população e à continuidade de atividades econômicas, sendo o transporte logístico uma dessas. Neste sentido, a gestão de riscos futuros e o aumento da resiliência devem ser princípios norteadores do planejamento e implementação de medidas legais e de infraestrutura (IPCC, 2014).

O Estado brasileiro, por meio da Agência Nacional de Transporte Terrestre (ANTT, 2014), no âmbito da mediação de conflitos ferroviários urbanos e com o objetivo de subsidiar as decisões sobre projetos de investimento e segurança, produziu o relatório “Proposições para Solução de Conflitos Ferroviários Urbanos”. Somado a isso,

empresas alinhadas com estratégias econômicas de desenvolvimento sustentável aderem a tais proposições elencadas pelo relatório da ANTT e incluem prognósticos com possíveis ganhos ambientais, tais como carbono evitado, aumento da qualidade de vida da população e da resiliência urbana e ferroviária (LEBONS; CAMPOS; BANDEIRA, 2017).

Neste sentido, a presente pesquisa justifica-se em função de sua contribuição na discussão e formação de uma base conceitual e por acrescentar discussões na literatura sobre a avaliação de impactos socioambientais de conflitos ferroviários urbanos e cidades resilientes.

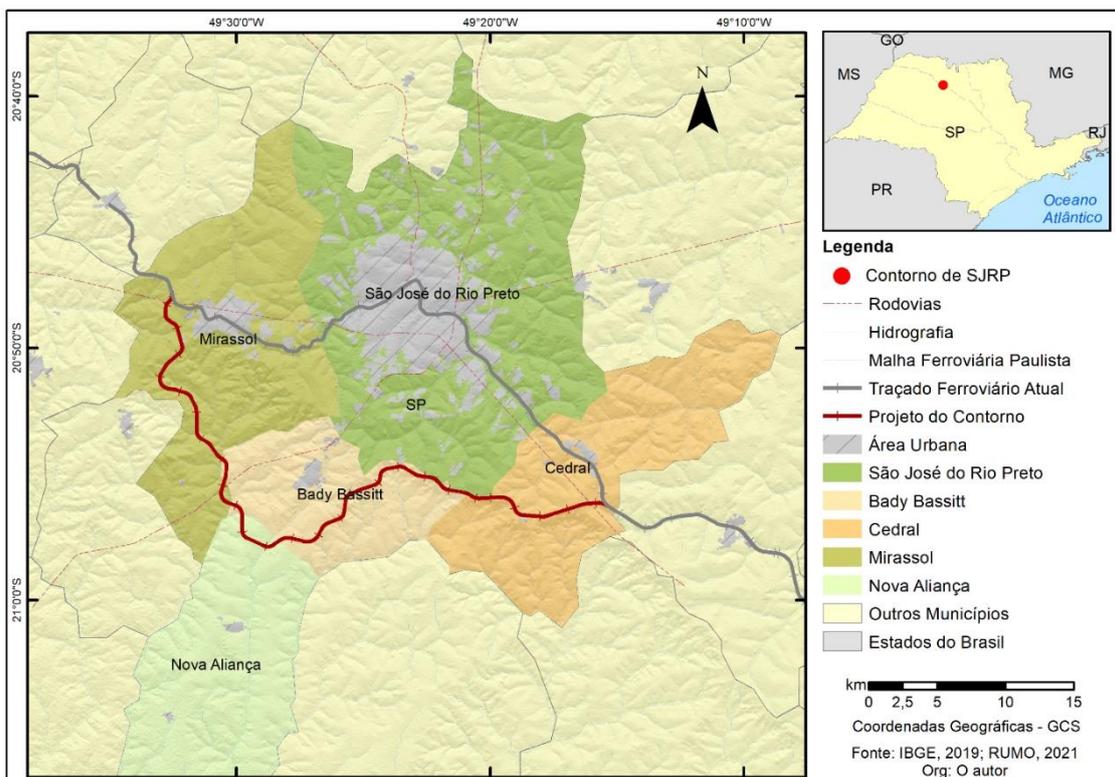
## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1 O Contorno Ferroviário de São José do Rio Preto

São José do Rio Preto (SJRP) é um município brasileiro localizado no interior do Estado de São Paulo, a 442 km de sua capital. Trata-se de importante município no contexto regional, com entroncamentos rodoviários federais (BR-153, BR-265 e BR-456) e cruzamento da ferrovia (EF-364), parte integrante da denominada Malha Paulista, conforme Figura 01. Ocupa área de 431,944 km<sup>2</sup>,

sendo 109 km<sup>2</sup> de área urbana. A população é estimada em aproximadamente 465 mil habitantes (IBGE, 2020). De acordo com o censo demográfico mais recente (IBGE, 2010), o município apresenta densidade demográfica de 945,12 hab/km<sup>2</sup> e possui o registro de 405 mil veículos motorizados. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) em 2010 é calculado em 0,797.

Figura 01 / Localização do Contorno Ferroviário de SJRP



Fonte: Elaboração própria.

Por oportuno, evidencia-se que a partir da década de 1970, com a crise do petróleo e sucessivas crises econômicas, as ferrovias brasileiras sofreram uma forte retração e profundas transformações em sua participação como modal de transporte em território nacional. Após processos de desestatização e significativos investimentos privados e da União, somente a partir dos anos 2000 verificou-se a recuperação do setor e a evolução na participação deste modal no transporte de cargas no Brasil (ANTT, 2012).

De acordo com dados fornecidos pela operadora logística Rumo (2019), a malha ferroviária no Estado de São Paulo (Malha Paulista) possui atualmente 2039 km e cruza o Estado de São Paulo desde Panorama, no extremo oeste, até o município de Santos, no litoral do Estado. Trata-se de um importante corredor de exportação de *commodities* agrícolas que conecta o Estado do Mato Grosso ao Porto de Santos e que movimentou em 2019 o volume de 42,8 bilhões de toneladas (RUMO, 2019).

A instalação da Estrada de Ferro Araraquense, em 1912, representou para o município de SJRP uma força motriz para o desenvolvimento local (AZEVEDO, 2004; LUZ, 2006), transformando a cidade em um polo comercial de concentração de mercadorias e distribuição de materiais vindos da capital (IBGE, 2021). Após o crescimento acelerado da cidade e a ocorrência de conflitos ferroviários urbanos, a via férrea passou a representar um desafio urbanístico para a promoção da qualidade de vida da população, desenvolvimento do comércio e da cidade.

A ocorrência de conflitos ferroviários urbanos decorre de impactos oriundos de acidentes de trânsito e com pedestres, bloqueios que impedem a circulação de veículos e pessoas, poluição sonora causada por sensações auditivas indesejáveis (SAPATA *et al.*, 2010; KANAGAWA, 2011).

Atualmente, 60% dos 45 km de ferrovia que se encontram entre municípios de Cedral, SJRP e Mirassol, estão inseridos em ambiente urbano. Devido à concentração de pessoas e veículos nessas áreas, este corresponde a um dos trechos, fora das grandes capitais, com maior número de ocorrências fatais envolvendo composições. Ademais, o trecho em questão intercepta a unidade de conservação Floresta Estadual do Noroeste Paulista no município de SJRP.

A fim de dirimir os conflitos ferroviários urbanos, foram implementadas medidas mitigadoras que corroboram com a segurança do tráfego das composições e o trânsito da cidade, tais como passagens de nível (PN), sinalização sonora e luminosa e restrições de velocidade, garantindo,

portanto, a livre circulação da população conforme estabelecido pelo Decreto Federal nº 1.832 (BRASIL, 1996). Não obstante, por casos fortuitos ou força maior, é recorrente a parada de composições ao longo do trecho urbano de SJRP, ocasionando a interrupção do tráfego de veículos e pedestres e transtornos logísticos e de mobilidade para a população (RUMO, 2021).

Destaca-se também o crescimento vegetativo da população de SJRP, registrado com média anual de 1% ao ano desde 2010, bem como o incremento de 50% no número total de veículos motorizados entre os anos de 2006 e 2020 (IBGE, 2021). Tal cenário resulta, portanto, em maior circulação de pessoas e veículos e, por sua vez, na baixa efetividade das medidas anteriormente adotadas.

Segundo informações da concessionária Rumo Logística, apresentados por Oikos (2021), o referido trecho se encontra com 96% de saturação operacional. Tal fato reflete negativamente na segurança da população urbana, na eficiência energética e de transporte, bem como em um gargalo logístico (ANTT, 2014). Ressalta-se ainda que as composições que trafegam neste trecho atualmente transportam cargas de grande periculosidade, tais como derivados de petróleo e etanol, ampliando o risco de eventuais impactos atrelados aos acidentes.

As próprias atividades citadinas podem se transformar em elementos geradores de riscos e potenciais desastres, sobretudo quando há deficiência na infraestrutura urbana. Tal fato faz com que os sistemas se tornem mais vulneráveis às crises externas e ameaças naturais (ISDR, 2009; HUGHES; HEALY, 2014; LEOBONS; CAMPOS; BANDEIRA, 2019).

Estando, portanto, o trecho ferroviário de SJRP próximo do seu limite de capacidade da operação e tendo os gestores públicos o desafio de promover a qualidade de vida e o desenvolvimento econômico, volta-se especial atenção à capacidade de resiliência da cidade e da operação ferroviária. Neste sentido, a adoção de estratégias e ações que possam aumentar a resiliência ajuda a melhorar a saúde humana, os meios de subsistência, o bem-estar social e econômico e a qualidade ambiental (IPCC, 2014).

Frente a isso, o poder público e a concessionária têm aderido às proposições voltadas a sustentabilidade e empenham-se em promover segurança no desenvolvimento econômico, equidade social e preservação do meio ambiente. Destaca-se que o município é signatário da Campanha Mundial de Redução de Desastres, promovido pela Organização das Nações Unidas (ONU) (ISDR, 2009), cujo tema é “Construindo Cidades Resilientes” e tem como premissa

promover o desenvolvimento sustentável como forma de reduzir o risco de desastres e aumentar o bem-estar e a segurança dos cidadãos.

A concessionária Rumo Logística, por sua vez, assumiu nove compromissos para o *desenvolvimento verde* da empresa (RUMO, 2019). Estes compromissos são relacionados com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU e com metas de investimento em fatores não financeiros e modelo de negócios sustentáveis como estratégias ESG (KLUZA; ZIOLO; SPOZ, 2021). Destaca-se ainda que a empresa concessionária, alinhada com as demandas estratégicas de mercado, adota a estratégia de *desenvolvimento verde* <sup>1</sup>(RUMO, 2019) e fomenta critérios de pesquisa baseados em eficiência energética, qualidade de vida da população, segurança, capacidade de resiliência e promoção de melhorias ambientais para o setor ferroviário (KOZIEN; ARNOLD; BONIKOWSKI, 2021).

Em 2011, foi realizado um estudo técnico no âmbito do Programa Nacional de Segurança

Ferrovária em Áreas Urbanas (PROSAFER), onde se apontou à necessidade e urgência de soluções para conflitos ferroviários urbanos, bem como a construção do contorno de SJRP (ANTT, 2014). Posteriormente, em 2020, frente ao processo de renovação e concessão da Malha Paulista, foram interpostas condicionantes à empresa concessionária da ferrovia EF-364, dentre as quais se destaca a realização de Estudo de Impactos Ambientais (EIA) para alternativas de traçado às áreas urbanas de SJRP, Mirassol e Cedral entre os km 177,685 e 232,783 da via existente, perfazendo um desvio de aproximadamente 52 km e a desativação de 44 km entre os municípios mencionados, dos quais 27 km estão em área urbana.

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo avaliar as contribuições e justificativas socioambientais da construção do contorno ferroviário de SJRP para a minimização de conflitos urbanos e promoção da resiliência.

### 3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A avaliação das contribuições socioambientais da construção do contorno ferroviário de SJRP foi realizada de forma qualitativa. Foram adotados como parâmetros os impactos dos conflitos ferroviários urbanos do traçado atual, identificados a partir de pesquisa documental. Foram utilizados também dados dos diagnósticos ambientais do EIA da construção do Contorno Ferroviário de SJRP (OIKOS, 2021) e informações complementares obtidas em relatórios fornecidos pela empresa Rumo Logística (RUMO, 2019; 2021). No âmbito desta pesquisa, os trechos definidos como urbanos são os localizados a distâncias inferiores a 100 metros da mancha urbana definida pela base cartográfica do IBGE (2015).

Em face da discussão sobre os conflitos ferroviários urbanos e resiliência, neste trabalho foram avaliados os principais aspectos relacionados aos acidentes, à poluição sonora e à emissão de GEE. Por fim, tais aspectos foram relacionados ao projeto de contorno ferroviário, derivando, portanto, um prognóstico de ganhos ambientais.

Para os acidentes, por meio de informações do banco de dados da empresa e checagem de sites de notícias, foi realizado um levantamento do histórico de acidentes que resultaram em bloqueios e paralisações da ferrovia registrada pela empresa e comunicados à ANTT. Após esse levantamento,

foram avaliadas as características do novo traçado e o potencial para a redução de acidentes em relação ao traçado atual.

O item poluição sonora compreendeu a análise conjunta dos seguintes documentos: i) relatório técnico produzido no âmbito do Programa de Controle de Ruídos e Vibrações (PCRV) (CIA, 2018), relativo à operação ferroviária da Malha Paulista; ii) capítulo 9.1.3 do diagnóstico de ruídos apresentado no EIA/RIMA do Projeto do Contorno de SJRP (OIKOS, 2021), que trata das medições e análise de ruídos e vibrações na área proposta para a construção do contorno.

Para a definição dos parâmetros técnicos de conforto acústico, adotou-se a NBR 10.151, apresentada na Tabela 01, a qual estabelece os limites sonoros de acordo com a finalidade de uso e ocupação do solo no local onde a medição for executada e tem vistas à promoção da saúde humana e sossego público (ABNT, 2019). Esclarecemos que, ainda que a ABNT (2020), através da NBR 16.425-4, apresente critérios específicos para a medição e avaliação da pressão sonora proveniente de sistemas de transporte ferroviários, esta não foi avaliada no âmbito da pesquisa, pois se trata de publicação posterior aos estudos empregados por CIA (2018) e OIKOS (2021).

<sup>1</sup> O desenvolvimento verde é um modo de desenvolvimento sustentável baseado nas restrições da capacidade do ambiente ecológico e da capacidade de

transporte de recursos, levando em consideração os três aspectos da economia, natureza e sociedade (TIAN, *et al.*, 2021)

Tabela 01 / Níveis de Critério de Avaliação por tipologia de área constante na NBR 10.151/2019, em dB(A)

Tipo de área	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: ABNT (2019)

O PCRV (CIA, 2018) e o diagnóstico de ruídos do EIA/RIMA (OIKOS, 2021) realizaram as aferições dos ruídos emitidos de acordo com os critérios técnicos da NBR 10.151 e Decisão de Diretoria nº 389/2010. Também no diagnóstico do EIA/RIMA, são apresentados valores resultantes de modelagem computacional e simulação de emissão de ruídos frente à operação ferroviária na área proposta para construção do contorno.

São, portanto, avaliados o nível de pressão sonora do ambiente ( $L_{r_a}$ ) aferido pelo PCRV na área urbana de SJRP e o nível de pressão sonora equivalente ( $LA_{e_q}$ ) simulada no âmbito da modelagem da emissão de ruídos da operação no contorno projetado. Por fim, tais valores são confrontados com os parâmetros limiares ou Níveis de Critério de Avaliação (NCA), definidos na NBR 10151.

Previamente à discussão dos resultados dos monitoramentos de ruídos produzidos no âmbito do PCRV e do EIA/RIMA do projeto do contorno de SJRP, vale destacar que ambos os levantamentos correspondem a medições realizadas fora da faixa de domínio da ferrovia, em pontos capazes de representar incômodo sonoro para comunidade lindeira. Para o caso do traçado atual em SJRP,

foram utilizados os valores medidos nas extremidades do pátio do km 202 e as médias dos valores do nível de ruídos ( $L_t$ ) medidos em passagens ao longo da Malha Paulista.

Os dados de consumo estimados, informados pela concessionária Rumo, foram gerados pelo Simulador TDS5000 r1, empregando como parâmetro uma composição de 3 locomotivas, 120 vagões e 15000 toneladas brutas (tb), sem paradas e simulação contínua. Para realizar a conversão e dimensão das emissões evitadas, a Rumo utilizou parâmetros da *Environmental Protection Agency* (EPA, 2021), em que foram considerados valores de emissão médios de 4,63 ton CO<sub>2</sub>eq/ ano por veículo. Destaca-se que os dados sobre a mensuração da emissão de GEE foram oficialmente apresentados pela concessionária em seu Relatório de Sustentabilidade (RUMO, 2021b).

A avaliação dos ganhos socioambientais foi desenvolvida com base na análise integrada dos diagnósticos de conflitos urbanos, de poluição sonora e de emissões de GEE. Nesta avaliação, foi também contemplada a perspectiva da capacidade de resiliência e de estabilidade dos desempenhos do modal ferroviário.

### 3.1 Resultados

#### a) Acidentes

A partir da verificação do histórico de acidentes ocorridos entre os anos de 2006 e 2020 nos trechos urbanos de SJRP, que correspondem a 36 km, foram registrados 41 acidentes, apresentados na Tabela

02. Foram registradas em média 1,13 ocorrências por km. Dentre tais registros, constam 14 fatalidades decorrentes de 5 atropelamentos, 1 abalroamento e 1 descarrilamento com 8 vítimas.

Tabela 02 | Ocorrências com interrupção do tráfego entre 2006 e 2020

Tipos de acidente	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2017	2018	2019	2020	Total
Abalroamento	1					2		3	1		1	2	2	1	13
Atropelamento		2	1		1	3	3		1	2	3		2	2	20
Colisão			1												1
Descarrilamento	1			1				2		1	1			1	7

Fonte: Banco de dados da concessionária (RUMO, 2021)

Destacamos 3 acidentes ocorridos nos anos de 2011, 2013 e 2017, na Figura 02: colisão de uma composição com um veículo no cruzamento de uma passagem de nível; descarrilamento de nove

vagões, atingindo as residências lindeiras; descarrilamento na região central do município de SJRP.

Figura 02 | Registros com maior gravidade

		
<p>Abaloamento em 2011</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 vítima</li> <li>• 30 minutos de interrupção do tráfego</li> </ul>	<p>Descarrilamento em 2013</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 8 vítimas</li> <li>• 190 horas de interrupção do tráfego</li> </ul>	<p>Descarrilamento em 2017</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0 vítimas</li> <li>• 14 horas de interrupção do tráfego</li> </ul>
<p>Fonte: Olhar Direto (2011)</p>	<p>Fonte: G1 (2013)</p>	<p>Fonte: Gazeta de Rio Preto (2017)</p>

Para minimizar os conflitos no trecho urbano de SJRP, no passado foram adotadas medidas como a sinalização sonora e luminosa em 25 passagens em nível e 13 trechos com restrições de velocidade. Entretanto, importa mencionar que a redução da velocidade média implica em maior tempo de deslocamento e menor eficiência energética. Não obstante, ainda há ocorrência de acidentes, resultando em bloqueios na circulação de trens, veículos e pedestres nas vias transversais. Foram registradas 41 ocorrências no referido trecho, totalizando 280 horas de interrupção. Tais interrupções são onerosas para operação ferroviária e representam transtornos para a cidade, visto que o bloqueio de vias e acessos causa congestionamentos de veículos e incômodo aos moradores.

O projeto de transposição ferroviária de SJRP prevê um novo traçado com 52 km. Nos pontos

## b) Poluição sonora

O som dos motores e dos trilhos é inerente ao tráfego. A redução da velocidade nos trechos urbanos, entretanto, faz com que o ruído emitido seja sentido pela população por mais tempo. Os sinais sonoros são obrigatórios antes das passagens de nível e sempre que há risco diante da proximidade de veículo, pessoa ou animal. Estes sons são notadamente elevados e afetam a qualidade de vida da população lindeira.

O relatório técnico do PCRV (CIA, 2018) apresenta uma avaliação do conforto acústico da comunidade lindeira e medições de níveis de pressão sonora. Com base no levantamento e nas

de cruzamento com vias de acesso estão projetadas 21 estruturas para passagem inferior ao invés das passagens de nível. Devido à baixa densidade demográfica das áreas do entorno do novo traçado, não será necessária a redução da velocidade de circulação. Aventa-se, portanto, importantes reduções no número atual de acidentes. Acredita-se que se manterá próximo aos valores médios para o respectivo ramal, que é de 0,62 acidentes por km no período de 2006 a 2020 (RUMO, 2021). Tais características favorecerão a livre circulação entre a ferrovia e as estradas, bem como a elevação da velocidade média de deslocamento das composições. Fato este refletirá nos índices de desempenho e eficiência energética da empresa. Não obstante, os transtornos urbanos recorrentes no atual traçado deixariam de existir.

entrevistas realizadas próximas aos pontos de monitoramento em SJRP, verificou-se que a comunidade se queixa de irritabilidade e insônia causadas pelo barulho da operação ferroviária e das composições que estacionam próximas às suas residências. Em geral, a comunidade avalia a qualidade sonora da região como ruim e aponta a buzina do trem e o atrito dos trilhos como as principais fontes de poluição sonora.

A análise do monitoramento de ruídos do PCRV (CIA, 2018) e do EIA/RIMA (OIKOS, 2021) permitiram a tabulação dos dados representados na Tabela 03.

Tabela 03 | Monitoramento de Ruídos

Local	Parâmetro	Valor nas leituras (dB)		
		Mínima	Máxima	Média
Urbano (Atual) – Pátio SJRP	$L_{ra}$	48	71	61,00
Urbano (Atual) – Passagens	$L_{ra}$ (Nível de ruído ambiente)	34	71	55,68
Urbano (Atual) – Passagens	$L_i$ (Nível de ruído de passagem)	67	91	76,24
Rural (Atual) – Projeto	$L_{ra}$ (Nível de ruído ambiente)	33	56	40,55
Rural (Simulação) - Projeto	$L_{Aeq}$ (Nível de pressão sonora equivalente)	47	63	55,85

Fonte: Relatório Técnico do PCRV (CIA, 2018) e Diagnóstico físico do EIA/RIMA do Contorno de SJRP (OIKOS, 2021).

Avaliando os resultados aferidos e simulados para todos os locais monitorados, tem-se que, de forma geral, os valores medidos em decibéis (dB) podem resultar em incômodo sonoro e afetar a saúde humana e o sossego público, conforme parâmetros estabelecidos pela NBR 10151 (ABNT, 2019). Isto é, a maioria das leituras próximas à ferrovia, independentemente do tipo de área de ocupação, apresentam valores que alcançam ou ultrapassam os padrões de NCA definidos pela referida NBR, estando, portanto, em desacordo com os limites padronizados.

Destaca-se que ocorrerá transferência de impactos da área urbana para a área rural. De acordo com os valores dB simulados (Tabela 03), haverá um aumento na intensidade de ruídos na área rural

de 40,55 dB para 55,85 dB (médios).

Avaliamos também que a simulação na área projetada (Tabela 03) aponta uma redução dos valores (dB) mínimos, máximos e médios, quando comparados com os valores do traçado atual. Fato este pode ser justificado pela otimização do traçado proposto e adoção de outros métodos construtivos, que incluem obras de arte especiais, suavização de rampas e maiores raios de curvatura, bem como a eliminação de passagens de nível. Será reduzida a necessidade da utilização de buzinas e, com o aumento da velocidade média das composições, haverá a redução do tempo de exposição da população rural aos ruídos emitidos por motores e trilhos.

### c) Emissões de GEE

Para composição dos resultados da análise de eficiência energética, foram tabulados os dados do traçado atual em SJRP e os dados projetados para o contorno, apresentados na Tabela 04. Para ambos

os casos, foi utilizado como parâmetro uma composição com 3 locomotivas e 120 vagões transportando 15.000 toneladas brutas.

Tabela 04 | Comparações entre traçado atual e traçado projetado para o contorno de SJRP

Unidade	Traçado atual	Contorno
Distância km	44,5	52
Tempo h	01:39	01:07
Velocidade km/h	27	46
Consumo L/tkb	2,69	2,49

Fonte: Banco de dados da concessionária (RUMO, 2021)

Com base nos dados levantados, verifica-se a possibilidade de otimização da operação no que tange ao tempo de condução e eficiência energética, pois, ainda que a distância do traçado projetado seja 10,5 km maior que o atual, o tempo do percurso será reduzido em 32 minutos. Tais ganhos com eficiência são associados às características do projeto, como a ausência de passagens de nível e traçado otimizado, que permite maior aceleração e velocidade constante para as composições.

De acordo com Koziem, Arnold e Bonikowski (2021), 99,2% das emissões de GEE da Rumo são provenientes da combustão de óleo diesel. Sabendo que as ações que visam reduzir o consumo de combustível cumprem uma função importante para a redução de emissões de GEE, o novo traçado de SJRP foi elaborado com vistas à eficiência energética e redução de emissões.

A otimização do traçado permitirá uma maior velocidade operacional para a malha e refletirá diretamente na redução do consumo de combustíveis e nas emissões atmosféricas, bem como aumento da capacidade de carga. Em números, de acordo com Oikos (2021), haverá uma redução de consumo de 200 litros de combustível por Pares de Trem, que representará uma redução anual no consumo de 1,2 milhões de litros de diesel, podendo reduzir 2.742 toneladas de CO<sub>2</sub> gerados por ano, equivalentes a emissão de 592 carros aproximadamente (OIKOS, 2021).

De modo a corroborar com a compreensão dos resultados, importa mencionar a definição de metas quantitativas para a redução de emissões, onde a Rumo comprometeu-se a reduzir em 15% suas emissões específicas até 2023 e 21% até 2030 (KOZIEN; ARNOLD; BONIKOWSKI, 2021).

## 3.2 Discussão dos ganhos ambientais

A construção do contorno ferroviário de SJRP permitirá a redução dos conflitos urbanos, visto que, de acordo com o diagnóstico dos dados levantados, haverá importante redução no número de acidentes e paralisações do trânsito, bem como o aumento da eficiência energética com redução no consumo de diesel em 1,2 milhões de litros por ano e 2.742 toneladas de CO<sub>2</sub> evitadas anualmente. Não obstante, a desativação do transporte de cargas em trechos urbanos representa uma oportunidade de novos negócios e atividades para o município e a população, uma vez que podem ser criados parques lineares, áreas de lazer e comércio. Ainda, os trilhos atuais podem ser utilizados para o transporte público de passageiros.

Para a implantação do empreendimento, a definição do traçado levou em consideração, além do menor número de interferências ambientais, as menores interferências em áreas urbanas. Assim, no que tange aos elementos fomentadores de conflitos urbanos ferroviários, para poluição sonora não há alternativas que não emitam ruídos. Desta forma, o impacto sonoro da passagem das composições, que ocorrerá distante de residências, causará menor incômodo sensorial. Vale também destacar que está prevista a implantação de medidas mitigadoras de ruídos em áreas definidas com base na dissipação sonora.

Dentre outros impactos negativos da implantação do contorno estão: perda de cobertura vegetal em áreas de preservação permanente, mudanças nos hábitos da fauna local e na perda de área agrícolas. Entretanto, para a minimização de

tais impactos são propostos programas de compensação ambiental e proteção de fauna e flora.

Tendo em vista as perspectivas de aumento da população urbana e as demandas econômicas, sociais e ambientais discutidas na revisão da literatura desta pesquisa, fica evidente que a manutenção do atual traçado ferroviário urbano de SJRP implicaria no agravamento das condições de pressão urbanas já existentes. Limitaria também o potencial desenvolvimento social e econômico da cidade e da ferrovia, que atualmente encontra-se com 96% de saturação da sua capacidade operacional (OIKOS, 2021).

Os resultados corroboram na compreensão da relação sistêmica e da interdependência do equilíbrio entre as demandas da sociedade, da economia e do meio ambiente (MENDONÇA, 2009). A confrontação das informações obtidas possibilitou a identificação dos ganhos de eficiência energética e de reduções nos impactos socioambientais, corroborando, portanto, com o argumento de Kanagawa, (2011), o qual afirma que em relação ao modal rodoviário, o ferroviário apresenta vantagens do ponto de vista da sustentabilidade.

Por fim, verificamos, em consonância com Leobons, Campos e Bandeira, (2019), que a implementação do contorno ferroviário pode reduzir de forma significativa os riscos e vulnerabilidades associadas às crises econômicas e pode aumentar a resiliência das cidades frente às adversidades climáticas.

## 4 CONCLUSÕES

O novo traçado de São José do Rio Preto representa uma importante medida mitigadora para os conflitos ferroviários urbanos. Não obstante, corrobora para a melhoria da qualidade de vida da população e para capacidade de manutenção do desenvolvimento econômico, social e ambiental, assegurando, portanto, maior resiliência mediante as eventuais crises, como desastres ambientais e instabilidades econômicas.

O conceito de resiliência mostra-se um interessante instrumento de análise de sistemas de transporte e gestão do território. Tendo, portanto, o sistema de transporte como um importante meio de superação de crises e manutenção da estabilidade econômica, é primordial a adoção de medidas que

visem aumentar a resiliência dos espaços e atividades social e econômica.

Diante dos cenários de mudanças climáticas, a busca pelo desenvolvimento sustentável deve ser constante. É fundamental que as empresas adotem mecanismos para a redução de suas emissões de GEE e que possuam uma matriz energética mais limpa. Por isso, investimentos e ações que resultem em eficiência energética e auxiliem a economia de baixo carbono podem reduzir os impactos das operações e as possíveis alterações advindas das mudanças climáticas.

O presente trabalho se propôs a avaliar as contribuições e justificativas socioambientais da construção do contorno ferroviário de SJRP para a

minimização de conflitos urbanos e promoção da resiliência. Por meio da análise qualitativa de informações obtidas através da empresa concessionária, fez-se o diálogo com a literatura e

importantes trabalhos já desenvolvidos no âmbito de transporte ferroviário e de desenvolvimento sustentável.

## REFERÊNCIAS

1. ABNT (2019). ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.151:2019. Acústica - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas, visando o Conforto da Comunidade**. Rio de Janeiro, 2019.
2. ABNT (2020). ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.425-4:2020. Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora provenientes de sistemas de transportes. Parte 4: Sistema ferroviário**. Rio de Janeiro, 2020.
3. ADAMS, T.M., BEKKEM, K.R., TOLEDO-DURÁN, E.J.; Freight Resilience Measures. **J. Transp. Eng.** 138, 1403–1409. 2012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000415](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000415).
4. AGYEMANG, A., CHOWDHURY, I., BALLI, F.; Quantifying Return Spillovers in Global Real Estate Markets, **Journal of Housing Economics**, Volume 52, 2021, 101781, ISSN 1051-1377, <https://doi.org/10.1016/j.jhe.2021.101781>.
5. ANTF. Associação Nacional do Transportadores Ferroviários. Releases: O Meio Ambiente Agradece. 26/07/2017. Disponível em: <https://www.antf.org.br/releases/o-meio-ambiente-agradece-2/>. Acesso em: 16/06/2021.
6. AZEVEDO, A. M. **Territorialidade e Plano Diretor em São José do Rio Preto**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual Paulista. 276 páginas. Ano 2004.
7. BRASIL. **Lei nº 1.832**, de 4 de março de 1996. Aprova o Regulamento dos Transportes Ferroviários. Diário Oficial da União: Brasília, DF, p. 3575, 05 de março de 1996.
8. BRUNDTLAND, G., KHALID, M., AGNELLI, S., AL-ATHEL, S., CHIDZERO, B., FADIKA, L.; Our Common Future ("Brundtland Report") United Nations, 1987.
9. CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Decisão de Diretoria nº 389/2010. Dispõe sobre a aprovação dos níveis de ruído em sistemas lineares de transportes localizados no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2010.
10. CIDELL, J., Secessionist automobility and freight railroads: Fear of the “urban” in Chicago's suburbs, **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, Volume 126, 2019, Pages 58-66, ISSN 0965-8564, <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.05.018>.
11. CONTICELLI, E., e TONDELLI, S.; Railway Station Role in Composing Urban Conflicts. **TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment**, 4(4), 47-58. 2011 <https://doi.org/10.6092/1970-9870/530>.
12. DAMAS, R. D., Crises Econômicas Internacionais. Saraiva Educação S.A., 6 de out. de 2017. <https://books.google.com.br/books?id=nEJnDwAAQBAJ>
13. EGIDI, G., SALVATI, L., VINCI, S., The long way to tipperary: City size and worldwide urban population trends, 1950–2030, **Sustainable Cities and Society**, Volume 60, 2020, 102148, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102148>.
14. EPA. 2021 U.S. Environmental Protection Agency. United States Environmental Protection Agency. **Greenhouse Gases Equivalencies Calculator - Calculations and References**. Disponível em: <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gases-equivalencies-calculator-calculations-and-references>. Acesso em 23/08/2021.
15. G1. Portal de Notícias: **Contorno ferroviário que irá tirar trilhos da área urbana de Rio Preto deverá ficar pronto até 2026**. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-jose-do-rio-preto-aracatuba/noticia/2020/06/19/contorno-ferroviario-que-ira-tirar-trilhos-da-area-urbana-de-rio-preto-devera-ficar-pronto-ate-2026.ghtml>. Acesso em: 14/06/2021.
16. G1. Portal de Notícias: **Justiça faz audiência de julgamento do acidente com trem que matou 8 pessoas em Rio Preto**. Disponível em: <https://g1.globo.com/sao-paulo/sao-jose-do-rio-preto-aracatuba/noticia/justica-faz-audiencia-de-julgamento-do-acidente-com-trem-que-matou-8-pessoas-em-rio-preto.ghtml>. Acesso em: 21/08/2021
17. GAZETA DE RIO PRETO. Portal de Notícias: **Trem descarrila na área central de Rio Preto**. Disponível em: (<https://www.gazetaderiopreto.com.br/cidades/noticia/2017/03/trem-descarrila-na-area-central-de-rio-preto.html>). Acesso em: 21/08/2021
18. GONZÁLEZ J. E., RAMAMURTHY, P., BORNSTEIN, R. D., CHEN, F., ELIE R. BOU-ZEID, GHANDEHARI, M., LUVALL, J., MITRA, C., NIYOGI, D.; Urban climate and resiliency: A synthesis report of state of the art and future research directions, **Urban Climate**, Volume 38, 2021, 100858, ISSN 2212-0955, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100858>.

19. IBGE 2015 – Áreas urbanizadas do Brasil. Shapefile. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-areas-urbanizadas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 15/06/2014
20. IPCC (2019). International Panel on Climate Change. **Task 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Disponível em <https://www.ipcc.ch/working-group/tfi/>. Acesso em 03/09/2021.
21. IPCC. 2014. Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas. Alterações Climáticas, 2014: **Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade**. GT II. 36 páginas. ISBN: 978-972-9083-18-1
22. ISDR, 2009; Construindo Cidades Resilientes: **Minha cidade está se preparando**. Internacional Strategy for Disaster Reduction. Nações Unidas (ONU). 29 páginas. Ano 2009.
23. JUNIOR, N. L. S.; **A Conexão entre Crise Econômica e Crise Ambiental no Brasil**. Boletim Regional, Urbano e Ambiental. 13. Jan.-jun. 2016 Ipea.
24. KANAGAWA, Y; Environmental Health Issues for Railroads, Editor(s): Jerome Nriagu, Encyclopedia of Environmental Health (Second Edition), Elsevier, 2019, Pages 513-523, ISBN 9780444639523, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11760-9>.
25. KLUZA, K., ZIOLO, M., SPOZ, A.; Innovation and environmental, social, and governance factors influencing sustainable business models - Meta-analysis, **Journal of Cleaner Production**, Volume 303, 2021, 127015, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127015>.
26. KOZIEN, T. M., ARNOLD, B., BONIKOWSKI, R. T. R. **Emissão de gases de efeito estufa: uma gestão eficiente na ferrovia**. (Artigo de Evento). VI Encontro ANTF de Ferrovia. Agosto de 2021.
27. LEOBONS, C. M., CAMPOS, V. B. G., BANDEIRA, R. A. M.; Assessing Urban Transportation Systems Resilience: A Proposal of Indicators, **Transportation Research Procedia**, Volume 37, 2019, Pages 322-329, ISSN 2352-1465, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.199>.
28. LUZ, L. F. **Os Trilhos nas Áreas Urbanas: Conflitos, desafio e oportunidades em dez cidades paulistas**. Dissertação (mestrado em Geografia – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. 255 páginas. Ano 2006.
29. MENDIZABAL, M., HEIDRICH, O., FELIU, E., GARCÍA-BLANCO, G., MENDIZABAL, A.; Stimulating urban transition and transformation to achieve sustainable and resilient cities, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Volume 94, 2018, Pages 410-418, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.003>.
30. MENDONÇA, F. A.; Geografia Socioambiental. In: MENDONÇA, F. A e KOZEL, S.; **Elementos de Epistemologia da Geografia Contemporânea**. 1ª Edição. Ed. UFPR. Páginas 121-144. Ano 2009.
31. MONASTIRSKY, L. B.; Estação Ferroviária: “Lugar-De-Memória” Das Cidades Brasileiras. **Espaço & Geografia**, Vol.16, Nº 2 (2013), 781:804 ISSN: 1516-9375.
32. MONTGOMERY, 2007. United Nations Population Fund: state of world population 2007 Unleashing the Potential of Urban Growth. *Dev. Rev.*, 33 (3) (2007) , pp. 639 - 641
33. NASSIF, A., MORANDI, L., ARAÚJO, E., FEIJÓ, C.; Economic development and stagnation in Brazil (1950–2011), **Structural Change and Economic Dynamics**, Volume 53, 2020, Pages 1-15, ISSN 0954-349X, <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2020.01.005>.
34. NESSHÖVER, C., ASSMUTH, T., IRVINE, K. N., RUSCH, G. M., WAYLEN, K.A., DELBAERE, B., WITTMER, H.; The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. **Science of The Total Environment**>> Volume 579, 1 February 2017, Pages 1215-1227. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.11.106. 2017.
35. NGUYEN, T. T. H., NAEEM, M. A., BALLI, F., BALLI, H. O., SYED, I.; Information transmission between oil and housing markets, **Energy Economics**, Volume 95, 2021, 105100, ISSN 0140-9883, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105100>.
36. OIKOS PESQUISA APLICADA. **Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) do Contorno Ferroviário de São José do Rio Preto (Ferrovia EF-364 – Variante de Mirassol-SP, São José do Rio Preto-SP e Cedral-SP**. São Paulo. CETESB, 2021. Rumo Malha Paulista.386 páginas. In: Diário Oficial [do] Estado de São Paulo: Seção I: Poder Executivo, São Paulo, n. 139, p. 131, 3 de junho de 2021.
37. Olhar Direto. Portal de Notícias: **Professor morre ao ser atingido por trem em São José do Rio Preto**. Disponível em: <https://olhardireto.com.br/noticias/exibir.asp?id=163707&edt=22&noticia=professor-morreo-ser-atingido-por-trem-em-sao-jose-do-rio-preto>. Acesso em: 21/08/2021.
38. CIA AMBIENTAL. **Programa de Controle de Ruídos e Vibrações (PCRV)**. Licença de Operação nº 1180/2013, Relatório de Monitoramento. Cia Ambiental. Rumo Malha Paulista. São Paulo – SP. Agosto de 2018, 386 páginas.
39. RUMO LOGÍSTICA (2019). **Relatório de Sustentabilidade 2019**. Operação Norte. Disponível em <http://ri.rumolog.com/sobre-a-rumo/sustentabilidade/>. Acesso em: 16/06/2021.
40. RUMO LOGÍSTICA (2021). Notas de apresentação. **Workshop interno - Contorno de São José do Rio Preto (1º Encontro)**. Rumo Logística. Curitiba. PR.
41. SANTOS, A.S., 2014. **A Importância do Setor de Transportes para o Aumento de Resiliência das Cidades frente à Mudança Climática: Uma Proposta de Plano de Ação para a Cidade do Rio de Janeiro**. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Engenharia de Transportes.

42. SANTOS, R. F.; **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática**. - São Paulo: Oficina de Textos, ano 2009. 181 páginas.
43. SAPATA, A. M. A., SOARES, P. F., LISOT, A., GRANZOTTO, L., & DE SOUZA, R.; **Avaliação do conforto acústico em edificações localizadas em região de cânion urbano**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 13., 2010, Canela-RS.
44. SEDDON N, CHAUSSON A, BERRY P, GIRARDIN CAJ, SMITH A, TURNER B. 2020 Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. **Phil. Trans. R. Soc. B** 375: 20190120. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>
45. SILVA, A. S., TAROUÇO, F. F., EDELWEISS, R. K., Cidades resilientes, sociedades regenerativas. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**. V 6, n 39. Ano 2018. Doi: <http://dx.doi.org/10.17271/2318847263920181531>
46. SUERTEGARAY, D. M. A.; Geografia Ambiental, in: MENDONÇA, F e KOZEL, S.(orgs); **Elementos de Epistemologia da Geografia Contemporânea**. Curitiba – PR. Editora UFPR. 1ª edição, 2009.
47. TIAN, Y., WANG, R., LIU, L., REN Y.; A spatial effect study on financial agglomeration promoting the green development of urban agglomerations, **Sustainable Cities and Society**, Volume 70, 2021, 102900, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102900>.
48. TISCHER, V.; Panorama do transporte ferroviário urbano no Brasil e no mundo. **Revista Internacional de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 08, n. 01, p. 62 - 81, jan-jun 2018. <http://www.e-publicacoes.uerj.br/ojs/index.php/ric>.
49. TORRES, M., SILVA L. T., SANTOS, L., JOSÉ F.G. MENDES, J. F. G.; Saúde e bem-estar em meio urbano: das políticas à prática, **Revista Portuguesa de Saúde Pública**, Volume 31, Issue 1, 2013, Pages 95-107, ISSN 0870-9025, <https://doi.org/10.1016/j.rpsp.2013.04.001>.
50. TREGIDGA, H., LAINE, M.; On crisis and emergency: Is it time to rethink long-term environmental accounting? **Critical Perspectives on Accounting**, 2021, 102311, ISSN 1045-2354, <https://doi.org/10.1016/j.cpa.2021.102311>.
51. UNIÃO EUROPEIA. **Cidades Inteligentes**. Comissão Europeia. Disponível em: [https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities\\_en](https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities_en). Acesso em 14/06/2021.
52. UOL, 2013. Portal de Notícias: **Trem descarrila e mata 8 em S. José do Rio Preto (SP)**. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/agencia-estado/2013/11/24/trem-derruba-casas-e-mata-6-em-s-jose-do-rio-preto.htm?cmpid=copiaecola>. Acesso em 14/06/2021.



## DESCARBONIZAÇÃO DO TRANSPORTE MARÍTIMO: OPORTUNIDADE PARA ATRAÇÃO DE INVESTIMENTOS SUSTENTÁVEIS

### RESUMO

A agenda de descarbonização do transporte marítimo representa oportunidade efetiva para a atração de investimentos para o setor, por meio da estruturação de projetos sustentáveis, adequados às especificações estabelecidas pela *International Maritime Organization* (IMO). Neste cenário, é identificado que os investidores exigem menores taxas de retorno para projetos sustentáveis, em razão da maior resiliência às questões de mercado. A avaliação dos potenciais combustíveis alternativos ao combustível convencional marítimo, denominado *bunker*, e às tecnologias a serem utilizadas estão entre os pontos mais relevantes em discussão na agenda de descarbonização do transporte marítimo internacional, à luz de diversos critérios e diferentes visões. Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar uma avaliação dos principais combustíveis que estão sendo considerados como possíveis substitutos para o combustível marítimo convencional, particularmente em relação aos que representam vantagens para o mercado nacional, como é o caso dos biocombustíveis e do Gás Natural Liquefeito (GNL), assim como abordar as potenciais oportunidades de aprimoramentos dos instrumentos de fomento ao setor naval e do transporte marítimo existentes no mercado internacional, visando à promoção de medidas mais adequadas à transição para uma economia de baixo carbono no setor.

**Palavras-chave:** Bunker; Combustíveis Alternativos; Descarbonização; Sustentabilidade; Transporte Marítimo.

**Cléber Martinez**, Graduado em Construção de Sistemas de Navegação Fluviais e em Engenharia de Produção Mecânica, com MBA em Contabilidade Pública e Responsabilidade Fiscal e em Administração e Finanças. Experiência profissional de dez anos em atividades relacionadas ao transporte aquaviário no Ministério de Infraestrutura, e, desde 2019, atua no desenvolvimento do programa de estímulo a navegação de cabotagem.

**Maurício Drummond Uzeda**, Graduado em Engenharia Civil e com Especialização em Obras Rodoviárias Públicas. Atuou entre os anos de 2008 e 2020 em diferentes áreas do atual Ministério de Infraestrutura, sendo entre os anos de 2012 a 2016 no Departamento de Marinha Mercante. Entre os anos de 2020 e 2021, atua como Gerente de Projetos na Subchefia de Articulação e Monitoramento da Casa Civil da Presidência da República.

# 1 INTRODUÇÃO

Uma infraestrutura resiliente ao clima é aquela planejada, projetada, construída e operada de uma forma que se antecipa, se prepara e se adapta às mudanças climáticas, podendo também suportar, responder e se recuperar rapidamente (OECD, 2018). Uma ampla gama de atores, dos setores públicos e privados, está fomentando medidas para fortalecer esta resiliência climática às infraestruturas.

Na Conferência do Clima da Organização das Nações Unidas – ONU, COP-25, realizada em 2019, mais de 600 investidores institucionais, que controlam US\$ 37 trilhões em ativos, assinaram um compromisso com as metas do Acordo de Paris, para transição para uma economia de baixo carbono. Outras iniciativas, como a da Black Rock, gestora global de investimento com ativos no montante de US\$ 6,8 trilhões, vão na mesma linha (APLA, 2019).

Desse modo, as finanças verdes representam oportunidade para investimentos em infraestrutura, embora antes seja necessário que o país tenha um *pipeline* robusto de projetos verdes que se qualifiquem e atraiam capital verde (BID, 2019). Essa atração de capital verde pode ser feita por meio da emissão de *climate bond*, correspondente à emissão de títulos por empresas para o financiamento de projetos sustentáveis (CBI, 2020).

A importância do transporte de mercadorias como facilitador do comércio, motor do crescimento econômico e impulsionador do desenvolvimento social não pode ser subestimada, ao mesmo tempo, os impactos adversos da atividade de transporte de mercadorias na saúde humana, no meio ambiente e no clima são motivo de preocupação (UNCTAD, 2021).

O acesso a sistemas de transporte acessíveis, confiáveis e econômicos continua a ser um desafio para muitos países em desenvolvimento, bem como a integração da sustentabilidade e da resiliência, em particular, nos aspectos climáticos, em projetos, planos de desenvolvimento e gestão de transporte, é um imperativo (UNCTAD, 2014).

A busca pela sustentabilidade do modal aquaviário está refletida na regulamentação das emissões atmosféricas dos navios, de redução da intensidade de carbono do transporte marítimo internacional em pelo menos 40% até 2030, e uma redução adicional significativa em relação ao objetivo inicial de redução absoluta de 50% de emissões até 2050, em relação a 2008 (IMO, 2021).

Há ainda diversos desafios de ordem tecnológica, que envolvem o desenvolvimento de novas tecnologias de propulsão e de novos designs, além da pesquisa de novos combustíveis limpos que sejam adequados à navegação e que possam ser viabilizados comercialmente, em escala global (HOLLANDA, 2019). A Shell e o Fórum Econômico Mundial estão entre as diversas organizações que integram a coalizão *Getting to Zero*, entre as quais empresas de navegação, grupos financeiros, governos, entre outros, com o objetivo de colocar em operação comercial, até 2030, um navio com emissões líquidas zero (VIGENEVO, 2020).

Entre os combustíveis alternativos estão compreendidos os biocombustíveis, produzidos a partir de materiais como madeira, plantações ou resíduos, disponíveis em quantidades limitadas, assim como outros combustíveis naturais ou sintéticos, tais como metanol, amônia e hidrogênio. Nesse sentido, a adoção dos biocombustíveis como uma das soluções para a descarbonização do transporte marítimo representa oportunidade econômica para as economias emergentes, entre as quais, a Índia, Argentina e Brasil (ITF, 2018).

Estudo realizado pela empresa de navegação Maersk mostrou que as alternativas mais bem posicionadas para a pesquisa e desenvolvimento de novos combustíveis para o setor marítimo são o etanol, metanol, biometano e amônia (MAERSK, 2019).

As incertezas relacionadas aos futuros impactos das mudanças climáticas, a intangibilidade da adaptação às intervenções, os longos prazos para retorno, bem como gargalos políticos, institucionais e legais restringem a disposição dos investidores privados de canalizar fundos para projetos resilientes (MARTHUR; ROY, 2021).

O transporte marítimo é uma atividade intensiva em capital, caracterizada pela utilização de ativos de vida útil longa (sendo que 2050 é o limite de vida de um navio encomendado hoje), margens de exploração reduzidas e por ser dependente de um fornecimento global de combustíveis com elevada densidade energética, características que tornam a descarbonização do setor um processo complexo e dispendioso (GRILLO, 2020).

Diante deste cenário, o presente trabalho tem como o objetivo apresentar uma avaliação sobre os principais combustíveis que estão sendo considerados como possíveis substitutos para o combustível marítimo convencional, denominado

*bunker*<sup>2</sup>, assim como abordar potenciais oportunidades de aprimoramentos dos instrumentos existentes de fomento ao setor naval e do transporte marítimo no mercado nacional,

visando à promoção de medidas mais adequadas à transição para uma economia de baixo carbono no setor.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Problematização

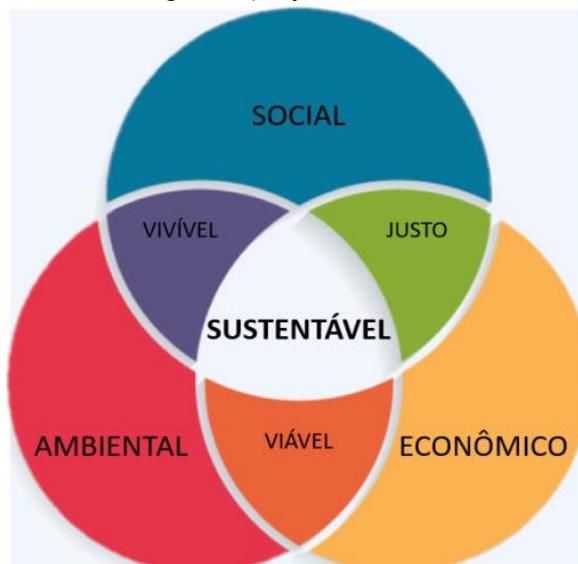
O termo “Sustentabilidade” surgiu em 1987, sendo apresentado oficialmente na Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), da Organização das Nações Unidas (ONU), sendo definido como a capacidade de satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem suas próprias necessidades (Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1988).

Em meados dos anos 1990, o britânico John Brett Elkington consolidou o conceito do *Triple Bottom Line* integrando os objetivos da sustentabilidade na agenda de negócios,

equilibrando os propósitos econômicos tradicionais com preocupações sociais e ambientais, inserindo a dimensão de desempenho corporativo (ELKINGTON, 1997).

Conforme Oliveira *et al.* (2012), o conceito do *Triple Bottom Line* aponta que a sustentabilidade somente será plenamente alcançada se forem compreendidos os pilares econômico, ambiental e social. O atendimento parcial destes objetivos, correspondente interseção entre apenas dois dos pilares, resultando não em um ambiente sustentável, mas viável, justo ou vivível, conforme demonstrado pela Figura 01.

Figura 01 | *Triple Bottom Line*



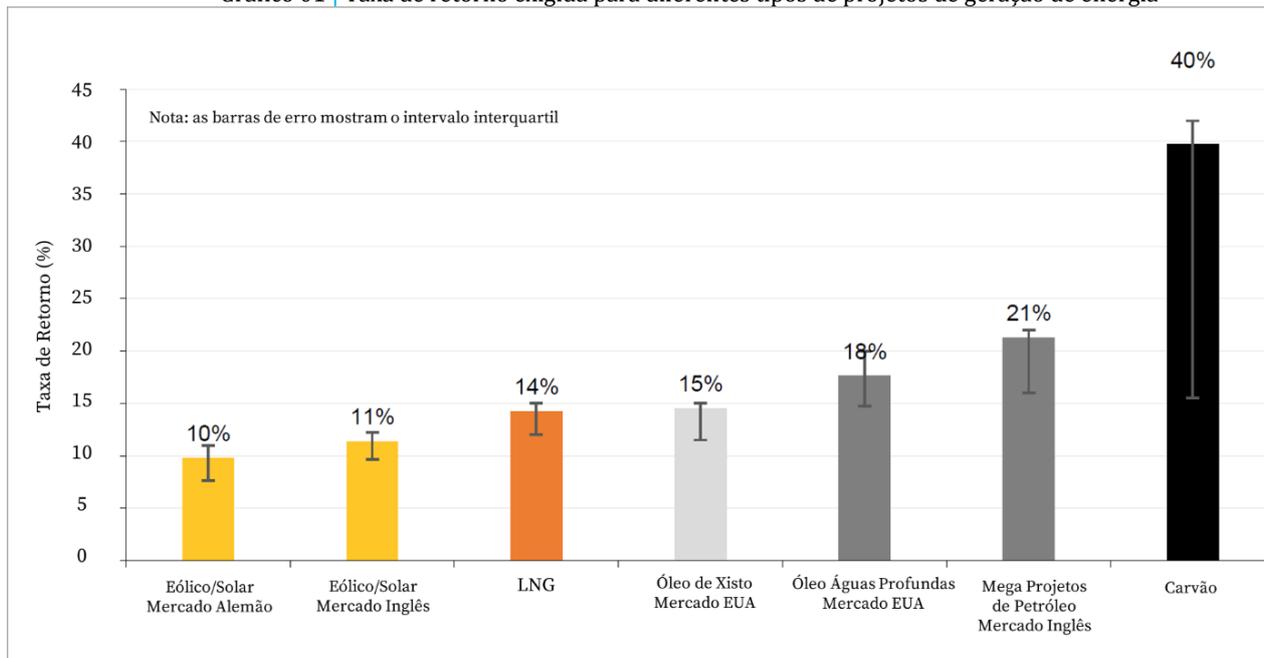
Fonte: Adaptado de Etkowitz (2008)

Segundo Fattouh (2019), os riscos de transição energética costumam ser considerados problemas de longo prazo, em que os investidores ajustam sua percepção de risco de mercado muito mais rápido do que a escala de tempo necessária

para a conclusão da transição, se manifestando de várias formas, incluindo decisões de investimento, como aumento do nível mínimo exigido de retorno para projetos, conforme demonstrado no Gráfico 01.

<sup>2</sup> Bunker marítimo é, tecnicamente, o combustível utilizado no motor de um navio. (<https://portogente.com.br/portopedia/75307-bunker>)

Gráfico 01 | Taxa de retorno exigida para diferentes tipos de projetos de geração de energia



Fonte: Fattouh (2019)

Para Jones (2019), as incertezas socioeconômicas e ambientais têm o potencial de minar significativamente os resultados desejados dos investimentos em infraestrutura, particularmente no caso de ativos de longa duração ou altamente dependentes de outros serviços ou infraestruturas, que, por sua vez, são sensíveis ou comprometidos pelo clima. Neste sentido, o *Financial Stability Board's Task Force on Climate-related Financial Disclosures* -TCFD identificou os seguintes riscos que devem ser considerados dentro de qualquer métrica de resiliência (TCFD, 2017):

1. Política e legal:

- a. Aumento do preço das emissões de gases de efeito estufa (GEE);
- b. Aumento das emissões;
- c. Regulamentação de produtos e serviços existentes;
- d. Exposição a litígios.

2. Tecnologia:

- a. Substituição de produtos e serviços existentes e opções com menores níveis de emissão;
- b. Investimento malsucedido em novas tecnologias;
- c. O custo da transição para uma economia de baixas emissões.

3. Mercados:

- a. Mudança do comportamento dos clientes;
- b. Incertezas nos sinais do mercado;

c. Aumento do custo das matérias-primas.

4. Reputação

- a. Mudanças nas preferências do consumidor;
- b. Estigmatização do setor;
- c. Aumento da preocupação das partes interessadas ou feedback negativo.

5. Riscos Físicos Agudos

- a. Maior gravidade de eventos climáticos extremos, como ciclones e inundações.

6. Riscos físicos crônicos

- a. Mudanças nos padrões de precipitação e extrema variabilidade climática padrões;
- b. Aumento da temperatura média;
- c. Elevação do nível do mar.

A 'grande transição energética' pode ser definida como uma transformação radical da economia e até mesmo a criação de novos tipos de civilização, uma conexão direta entre a natureza da civilização e energia (CIPOLLA,1962 *apud* FOUQUET, 2010), derivando tamanha complexidade ou mesmo inviabilidade. Os desafios conjugados de reduzir as emissões de combustíveis fósseis e fornecer acesso à energia limpa e acessível é imperativo fazer a transição para um sistema de energia de baixo carbono. A transição deve levar em consideração questões de justiça energética, para garantir que as políticas, planos e programas garantam o acesso justo e equitativo aos recursos e tecnologias (SOVACOOOL *et al.*, 2018).

A transição energética pode ser vista como a opção por outra matriz energética para atender as atividades de produção, distribuição e consumo de energia particular, sendo que, em muitos casos, partes de sistemas diferentes coexistem, podendo se esperar que esse tipo de transição energética leve a transformações importantes na economia (FOUQUET, 2010).

Os sistemas de transporte são geralmente projetados com base nas condições históricas, não prevendo riscos futuros, entretanto é necessária uma infraestrutura de transporte sustentável e resiliente (MARTHUR; ROY, 2021).

As emissões de gases de efeito estufa (GEE) da navegação marítima e o impacto climático associado são objeto de intenso debate na Organização Marítima Internacional (IMO), sendo que seus países membros decidiram, em 2016, desenvolver uma Estratégia Inicial de Gases de Efeito Estufa até 2018 e uma Estratégia Revisada em 2023.

Descarbonizar o setor de transporte marítimo se mostra uma tarefa complexa, pois o modal é responsável pela movimentação de mais de 80% do comércio mundial, existindo desafios de ordem tecnológica, que envolvem o desenvolvimento de novas tecnologias de propulsão, além da pesquisa de novos combustíveis limpos que sejam adequados à navegação e possam ser viabilizados comercialmente, que implicarão mudanças na infraestrutura de abastecimento nos portos atendidos por essas futuras embarcações, em escala global (ABASTECE BRASIL, 2019).

As metas de descarbonização do transporte marítimo apresentam desafios para proprietários de navios, fretadores, construtores de navios, projetistas, fabricantes de motores, financiadores, legisladores e fornecedores de combustível, exigindo a aplicação de tecnologia ainda em

desenvolvimento e disponibilização de grandes volumes de combustíveis sustentáveis zero ou neutros em carbono (DNV, 2021).

Vários atores da indústria identificaram vantagens econômicas na adoção de tecnologias mais eficientes em termos de energia e um número crescente de transportadores tem exigido padrões ambientais mais elevados no transporte marítimo, sendo que fretadores, seguradoras e investidores podem se tornar cada vez mais avessos ao risco (ITF, 2018).

Esta agenda representa relevante oportunidade para o Brasil, em razão do seu potencial de prover soluções tecnológicas sustentáveis para a descarbonização do setor de transporte marítimo, sendo que dois dos principais produtos agrícolas podem ser beneficiados pela atual tendência global em direção a padrões mais limpos de transporte marítimo, como é o caso do biodiesel, produzido principalmente a partir de soja, e o etanol, produzido principalmente a partir da cana-de-açúcar (HOLLANDA, 2019).

Além disso, é fundamental avaliar a compatibilidade da infraestrutura de abastecimento de combustível marítimo em relação às soluções que estão sendo desenvolvidas pelo mercado. Ressalta-se a compatibilidade da infraestrutura disponível com os biocombustíveis produzidos no mercado nacional (CARVALHO *et. al.*, 2020).

Neste contexto, são apresentadas potenciais medidas de adequações que possam fomentar as alternativas de descarbonização do transporte marítimo, que representam vantagens competitivas para o mercado nacional, em particular, no âmbito do Ministério de Infraestrutura.

## 2.2 Fundamentação Teórica e Metodologia

A partir de pesquisa bibliográfica em artigos científicos, relatórios técnicos, estudos desenvolvidos por organismos internacionais, assim como em outras publicações relacionadas à fundamentação teórica a respeito da sustentabilidade e a descarbonização do transporte aquaviário, realizou-se uma avaliação qualitativa sobre diferentes características dos diversos potenciais combustíveis alternativos ao bunker marítimo, que proporcionam menores níveis de emissões, podendo, em alguns casos, alcançar a completa descarbonização da atividade.

Segundo os estudos avaliados, o futuro do transporte marítimo envolverá diferentes partes do setor, usando diferentes combustíveis, no que pode

ser chamado de cenário de "poli-combustível", mas até o momento, não existem tecnologias de emissão zero comercialmente viável (SHELL, 2020).

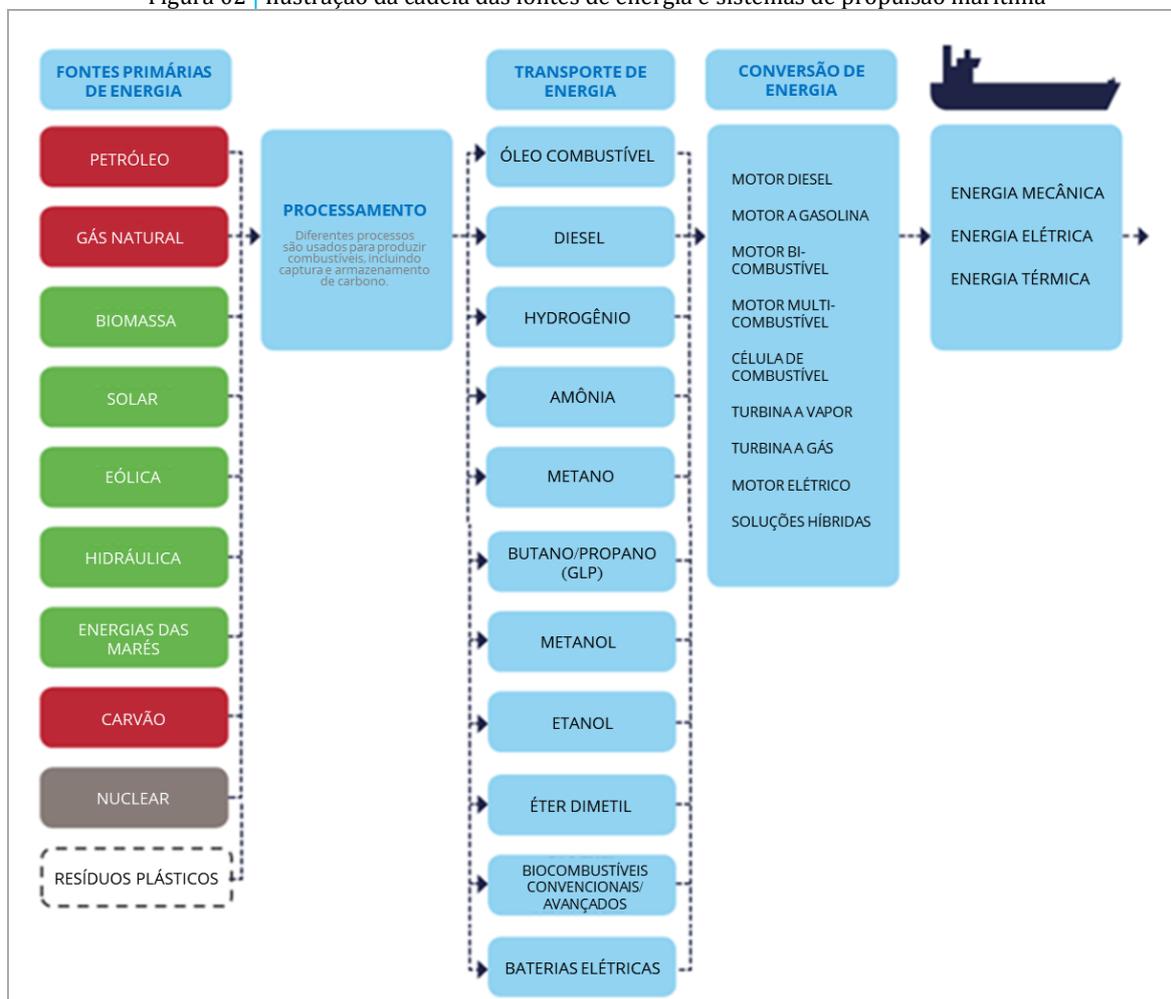
As embarcações elétricas poderão ser uma opção para rotas marítimas de curta distância, mas para o transporte marítimo de longa distância – que responde por cerca de 85% das emissões – estão sendo avaliados diferentes tipos de combustíveis para se alcançar o objetivo da IMO para 2050, entre os quais: hidrogênio, amônia, metanol e biocombustíveis. Os líderes das empresas de transporte marítimo consideram que todos ainda possuem limitações comerciais e/ou técnicas (GRILLO, 2020).

A diversidade de estudos sobre

combustíveis alternativos, conforme apresenta a Figura 02, exigirá, conseqüentemente, diferentes sistemas de propulsão, sistemas de armazenamento e abastecimento e novas tecnologias em desenvolvimento. Os sistemas de propulsão

alternativos para o transporte marítimo incluem gás puro, motores duo e multcombustível, células de combustível marítimas, sistemas de propulsão elétrica por bateria e turbinas a gás e a vapor (DNV-GL, 2019b)

Figura 02 | Ilustração da cadeia das fontes de energia e sistemas de propulsão marítima



Fonte: Adaptado de DNV-GL (2019)

Embora a maioria dos combustíveis alternativos possua índices de emissões menores que o combustível marítimo convencional, devem se avaliar as emissões geradas durante todo

processo produtivo até o consumo, conforme apresentado no Quadro 01, além do fato de que nem todas as opções atingiram a maturidade para serem adotados no mercado (ITF, 2018).

Quadro 01 | Nível de redução de emissões de CO<sub>2</sub> de combustíveis alternativos

Combustíveis alternativos	Reduções de emissão de CO <sub>2</sub>
Biocombustíveis avançados	25-100%
LNG	0-20%
Hidrogênio	0-100%
Amônia	0-100%
Células de combustível	2-20%
Elétrico	0-100%
Eólica	1-32%
Solar	0-12%
Nuclear	0-100%

Fonte: ITF (2018)

Segundo apresentado pela ITF, os combustíveis alternativos elencados no Quadro 01 proporcionam redução dos níveis de emissões, entretanto, considerando toda cadeia de produção, uma redução de emissões próxima a 100% só pode ocorrer se produzida por fontes de energia renováveis. Conforme apresentado por DNV-GL (2019b), a avaliação das emissões de toda cadeia de produção do combustível, do transporte, armazenamento, bem como da combustão ou conversão em energia mecânica a bordo das embarcações é denominada *Well-to-wake GHG emissions*.

Estudo publicado pela DNV-GL (2019a) aponta que, para avaliar os combustíveis alternativos ou tecnologias de maneira comparável, devem ser considerados:

- a) Preço: Considerando o processo de produção, a matéria prima, o preço de mercado e o comportamento de mercado, preço atual e previsível (cinco anos) ou expectativa de preço para além de cinco anos;
- b) Infraestrutura: Distribuição atual e futura da rede, abastecimento, disponibilidade;

- c) Regulamentação: Regulamentações existentes e esperadas, bem como suas consequências;
- d) Escalabilidade: Atual e futura possível da produção, conforme as demandas e requisitos do mercado de navegação;
- e) Impacto ambiental: CO<sub>2</sub>, NOX, SOX, material particulado (PM) e outros;
- f) Tecnologia: Disponibilidade atual e futura, bem como mudanças previsíveis;
- g) CAPEX: motores, armazenamento, processamento e atualizações;
- h) OPEX: limpeza de exaustão, purificador e adicionais custos para mudança de combustível.

Neste contexto, de forma a realizar avaliação preliminar dos aspectos técnicos, econômicos e sustentáveis das diferentes alternativas de combustíveis marítimos de baixa emissão, Carvalho *et al.* (2020) desenvolveram análise multicritério, analisando as vantagens e potenciais desvantagens das alternativas, conforme os critérios apresentados no Quadro 02, o que permite uma melhor análise ao contexto brasileiro.

Quadro 02 | Critérios de avaliação das alternativas de combustíveis

<b>Critério</b>	<b>O que se considera?</b>
Disponibilidade	Disponibilidade regional e global de insumos e de infraestrutura de produção do combustível
Aplicabilidade	Adequação do combustível à frota em operação, bem como à infraestrutura existente de transporte, armazenamento e <i>bunkering</i>
Maturidade tecnológica	Nível de maturidade técnico-econômica das tecnologias de produção e utilização do combustível
Densidade energética	Densidade energética volumétrica e mássica do combustível, refletindo o espaço necessário para tancagem a bordo e/ou perda de autonomia
Econômico	Custo nivelado da cadeia do combustível (LCOF): combustível, <i>bunkering</i> e ajustes no navio (tanto na motorização como na tancagem)
Segurança	Segurança no manuseio/operação e toxicidade do combustível
Normatização	Existência de regulamentações, orientações e/ou certificações que possibilitem identificar a origem renovável do combustível
Sustentabilidade local	Emissões de poluentes atmosféricos, impactos sobre biodiversidade e corpos hídricos
Sustentabilidade global	Emissões de gases de efeito estufa (GEE) associadas ao uso do combustível (emissões diretas) e à sua cadeia produtiva (emissões indiretas)

Fonte: CARVALHO *et al.* (2020)

Considerando classificação de desempenho variando de 1 a 5, sendo que 1 é muito ruim e 5 é muito bom, Carvalho *et al.* (2020) apresentaram

pontuações referentes aos 9 critérios para os 13 combustíveis avaliados, conforme apresentado no Quadro 03.

Quadro 03 | Classificação do desempenho nos critérios

Critério	Óleo vegetal direto (SVO)*	Biodiesel	Óleo vegetal Hidrotratado (HVO)*	Óleo de pirólise hidrotratado (HDPO)*	Diesel sintético	Metano	Metanol	Etanol	Hidrogênio	Amônia	E-Diesel**	E-metano**	E-metanol**
Disponibilidade	2	2	2	3	4	2	4	3	3	3	1	1	1
Aplicabilidade	4	3	5	5	5	3	4	2	1	2	5	3	4
Maturidade tecnológica	5	5	5	2	3	5	4	3	3	2	3	2	2
Densidade energética	5	5	5	5	5	3	2	3	1	2	5	3	2
Econômico	4	4	4	3	3	4	5	3	1	2	1	1	1
Segurança	5	5	5	3	5	3	3	4	2	2	5	3	3
Normatização	3	3	4	4	4	4	5	5	1	1	4	4	5
Sustentabilidade local	4	4	4	4	5	5	4	4	3	3	3	3	3
Sustentabilidade global	3	3	3	4	5	3	4	2	5	5	5	4	5
<b>TOTAL</b>	<b>35</b>	<b>34</b>	<b>37</b>	<b>33</b>	<b>39</b>	<b>32</b>	<b>30</b>	<b>29</b>	<b>20</b>	<b>22</b>	<b>32</b>	<b>24</b>	<b>26</b>

Notas:

\* Combustíveis drop-in são substitutos diretos dos combustíveis convencionais e não requerem adaptações nos motores e infraestrutura de abastecimento.

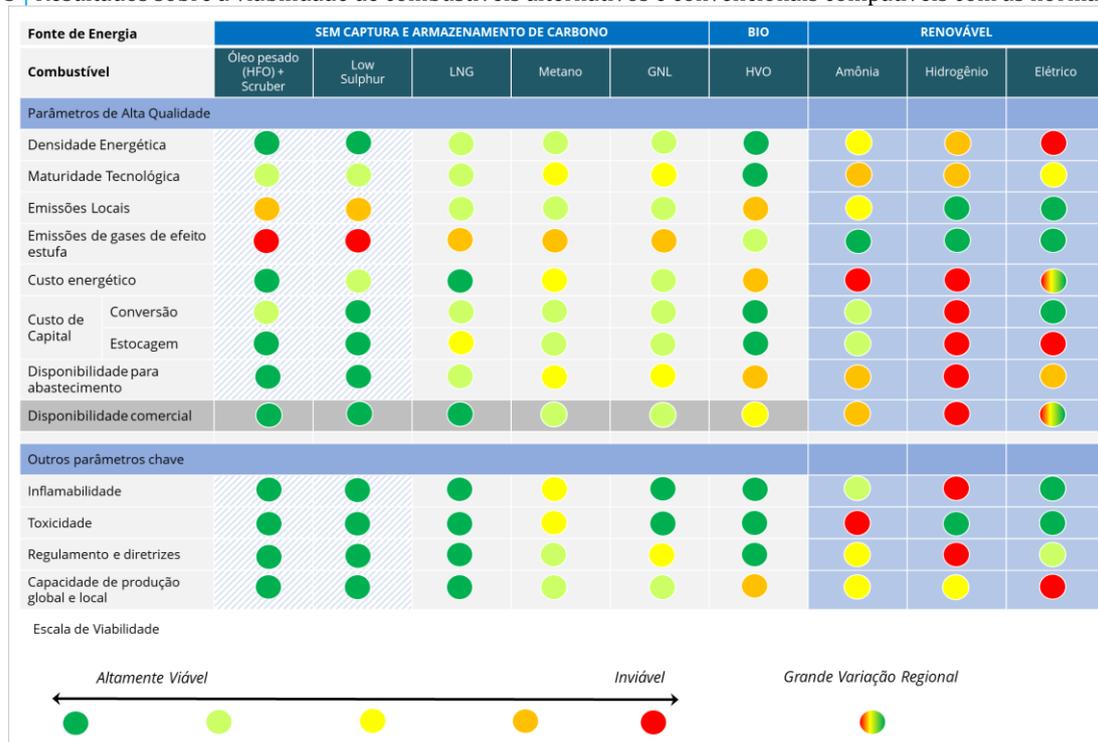
\*\*E-fuels são combustíveis produzidos de fontes renováveis.

Fonte: Adaptado de Carvalho *et. al.* (2020)

Da mesma forma, a Figura 03 apresenta os resultados de DNV-GL (2019b), considerando os combustíveis marítimos convencionais utilizados atualmente: HVO + *Scrubber* e *Low Sulphur*, e outros combustíveis alternativos de origem fóssil e

renovável, em que foram considerados adicionalmente especificações do navio, condições locais, disponibilidade para abastecimento, custos, além de outros parâmetros.

Figura 03 | Resultados sobre a viabilidade de combustíveis alternativos e convencionais compatíveis com as normas vigentes.



Fonte: Adaptado de DNV-GL (2019b)

A maioria dos combustíveis alternativos possui custos significativamente mais elevados do que o combustível convencional utilizado atualmente no transporte marítimo, densidade de energia mais baixa, maiores requisitos de espaço para armazenamento, questões sensíveis de segurança e infraestrutura inexistente ou muito limitada (GRILO, 2020). Dessa forma, fica demonstrada a necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias, como por exemplo sistemas de propulsão e tanques de armazenamento, para ultrapassar essas barreiras e a necessidade de implantação de capacidade de produção de combustíveis alternativos suficientes para atender a demanda.

Entretanto, os biocombustíveis avançados proporcionam uma opção de redução de emissões para o transporte marítimo, podendo se tornar mais amplamente disponíveis com os investimentos necessários e metas políticas (ITF, 2018).

Entre as novas tecnologias oriundas da agenda de descarbonização do transporte marítimo, ressalta-se o desenvolvimento de motores adaptados para diferentes tipos de combustíveis, como o motor marítimo de injeção dupla de gás líquido (LGI) de dois tempos, desenvolvido pela MAN Diesel & Turbo, capaz de operar com metanol, etanol, gás liquefeito de petróleo (GLP) e Dimetil éter (DME) -combustíveis líquidos com baixo ponto de inflamação-, juntamente com óleo combustível pesado, marítimo óleo diesel ou gasóleo marítimo (HSIEH; FELBY, 2017).

Neste diapasão, destaca-se que as principais políticas voltadas ao desenvolvimento da indústria de construção naval brasileira são implementadas por meio do Fundo da Marinha Mercante - FMM e do Adicional ao Frete para Renovação da Marinha Mercante - AFRMM, que

representam as principais fontes de recursos para a constituição de frota no mercado nacional, disciplinadas pela Lei nº 10.983, de 2004, e seus regulamentos.

Outro instrumento de incentivo que pode atender o setor naval seria por meio de debênture incentivada ou debênture de infraestrutura, correspondendo a incentivos fiscais para o financiamento via investidores privados para projetos de infraestrutura priorizados pelo Governo Federal, dentre os quais estaria compreendida a indústria naval, nos termos da Portaria GM nº 9, de 2012, do atual Ministério da Infraestrutura.

Existem incentivos para a utilização do *bunker* convencional, correspondentes à suspensão da incidência dos tributos PIS e COFINS da venda ou de importação dos combustíveis destinados à navegação de cabotagem e de apoio portuário e marítimo, nos termos da Lei nº 11.774, de 2008, assim como ocorre com a grande maioria dos países membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OECD, conforme apresentado pelo relatório "*Maritime Subsidies - Do They Provide Value for Money*" (ITF, 2019).

Entretanto, os instrumentos de fomento ao setor aquaviário existentes no Brasil não estão voltados para a agenda de transição energética no setor aquaviário, assim como vem ocorrendo em outros países.

A esse respeito, muitos economistas afirmam haver a necessidade de políticas governamentais para incentivar comportamentos corporativos socialmente desejáveis (MATOS, 2020). Neste sentido, cabe ressaltar a necessidade de implementação de agenda de promoção dos combustíveis alternativos mais atrativos ao mercado brasileiro.

## 2.3 Análise dos Resultados

Tendo como base os elementos abordados a respeito da agenda de descarbonização do transporte aquaviário, é possível depreender a identificação de diversos combustíveis alternativos, mas que ainda carecem de amadurecimento tecnológico, além de condições adequadas de mercado.

Neste contexto, alguns dos combustíveis alternativos considerados para a descarbonização do transporte marítimo para o mercado brasileiro são os biocombustíveis, tanto por meio do etanol, produzido principalmente a partir da cana-de-açúcar, como por meio do biodiesel, além do GNL,

em razão das reservas já prospectadas e do potencial de produção nacional.

Considerando que as políticas públicas do FMM, do AFRMM e o regulamento das debêntures incentivadas estão compreendidos entre as atribuições do Ministério da Infraestrutura, identifica-se como judicioso o aprimoramento das condicionantes para acesso aos referidos instrumentos, como o estabelecimento de prazos para que os sistemas de propulsão das embarcações a serem enquadrados nas referidas políticas sejam compatíveis com alguns dos combustíveis alternativos que representem menores índices de

emissões.

A *Climate Bond Initiative* consolida critérios para a indústria naval em seu *Climate Bonds Standard*, a fim de fornecer um conjunto de regras de enquadramento dos projetos e ativos considerados de baixo carbono e elegíveis à obtenção de certificação para emissão de títulos com viés sustentável (CBI, 2020).

A estruturação de uma agenda com esse contexto teria o potencial de promover sinergias na indústria nacional, levando a experiência do mercado nacional de biocombustíveis para o setor aquaviário, promovendo o desenvolvimento de novas tecnologias e conquistas de novos mercados na América Latina.

No âmbito da agenda de descarbonização do transporte aquaviário nacional também será necessário aprimorar as políticas de incentivos existentes para o combustível marítimo, ao menos proporcionando os mesmos benefícios tributários atualmente concedidos para a utilização do *bunker* convencional para a navegação de cabotagem e de apoio portuário e marítimo, nos termos da Lei nº 11.774, de 2008, de forma a equilibrar as questões tributárias para as iniciativas de descarbonização em desenvolvimento.

Os benefícios proporcionados pela substituição do *bunker* por um combustível produzido nacionalmente extrapolam as vantagens percebidas pelo setor produtor do insumo,

assegurando a independência energética para o setor de transporte marítimo, mitigando o risco da eventualidade da adoção, pelo mercado, de um combustível indisponível ou limitada capacidade de produção no mercado nacional. Além disso, alguns dos combustíveis nacionais representariam uma solução denominada “*drop-in*”, sendo possível o aproveitamento da infraestrutura de distribuição e das embarcações existentes.

A maximização das potenciais sinergias da adoção de combustíveis com produção nacional como substituto do *bunker* só poderiam ser identificadas e alcançadas por meio de uma agenda transversal entre diversos ministérios e organizações, contando ao menos com a participação do Ministério de Infraestrutura, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, do Ministério de Minas e Energia, da Empresa de Planejamento Energético – EPE e representantes das empresas de navegação e indústria de construção naval.

De outro modo, identifica-se ao menos a necessidade de monitoramento da compatibilidade da infraestrutura de abastecimento disponível nos portos brasileiros com os combustíveis alternativos que serão adotados pelo mercado e promover eventuais adequações, caso sejam necessárias, a fim de assegurar o abastecimento das embarcações do mercado nacional e internacional.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os elementos apresentados, demonstra-se a relevância do transporte de mercadorias como facilitador do comércio, motor do crescimento econômico e impulsionador do desenvolvimento social inerentes ao transporte marítimo. O modal também é uma atividade intensiva em capital, com ativos de vida útil longa, que, com as incertezas de mercado adicionadas às questões regulatórias, representam um complexo cenário para a tomada de decisão para os investidores.

Ao cenário descrito, é necessário adicionar a agenda de sustentabilidade do modal aquaviário, segundo as regras definidas pela *International Maritime Organization* – IMO, de redução da intensidade de carbono do transporte marítimo internacional em pelo menos 40% até 2030, e de 50% de emissões até 2050, em relação a 2008.

Entretanto, é fundamental a compreensão de que projetos sustentáveis que correspondam às características de resiliência representam oportunidades para atração de grandes investidores, que estão compromissados com as

metas climáticas já anunciadas.

Para tanto, se faz necessária a estruturação de agendas de trabalho transversais com outros órgãos, além de ajustar os instrumentos de fomento que atendam ao setor naval, como as do FMM, do AFRMM e das debêntures incentivadas.

A busca para o desenvolvimento de um combustível alternativo para o transporte marítimo ainda está envolta em muitas opções e incertezas, mas é uma agenda posta no cenário internacional, envolta em uma complexa avaliação de diferentes critérios para as diversas opções de combustíveis que estão sendo considerados.

A esse respeito, é importante considerar que determinados combustíveis representam vantagens específicas para determinadas economias, como é o caso do biodiesel e do etanol, entre outros, para o Brasil, oportunizando o desenvolvimento de futuros trabalhos, também em relação a novas tecnologias e arcabouço regulatório.

Contudo, a questão mais relevante a ser destacada a respeito da descarbonização do setor

de transporte marítimo é que se trata de uma agenda irreversível, representando desafios e

oportunidades para investimentos sustentáveis e resilientes.

## REFERÊNCIAS

1. ABASTECE BRASIL, 2019. **Comitê de Avaliação do Abastecimento de Combustíveis Aquaviários**. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: [http://antigo.mme.gov.br/documents/36220/895380/Relatorio+Final+Res+CNPE+18\\_2019+\\_Bunker.pdf/d9388b9b-8b0a-753f-5fa2-cd42b18fbf9e](http://antigo.mme.gov.br/documents/36220/895380/Relatorio+Final+Res+CNPE+18_2019+_Bunker.pdf/d9388b9b-8b0a-753f-5fa2-cd42b18fbf9e)
2. APLA - Arranjo Produtivo Local do Alcool. **Mercado brasileiro de green bonds volta a crescer e movimentou US\$ 1,2 bi em 2019**. Disponível em: <http://www.apla.org.br/mercado-brasileiro-de-green-bonds-volta-a-crescer-e-movimentou-us-12-bi-em-2019>
3. BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2019. **Oportunidades de Investimento em Infraestrutura Verde BRASIL**. Disponível em: <https://publications.iadb.org/publications/portuguese/document/Oportunidades-de-investimento-em-infraestrutura-verde-Brasil-2019.pdf>
4. BRASIL. **Lei nº 11.774**, de 17 de setembro de 2008. Altera a legislação tributária federal, modificando as Leis nos 10.865, de 30 de abril de 2004, 11.196, de 21 de novembro de 2005, 11.033, de 21 de dezembro de 2004, 11.484, de 31 de maio de 2007, 8.850, de 28 de janeiro de 1994, 8.383, de 30 de dezembro de 1991, 9.481, de 13 de agosto de 1997, 11.051, de 29 de dezembro de 2004, 9.493, de 10 de setembro de 1997, 10.925, de 23 de julho de 2004; e dá outras providências.
5. BRASIL. **Portaria GM nº 009**, de 27.01.2012, publicada em 30.01.2012. Estabelece o procedimento de aprovação dos projetos de investimento considerados como prioritários em infraestrutura no setor de transportes, para efeito do Decreto nº 7.603, de 9 de novembro de 2011.
6. CARVALHO; Francielle Mello de, SCHAEFFER; Roberto, PEREIRA; Joana Portugal, CASSERES; Eduardo Müller, CARVALHO; Matheus Richter Poggio de, NOGUEIRA; Tainan de Farias, FONTE; Clarissa Bergman, ROCHEDO; Pedro Rua Rodriguez, WEI; Huang Ken. **Perspectivas de produção de combustíveis marítimos de emissão neutra de carbono no Brasil**. Rio Oil & Gas Expo and Conference 2020 – Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás. Disponível em: [https://icongresso.ibp.itarget.com.br/arquivos/trabalhos\\_completos/ibp/3/final.IBP0079\\_20\\_19072020\\_2\\_05537.pdf](https://icongresso.ibp.itarget.com.br/arquivos/trabalhos_completos/ibp/3/final.IBP0079_20_19072020_2_05537.pdf)
7. CBI - Climate Bonds Initiative, 2020. **CBI Shipping Criteria – Background Paper. The Shipping Criteria for the Climate Bonds Standard & Certification Scheme**. Disponível em: <https://www.climatebonds.net/files/files/CBI%20Certification%20-%20Shipping%20Background%20Paper%281%29.pdf>
8. CIPOLLA; Carlos M, 1962. **The Economic History of World Population**. Pelican Books. London
9. COMISSÃO Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - CMMAD. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1988.
10. DNV-GL, 2019a. **Assessment of Selected Alternative Fuels and Technologies**. Disponível em: <https://www.dnv.com/maritime/publications/alternative-fuel-assessment-download.html>
11. DNV-GL, 2019b. **Comparison of Alternative Marine Fuels**. Disponível em: <https://www.dnv.com/maritime/alternative-fuels-and-technologies-in-shipping/>
12. DNV, 2021. **Decarbonization in shipping**. Disponível em: <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/decarbonization-in-shipping/index.html>
13. ELKINGTON; John. **Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business**. Oxford: Capstone, 1997.
14. ETKOWITZ; Henry. **The Triple Helix: University-Industry-Government Innovation in Action**. New York: Routledge, 2008.
15. FATTOUH; Bassam, 2019. Energy Transition, Uncertainty, and the Implications of Change in the Risk Preferences of Fossil Fuels Investors. **Oxford Energy Insight**: 45. The Oxford Institute For Energy Studies. Disponível em: <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2019/01/Energy-Transition-Uncertainty-and-the-Implications-of-Change-in-the-Risk-Preferences-of-Fossil-Fuel-Investors-Insight-45.pdf>
16. FOUQUET; Roger, 2010. **The Slow Search for Solutions: Lessons from Historical Energy Transitions by Sector and Service**. Basque Centre For Climate Change. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/46460708\\_The\\_Slow\\_Search\\_for\\_Solutions\\_Lessons\\_from\\_Historical\\_Energy\\_Transitions\\_by\\_Sector\\_and\\_Service/link/0fcfd50fa7971b1c12000000/download](https://www.researchgate.net/publication/46460708_The_Slow_Search_for_Solutions_Lessons_from_Historical_Energy_Transitions_by_Sector_and_Service/link/0fcfd50fa7971b1c12000000/download)

17. GRILLO; Fernando, 2020. Descarbonização do Shipping - O impasse - demasiadas alternativas e nenhuma solução. **Transportes&Negócios**. Disponível em: <https://www.transportesenegocios.pt/descarbonizacao-do-shipping/>
18. HOLLANDA; Lavinia, 2019. Oportunidades para o Brasil no setor de transporte marítimo. Disponível em: <https://www.portosenavios.com.br/artigos/artigos-de-opiniao/oportunidades-para-o-brasil-no-setor-de-transporte-maritimo>
19. HSIEH; Chia-wen Carmen, FELBY; Claus. **Biofuels for the marine shipping sector**. 2017. International Energy Agency – IEA. Disponível em: <http://task39.sites.olt.ubc.ca/files/2013/05/Marine-biofuel-report-final-Oct-2017.pdf>
20. IMO, International Maritime Organization, 2021. **Informal discussions focus on lifecycle GHG/carbon intensity of cleaner fuels for shipping**. Disponível em: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/Pages/WhatsNew-1603.aspx>
21. ITF - International Transport Forum, 2018. **Decarbonising Maritime Transport Pathways to zero-carbon shipping by 2035**. Disponível em: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/decarbonising-maritime-transport-2035.pdf>
22. ITF - International Transport Forum, 2019. **Maritime Subsidies. Do They Provide Value for Money**. Disponível em: <https://www.itf-oecd.org/maritime-subsidies-do-they-provide-value-money>
23. JONES; Aled, 2019. **Rating Resilience: Factoring Climate Resilience into Infrastructure Risk Metrics**. The Observer Research Foundation Special Report. Disponível em: [https://www.orfonline.org/wp-content/uploads/2019/03/ORF\\_Special\\_Report\\_84\\_Rating\\_Resilience.pdf](https://www.orfonline.org/wp-content/uploads/2019/03/ORF_Special_Report_84_Rating_Resilience.pdf)
24. MATOS; Pedro, 2020. ESG and Responsible Institutional Investing Around the World a Critical Review. CFA **Institute Research Foundation**. Disponível em: <https://www.cfainstitute.org/-/media/documents/book/rf-lit-review/2020/rflr-esg-and-responsible-institutional-investing.ashx>
25. MAERSK, 2019. **Alcohol, Biomethane and Ammonia are the best-positioned fuels to reach zero net emissions**. Disponível em: <https://www.maersk.com/news/articles/2019/10/24/alcohol-biomethane-and-ammonia-are-the-best-positioned-fuels-to-reach-zero-net-emissions>
26. MARTHUR; Vikrom, ROY; Aparna, 2021. **Financing Resilience**. Disponível em: <https://www.orfonline.org/expert-speak/financing-resilience/>
27. NASCIMENTO; Elimar Pinheiro do, 2012. **Trajatória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/a/yJnRYLWXSwyxqggqDwy8gct/?lang=pt&format=pdf>
28. OECD - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, 2018. **Climate-resilient Infrastructure**. Disponível em: <https://www.oecd.org/environment/cc/policy-perspectives-climate-resilient-infrastructure.pdf>
29. Oliveira, Lucas Rebello de; Medeiros, Raffaella Martins; Terra, Pedro de Bragança; Quelhas, Osvaldo Luiz G., 2012. Sustentabilidade: da evolução dos conceitos à implementação como estratégia nas organizações. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132011005000062>
30. SHELL, 2020. **Decarbonising Shipping: Setting Shell's Course**. Disponível em: [https://www.shell.com/promos/energy-and-innovation/decarbonising-shipping-setting-shells-course/\\_jcr\\_content.stream/1601385103966/709d83f692075a4f1880104fc5cc466168e8a26a/decarbonising-shipping-setting-shells-course.pdf](https://www.shell.com/promos/energy-and-innovation/decarbonising-shipping-setting-shells-course/_jcr_content.stream/1601385103966/709d83f692075a4f1880104fc5cc466168e8a26a/decarbonising-shipping-setting-shells-course.pdf)
31. SOVACOO; Benjamin, MCCAULEY; Darren, RAMASAR; Vasna, HEFFRON; Raphael, MEBRATU; Desta, MUNDACA; Luis, 2018. **Energy justice in the transition to low carbon energy systems: Exploring key themes in interdisciplinary research**. Disponível em: <http://sro.sussex.ac.uk/id/eprint/80063/3/Joint%20article%20final%2016082018.pdf>
32. TCFD - Task Force of Climate Related Financial Disclosures, 2017. **Recommendations of the Task Force on Climate-related financial disclosures**, London. Disponível em: <https://assets.bbhub.io/company/sites/60/2020/10/FINAL-2017-TCFD-Report-11052018.pdf>
33. UNCTAD - Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento, 2014. **Closing the Distance: Partnerships for Sustainable and Resilient Transport Systems in SIDS**. UNCTAD/DTL/TLB/2014/2. New York and Geneva. Disponível em: [https://unctad.org/system/files/official-document/dtltlb2014d2\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/dtltlb2014d2_en.pdf)
34. UNCTAD - Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento, 2021. **Sustainable and resilient transport amidst rising uncertainty, disruptions and climate risks**. Disponível em: <https://sdgpulse.unctad.org/sustainable-transport/>
35. VIGENEVO; Huibert, 2020. **A new report outlines the shipping industry's plans for decarbonization**. World Economic Forum. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2020/07/shipping-industry-plans-to-decarbonize/>.



Aumentar a competitividade nacional e atrair grandes investidores internacionais, com a meta de tornar-se líder em infraestrutura de transportes na América Latina, é a Missão do Ministério da Infraestrutura. Para isso, estabeleceu como princípio, em seu mapa estratégico, proporcionar infraestrutura viária integrada e confiável, para mobilidade segura e eficiente de pessoas e bens.

O desafio de tratar da complexidade do tema da sustentabilidade nos diversos modos da infraestrutura de transportes está a cargo da Subsecretaria de Sustentabilidade (SUST), criada no âmbito da Secretaria Executiva. Dentre as suas atribuições, está a coordenação do Comitê de Gestão Ambiental (COGEA), que conta com representantes do Ministério e das suas entidades vinculadas; espaço institucional que não somente permite dar prosseguimento às discussões sobre temas relevantes para a sustentabilidade na infraestrutura de transportes, como também possibilita o atendimento conjunto às questões socioambientais de interesse comum da Pasta.

A realização do V Seminário Socioambiental em Infraestrutura de Transportes - Via Viva 2021: Investimento Verde e Resiliência, representa o cumprimento de um compromisso da Agenda de Sustentabilidade 2020-2022, estabelecida pela Portaria nº 4, de 31 de janeiro de 2020, no âmbito das Diretrizes de Sustentabilidade do Ministério da Infraestrutura.

A presente publicação concretiza o último propósito do Via Viva 2021 de criar um repositório de informações técnicas especializadas sobre a sustentabilidade, relacionada à infraestrutura de transportes.