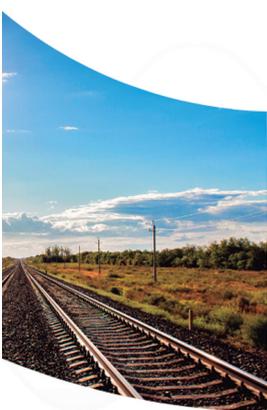


VIA VIVA 2023



VII SEMINÁRIO SOCIOAMBIENTAL EM
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

TRANSIÇÃO ECOLÓGICA

NA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

Valdemir Paiva
EDITOR-CHEFE

Éverson Ciriaco
DIREÇÃO EDITORIAL

Katlyn Lopes
DIREÇÃO EXECUTIVA

Victor Malucelli
EDITOR DE RELACIONAMENTO

Paula Zettel
Matheus da Silva Jordão
DESIGN DE CAPA

Natália de Oliveira Hayne
Jhonny Alves dos Reis
DIAGRAMAÇÃO E PROJETO GRÁFICO

Natália de Oliveira Hayne
Ricardo Luiz Medeiros Meirelles
Thiago Olante Casagrande
REVISÃO

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
BIBLIOTECÁRIA: MARIA ISABEL SCHIAVON KINASZ, CRB9 / 626

V598

Via Viva: VII Seminário Socioambiental em Infraestrutura de Transportes,
Transição Ecológica na Infraestrutura de Transportes / Ministério dos
Transportes - Curitiba: Editorial Casa, v.6, n.1, 2023.
108p.: il.; 24cm

ISSN 2675-2662

1. Transporte rodoviário. 2. Transporte ferroviário. 3. Transportes – Infraestrutura.
I. Ministério dos Transportes.

CDD 388 (22.ed)
CDU 656

1ª edição – Ano 2023

Copyright© Editorial Casa, 2023

Todos os direitos reservados e protegidos pela Lei nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998.

É proibida a reprodução total ou parcial desta obra, por quaisquer meios, sem a expressa
anuência do Editorial Casa.

Caso não encontre nossos títulos na rede de livrarias conveniadas disponível em nosso site,
entre em contato conosco por meio de nosso telefone ou de nossas redes sociais.



**VII SEMINÁRIO SOCIOAMBIENTAL EM
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES**
TRANSIÇÃO ECOLÓGICA NA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
VIA VIVA 2023



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA

Presidente

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

JOSÉ RENAN VASCONCELOS CALHEIROS FILHO

Ministro

GEORGE ANDRÉ PALERMO SANTORO

Secretário Executivo

CLOVES EDUARDO BENEVIDES

Subsecretário de Sustentabilidade

COORDENAÇÃO TÉCNICA EXECUTIVA

GEORGE YUN

Coordenador-Geral de Projetos Especiais e Mudança do Clima

PALOMA CAMPOS DO NASCIMENTO

Coordenadora Geral de Licenciamento Ambiental e Assuntos Territoriais

RICARDO LUIZ MEDEIROS MEIRELLES

Coordenador de Projetos Especiais e Mudança do Clima Substituto

EQUIPE TÉCNICA

CAMILA LOURDES DA SILVA

FANI MAMEDE

FERNANDA DE CARVALHO BORGES

HENRIQUE FRANK DOS SANTOS

JOÃO MATEUS SILVA DE SOUZA GUEDES

JOYCE CORREIA DOS ANJOS DA SILVA

NATÁLIA DE OLIVEIRA HAYNE

ROSÂNGELA FINOCKETI PINNA

THIAGO OLANTE CASAGRANDE

COMITÊ EDITORIAL

COORDENADOR:

GEORGE YUN

MEMBROS:

JOSÉ PEDRO FRANCISCONI JUNIOR

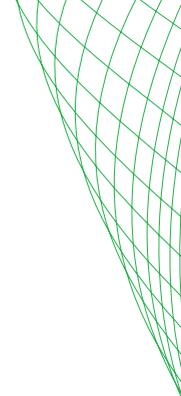
MANOEL DE ANDRADE E SILVA REIS

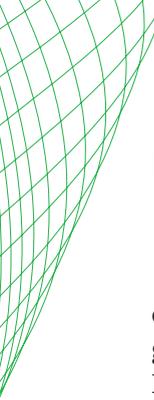
RICARDO LUIZ MEDEIROS MEIRELLES

SANDRO FILIPPO

THIAGO OLANTE CASAGRANDE

VALENTÍN SANTANDER RAMÍREZ





PALAVRAS DO MINISTRO

O tema do livro *Via Viva 2023* não foi escolhido por acaso. A transição ecológica é atualmente uma política de Estado, permeando em maior ou menor grau, todo o Governo Federal, presente nas Diretrizes de Sustentabilidade do Ministério dos Transportes.

É inegável a necessidade dessa transversalidade para o tema, devido sua grande amplitude. Tratamos de assuntos complexos como a transição energética para fontes de baixo carbono, adaptação aos impactos da mudança do clima, justiça climática e social, proteção da biodiversidade, entre outros.

Para que nossa infraestrutura de transportes esteja alinhada com os melhores padrões internacionais, as políticas públicas não podem estar dissociadas de temas tão importantes para a sociedade e para o futuro do nosso país.

Esperamos que os artigos tratados neste livro, de autores com diferentes abordagens para o tema, possam servir de referência e base para ações futuras.

Agradecemos a todos que enviaram artigos para compor essa publicação!

JOSÉ RENAN VASCONCELOS CALHEIROS FILHO

Ministro de Estado dos Transportes

PALAVRAS DO SECRETÁRIO EXECUTIVO

Este livro visa explorar os desafios, as soluções e as oportunidades inerentes à transição ecológica na infraestrutura de transportes rodoviário e ferroviário. Ao longo das próximas páginas, você será levado a uma jornada pelos diferentes aspectos desse tema complexo e multifacetado.

Ao longo deste livro, você encontrará estudos de caso inspiradores onde a transição ecológica está sendo colocada em prática. Isso servirá como uma fonte de inspiração e aprendizado, fornecendo exemplos concretos de como é possível enfrentar os desafios da sustentabilidade e alcançar uma infraestrutura de transportes mais verde, compromisso assumido na implementação das Diretrizes de Sustentabilidade do Ministério dos Transportes.

É importante destacar que a transição ecológica na infraestrutura de transportes não é apenas uma necessidade ambiental, mas também uma oportunidade para o progresso social e econômico. A criação de empregos verdes, o desenvolvimento de tecnologias limpas e o aumento da segurança nas rodovias e ferrovias são apenas alguns dos benefícios que podem ser alcançados.

Convido você a explorar este livro com mente aberta e espírito de colaboração. A transição ecológica na infraestrutura de transportes é um desafio que exige o engajamento de todos — governos, empresas, comunidades e indivíduos. Juntos, podemos construir um futuro sustentável, preservando nosso planeta para as gerações presentes e futuras.

Boa leitura e que esta jornada inspire ação e mudança em prol de uma infraestrutura de transportes mais ecológica.

GEORGE ANDRÉ PALERMO SANTORO

Secretário Executivo do Ministério dos Transportes



PALAVRAS DO SUBSECRETÁRIO DE SUSTENTABILIDADE

É com grande satisfação que me dirijo a vocês, em um momento crucial para a busca de soluções sustentáveis em nossa infraestrutura de transportes. Hoje, mais do que nunca, é imperativo que consideremos de maneira estratégica a relação entre o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental, especialmente no contexto do setor de transportes.

O Brasil, com sua vasta biodiversidade e sua imensa extensão territorial, está diante de um dilema complexo: como expandir e modernizar a infraestrutura de transportes para atender às crescentes demandas de mobilidade e logística, ao mesmo tempo em que preserva nosso valioso patrimônio ambiental?

Neste contexto, as Diretrizes de Sustentabilidade do Ministério dos Transportes se tornam ainda mais relevantes. Elas nos orientam na busca de soluções que equilibrem o desenvolvimento econômico com a conservação da biodiversidade, a redução das emissões de gases de efeito estufa com a eficiência operacional, a resiliência climática da infraestrutura de transportes e a inclusão social com a responsabilidade socioambiental.

O livro *Via Viva 2023: Transição Ecológica na Infraestrutura de Transportes* é um reflexo de nosso compromisso com essas diretrizes. Ele aborda questões essenciais, como a mitigação dos impactos do transporte rodoviário na fauna, a aplicação de indicadores ESG no licenciamento ambiental de rodovias, o fortalecimento do transporte ferroviário como uma alternativa mais sustentável e o uso inovador de geotecnologias no planejamento de respostas a emergências ambientais.

Essa obra não é apenas um registro do conhecimento atual, mas também um convite à reflexão e à ação conjunta. Ela demonstra que, apesar dos desafios, já estamos fazendo progressos significativos na incorporação de práticas sustentáveis em nossa infraestrutura de transportes.

Nossa missão como Ministério dos Transportes é clara: impulsionar a transição ecológica em nosso setor, construindo uma infraestrutura de transportes mais eficiente, segura e sustentável. Este livro é um passo importante nessa direção, e sua mensagem é clara: podemos transformar os desafios em oportunidades e trilhar um caminho rumo a um futuro onde o desenvolvimento, a conservação ambiental e a justiça social andem de mãos dadas.

Uma boa leitura!

CLOVES EDUARDO BENEVIDES

Subsecretário de Sustentabilidade do Ministério dos Transportes

APRESENTAÇÃO

Anualmente, o Ministério dos Transportes 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 2023, o tema escolhido foi “Transição Ecológica”, com foco no fomento do tema para todas as etapas do ciclo dos ativos: políticas, planos, projetos e ações de competência do Ministério dos Transportes e suas entidades vinculadas.

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 VII Via Viva, do ano de 2023. Os trabalhos devem se relacionar 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 quatro trabalhos, divididos em dois eixos abordando os fatores da Transição Ecológica. Dentre os autores, destacam-se professores, estudantes, pesquisadores, gestores públicos das entidades vinculadas ao Ministério dos Transportes e a profissionais do setor.

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



Foto: Ricardo Botelho

COMITÊ EDITORIAL

GEORGE YUN

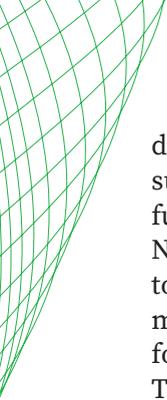
Mestre em engenharia civil pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), MBA em gestão pública com ênfase em projetos pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), especialista em avaliações e perícias em engenharia pelo IBAPE/PUCMINAS, especialista em plantas ornamentais e paisagismo pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Arquiteto e urbanista. Atua como analista de infraestrutura do Ministério da Gestão e Inovação em Serviços Públicos com autorização de exercício no Ministério dos Transportes, 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 e mudança do clima da Subsecretaria de Sustentabilidade (SUST) no Ministério dos Transportes. (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 (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 Universidade de São Paulo (USP) e *Ph.D.* pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). 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 Ferrovia Paulista S.A. (FEPASA). (Membro técnico).

RICARDO LUIZ MEDEIROS MEIRELLES

Mestre em engenharia de transportes pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), MBA em gestão pública com ênfase em projetos pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), especialista em avaliações e perícias em engenharia pelo IBAPE/PUCMINAS. Engenheiro civil. Atua como analista de infraestrutura do Ministério da Gestão e Inovação em Serviços Públicos em exercício descentralizado no Ministério da Infraestrutura, desde 2008. Ocupou os cargos de chefe do serviço de construção, chefe do serviço de desapropriação, reassentamento e meio ambiente e chefe do serviço de manutenção na Superintendência Regional do DNIT no Estado de Minas Gerais (SREMG). Exerceu a função de superintendente substituto da SREMG durante o ano de 2020 e atualmente ocupa o cargo de coordenador de projetos especiais e mudança do clima substituto na Coordenação Geral de Projetos Especiais e Mudança do Clima da Subsecretaria de Sustentabilidade (SUST/SE) no Ministério dos Transportes.

THIAGO OLANTE CASAGRANDE

Engenheiro ambiental pela Universidade do Vale do Itajaí (2009), com especializações MBA em gestão ambiental e desenvolvimento sustentável e MBA em construções sustentáveis. Dez anos de experiência na gestão ambiental e sustentabilidade em aeroportos, pela INFRAERO.

Atualmente atua na Subsecretaria de Sustentabilidade do Ministério dos Transportes, auxiliando em todos os temas relacionados à sustentabilidade na infraestrutura federal de transportes, como: mudança do clima: adaptação e mitigação; finanças sustentáveis; ESG: externalidades socioambientais, governança e regulação da sustentabilidade, regularização territorial.

SANDRO FILIPPO

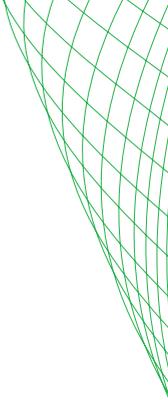
Possui doutorado em engenharia de transportes pela COPPE/UFRJ (2008), mestrado em engenharia de transportes pelo Instituto Militar de Engenharia (2000), especialização em administração pública pela UGF (2014), especialização em engenharia de saúde pública pela ENSP/Fiocruz (1995) e graduação em engenharia 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, *Universidade 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

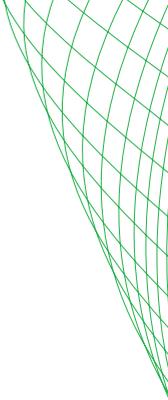
| | |
|-----------------|--|
| AMF | – Área Média dos Fragmentos |
| ANTT | – Agência Nacional de Transportes Terrestres |
| APA | – Área de Proteção Ambiental |
| APP | – Área de Preservação Permanente |
| BRICS | – Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul |
| CCR | – Companhia de Concessões Rodoviárias |
| CEBDS | – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável |
| COENGE/ DNIT | – Coordenação de Engenharia Terrestre |
| CIA | – <i>Central Intelligence Agency</i> |
| CLN | – Concessionária Litoral Norte |
| CNT | – Confederação Nacional de Transportes |
| CO ₂ | – Dióxido de carbono |
| COAMB | – Coordenação de Assuntos Ambientais |
| CONAMA | – Conselho Nacional de Meio Ambiente |
| COPPE | – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia |
| CTS | – Comitê de Territórios e de Sustentabilidade |
| CVRD | – Companhia Vale do Rio Doce |
| DNIT | – Departamento Nacional em Infraestrutura de Transportes |
| EFC | – Estrada de Ferro Carajás |
| EFPO | – Estrada de Ferro Paraná-Oeste |
| EFVM | – Estrada de Ferro Vitória a Minas |
| EFPO | – Estrada de Ferro Paraná-Oeste |
| EMBRAPA | – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| EPE | – Empresa de Pesquisa Energética |



| | |
|--------|---|
| EPI | – <i>Environmental Performance Index</i> |
| ESG | – <i>Environmental, Social, Governance</i> |
| FCA | – Ferrovias Centro Atlântico S.A. |
| FGV SB | – Sistema de Bibliotecas da Fundação Getúlio Vargas |
| FIOL | – Ferrovias de Integração Oeste-Leste |
| FIRJAN | – Federação das Indústrias do Rio de Janeiro |
| FNS | – Ferrovias Norte-Sul |
| FNSTN | – Ferrovias Norte-Sul S.A. (Tramo Norte) |
| FTC | – Ferrovias Tereza Cristina S.A. |
| FTL | – Ferrovias Transnordestina Logística S.A. |
| GEE | – Gases de Efeito Estufa |
| GIS | – <i>Geographic Information System</i> |
| GLM | – <i>Generalized Linear Model</i> |
| GRI | – <i>Global Reporting Initiative</i> |
| IBGE | – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IBMEC | – Instituto Brasileiro de Mercado de Capitais |
| ICMBio | – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade |
| IDA | – Índice de Desempenho Ambiental |
| IDE | – Infraestrutura de Dados Espaciais |
| IEMA | – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos |
| IFC | – <i>International Finance Corporation</i> |
| ISA | – Indicador de Salubridade Ambiental |
| ISE | – Índice de Sustentabilidade Empresarial |
| IUCN | – <i>International Union for Conservation of Nature</i> |
| MBA | – <i>Master of Business Administration</i> |
| MDE | – Modelo Digital de Elevação |
| MIPF | – Média do Índice de Proximidade dos Fragmentos |
| NASA | – <i>National Aeronautics and Space Administration</i> |



| | |
|-------|--|
| NBR | – Norma Brasileira |
| NIMA | – <i>National Imagery and Mapping Agency</i> |
| OECD | – Organisation for Economic Co-operation and Development |
| ODS | – Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis |
| ONGs | – Organizações Não-Governamentais |
| ONTL | – Observatório Nacional de Transporte e Logística |
| ONU | – Organização das Nações Unidas |
| PAF | – Programa de Avaliação de Fornecedores |
| PIB | – Produto Interno Bruto |
| PLVB | – Programa de Logística Verde Brasil |
| PNL | – Política Nacional de Transportes |
| PPI | – Programa de Parcerias de Investimento |
| PUC | – Pontifícia Universidade Católica |
| RAA | – Relatório de Acompanhamento Ambiental |
| REBIO | – Reserva Biológica |
| RFESA | – Rede Ferroviária Federal S.A. |
| RMC | – Rumo Malha Central S.A. |
| RMN | – Rumo Malha Norte S.A. |
| RMO | – Rumo Malha Oeste S.A. |
| RMP | – Rumo Malha Paulista S.A. |
| RMS | – Rumo Malha Sul S.A. |
| SAFF | – Sistema de Acompanhamento e Fiscalização do Transporte Ferroviário |
| SEAMA | – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos |
| SEMA | – Secretaria Estadual do Meio Ambiente |
| SENAC | – Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial |
| SER | – <i>Social and Educational Programs Report</i> |
| SFV | – Sistema Federal de Viação |
| SGA | – Sistema de Gestão Ambiental |



| | |
|------|---|
| SGR | – Sistema Geodésico de Referência |
| .SHP | – <i>Shapefile</i> |
| SNV | – Sistema Nacional de Viação |
| SRTM | – <i>Shuttle Radar Topography Mission</i> |
| SUST | – Subsecretaria de Sustentabilidade |
| TCU | – Tribunal de Contas da União |
| TFCA | – Taxa de Frequência de Acidentes com Afastamento |
| TKU | – Toneladas x km |
| TLSA | – Transnordestina Logística S.A. |
| TMPA | – Taxa média perímetro-área |
| TU | – Toneladas úteis |
| UFES | – Universidade Federal do Espírito Santo |
| UFLA | – Universidade Federal de Lavras |
| UFMG | – Universidade Federal de Minas Gerais |
| UFRJ | – Universidade Federal do Rio de Janeiro |
| UFPE | – Universidade Federal de Pernambuco |
| USGS | – United States Geological Survey |
| USJT | – Universidade São Judas Tadeu |
| WASH | – <i>Water, Sanitation and Hygiene</i> |
| WHO | – <i>World Health Organization</i> |



SUMÁRIO

INTRODUÇÃO20

EIXO I - SUSTENTABILIDADE E ESG

CONECTANDO CONSERVAÇÃO E RODOVIAS: O POTENCIAL MITIGATÓRIO DAS PASSAGENS DE FAUNA NA BR-101/NORTE RJ

Mateus Melo-Dias; Marcello Guerreiro; Thiago de Oliveira Machado.....23

A IMPORTÂNCIA DOS INDICADORES DE ESG E PROGRAMAS SOCIOAMBIENTAIS NO LICENCIAMENTO DE CONCESSÕES DE RODOVIAS FEDERAIS NO BRASIL

*Isabelle Barcelos Cariman; Clézio Ribeiro de Almeida;
Thiago Oliveira Machado47*

EIXO II - PLANEJAMENTO E MUDANÇA DO CLIMA

AVANÇOS REGULATÓRIOS NO TRANSPORTE FERROVIÁRIO BRASILEIRO: RESULTADOS E DESEMPENHO OPERACIONAL APONTAM NA DIREÇÃO DE UMA INFRAESTRUTURA SUSTENTÁVEL

Luciano Bandeira Campos; Pérciles Tadeu da Costa Bezerra.....67

EFICIÊNCIA DO USO DE IMAGENS SRTM COMO SUPORTE EM ANÁLISES DE ATENDIMENTO A EMERGÊNCIAS AMBIENTAIS FERROVIÁRIAS: UM ESTUDO DE CASO DO KM 788+200 DA EFC

José Marinho Mendes90

Visita técnica às obras da segunda ponte — Marco das Três Fronteiras — Foz do Iguaçu (PR)
— Foto: Ricardo Botelho

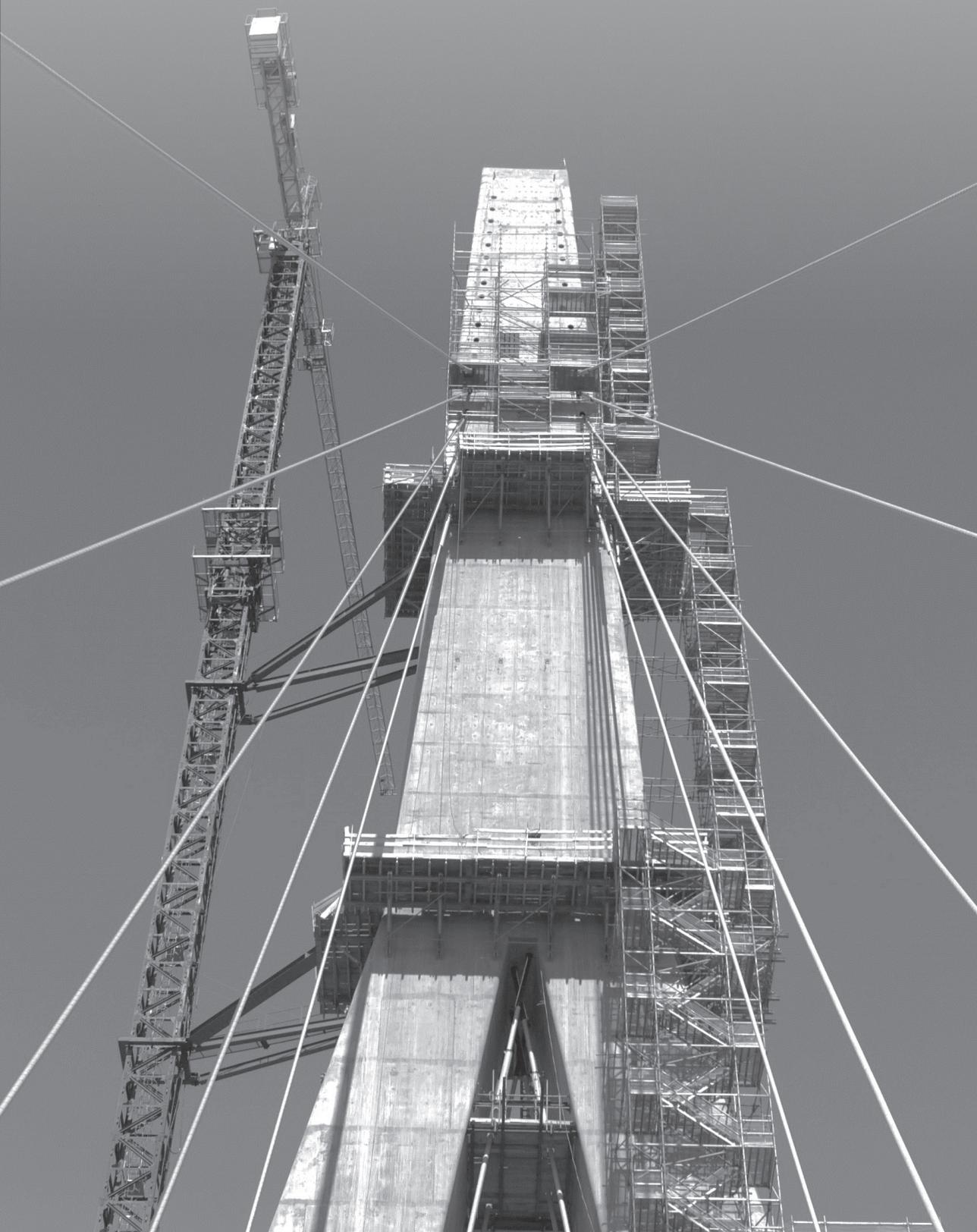




Foto: Ricardo Botelho

INTRODUÇÃO

A infraestrutura de transportes é uma peça fundamental para o desenvolvimento econômico e social de um país, proporcionando a mobilidade necessária para o crescimento das atividades produtivas e a qualidade de vida de sua população. No entanto, essa infraestrutura muitas vezes entra em conflito com a conservação do meio ambiente e, conseqüentemente, da biodiversidade, gerando impactos significativos, como o atropelamento de animais nas rodovias e o aumento das emissões de gases de efeito estufa nas rodovias e ferrovias.

No Brasil, um país conhecido por sua rica biodiversidade, o desafio de conciliar o desenvolvimento da infraestrutura de transportes com a conservação ambiental é especialmente relevante. As passagens de fauna em rodovias tem sido uma estratégia importante para mitigar os impactos negativos sobre a fauna silvestre, o primeiro artigo evidencia os resultados gerados pelo complexo de passagens de fauna na Mata Atlântica fluminense, que corta a BR-101 e se propõe a explorar a efetividade dessas medidas de mitigação e identificar as características determinantes para o sucesso dessas estruturas. Dados de monitoramento revelam que essas estruturas podem ser altamente eficazes na promoção da segurança dos usuários e na preservação da biodiversidade.

Além disso, este livro também examina a questão do licenciamento ambiental das rodovias, destacando os desafios enfrentados nesse processo. O segundo artigo aborda a aplicação de indicadores ESG (ambiental, social e de governança) e os programas ambientais que desempenham um papel crucial no monitoramento do desempenho ambiental das rodovias e na garantia de conformidade com as diretrizes estabelecidas pelo licenciamento ambiental. A complexidade dessas ações de monitoramento é explorada, assim como as iniciativas já aplicadas, pelas concessionárias de rodovias federais no Brasil.

Além das rodovias, este livro também direciona o olhar para o setor ferroviário, que oferece benefícios econômicos e ambientais significativos. O terceiro artigo aborda o tema da transição para uma matriz de transportes mais sustentável, com uma maior participação do transporte ferroviário, considerando as iniciativas regulatórias implementadas desde os anos 90 e o desempenho das operadoras ferroviárias.

Por fim, o último artigo explora o uso crescente de geotecnologias, como imagens SRTM, na gestão e planejamento de ações relacionadas a emergências ferroviárias, destacando a eficácia dessas ferramentas na tomada de decisões que visam a conservação do meio ambiente.

Em conjunto, os quatro artigos que compõem o *Livro Via Viva 2023*, fornecem uma visão abrangente das questões de sustentabilidade e mudança do clima relacionadas à infraestrutura de transportes terrestres no Brasil, destacando os desafios enfrentados, as soluções encontradas e as oportunidades para a transição ecológica nesse setor crucial para o país. Este livro busca contribuir para um diálogo informado e embasado sobre como promover o desenvolvimento sustentável na infraestrutura de transportes brasileira.

EIXO I

SUSTENTABILIDADE E ESG



Foto: Ricardo Botelho



Foto: Ricardo Botelho

CONECTANDO CONSERVAÇÃO E RODOVIAS: O POTENCIAL MITIGATÓRIO DAS PASSAGENS DE FAUNA NA BR-101/NORTE RJ

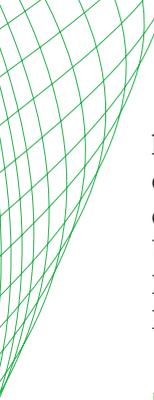
Mateus Melo-Dias; Marcello Guerreiro; Thiago de Oliveira Machado

RESUMO

No Brasil, estima-se que mais de 8 milhões de mamíferos de médio e grande porte morrem atropelados todos os anos. A implantação de passagens de fauna em rodovias é uma estratégia de mitigação para esse problema. Na Mata Atlântica fluminense, o trecho norte da BR-101 se destaca pela instalação de um complexo de passagens de fauna que corta importantes áreas de conservação da biodiversidade. O presente projeto tem como finalidade avaliar a efetividade destas medidas de mitigação implantadas na BR-101/Norte RJ, e demonstrar quais são as características determinantes para que as passagens tenham maior chance de serem efetivas. Foram monitoradas 8 passagens de fauna inferiores e 8 superiores através de armadilhas fotográficas durante 2021 e 2022. Além disso, foram obtidos os dados provenientes do monitoramento de atropelamentos neste trecho da rodovia entre 2015 e 2022. Foram registradas 568 travessias de 18 espécies em 5 das 8 passagens inferiores, e 2.568 travessias de 8 espécies em 7 das 8 passagens superiores. Os modelos demonstraram que passagens inferiores atreladas a cercas de proteção direcionadoras mais extensas são determinantes para a efetividade mitigatória destas estruturas. Já em relação às passagens superiores, a conectividade florestal de entorno das estruturas é o fator determinante para que elas sejam utilizadas efetivamente por uma maior diversidade de animais. Houve uma redução de 27% nos atropelamentos de fauna em comparação ao período anterior e pós instalação das passagens neste trecho monitorado da BR-101/Norte RJ, demonstrando o potencial mitigatório efetivo para a segurança dos usuários e conservação da biodiversidade.

Palavras-chave: armadilhas fotográficas; atropelamentos de fauna; cercamento direcionador; Mata Atlântica; métricas de paisagem.

Mateus Melo-Dias, biólogo, ecólogo e mastozoólogo com experiência em pesquisas ecológicas, consultoria ambiental e planos de conservação de animais ameaçados. Atua em ONGs e nos setores público e privado para produção de conhecimento técnico-científico aplicado à conservação sustentável da



biodiversidade neotropical. Mestre em ecologia aplicada pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), com período sanduíche na Universidad Nacional del Centro del Perú. Foi bolsista no Centro Brasileiro de Estudos em Ecologia de Estradas/UFLA, e atualmente é biólogo no Programa de Monitoramento das Passagens de Fauna da BR-101/RJ Norte pela CONCREMAT AMBIENTAL à serviço da Arteris Fluminense.

Marcello Guerreiro, coordenador de meio ambiente da Arteris Fluminense. Mestre em engenharia civil e meio ambiente (COPPE/UFRJ). Membro do Conselho Empresarial de Meio Ambiente da FIRJAN e ReBios de Poço das Antas e União. ESG Advisor. GIS Expert.

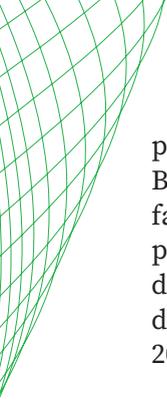
Thiago de Oliveira Machado, biólogo, formado pela USJT (2006) com especialização em gestão ambiental pelo SENAC (2010), geoprocessamento pelo SENAC (2011) e MBA em gestão de projetos pelo IBMEC (2015). Atualmente exerce a função de gerente operacional de estudos ambientais — Núcleo São Paulo na empresa CONCREMAT AMBIENTAL, contribuindo em diversos projetos de infraestrutura envolvendo sustentabilidade, aspectos e impactos ambientais. Participou e coordenou diversos estudos ambientais com ênfase em empreendimentos rodoviários.

1 INTRODUÇÃO

Em todo o mundo, prevê-se que as malhas de transportes terrestres (rodovias e ferrovias) se expandam entre 36 e 45% de suas atuais extensões em um período de 40 anos até 2050 (Fearnside, 2008; Barber *et al.*, 2014). Grande parte deste crescimento, cerca de 90%, ocorrerá em países tropicais, cruzando ecossistemas com alta biodiversidade e grande importância ecológica regional e mundial, como a exemplo do Brasil (Teixeira *et al.*, 2016; Tisler *et al.*, 2022). A presença de empreendimentos lineares, como rodovias, tem diversas consequências ambientais, como a perda e fragmentação de habitats, poluição sonora e aquática, isolamento populacional devido ao efeito barreira, além das colisões veiculares resultando em atropelamento da fauna (Coffin, 2007; Rosa *et al.*, 2021). Este último é tido como o principal impacto das rodovias a biodiversidade (Fahrig; Rytwinski, 2009; Secco *et al.*, 2023), que afeta não só a fauna, mas a segurança dos usuários das rodovias, pois a colisão de veículos com animais, principalmente mamíferos de grande porte, geram sérios acidentes envolvendo até a perda de vidas humanas (Abra *et al.*, 2019; Young *et al.*, 2023).

Apenas no Brasil, estima-se que mais de 8 milhões de mamíferos de médio e grande porte morrem em decorrência de colisões veiculares anualmente (Pinto *et al.*, 2022). Esta perda de indivíduos ininterrupta ao longo da grande malha rodoviária nacional afeta não só a perda imediata de animais, mas a supressão da conectividade entre habitats e o declínio de populações a médio e longo prazo (Ferrante; Fearnside, 2020). O isolamento ocasionado por essas estruturas lineares reduz potencialmente a área de vida e os recursos disponíveis para os animais, obrigando-os a atravessar as rodovias, aumentando, conseqüentemente, o risco de atropelamentos (Moore *et al.*, 2023). Além disso, a perda de conectividade acarreta problemas no fluxo gênico populacional das espécies, resultando na formação de subpopulações com uma diminuição na variabilidade genética, o que afeta negativamente a viabilidade e sobrevivência dessas populações biológicas (Grilo *et al.*, 2021).

A implantação de corredores ecológicos, como passagens de fauna, visando restabelecer a conectividade, emerge como uma estratégia de mitigação para esse problema. No entanto, o desafio primordial na concepção dessas passagens reside não somente na recuperação da conectividade estrutural dos ecossistemas, mas também na promoção de uma conectividade funcional entre as populações biológicas previamente isoladas (Denneboom *et al.*, 2021; Teixeira *et al.*, 2022). A construção de tais estruturas ao longo das rodovias potencializa a permeabilidade da paisagem, facilitando a movimentação de organismos entre os fragmentos remanescentes e, conseqüentemente, fomentando o aumento do fluxo gênico, das taxas de sobrevivência e das taxas de dispersão da fauna silvestre (Brennan *et al.*, 2022; Franceschi *et al.*, 2022). Diversas questões afetam a escolha da localização e do tipo de passagem de fauna mais apropriada para contemplar a



paisagem, o habitat e a espécie-alvo que necessitam ser reconectadas (Martinig; Bélanger-Smith, 2016; Abra *et al.*, 2020). Devem ser levados em conta os grupos faunísticos a serem favorecidos pelas passagens, os aspectos ecológicos e comportamentais de cada espécie, o custo financeiro de instalação e manutenção da estrutura, o modelo e tamanho das passagens, bem como as características da rodovia (geometria, intensidade de uso) e de sua paisagem lindeira (Santos, 2021; Cassimiro *et al.*, 2023).

Na Mata Atlântica fluminense, o trecho norte da BR-101 se destaca pela instalação de um complexo de 37 passagens de fauna que corta importantes unidades de conservação e habitats de espécies ameaçadas de extinção, como o mico-leão-dourado (*Leontopithecus rosalia*). Diferentes tipos estruturais de passagens de fauna podem ser encontrados no trecho entre o km 190 e 261 da BR-101/Norte RJ. Sob concessão da Arteris Fluminense, foram instaladas 10 passagens de fauna superiores copa-a-copa, um viaduto vegetado, 9 passagens adaptadas sob vãos de pontes e 17 passagens de fauna subterrâneas. Atreladas as passagens inferiores (vãos de ponte adaptados e subterrâneas) estão cercas de proteção para direcionar os animais até as entradas das passagens de forma segura.

O presente projeto tem como finalidade avaliar a efetividade destas medidas de mitigação ambiental implantadas na rodovia BR-101/Norte RJ, através do Programa de Monitoramento das Passagens de Fauna que é realizado pela Arteris Fluminense em parceria com a empresa CONCREMAT Ambiental durante o período de setembro de 2021 e dezembro de 2022. Caso as medidas se mostrem efetivas, então o efeito barreira provocado pela rodovia será reduzido, seja pela redução da taxa de atropelamento, e/ou pelo aumento de travessias da fauna de uma margem para a outra da rodovia, proporcionando a conectividade populacional dos animais. Dessa forma, os resultados gerados neste projeto podem fornecer informações importantes para novas implementações de passagens de fauna tanto na Mata Atlântica, quanto em outros biomas, auxiliando na tomada de decisões para projetos que visem mitigar os impactos de empreendimentos rodoviários em florestas tropicais.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste projeto é demonstrar quais são as características determinantes para que as passagens de fauna tenham maior chance de serem efetivas quando replicadas nesta ou em outra rodovia em condições análogas. Dentre os objetivos específicos do projeto estão:

- Analisar a influência das características estruturais das passagens de fauna na efetividade do uso destas estruturas;
- Analisar a influência dos aspectos da paisagem de entorno das passagens de fauna na efetividade do uso destas estruturas;

- Identificar *hotspots* de atropelamentos ao longo do trecho da rodovia monitorado e compará-los com a localização das passagens de fauna;
- Quantificar e analisar as taxas médias anuais de atropelamento de 2015 a 2022 para identificar algum padrão antes e depois da instalação das passagens de fauna;
- Quantificar o número de travessias nas passagens de fauna monitoradas;
- Identificar e quantificar as espécies que fazem uso das passagens de fauna monitoradas.

3 HIPÓTESES

As hipóteses levantadas se dividem em duas abordagens de importância dos fatores analisados para explicar a possível efetividade das passagens:

1. as características estruturais das passagens são mais importantes que os aspectos da paisagem de entorno, assim esperamos que: passagens de fauna de maiores dimensões, mais próximas as copas das árvores e atreladas a cercas de proteção mais extensas tendem a beneficiar uma maior riqueza de espécies e número de travessias de animais;
2. caso as características da paisagem de entorno das estruturas sejam mais determinantes que os fatores estruturais das passagens, esperamos que: passagens de fauna inseridas em uma paisagem com maior proporção florestal, menos fragmentada e com maior conectividade florestal tendem a beneficiar uma maior biodiversidade e número de travessias.

Além disso, espera-se que em relação às colisões veiculares com a fauna haja uma diminuição da taxa média anual de atropelamento após a instalação das passagens de fauna.

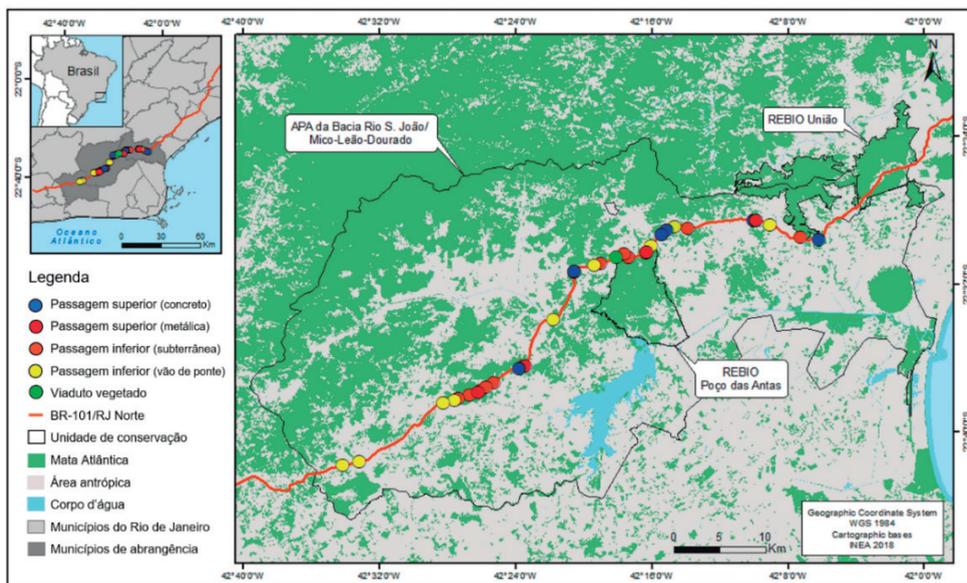
4 METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho foi conduzido no trecho entre os Km 190 e 261 da BR-101/Norte RJ, compreendendo os municípios fluminenses de Rio Bonito, Silva Jardim e Casimiro de Abreu. A região cortada pelo empreendimento está inserida no domínio da Mata Atlântica, um hotspot da biodiversidade mundial (Myers *et al.*, 2000). A paisagem da região é caracterizada por um mosaico de remanescentes florestais, inseridos em matrizes antrópicas dominantes, especialmente de

uso agropecuário. Este trecho da rodovia abrange diretamente e indiretamente 3 unidades de conservação, a Área de Proteção Ambiental (APA) da Bacia do Rio São João/Mico-Leão-Dourado, a Reserva Biológica (REBIO) Poço das Antas, e a REBIO União (Figura 1).

Figura 1 — Área de estudo com as 37 passagens de fauna localizadas no trecho entre o km 190 e o km 261 da rodovia BR-101/Norte RJ.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

4.2 COLETA DE DADOS

4.2.1 Passagens Inferiores

Foram monitoradas 8 passagens de fauna inferiores na BR-101/Norte RJ. Cada passagem monitorada possuía uma armadilha fotográfica em cada abertura, sendo identificada como pista norte e sul, referente ao sentido da pista da rodovia. Entre as 8 passagens inferiores monitoradas há 2 vãos de ponte, sendo que todas as passagens possuem cercamento em ambas as pistas e nos sentidos norte e sul (Tabela 1 e Figura 2). O monitoramento das passagens inferiores foi dividido em 2 conjuntos de 4 passagens cada. O primeiro conjunto foi monitorado sistematicamente de outubro de 2021 a março de 2022. Já o segundo conjunto foi monitorado de abril de 2022 até dezembro de 2022, com pequenas diferenças entre as datas de instalação e início do monitoramento em cada passagem de fauna, mas sempre tendo um período de 3 meses de monitoramento em cada passagem.

Figura 2 — Vista aérea da passagem de fauna inferior do Km 223+130, detalhe para o cercamento atrelado a passagem subterrânea ao longo das margens da rodovia (A); vista da entrada da passagem de fauna subterrânea do Km 223+130 da BR-101/Norte RJ (B).



Fonte: Concremat Ambiental (2022).

Tabela 1 — Informações estruturais e de localização das 8 passagens de fauna inferiores monitoradas entre outubro/2021 e dezembro/2022 na BR-101/Norte RJ.

| Passagem inferior | Conjunto | Localização | | Comprimento total (m) | Altura (m) | Largura (m) | Cerca (m) | Piso seco/ úmido |
|-------------------|----------|-------------|-----------|-----------------------|------------|-------------|-----------|------------------|
| | | Latitude | Longitude | | | | | |
| 197+420 | 2º | -22,49067 | -42,12048 | 41 | 1,6 | 1,6 | 1760,5 | Seco |
| 201+000 | 2º | -22,47947 | -42,15106 | 152 | 2 | 2 | 1836 | Vão de ponte |
| 202+580 | 2º | -22,47542 | -42,16533 | 40 | 2 | 4 | 2000 | Seco |
| 209+620 | 2º | -22,48293 | -42,23148 | 42 | 2 | 4 | 2000 | Seco |
| 211+100 | 1º | -22,48124 | -42,24468 | 38 | 2 | 2 | 1836 | Vão de ponte |
| 212+650 | 1º | -22,48806 | -42,25752 | 36 | 2 | 2 | 2000 | Úmido |
| 215+250 | 1º | -22,50475 | -42,27301 | 40 | 2 | 4 | 1722 | Seco |
| 223+130 | 1º | -22,52254 | -42,34300 | 37 | 1,6 | 1,6 | 2000 | Seco |

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

4.2.2 Passagens Superiores

As passagens de fauna superiores (copa-a-copa) foram monitoradas também por meio de armadilhamento fotográfico em cada uma das entradas, visando o registro de aproximação, entrada e saída das espécies arborícolas. O período de monitoramento das passagens superiores foi entre setembro de 2021 e dezembro de 2022, com um total de 16 armadilhas fotográficas instaladas em campo. As passagens superiores possuem 2 modelos básicos, sendo um modelo de concreto e outro metálico (Figura 3), ao todo foram monitoradas 4 passagens de concreto e 4 metálicas (Tabela 2).

Tabela 2 — Informações estruturais e de localização das 8 passagens de fauna superiores monitoradas entre setembro/2021 e dezembro/2022 na BR-101/Norte RJ.

| Passagem superior | Localização | | Comprimento total (m) | Altura (m) | Largura (m) | Concreto/ metálica |
|-------------------|-------------|-----------|-----------------------|------------|-------------|--------------------|
| | Latitude | Longitude | | | | |
| 195+000 | -22,49322 | -42,10346 | 40 | 3,8 | 4 | Concreto |
| 202+760 | -22,47552 | -42,16452 | 40,4 | 2,7 | 1,15 | Metálica |
| 212+600 | -22,48778 | -42,25714 | 40 | 3,8 | 4 | Concreto |
| 215+000 | -22,50419 | -42,27214 | 40 | 2,7 | 1,15 | Metálica |
| 223+000 | -22,52140 | -42,34301 | 40 | 3,8 | 4 | Concreto |
| 234+600 | -22,60651 | -42,39127 | 40,4 | 2,7 | 1,15 | Metálica |
| 235+200 | -22,60943 | -42,39693 | 40 | 3,8 | 4 | Concreto |
| 240+100 | -22,63051 | -42,43750 | 40,4 | 2,7 | 1,15 | Metálica |

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Figura 3 — Vista aérea da passagem de fauna superior do Km 202+760, detalhe para as estruturas de acesso às entradas para a fauna arborícola (A); interior da passagem metálica copa-a-copa do Km 215+000, com a instalação de cordas para auxiliar a locomoção da fauna na travessia da estrutura (B).



Fonte: Concremat Ambiental (2022).

4.2.3 Coleta das Variáveis Estruturais e de Paisagem

Foram coletadas 10 variáveis explicativas para responder nossas hipóteses, sendo 3 delas estruturais e coletadas em campo:

1. Dimensão estrutural das passagens;
2. Extensão do cercamento de proteção direcionador das passagens inferiores;
3. Distância entre a copa das árvores e as passagens superiores.

Por sua vez, as 7 variáveis de paisagem foram coletadas através do Software ArcGIS 10.8 (Environmental Systems Research Institute, c2020), utilizando-se da extensão V-LATE 2.0. Foi usado o Mapa de Cobertura e Uso da Terra do Brasil de 2021 da plataforma MapBiomas, v. 7.0 (MapBiomas Brasil, 2022). As variáveis foram obtidas a partir de buffers de 1km de raio tendo como centro cada passagem de fauna:

1. Área média dos fragmentos (AMF);
2. Taxa média perímetro-área (TMPA);
3. Média do índice de proximidade dos fragmentos (MIPF);
4. Proporção de cobertura florestal nativa;
5. Proporção de área agrícola;
6. Proporção de área urbana;
7. Conectividade florestal através de corredores formados pelas passagens.

4.2.4 Monitoramento de Atropelamento de Fauna

A metodologia adotada para a amostragem de atropelamento de fauna está baseada nas premissas da Instrução Normativa do IBAMA – IN nº 13, de 19 de julho de 2013. Foram utilizados dados do Programa de Monitoramento de Fauna da BR-101/Norte RJ realizado pela concessionária da rodovia e empresas parceiras que se deu início no ano de 2015. Durante este período ocorreram coletas de dados ao longo dos 322 quilômetros de extensão da rodovia BR101/Norte RJ, contemplando os 2 sentidos da pista, em uma campanha mensal para garantir que não houvesse perda das informações, mas foram utilizados apenas os dados do trecho de 70 km que estão localizadas as passagens de fauna monitoradas. As amostragens foram realizadas em veículo automotor com velocidade média de 40 km/h, os animais eram identificados a nível de espécie sempre que possível.

4.3 ANÁLISE DOS DADOS

As imagens obtidas através das armadilhas fotográficas e armazenadas nos cartões de memória foram triadas e identificadas as espécies/táxons registrados. Os registros fotográficos de travessias foram contabilizados de duas maneiras: eventos de travessia e travessias de indivíduos. Os eventos são referentes a travessia de um ou mais indivíduos juntos nas passagens, assim cada vez que a armadilha fosse acionada e fosse observada uma travessia era contabilizado um evento. Por exemplo, um grupo de primatas com 7 indivíduos atravessando a passagem foi quantificado apenas um evento. Já a travessia por si refere-se a cada animal/ indivíduo que atravessou de forma efetiva a passagem. Assim, no exemplo dado anteriormente, foi contabilizado 7 travessias.

Para responder às hipóteses levantadas e analisar as relações entre as variáveis respostas (riqueza de espécies/táxons que utilizam as passagens e número de travessias) e as variáveis explicativas em relação às características estruturais das passagens (3 variáveis) e as características e métricas da paisagem de entorno (7 variáveis) foram conduzidas análises através de modelos lineares generalizados (GLM) utilizando as funções “glm”, “dredge” e “model.average” disponíveis nos pacotes “glm2” e “MuMIn” no Software R Studio (v. 4.1.3) (R DEVELOPMENT

CORE TEAM, 2023). Utilizamos um valor de $\Delta AICc < 2$ para o ranqueamento e seleção dos melhores modelos (Burnham; Anderson, 2002).

Em relação aos dados de atropelamento de fauna foi utilizado o teste 2D Ripley K-Statistics do programa SIRIEMA v2.0 (Coelho *et al.*, 2014) para identificar se existem trechos em que a distribuição dos atropelamentos não se dá ao acaso (locais de notável concentração de atropelamentos), bem como identificar qual o menor raio de distância significativa para identificação dessas áreas de concentração de atropelamentos. Foi utilizado um raio inicial de 100 metros, incremento de raio de 500 metros, limite de confiança de 99% e 1000 simulações. De acordo com Teixeira *et al.* (2013), esses valores de raio inicial e incremento de raio correspondem a uma escala onde a maioria das medidas de mitigação são passíveis de serem aplicadas. O teste 2D HotSpot Identification foi utilizado para identificar os locais onde existe uma maior quantidade de atropelamentos (*hotspots*) considerando todas as espécies registradas, e conseqüentemente indicar localidades propícias à instalação de medidas de mitigação. A função Nevents - Nsimulated usada para a interpretação dos resultados do teste permite avaliar em que locais da rodovia existem agregações de atropelamentos (Coelho *et al.*, 2011). Para esse teste a rodovia foi subdividida em 322 partes, o que equivale a trechos de 1 km para identificação dos *hotspots*.

5 ANÁLISE DOS DADOS

5.1 PASSAGENS INFERIORES

Através do monitoramento registramos 533 eventos de travessia e 568 travessias em 5 das 8 passagens inferiores monitoradas entre outubro/2021 e dezembro/2022 (Tabela 3). A partir dos registros foram identificados 18 táxons distribuídos em 2 classes (16 mamíferos e 2 répteis), 7 ordens, 13 famílias e 16 espécies (Tabela 4). Os números obtidos de travessias e de espécies utilizando as passagens em um período de um pouco mais de um ano são bastante significativos em comparação a outros monitoramentos semelhantes conduzidos no Brasil (Martins *et al.*, 2014; Abra *et al.*, 2020; Alves *et al.*, 2021; Franceschi *et al.*, 2022). Das 16 espécies nativas que tiveram eventos de travessia, cerca de 69% (mão-pelada, quati, lontra, furão, tatu – *Dasyopus spp.*, gambá-de-orelha-preta, cuíca-de-quatro-olhos, tamanduá-mirim, capivara, ouriço-cacheiro e teiú) possuem registros de atropelamentos confirmados no mesmo trecho da BR-101/Norte RJ (Grilo *et al.*, 2018; Santos, 2021). Mostrando a necessidade destas estruturas mitigadoras e indicando uma tendência de crescente efetividade das passagens para a fauna local.

Tabela 3 – Dados de travessias e registros nas passagens de fauna inferiores monitoradas entre outubro/2021 e dezembro/2022 na BR-101/Norte RJ.

| Passagens inferiores | Modelo | Nº eventos de travessia | Nº travessias | Nº táxons que atravessaram | Sentido da travessia | |
|----------------------|--------------|-------------------------|---------------|----------------------------|----------------------|------------|
| | | | | | Norte/Sul | Sul/ Norte |
| 197 + 420 | Subterrânea | 21 | 23 | 3 | 19 | 4 |
| 201 + 000 | Vão de ponte | 0 | 0 | - | - | - |
| 202 + 580 | Subterrânea | 310 | 321 | 12 | 126 | 195 |
| 209 + 620 | Subterrânea | 169 | 190 | 5 | 82 | 108 |
| 211 + 100 | Vão de ponte | 5 | 5 | 3 | 4 | 1 |
| 212 + 650 | Subterrânea | 0 | 0 | - | - | - |
| 215 + 250 | Subterrânea | 0 | 0 | - | - | - |
| 223 + 130 | Subterrânea | 28 | 29 | 4 | 20 | 9 |
| Total | | 533 | 568 | 18 | 251 | 317 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A espécie com maior número de travessias foi o mão-pelada (*Procyon cancrivorus*) com 143 travessias, seguido por paca (*Cuniculus paca*) com 130 travessias, teiú (*Salvator merianae*) com 90 travessias e o furão (*Galictis cuja*) com 48 travessias (Tabela 4). Tanto o mão-pelada quanto a paca são animais generalistas, resilientes a impactos antrópicos, mas que possuem preferência por ambientes alagadiços ou próximos a cursos d'água (Ferregueti *et al.*, 2019; Dutra *et al.*, 2023). Características que provavelmente possam explicar essa grande quantidade de travessias destas duas espécies nas passagens dos Km 202+580 e Km 209+600, que se localizam próximas a áreas alagadiças/pantanosas e ficaram com uma lâmina d'água em seu piso durante boa parte da época chuvosa.

Tabela 4 – Lista de táxons registrados que utilizaram efetivamente as passagens de fauna inferiores monitoradas entre outubro/2021 e dezembro/2022 na BR-101/Norte RJ. O status de conservação referem-se às listas de espécies ameaçadas do estado do Rio de Janeiro (Rio de Janeiro (Estado), 1998), do Brasil (Brasil, 2018) e global (The International Union for Conservation of Nature’s Red List of Threatened Species, 2023).

| Táxon | Nome popular | Nº eventos de travessia | Nº travessias | Status de conservação | | |
|----------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|-----------------------|----|--------|
| | | | | RJ | BR | Global |
| <i>Canis lupus familiaris</i> * | Cachorro-doméstico | 11 | 18 | - | - | - |
| <i>Coendou spinosus</i> | Ouriço-cacheiro | 1 | 1 | - | LC | LC |
| <i>Cuniculus paca</i> | Paca | 125 | 130 | - | LC | LC |
| <i>Dasyops sp.</i> | Tatu | 35 | 35 | - | - | - |
| <i>Didelphis aurita</i> | Gambá-de-orelha-preta | 3 | 3 | - | LC | LC |
| <i>Felis catus</i> * | Gato-doméstico | 15 | 17 | - | - | - |
| <i>Galictis cuja</i> | Furão | 30 | 48 | - | LC | LC |
| <i>Hydrochoerus hydrochaeris</i> | Capivara | 2 | 2 | - | LC | LC |
| <i>Lontra longicaudis</i> | Lontra | 23 | 24 | - | NT | NT |
| <i>Nasua nasua</i> | Quati | 1 | 1 | - | LC | LC |
| <i>Nectomys squamipes</i> | Rato d’água | 3 | 5 | - | LC | LC |
| <i>Philander quica</i> | Cuíca-de-quatro-olhos | 18 | 18 | - | LC | LC |
| <i>Procyon cancrivorus</i> | Mão-pelada | 143 | 143 | - | LC | LC |
| <i>Salvator merianae</i> | Teiú | 90 | 90 | - | LC | LC |
| Subordem Serpentes | Serpente | 1 | 1 | - | - | - |
| <i>Sylvilagus sp.</i> | Tapiti | 18 | 18 | - | - | - |
| <i>Tamandua tetradactyla</i> | Tamanduá-mirim | 7 | 7 | - | LC | LC |

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Legenda: status de conservação (LC) pouco preocupante, (NT) quase ameaçada.

*Espécies domésticas exóticas.

Dentre as espécies que utilizaram as passagens efetivamente, apenas a lontra apresenta um status de conservação de maior preocupação, sendo classificada como “quase ameaçada” de extinção tanto em nível nacional (Brasil, 2018) quanto global (The International Union for Conservation of Nature’s Red List of Threatened Species, 2023) (Tabela 4). Porém, na Mata Atlântica brasileira, a lontra é categorizada como “vulnerável” de extinção (Rodrigues *et al.*, 2013), tendo o desmatamento, caça, poluição fluvial e atropelamentos como principais ameaças (Carvalho Junior *et al.*, 2010; Rheingantz *et al.*, 2021).

Tabela 5 – Seleção dos melhores modelos lineares generalizados (GLM) para prever os efeitos das variáveis estruturais e de paisagem sobre a riqueza de espécies e número de travessias nas passagens inferiores monitoradas entre outubro/2021 e dezembro/2022 na BR-101/Norte RJ. Os modelos com a $\Delta AICc < 2$ (em negrito) foram considerados os mais explicativos.

| Variável resposta | Modelos | Parâmetros | AICc | $\Delta AICc$ | AICc <i>weight</i> |
|---------------------|--|------------|--------------|---------------|--------------------|
| Riqueza de espécies | (-)Agro + (+)Cerca | 3 | 38,9 | 0 | 0,4 |
| | (-)Agro + (-)TMPA | 3 | 39 | 0,05 | 0,39 |
| | (-)Agro | 2 | 41,9 | 3,01 | 0,09 |
| | (-)TMPA | 2 | 43 | 4,1 | 0,05 |
| | (+)Cerca + (-)TMPA | 3 | 43,8 | 4,83 | 0,04 |
| Nº travessias | (+)Cerca + (+)Cob.Flor + (-)TMPA | 4 | 121,5 | 0,00 | 0,995 |
| | (+)Cerca + (+)Cob.Flor + (-)TMPA + (-)Urba | 5 | 132,2 | 10,66 | 0,005 |
| | (+)Cob.Flor + (-)TMPA + (-)Urba | 4 | 162,6 | 41,09 | 0,000 |
| | (+)Cob.Flor + (-)TMPA | 3 | 172,1 | 50,56 | 0,000 |
| | (+)Cerca + (+)Cob.Flor + (-)TMPA + (-)Urba | 4 | 299,9 | 178,41 | 0,000 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Legenda: critério de informação de Akaike para pequenas amostras (AICc); AICc *weight* indica o peso de cada modelo. Os sinais antes de cada variável demonstram o efeito positivo (+) ou negativo (-) nas variáveis respostas. Siglas: área de uso agropecuário (Agro); cercamento (Cerca); taxa média perímetro-área (TMPA); proporção de cobertura florestal (Cob.Flor); proporção de área urbanizada (Urba).

Em relação às análises conduzidas para responder às hipóteses levantadas, 2 modelos foram os mais explicativos em relação a riqueza de táxons que atravessaram efetivamente as passagens (Tabela 5). Foi verificado que a maior quantidade de área de uso agropecuário ($\beta = -5,02e-02$, erro padrão (EP) = $1,65e-02$, $p < 0,001$) e a maior proporção de borda florestal ($\beta = -2,00e+01$, EP = $6,03e+0$, $p < 0,001$) exercem um efeito negativo sobre a riqueza nas estruturas. Enquanto o comprimento do cercamento ($\beta = 6,00e-03$, EP = $2,24e-03$, $p < 0,01$) ao longo das entradas das passagens influencia positivamente a riqueza de animais que utilizam as mesmas (Tabela 5).

Já em relação às hipóteses levantadas acerca do número de travessias, o melhor modelo mostrou que o aumento do cercamento ($\beta = 1,39e-02$, EP = $9,36e-04$, $p < 0,0001$) ao longo das estruturas inferiores e da cobertura florestal nativa ($\beta = 6,79e-02$, EP = $3,49e-03$, $p < 0,0001$) no entorno das mesmas exercem um efeito positivo na quantidade de travessias da fauna nas passagens inferiores (Tabela 5). Enquanto a maior proporção de borda dos fragmentos florestais ($\beta = -3,49e+01$, EP = $1,53e+0$, $p < 0,0001$) tendem a reduzir este número de travessias nas estruturas.

A hipótese de que passagens de fauna inferiores atreladas a cercas de proteção mais extensas tendem a beneficiar uma maior riqueza de espécies e maior número de travessias foi corroborada pelos resultados. A indução do uso

das passagens pela fauna causada pelo cercamento no entorno das passagens já foi observado em diversas áreas pelo mundo (Huijser *et al.*, 2016; Spanowicz *et al.*, 2020). O cercamento faz com que o deslocamento da fauna seja canalizado para a passagem de forma mais segura e eficaz, diminuindo também os atropelamentos. A manutenção contínua do cercamento é um componente essencial para a efetividade de mitigação das passagens inferiores (Van Der Ree *et al.*, 2015). A maior permeabilidade da matriz de entorno das estruturas (mais florestas e menos pastagens) juntamente com a presença de fragmentos florestais mais íntegros e com menor efeito de borda tendem a aumentar a efetividade do uso das estruturas inferiores pela fauna (Abra *et al.*, 2020). Pelo fato de grande parte dos mamíferos locais possuírem hábitos florestais é importante que a paisagem de entorno tenha uma maior proporção de cobertura florestal que proporcione deslocamentos seguros para estas espécies no acesso das passagens (Cirino *et al.*, 2022; Secco *et al.*, 2023).

5.2 PASSAGENS SUPERIORES

Através do monitoramento foram registrados 1.033 eventos de travessia e 2.568 travessias em 7 das 8 passagens superiores monitoradas entre setembro/2021 e dezembro/2022 (Tabela 6). Através dos registros de travessia foram identificados 8 táxons, sendo todos mamíferos e distribuídos em 4 ordens, 4 famílias e 7 espécies (Tabela 7). O táxon com maior número de travessias foi o sagui (*Callithrix* sp.) com 1.425 travessias efetivadas (individualmente), perfazendo 55,4% de todas as travessias registradas. O mico-leão-dourado (*Leontopithecus rosalia*) foi o segundo táxon com maior quantidade de travessias (776), seguido do gambá-de-orelha-preta (*Didelphis aurita*) (258), cuíca-de-quatro-olhos (*Philander quica*) (70), ouriço-cacheiro (*Coendou spinosus*) (27), cuíca-graciosa (*Gracilinanus microtarsus*) (8) e um marsupial da ordem *Didelphimorphia* (3) e uma travessia de preguiça-de-coleira-do-sudeste (*Bradypus crinitus*) (Tabela 7).

Tabela 6 – Dados de travessias e registros nas passagens de fauna superiores monitoradas entre setembro/2021 e dezembro/2022 na BR-101/Norte RJ.

| Passagens superiores | Nº eventos de travessia | Nº travessias | Nº táxons que atravessaram | Sentido da travessia | |
|----------------------|-------------------------|---------------|----------------------------|----------------------|------------|
| | | | | Norte/Sul | Sul/ Norte |
| 195+000 | 0 | 0 | - | - | - |
| 202+760 | 122 | 122 | 1 | 65 | 57 |
| 212+600 | 225 | 477 | 6 | 255 | 222 |
| 215+000 | 16 | 16 | 1 | 10 | 6 |
| 223+000 | 16 | 16 | 2 | 9 | 7 |
| 234+600 | 6 | 6 | 1 | 4 | 2 |
| 235+200 | 78 | 82 | 2 | 55 | 27 |
| 240+100 | 570 | 1849 | 8 | 945 | 904 |
| Total | 1033 | 2568 | 8 | 1343 | 1225 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

De forma positiva, dentre os mamíferos nativos que tiveram mais travessias registradas nas passagens de fauna está uma das espécies de primatas mais ameaçadas e icônicas da fauna brasileira, o mico-leão-dourado. Endêmica do estado do Rio de Janeiro, a espécie possui distribuição restrita a remanescentes florestais severamente fragmentados da Mata Atlântica da baixada fluminense (Ruiz-Miranda *et al.*, 2008). Com cerca de apenas 1.400 indivíduos maduros na natureza, o mico-leão-dourado está “em perigo” de extinção em todas as esferas, e esteve bem perto de desaparecer na natureza se não houvesse extensos esforços de conservação (Ruiz-Miranda *et al.*, 2021). A BR-101/Norte RJ, ao longo do trecho que corta a área de distribuição do mico-leão-dourado, contribuiu historicamente para o isolamento de suas populações desde décadas atrás. Assim, o registro de 776 travessias de indivíduos em duas passagens de fauna monitoradas em pouco mais de um ano de monitoramento, demonstra o potencial benefício das passagens superiores para a conectividade das populações locais de mico-leão-dourado, o que é essencial para a recuperação da espécie e redução do seu risco de extinção (Secco *et al.*, 2022).

Tabela 7 — Lista de táxons registrados que utilizaram efetivamente as passagens de fauna superiores monitoradas durante setembro de 2021 a dezembro de 2022 na BR-101/Norte RJ. O status de conservação referem-se às listas de espécies ameaçadas do estado do Rio de Janeiro (Rio de Janeiro (Estado), 1998), do Brasil (Brasil, 2018) e global (The International Union for Conservation of Nature’s Red List of Threatened Species, 2023).

| Táxon | Nome popular | Nº eventos de travessia | Nº travessias | Status de conservação | | |
|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------|---------------|-----------------------|----|--------|
| | | | | RJ | BR | Global |
| <i>Bradypus crinitus</i> | Preguiça-de-coleira-do-sudeste | 1 | 1 | CR | VU | VU |
| <i>Callithrix</i> sp.* | Sagui | 461 | 1.425 | - | - | - |
| <i>Coendou spinosus</i> | Ouriço-cacheiro | 27 | 27 | - | LC | LC |
| <i>Didelphis aurita</i> | Gambá-de-orelha-preta | 252 | 258 | - | LC | LC |
| <i>Gracilinanus microtarsus</i> | Cuíca-graciosa | 8 | 8 | - | LC | LC |
| <i>Leontopithecus rosalia</i> | Mico-leão-dourado | 211 | 776 | EN | EN | EN |
| Ordem Didelphimorphia | Marsupial | 3 | 3 | - | - | - |
| <i>Philander quica</i> | Cuíca-de-quatro-olhos | 70 | 70 | - | LC | LC |

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Legenda: Status de conservação (LC) pouco preocupante, (VU) vulnerável, (em) em perigo, criticamente ameaçada (CR). *Espécie invasora.

A primeira travessia de preguiça-de-coleira-do-sudeste em uma passagem superior rígida ao longo de sua ocorrência indica a importância destas estruturas para a população deste animal que é historicamente isolada pela intensa fragmentação do habitat no centro-norte fluminense (Lara-Ruiz *et al.*, 2008; Miranda *et al.*, 2023). Além disso, esta espécie ocorre naturalmente em baixas densidades populacionais ao longo de toda sua distribuição, dessa forma a preguiça-de-coleira encontra-se ameaçada tanto em nível estadual quanto nacional e global

(Rio de Janeiro (Estado), 1998; Brasil, 2018; The International Union for Conservation of Nature's Red List of Threatened Species, 2023). É possível observar que o design das passagens superiores está favorecendo diferentes espécies arbóricolas, desde primatas, marsupiais, roedores até preguiças, especialmente por estes últimos serem susceptíveis a atropelamentos em rodovias pelo seu lento deslocamento (Laurance *et al.*, 2009).

Tabela 8 — Seleção dos melhores modelos lineares generalizados (GLM) para prever os efeitos das variáveis estruturais e de paisagem sobre a riqueza de espécies e número de travessias nas passagens superiores monitoradas entre setembro/2021 e dezembro/2022 na BR-101/Norte RJ. Os modelos com $\Delta AICc < 2$ (em negrito) foram considerados os mais explicativos.

| Variável resposta | Modelos | Parâmetros | AICc | $\Delta AICc$ | AICc weight |
|---------------------|--|------------|--------------|---------------|--------------|
| Riqueza de espécies | (+)MIPF | 2 | 30.9 | 0.00 | 0.459 |
| | (+)TMPA | 2 | 33.1 | 2.26 | 0.148 |
| | (+)TMPA + (-)Dist.copa | 3 | 33.3 | 2.40 | 0.138 |
| | (+)MIPF + (+)TMPA | 3 | 33.8 | 2.97 | 0.104 |
| | (+)TMPA + (+)Cob.Flor | 3 | 35.4 | 4.50 | 0.048 |
| Nº travessias | (-)Flor.conect^{ns} + (-)Dist.copa^{ns} + (+)MIPF | 4 | 292.0 | 0.00 | 1 |
| | (-)Flor.conect + (-)Dist.copa + (+)MIPF + (-)Dime | 5 | 308.1 | 16.08 | 0 |
| | (-)Flor.conect + (+)MIPF + (+)Dime | 4 | 332.4 | 40.38 | 0 |
| | (-)Flor.conect + (+)MIPF | 3 | 349.0 | 57.02 | 0 |
| | (-)Dist.copa + (+)MIPF + (+)Dime | 4 | 475.7 | 183.66 | 0 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Legenda: média do índice de proximidade dos fragmentos (MIPF); taxa média perímetro-área (TMPA); distância entre a entrada da passagem e as copas das árvores mais próximas (Dist.copa); proporção de cobertura florestal nativa (Cob.Flor); conectividade florestal através de corredores formados pelas passagens (Flor.conect); dimensão volumétrica da estrutura (Dime). ^{ns} variável não significativa.

Em relação as análises conduzidas para responder as hipóteses levantadas, foi verificado que a proximidade entre os fragmentos florestais ($\beta = 6,05e-03$, EP = 1,56e-,03, $p < 0,001$) entorno das passagens superiores influencia positivamente a riqueza de táxons que podem utilizar estas estruturas em uma escala espacial de 1km (Tabela 8). Já em relação as hipóteses levantadas acerca do número de travessias, o melhor modelo em uma escala espacial de 1km foi composto de 3 variáveis, sendo que apenas o índice de proximidade média entre os fragmentos (MIPF) obteve significância ($\beta = 0,01$, EP = 0,0001, $p < 0,0001$). Ou seja, a maior conexão e proximidade entre os fragmentos florestais é o que melhor explica o crescimento de travessias da fauna nas estruturas superiores (Tabela 8). No entanto duas delas (conectividade florestal através

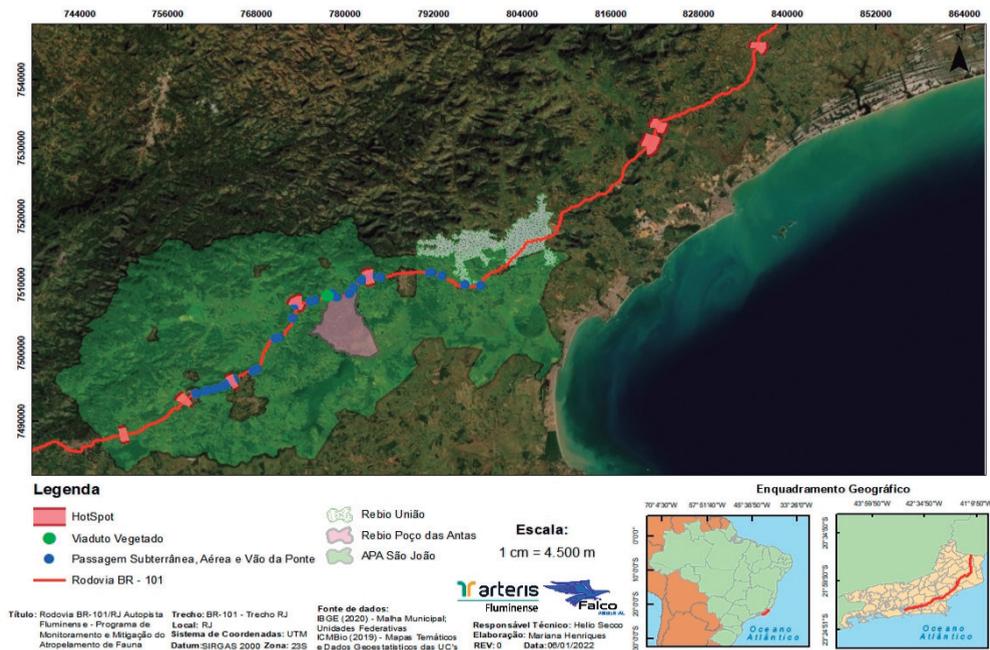
da passagem – Flor.conect; e distância entre as copas das árvores e as entradas das passagens – Dist.copa) não apresentaram significância estatística ($p > 0,05$), ou seja, a influência delas sobre o número de travessias pode ser tanto positiva quanto negativa.

A configuração da paisagem de entorno parece ser mais determinante do que as características estruturais para explicar a efetividades das passagens superiores. O menor nível de isolamento florestal e conseqüentemente a maior conectividade entre os remanescentes de mata nativa impacta significativamente na diversidade de espécies atravessando as estruturas superiores. Isso reflete o efeito negativo do isolamento de remanescentes florestais de uma paisagem sobre a dinâmica metapopulacional das espécies, influenciando inclusive na efetividade de estruturas de passagem de fauna (TEIXEIRA *et al.*, 2013; FRANCESCHI *et al.*, 2022). Fato que este grau de proximidade dos fragmentos medido pela MIPF também apresentou uma influência significativa na quantidade de travessias nas passagens superiores, corroborando com as hipóteses levantadas de que estruturas deste tipo localizadas em uma paisagem com alto grau de isolamento e baixa conectividade entre remanescente florestais tendem a apresentar uma menor riqueza de espécies e menor número de travessias (GARCIA *et al.*, 2022).

5.3 MONITORAMENTO DE ATROPELAMENTOS

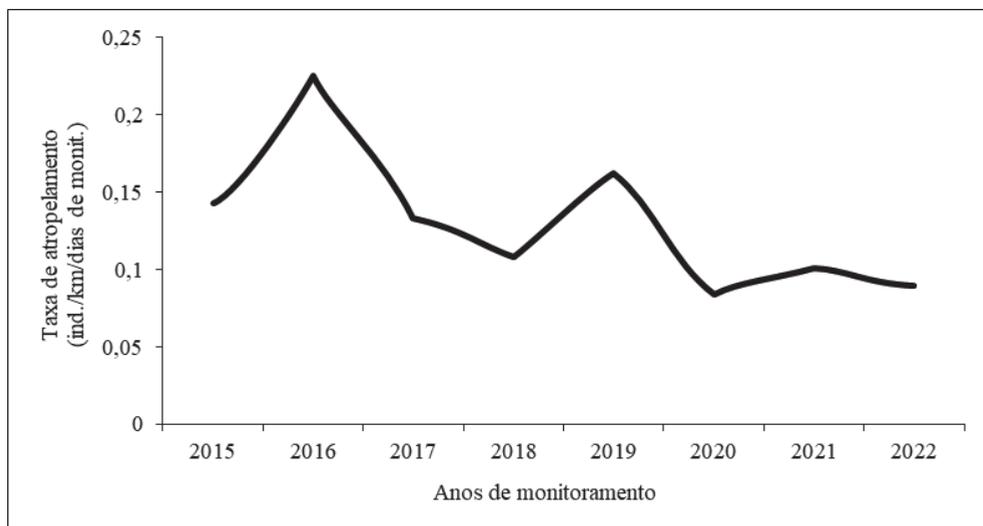
A partir da análise estatística espacial 2D Hotspot Identification, foram identificados 7 *hotspots* ao longo do trecho monitorado: Km 158-159, Km 160-162, Km 211, Km 222, Km 238-239, Km 245 e Km 255-256) (Figura 4). A análise considerou todos os atropelamentos registrados na rodovia entre 2015 e 2022 (3.966 registros sistemáticos de animais silvestres atropelados), independentemente de diferenças entre espécies, táxons e/ou grupos faunísticos. Desta forma constatou-se que parte dos *hotspots* baseados em todo o histórico de atropelamentos registrados na rodovia permanecem em consonância com a localização da maior parte das passagens de fauna e cercas direcionais implantadas como medidas mitigatórias no trecho entre o km 190 e 261, exceto pelos *hotspots* mais ao sul da rodovia que estão associados a ocorrência de espécies sinantrópicas, adaptadas ao ambiente urbanizado.

Figura 4 — Vista geral da BR-101/Norte RJ entre os Kms 120 e 310, ilustrando todos os hotspots de atropelamento de fauna detectados, além das 37 estruturas de passagens de fauna situadas na APA da Bacia do Rio São João no norte fluminense.



Fonte: Falco Ambiental (2023).

Figura 5 — Taxa média geral de atropelamento anual (animais silvestres) ponderada pelo esforço amostral entre janeiro de 2015 a dezembro de 2022 do trecho do km 0 a 322 da BR-101/Norte RJ.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

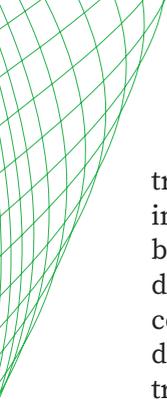
Até o momento os resultados obtidos indicam uma redução na magnitude do atropelamento de fauna no trecho da rodovia entre o Km 190 e 261, onde as medidas de mitigação foram implantadas, porém vale ressaltar a influência das restrições de circulação provocadas pela pandemia da covid-19 especialmente no ano de 2020. Houve uma redução de 27% das colisões veiculares com a fauna em comparação ao período anterior e pós instalação das passagens de fauna entre o trecho do Km 190 e 261 (onde estão localizadas as estruturas mitigadoras) da BR-101/Norte RJ.

O ano de 2020 apresentou a menor taxa média de atropelamento entre todos os grupos faunísticos (mamíferos, aves, répteis e anfíbios) na rodovia, com 0,083 animais atropelados/km/dia de monitoramento (Figura 5). Em 2021 esse patamar foi levemente elevado para próximo de 0,100 animais atropelados/km/dia de monitoramento. E no ano seguinte de 2022 voltou a baixar para 0,089 animais atropelados/km/dia de monitoramento (Figura 5), o que ainda assim permanece abaixo dos valores observados entre 2015 e 2019, antes da pandemia e da instalação das cercas e passagens de fauna, o que pode ser um indicativo de que as medidas mitigatórias estão contribuindo para essa redução.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto possui caráter pioneiro ao passo de monitorar um dos maiores complexos de passagens de fauna do país, possuindo uma notória média para os padrões brasileiros de uma passagem de fauna a cada 1,9 quilômetros de rodovia em um trecho de aproximadamente 70 quilômetros. Os resultados demonstram um potencial efetivo crescente de uso das passagens de fauna, especialmente por mamíferos silvestres. Em pouco mais de um ano, o elevado número de travessias e de diversidade de animais nas passagens, tanto nas inferiores quanto nas superiores, demonstra uma crescente ambientação da fauna com estas estruturas e com o ambiente de acesso das mesmas, tendendo torná-las rotas de deslocamento seguro e corriqueiro de diferentes grupos faunísticos ao longo do tempo. O decréscimo de 27% da taxa de atropelamento de animais no trecho monitorado após a instalação das passagens corroboram esta crescente efetividade das estruturas mitigadoras de colisões veiculares.

As características da paisagem do entorno da rodovia indicam ser mais determinantes do que atributos estruturais das passagens superiores para explicar a eficiência destas estruturas para a fauna. Apesar destas características da paisagem serem também importantes para explicar a frequente utilização das estruturas inferiores, o cercamento tem se mostrado um fator estrutural fundamental para aumentar a efetividade e função mitigadora das passagens. Estes resultados contribuem para traçar estratégias mais assertivas e eficientes na escolha da localização e implantação de medidas mitigadoras para o atropelamento de fauna em rodovias. Assim, possibilita investimentos com melhor custo-benefício financeiro e ambiental em chaves de decisão.



O presente trabalho está inserido em projeto de longa duração e encontra-se em curso de execução, mas os resultados já obtidos são promissores e já indicam o potencial mitigatório das passagens de fauna para a conservação da biodiversidade local. As informações obtidas contribuem diretamente para o desenvolvimento científico sobre o tema de ecologia de transportes, servindo como referência para outras concessionárias e gestores públicos. Por isso, um dos principais objetivos deste projeto é trazer soluções sustentáveis para a infraestrutura rodoviária que poderão ser replicadas em outras rodovias brasileiras, em especial na Mata Atlântica, um bioma de biodiversidade singular e que possui a maior malha rodoviária do país. Estas ações de inovação e potencial replicabilidade somam esforços na busca por um desenvolvimento sustentável ao mitigar a perda de diversidade biológica e tornando as rodovias mais seguras para os animais e para os seus usuários.

REFERÊNCIAS

- ABRA, F. D. *et al.* Pay or prevent? Human safety, costs to society and legal perspectives on animal-vehicle collisions in São Paulo state, Brazil. **PLoS One**, v. 14, n. 4, p. e0215152, 2019.
- ABRA, F. D. *et al.* Use of unfenced highway underpasses by lowland tapirs and other medium and large mammals in central-western Brazil. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 18, n. 4, p. 247-256, 2020.
- ALAMGIR, M. *et al.* Economic, socio-political and environmental risks of road development in the tropics. **Current Biology**, v. 27, n. 20, p. R1130-R1140, 2017.
- ALVES, F. D. A. *et al.* Use of road underpasses by terrestrial tetrapods inside a protected area in the southeastern part of the State of São Paulo, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 21, n. 4, p. e20211224, 2021.
- BARBER, C. P. *et al.* Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. **Biological Conservation**, v. 177, p. 203-209, 2014.
- BECKMANN, J. P. *et al.* (ed.). **Safe passages: highways, wildlife, and habitat connectivity**. Washington, D.C.: Island Press, 2010.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. (2018). **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2018. v. 1.
- BRENNAN, L.; CHOW, E.; LAMB, C. Wildlife overpass structure size, distribution, effectiveness, and adherence to expert design recommendations. **PeerJ**, v. 10, n. 3, p. e14371, 2022.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. **Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretical approach**. 2d ed. New York: Springer-Verlag, 2002.
- CARVALHO-JUNIOR, O.; MACEDO-SOARES, L. D.; BIROLO, A. B. Annual and interannual food habits variability of a neotropical otter (*Lontra Longicaudis*) population in Conceição lagoon, south of Brazil. **IUCN Otter Specialist Group Bulletin**, v. 27, n. 1, p. 24-32, 2010.
- CASSIMIRO, I. M.; RIBEIRO, M. C.; ASSIS, J. C. (2023). How did the animal come to cross the road? Drawing insights on animal movement from existing roadkill data and expert knowledge. **Landscape Ecology**, v. 38, n. 8, p. 1-17, 2023.
- CIRINO, D. W. *et al.* Do the roadkills of different mammal species respond the same way to habitat and matrix? **Nature Conservation**, v. 47, p. 65-85, 2022.
- COFFIN, A. W. From roadkill to road ecology: a review of the ecological effects of roads. **Journal of Transport Geography**, v. 15, n. 5, p. 396-406, 2007.
- DENNEBOOM, D.; BAR-MASSADA, A.; SHWARTZ, A. Factors affecting usage of crossing structures by wildlife—A systematic review and meta-analysis. **Science of the Total Environment**, v. 777, n. 1, p. 146061, 2021.

- DUTRA, J. *et al.* Sympatric procyonids in the Atlantic Forest: revealing differences in detection, occupancy, and activity of the coati and the crab-eating raccoon in a gradient of anthropogenic alteration. **Mammalian Biology**, v. 103, n. 23, p. 1-13, 2023.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS**. Version 10.8. Inc. [Redlands, CA, USA]: Esri, c2020.
- FAHRIG, L.; RYTWINSKI, T. Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. **Ecology and Society**, v. 14, n. 1, p. 1-20, 2009.
- FEARNSIDE, P. M. The roles and movements of actors in the deforestation of Brazilian Amazonia. **Ecology and Society**, v. 13, n. 1, p. 1-22, 2008.
- FERRANTE, L.; FEARNISIDE, P. M. The Amazon's road to deforestation. **Science**, v. 369, n. 6504, p. 634-634, 2020.
- FERREGUETTI, A. C.; TOMAS, W. M.; BERGALLO, H. G. Patch occupancy and activity pattern of the spotted paca (*Cuniculus paca* Linnaeus, 1766) in a protected area of the Atlantic Forest, Brazil. **Mammalia**, v. 83, n. 4, p. 363-371, 2019.
- FRANCESCHI, I. C. *et al.* Monitoring the use of a canopy bridge and underpasses by arboreal mammals on a Brazilian coastal road. **Folia Primatologica**, v. 93, n. 3-6, p. 507-518, 2022.
- GARCIA, F. D. O. *et al.* Functionality of two canopy bridge designs: successful trials for the endangered black lion tamarin and other arboreal species. **European Journal of Wildlife Research**, v. 68, n. 2, p. 20, 2022.
- GRILO, C. *et al.* Brazil Road-Kill: a data set of wildlife terrestrial vertebrate road-kills. **Ecology**, v. 99, n. 11, p. 2625-2625, 2018.
- GRILO, C. *et al.* Conservation threats from roadkill in the global road network. **Global Ecology and Biogeography**, v. 30, n. 11, p. 2200-2210, 2021.
- HOLDEREGGER, R.; DI GIULIO, M. The genetic effects of roads: a review of empirical evidence. **Basic and Applied Ecology**, v. 11, n. 6, p. 522-531, 2010.
- HUIJSER, M. P. *et al.* Effectiveness of short sections of wildlife fencing and crossing structures along highways in reducing wildlife-vehicle collisions and providing safe crossing opportunities for large mammals. **Biological Conservation**, v. 197, p. 61-68, 2016.
- LAIDLAW, K.; BROADBENT, E.; EBY, S. Effectiveness of aerial wildlife crossings: Do wildlife use rope bridges more than hazardous structures to cross roads? **Revista de Biología Tropical**, v. 69, n. 3, p. 1138-1148, 2021.
- LARA-RUIZ, P.; CHIARELLO, A. G.; SANTOS, F. R. Extreme population divergence and conservation implications for the rare endangered Atlantic Forest sloth, *Bradypus torquatus* (Pilosa: Bradypodidae). **Biological Conservation**, v. 141, n. 5, p. 1332-1342, 2008.

LAURANCE, W. F. *et al.* A global strategy for road building. **Nature**, v. 513, n. 7517, p. 229-232, 2014.

MAPBIOMAS BRASIL. Coleção v. 7.0 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil. **MapBiomias**, 2022. Disponível em: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 10 abr. 2023.

MARTINIG, A. R.; BÉLANGER-SMITH, K. Factors influencing the discovery and use of wildlife passages for small fauna. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 3, p. 825-836, 2016.

MARTINS, R.; DIAS, M. L.; HABIB, M. E. E. D. M. Evaluation of the use fauna underpasses SP-55 highway by mammals of the restinga, located in the south coast of São Paulo, Brazil. **Unisanta BioScience**, v. 3, n. 3, p. 154-163, 2014.

MIRANDA, F. R. *et al.* Taxonomic revision of maned sloths, subgenus *Bradypus* (*Scaeopus*), *Pilosa*, *Bradypodidae*, with revalidation of *Bradypus crinitus* Gray, 1850. **Journal of Mammalogy**, v. 104, n. 1, p. 86-103, 2023.

MOORE, L. J. *et al.* Demographic effects of road mortality on mammalian populations: a systematic review. **Biological Reviews**, v. 98, n. 4, p. 1033-1050, 2023.

MYERS, N. *et al.* Biodiversity *hotspots* for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

R CORE TEAM. The R project for Statistical computing. Version 4.3.1. [S. l.]: 2023. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 9 out. 2023.

RHEINGANTZ, M. L. *et al.* *Lontra longicaudis*. **The IUCN Red List of Threatened Species 2021**: e. T12304A164577708, p. 1-23, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-3.RLTS.T12304A164577708.en>. Acesso em: 9 out. 2023.

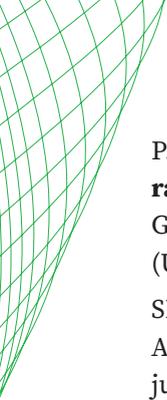
RIO DE JANEIRO (ESTADO). Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Portaria-SEMA nº 001, de 4 de junho de 1998. Dispõe sobre a pesquisa realizada pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, elaborando a Lista da Fauna Ameaçada de Extinção no Estado. **Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, n. 102, p. 9-16, 1998.

ROSA, C. *et al.* Burying water and biodiversity through road constructions in Brazil. **Aquatic Conservation Marine Freshwater Ecosystem**, v. 31, n. 6, p. 1-3, 2021.

RUEDAS, L. A. *et al.* Taxonomy of the *Sylvilagus brasiliensis* complex in Central and South America (Lagomorpha: Leporidae). **Journal of Mammalogy**, v. 100, n. 5, p. 1599-1630, 2019.

RUIZ-MIRANDA, C.R. *et al.* Distribuição do sagüi (*Callithrix jacchus*) nas áreas de ocorrência do mico-leão-dourado (*Leontopithecus rosalia*) no estado do Rio de Janeiro. **Neotropical Primates**, v. 8, n. 3, p. 98-101, 2000.

RUIZ-MIRANDA, C.R.; GRATIVOL, A.D.; PROCOPIO-DE-OLIVEIRA, P. (2008). Introdução: A espécie e sua situação na paisagem fragmentada. *In*: PROCOPIO-DE-OLIVEIRA,



P.; GRATIVOL, A.D.; RUIZ-MIRANDA, C.R. (org.). **Conservação do mico-leão-dourado**: enfrentando os desafios de uma paisagem fragmentada. ed 1a. Campos dos Goytacazes: Editora da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). p. 6-13. v. 1,

SECCO, H. *et al.* (2023). Identifying Roadkill *Hotspots* for Mammals in the Brazilian Atlantic Forest using a Functional Group Approach. **Environmental Management**, jun. 2023.

SECCO, H. *et al.* Golden lion tamarins use artificial canopy overpass to get around: a new road for their conservation? **Biodiversity**, v. 23, n. 3-4, p. 1-3, 2022.

SILVA, S. M. *et al.* Illuminating the obscured phylogenetic radiation of South American *Sylvilagus* Gray, 1867 (Lagomorpha: Leporidae). **Journal of Mammalogy**, v. 100, n. 1, p. 31-44, 2019.

SPANOWICZ, A. G.; TEIXEIRA, F. Z.; JAEGER, J. A. An adaptive plan for prioritizing road sections for fencing to reduce animal mortality. **Conservation Biology**, v. 34, n. 5, p. 1210-1220, 2020.

TEIXEIRA, F. Z. *et al.* A review of the application of canopy bridges in the conservation of primates and other arboreal animals across Brazil. **Folia Primatologica**, v. 93, n. 3-6, p. 479-492, 2022.

TEIXEIRA, F. Z. *et al.* Canopy bridges as road overpasses for wildlife in urban fragmented landscapes. **Biota Neotropica**, v. 13, n. 1, p. 117-123, 2013.

TEIXEIRA, F. Z. *et al.* The need to improve and integrate science and environmental licensing to mitigate wildlife mortality on roads in Brazil. **Tropical Conservation Science**, v. 9, n. 1, p. 34-42, 2016.

THE INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE'S RED LIST OF THREATENED SPECIES. *Homepage*. The IUCN Red List of Threatened Species, 2022. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/>. Acesso em: 12 fev. 2023.

TISLER, T. R.; TEIXEIRA, F. Z.; NÓBREGA, R. A. Conservation opportunities and challenges in Brazil's roadless and railroad-less areas. **Science Advances**, v. 8, n. 9, p. eabi5548, 2022.

VAN DER REE, R.; SMITH, D. J.; GRILO, C. (ed.). The ecological effects of linear infrastructure and traffic: challenges and opportunities of rapid global growth. *In*: VAN DER REE, R.; SMITH, D. J.; GRILO, C. (ed.). **Handbook of road ecology**. Hoboken, US: Wiley-Blackwell, 2015 .

YOUNG, G.; KING, R.; ALLEN, B. L. Where do wildlife cross the road? Experimental evaluation reveals fauna preferences for multiple types of crossing structures. **Global Ecology and Conservation**, v. 46, n. 2021, p. e02570, 2023.

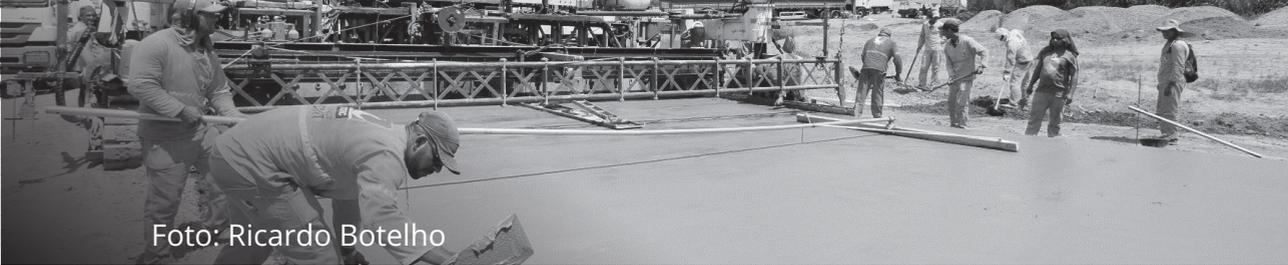


Foto: Ricardo Botelho

A IMPORTÂNCIA DOS INDICADORES DE ESG E PROGRAMAS SOCIOAMBIENTAIS NO LICENCIAMENTO DE CONCESSÕES DE RODOVIAS FEDERAIS NO BRASIL

*Isabelle Barcelos Cariman; Clézio Ribeiro de Almeida;
Thiago Oliveira Machado*

RESUMO

O Programa de Concessões de Rodovias Federais no Brasil, iniciado em 1993, garante investimentos, manutenção e serviços aos usuários por meio de pedágios. Contudo, o licenciamento ambiental para essas rodovias enfrenta críticas devido à demora, burocracia e falta de fundamentação (Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2023b; Leite, 2021). A aplicação de indicadores ESG (ambiental, social e de governança) e desenvolvimento de programas ambientais é essencial para monitorar o desempenho ambiental das rodovias e garantir conformidade com as diretrizes estabelecidas pelo licenciamento ambiental de rodovias (Sengupta, Hebb, Mustafa, 2018; Leite, 2021; Silveira, 2015). Visto a complexidade nas ações desse monitoramento, este estudo busca levantar quais as ações relativas ao tema apresentado já são aplicadas e que se mostram efetivas em empreendimentos de concessão rodoviária. Por meio de uma revisão bibliométrica de relatórios governamentais e das próprias concessionárias, bem como o estudo de caso das ações declaradas das concessionárias de rodovias federais vigentes no Brasil, pode-se concluir que a avaliação de indicadores ESG e de programas socioambientais é complexa, volumosa e representa um desafio de sustentabilidade econômica do empreendimento. Os principais indicadores abrangem resíduos, energia, diversidade e treinamentos anticorrupção, e os programas ambientais incluem proteção à fauna e recuperação de áreas degradadas, principalmente. Isso ocorre conforme os aspectos considerados como condicionantes do monitoramento do licenciamento ambiental. Apesar de ser possível verificar a atuação de grandes grupos como EcoRodovias, Arteris e CCR (Companhia de Concessões Rodoviárias), todos os grupos devem estar em conformidade com as demandas ESG para um futuro sustentável.

Palavras-chave: ESG; concessionárias; rodovias; licenciamento ambiental.



Isabelle Barcelos Cariman, mestre em engenharia e desenvolvimento sustentável, engenheira ambiental, colaboradora da Concremat Ambiental desde 2023, atua como analista ambiental. Possui experiência na área de gestão de resíduos sólidos e avaliação dos aspectos legais e econômicos que influenciam na operação de empreendimentos beneficiamento de resíduos da construção civil localizados no Brasil.

Clézio Ribeiro de Almeida, pós-graduado em engenharia ambiental e saneamento básico colaborador da Concremat Ambiental desde 2010, atuando como coordenador de contratos. Possui sólida experiência profissional na área ambiental, nos segmentos da construção civil de grandes obras de infraestrutura onshore e offshore, na indústria e em empreendimentos lineares, tais como: Sistema de Transmissão de Energia e Rodovias.

Thiago Oliveira Machado, biólogo colaborador da Concremat Ambiental desde 2011, atuando como gerente operacional e formado pela USJT (2006) com especialização em gestão ambiental pelo Senac (2010), geoprocessamento pelo Senac (2011) e MBA em gestão de projetos pelo IBMEC (2015). Atuou como responsável técnico em criadouros conservacionistas de fauna silvestre e coordenou diversos projetos de infraestrutura envolvendo supervisão ambiental e avaliação de impactos ambientais.

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade nas rodovias é um tema de grande importância no contexto atual, em que a preocupação com o meio ambiente e a busca por práticas mais responsáveis se popularizam. Nesse sentido, a adoção de indicadores de sustentabilidade e a consideração dos aspectos ESG (ambiental, social e de governança) têm se mostrado fundamental para o planejamento, monitoramento e avaliação das rodovias no Brasil (EcoRodovias, 2022).

As exigências de licença ambiental de instalação e operação para rodovias estão diretamente correlacionadas com a aplicação de indicadores e avaliação ESG. A obtenção dessas licenças é fundamental para o funcionamento das rodovias, e os órgãos responsáveis pelo licenciamento estabelecem uma série de requisitos e condicionantes que visam garantir a minimização dos impactos ambientais, a promoção do desenvolvimento social e a adoção de práticas de governança transparentes e responsáveis (Espírito Santo, 2021; Sengupta, Hebb, Mustafa, 2018).

Nesse contexto, a aplicação de indicadores ESG torna-se essencial para monitorar e avaliar o desempenho das rodovias em relação aos aspectos ambientais, sociais e de governança. Indicadores relacionados à gestão de resíduos, consumo de água, emissões de gases de efeito estufa, segurança viária, engajamento com a comunidade local e transparência na divulgação de informações são exemplos de métricas que podem ser utilizadas para medir o progresso e o cumprimento das diretrizes estabelecidas pelas licenças de operação e instalação (EcoRodovias, 2022; Sengupta, Hebb, Mustafa, 2018).

O objetivo desta pesquisa é analisar e documentar as ações de monitoramento e avaliação de ESG e programas ambientais que já são aplicados com sucesso em obras de licenciamento de rodovias. O estudo visa identificar as práticas eficazes adotadas pelas concessionárias brasileiras para garantir a conformidade ambiental e o desempenho ESG em seus projetos de rodovia, bem como os desafios enfrentados e as estratégias utilizadas para superá-los.

2 DESENVOLVIMENTO

O Programa de Concessões de Rodovias Federais no Brasil iniciou com a licitação de trechos pedagiados em 1993 e ao longo do tempo foi expandido para incluir outros segmentos viáveis para concessão. A partir da Lei das Delegações (Lei Nº 9.277, de 10 de maio de 1996), estados e municípios também passaram a solicitar a delegação de trechos de rodovias federais. A concessão de rodovias com pagamento de pedágio garante investimento, manutenção e serviços aos usuários. Atualmente, a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) administra 24 concessões de rodovias (Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2023a; De Amorim, 2023). Além da regulamentação federal, as licenças de operação e instalação, gerenciadas pelo estado, exigem o cumprimento de requisitos e condicionantes relacionados a esses aspectos. Portanto, a aplicação



de indicadores ESG é essencial para acompanhar o desempenho das rodovias e garantir a conformidade com as diretrizes estabelecidas.

2.1 PROBLEMATIZAÇÃO

O licenciamento ambiental no Brasil para rodovias enfrenta críticas devido à demora, burocracia e falta de fundamentação. Há ainda, uma demanda para redução das exigências ambientais, incluindo influências políticas, e as medidas mitigadoras podem ter alto custo, resultando em um processo demorado e imprevisível (Leite, 2021). A ausência de uma legislação clara e a discricionariedade administrativa são apontadas como raízes do problema (Silveira, 2015; Hofmann, 2015). Mesmo com a implementação de atos normativos e a Lei Complementar Nº 140/2011, o licenciamento ainda carece de uma reputação sólida (Silveira, 2015).

Outros problemas estão relacionados à falta de acompanhamento da efetividade das medidas exigidas nas licenças, sugerindo a adoção de indicadores e metas para avaliar seu impacto ambiental. O não cumprimento das condicionantes ambientais pode acarretar consequências socioambientais irreversíveis e é considerado um crime ambiental. Para lidar com esses desafios, é necessário estabelecer procedimentos de acompanhamento durante a fase de construção, simplificar os processos burocráticos e identificar condicionantes passíveis de monitoramento (Leite, 2021).

O Tribunal de Contas da União (TCU) tem desempenhado um papel fundamental no acompanhamento do licenciamento ambiental federal. O TCU destaca a importância dos indicadores ambientais para avaliar os impactos e riscos ambientais, e recomenda a definição de indicadores e critérios formais de avaliação (Hofmann, 2015). Os indicadores desempenham um papel crucial em cada fase do empreendimento, auxiliando no diagnóstico, previsão de impactos e acompanhamento. A prática da gestão ambiental no Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) levou à necessidade de avaliar o desempenho com base nas normas disponíveis para implantação de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) (Silveira, 2015).

Uma lacuna de pesquisa a ser explorada é a análise das ações de monitoramento e avaliação de ESG e programas ambientais específicos em obras licenciadas para operar rodovias federais brasileiras, utilizando o estudo de caso, um levantamento bibliográfico dos indicadores e programas aplicados pelas concessionárias vigentes.

2.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLOGIA

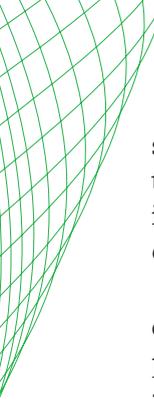
O programa de concessões de rodovias federais no Brasil começou em 1993, expandindo-se ao longo do tempo com contratos adicionais, totalizando cerca de 13.050 km atualmente. Os impactos ambientais positivos e negativos da pavimentação de rodovias são influenciados pelo licenciamento ambiental,

que requer avaliação dos aspectos socioeconômicos e a aplicação de medidas mitigadoras para reduzir danos (Leite, 2021; Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2020). A aplicação de indicadores ESG é crucial para avaliar o desempenho das rodovias e promover práticas sustentáveis, contribuindo para um futuro mais responsável e alinhado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Sengupta, Hebb, Mustafa, 2018; EcoRodovias, 2022). A pesquisa se desdobrou em três etapas, envolvendo revisão bibliométrica, discussões sobre licenciamento ambiental e estudo de caso para analisar indicadores ESG e desempenho das concessionárias rodoviárias.

A pavimentação de rodovias gera tanto impactos ambientais positivos quanto negativos. Embora os impactos positivos sejam mais numerosos, os impactos negativos deixam marcas profundas e duradouras, perturbando a ordem natural do ambiente. Conforme prevê o licenciamento ambiental, a influência socioeconômica em trechos urbanos e rurais é um fator de relevância para a avaliação ambiental, uma vez que a instalação de rodovias pode gerar impactos como (Leite, 2021):

- Destruição de habitat: remoção de vegetação ou desflorestamento;
- Alteração de habitat: poluição sonora, mudanças no fluxo de água, iluminação artificial, mudanças na composição e qualidade do solo, redução da qualidade do ar, alterações na temperatura, impactos em cavernas naturais, mudanças na umidade e na exposição solar, aumento da exposição a ventos e efeitos do tráfego de veículos;
- Mortalidade de animais devido a atropelamento;
- Efeitos de barreiras e bordas: fragmentação, perda de conexões e isolamento, diminuição do acesso ao hábitat;
- Criação de novos hábitats;
- Introdução de espécies não nativas, domésticas e exóticas;
- Pressão direta da atividade humana: caça, pesca, doenças transmitidas entre animais e humanos, aumento de incêndios e acidentes com substâncias perigosas;
- Impacto social, incluindo comunidades indígenas e patrimônio arqueológico, aumento da mortalidade devido a acidentes na estrada.

O monitoramento, manutenção e implementação de medidas mitigadoras são fundamentais para minimizar esses impactos (Bandeira; Floriano, 2004). Portanto, a gestão ambiental é essencial para acompanhar e mitigar esses impactos ao longo das três etapas do processo de licenciamento ambiental: licença Prévia, de Instalação e de Operação. O acompanhamento do processo é realizado pelo DNIT, órgão governamental responsável, que garante o cumprimento dos programas de gestão ambiental, medidas mitigadoras e licenças ambientais, conforme a Política Ambiental do Ministério dos Transportes. É fundamental que as ações mitigadoras sejam colocadas em prática para reduzir os impactos ambientais negativos causados pela construção de rodovias. O estudo e a conscientização



sobre os impactos gerados pela pavimentação de estradas são de extrema importância para a sociedade, a fim de promover a construção de estradas com menor impacto ambiental e garantir a reparação ambiental adequada (De Albuquerque *et al.*, 2019).

O licenciamento ambiental no Brasil é um processo administrativo que envolve a avaliação e autorização de atividades que utilizam recursos naturais ou podem gerar poluição. É conduzido por órgãos ambientais públicos para garantir a gestão adequada do meio ambiente e o cumprimento dos requisitos ambientais. O DNIT, órgão governamental responsável pela construção de rodovias federais no Brasil, está sujeito às exigências e responsabilidades do processo de licenciamento ambiental. Isso inclui o cumprimento dos programas de gestão ambiental, medidas mitigadoras e demais requisitos estabelecidos pela Política Ambiental do Ministério dos Transportes (Leite, 2021).

A avaliação ambiental de rodovias considera o diagnóstico dos meios físico, biótico e antrópico da área de influência direta e indireta do empreendimento. O licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades rodoviárias apresenta condicionantes de compensação ambiental e florestal, bem como condicionantes de medidas de controle e monitoramento de: Proteção à fauna, Proteção à flora, Gerenciamento de ruídos e emissões atmosféricas, Gerenciamento de efluentes, resíduos sólidos e abastecimento de água, Recuperação de áreas degradadas, Educação Ambiental e Comunicação Social, Execução das obras, e Produtos Perigosos (Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2020).

A utilização de indicadores é fundamental para avaliar, monitorar, identificar tendências e selecionar aspectos relevantes, especialmente quando se analisam questões multifatoriais (Mapar *et al.*, 2020). Um indicador de qualidade deve ser comparável, confiável, de fácil aplicação e coleta de dados, além de adaptável a diferentes situações (Teixeira; Do Prado Filho; Santiago, 2018). É possível citar indicadores atualmente aplicados na análise das condições socioambientais pelo mundo, podem ser citados UN-HABITAT Urban Water and Sanitation Governance Index, que avalia porcentagem de leis, departamentos, conselhos e custos relacionados aos serviços de saneamento; Environmental Performance Index (EPI), que avalia por meio de 20 indicadores o acesso à água potável, saneamento, gestão de resíduos, entre outros (Organization for Economic Co-operation and Development, 2015); o índice de Water, Sanitation and Hygiene (WASH), que investiga a presença de instalações sanitárias por meio dos indicadores de fornecimento de água potável, saneamento urbano e rural e higiene (World Health Organization, 2019); e o Indicador de Salubridade Ambiental (ISA) por meio de indicadores água potável, saneamento, resíduos sólidos, controle de vetores, recursos hídricos e socioeconômicos (Teixeira; Do Prado Filho; Santiago, 2018).

A aplicação de análises ESG pode mitigar riscos de acidentes ambientais, reações sociais negativas e gestão ineficiente. Além disso, investidores que incorporam requisitos ESG na seleção de ativos de infraestrutura podem obter benefícios financeiros e socioecológicos, garantindo um fluxo de caixa mais confiável e superando investimentos tradicionais. A importância de fortalecer

o processo de integração ESG na seleção de investimentos em infraestrutura é discutida, considerando as implicações para a sustentabilidade financeira e o papel do investimento privado na consecução dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (Sengupta, Hebb, Mustafa, 2018). A avaliação ESG das rodovias permite não apenas o cumprimento das exigências legais, mas também a adoção de práticas sustentáveis e socialmente responsáveis que ultrapassam o mínimo necessário. Ao monitorar e avaliar regularmente os indicadores ESG, as empresas rodoviárias podem identificar áreas de melhoria, implementar medidas corretivas e buscar a excelência em termos de desempenho ambiental, social e de governança (EcoRodovias, 2022).

A pesquisa foi realizada em três etapas com foco nas concessões rodoviárias federais, na licença ambiental e na temática ESG, considerando trabalhos publicados recentemente. Utilizaram-se plataformas governamentais (ANTT) e da concessionária, bem como a plataforma de pesquisa do Google Scholar e plataformas governamentais para buscar publicações nos últimos 5 anos. Sendo assim:

- Na Etapa 1, realizou-se uma revisão bibliométrica utilizando relatórios governamentais e relatórios anuais de sustentabilidade elaborados pelas próprias concessionárias a respeito da abrangência das concessões rodoviárias no território brasileiro. A fim de identificar quais concessionárias estão localizadas em trechos mais densamente povoados;
- Na Etapa 2, discutiram-se os desafios e benefícios da obtenção da licença ambiental para essas concessões, reunindo informações por meio da revisão bibliométrica de artigos científicos;
- Na Etapa 3, por meio da revisão bibliográfica realizada na etapa 1, identificou-se os principais critérios de monitoramento de ESG (Ambiental, Social e de Governança) e os programas ambientais aplicados para monitoramento dos aspectos socioambientais e de saúde e segurança do trabalho pelas principais empresas gerenciadoras de concessionárias no Brasil;

2.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A concessão de rodovias à iniciativa privada desempenha um papel fundamental na infraestrutura de transportes de um país, permitindo a integração nacional e o desenvolvimento econômico. No Brasil, embora tenha o maior programa de concessão de rodovias do mundo, apenas 10,3% da malha pavimentada está sob concessão privada. Cerca de 89,7% das rodovias estão sob gestão estatal, sendo que apenas 12,4% de toda a malha rodoviária do país é pavimentada. Dessas rodovias pavimentadas, aproximadamente 59% são avaliadas como regulares, ruins ou péssimas, com exceção das rodovias concedidas à iniciativa privada, que em sua maioria recebem avaliações boas ou ótimas. A gestão estatal apresenta deficiências na manutenção e conservação das rodovias (Webinar..., 2020).

Diante desse cenário, a concessão de rodovias se torna uma solução viável, e a ANTT administra atualmente 24 concessões de rodovias, totalizando aproximadamente 13.023,02 km de estradas (Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2023a). A Tabela 1 apresenta informações gerais das concessões.

Tabela 1 – Concessões rodoviárias federais vigentes no Brasil.

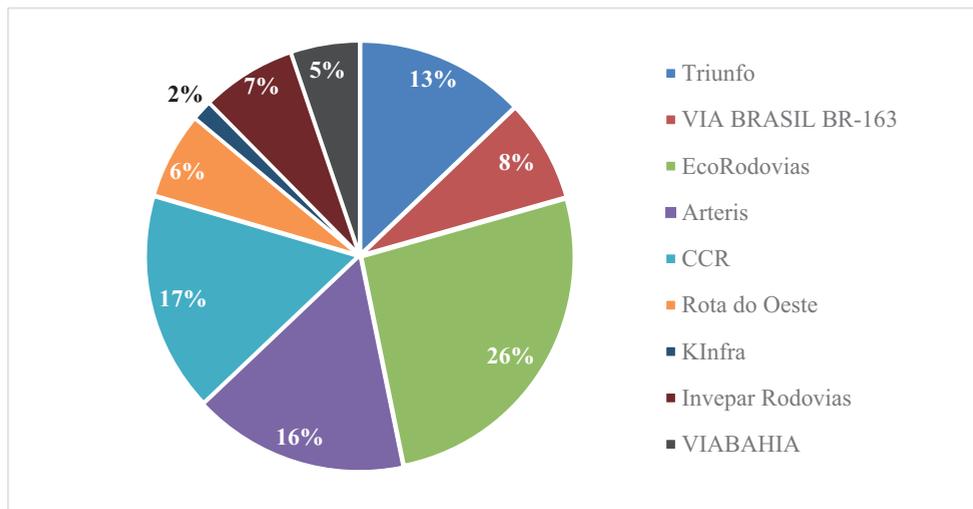
| Rodovia | Trecho | Extensão (Km) | Concessionárias | Grupo |
|--------------------------------|---|---------------|-----------------------------|----------------------|
| BR-060/153/ 262 DF/GO/MG | Brasília – Goiânia – Entroncamento BR-153/262 – Belo Horizonte | 1.176,50 | CONCEBRA | Triunfo |
| BR 040/MG/RJ | Juiz de Fora/MG – Rio de Janeiro/RJ | 180 | CONCER | Triunfo |
| BR-163/230/MT/ PA, MT-220 | Sinop – divisa MT/PA – Guarantã do Norte, Divisa MT/PA – Novo Progresso – Itaituba – travessia do Rio Tapajós em Miritituba | 1009,5 | VIA BRASIL BR-163 | VIA BRASIL BR-163 |
| BR-101/ES/BA | Divisa ES/RJ – Divisa ES/BA | 475,90 | ECO 101 | EcoRodovias |
| BR-116/392/RS | Polo Rodoviário de Pelotas e Corredor do Mercosul | 457,30 | ECOSUL | EcoRodovias |
| BR-101/RJ | Ponte Rio Niterói | 28,7 | ECOPONTE | EcoRodovias |
| BR-153/TO/GO, BR-080/414/GO | Aliança do Tocantins/ TO –Anápolis/GO | 850,7 | ECOVIAS DO ARAGUAIA | EcoRodovias |
| BR-364/365/MG/GO | Uberlândia/MG – Jataí/GO | 437 | ECOVIAS DO CERRADO | EcoRodovias |
| BR-381/SP/MG | São Paulo – Belo Horizonte | 562,0 | AUTOPISTA FERNÃO DIAS | arteris |
| BR-101/RJ | Rio de Janeiro – Divisa RJ/ES | 320,0 | AUTOPISTA FLUMINENSE | arteris |
| BR-101/SC | Curitiba – Florianópolis | 405,94 | AUTOPISTA LITORAL SUL | arteris |
| BR-050/GO/MG | Entroncamento BR-040 – Divisa MG/SP | 436,60 | ECO050 | EcoRodovias |
| BR-116/465/ 493/RJ/MG | Rio de Janeiro – Governador Valadares/MG | 726,9 | ECORIOMINAS | EcoRodovias |
| BR-163/MS | Divisa MS/MT – Divisa PR/MS | 847,20 | MS VIA | CCR |
| BR-163/MT, MT-407/220 | Divisa MT/MS – Sinop | 850,9 | NOVA ROTA DO OESTE | Rota do Oeste |
| BR-116/PR/SC | Curitiba – Divisa SC/RS | 413,0 | AUTOPISTA PLANALTO SUL | arteris |
| BR-116 SP/PR | São Paulo – Curitiba | 402,0 | AUTOPISTA RÉGIS BITTENCOURT | arteris |

| Rodovia | Trecho | Extensão (Km) | Concessionárias | Grupo |
|---|---|---------------|----------------------------|------------------|
| BR-393/RJ | Divisa MG/RJ – Entroncamento BR-116 | 200,0 | RODOVIA DO AÇO | Kinfra |
| BR-153/SP | Divisa MG/SP – Divisa SP/PR | 321,0 | RODOVIA TRANSBRASILIANA | Triunfo |
| BR-040/DF/GO/MG | Brasília – Juiz de Fora | 936,80 | VIA 040 | Invepar Rodovias |
| BR-116/ BA, BR-324/BA | Salvador – Divisa BA/MG | 680,0 | VIA BAHIA | VIABAHIA |
| BR-116/101/SP/RJ, BR-465, BR-381/ SP-015, BR-101/SP/ RJ, BR-465(A), RJ-095 | Rodovia Presidente Dutra, divisa RJ/ SP, Marginal Tietê; divisa RJ/SP e Praia Grande, Ubatuba | 625,8 | RIO/SP | CCR |
| BR-101/SC | Litoral de Santa Catarina | 220,42 | VIACOSTEIRA | CCR |
| BR-101/290/ 386/448/RS | Entroncamento BR-386/277 – Porto Alegre – Osório – Divisa RS/SC | 472,00 | VIASUL | CCR |

Fonte: Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2023a; De Amorim, 2023; EcoRodovias, 2022.

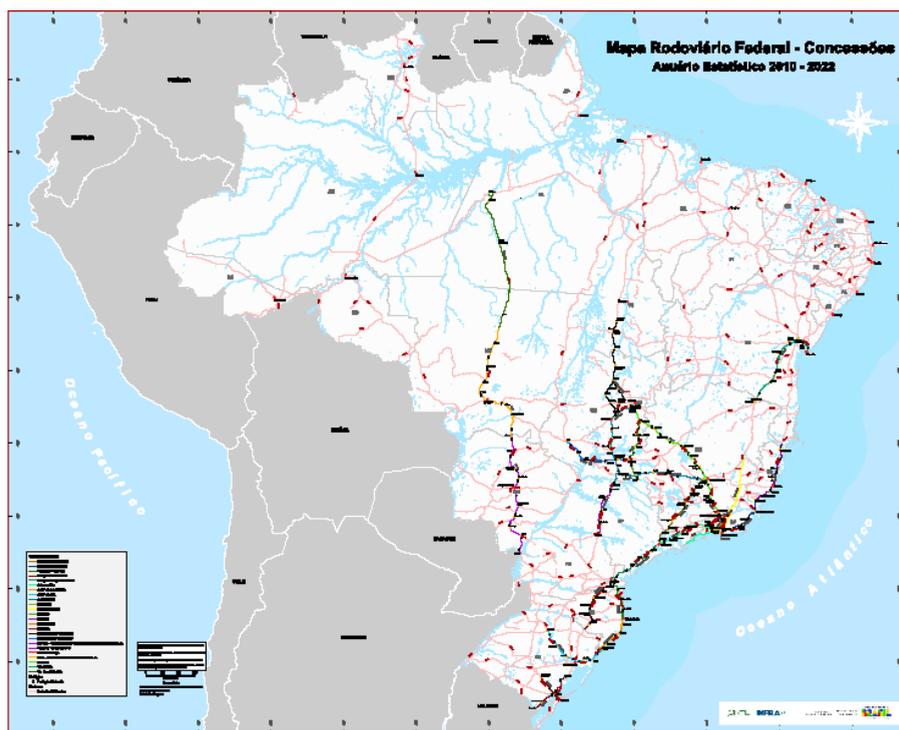
Uma vez que, a pavimentação de rodovias gera impactos ambientais positivos e negativos, podem ser citados: o impacto socioeconômico, alterações em habitats naturais, mortalidade de animais, de acordo com as diretrizes do licenciamento ambiental (De Albuquerque *et al.*, 2019; Leite, 2021). Quanto maior em extensão o trecho da concessão e sua área populada se supõe que o monitoramento ambiental, maior deverá ser o rigor da avaliação de ESG. Conforme a descrição da Tabela 1, a Figura 1 apresenta a proporção de quilômetros de trecho por grupo de concessão. Ainda a Figura 2 (ONTL, 2022) indica quais rotas traçam os trechos mais populosos do Brasil, sendo assim, grande parte dos trechos se concentram nas regiões mais populosas do Brasil (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023).

Figura 1 — Porção de trecho em quilômetros por grupo de concessão.



Fonte: Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2023a; De Amorim, 2023; EcoRodovias, 2022.

Figura 2 — Localização dos trechos de concessionárias vigentes.



Fonte: Brasil, 2022.

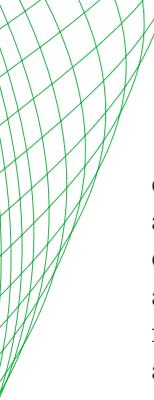
A figura pode ser visualizada com um clique sobre a imagem.



O monitoramento dos aspectos de ESG apresenta complexidade e rigor se justificam ao porte dos empreendimentos lineares de grande extensão que podem causar impacto ambiental significativo, assim como, concessionárias rodoviárias (Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2020). Dessa forma, o licenciamento ambiental, responsável por regular o uso de recursos naturais e a degradação ambiental, tem o desafio de garantir a conformidade das obras com as licenças, condicionantes e programas ambientais. No entanto, a falta de continuidade entre as fases prévia e de instalação, a falta de acompanhamento da efetividade das condicionantes e a pressão política para reduzir exigências ambientais dificultam o monitoramento. Além disso, a execução de medidas compensatórias sociais muitas vezes é deficiente, prejudicando a participação comunitária e a melhoria da qualidade de vida. O redimensionamento dos impactos ambientais e a falta de preparo para questões de saúde comunitária também são desafios. A discrepância entre o que é proposto e o que é executado, juntamente com as incertezas na previsão e verificação dos impactos ambientais, contribui para uma gestão ambiental ineficiente. Superar essas dificuldades requer o estabelecimento de procedimentos de acompanhamento, desburocratização dos processos, participação social e identificação de condicionantes monitoráveis (Leite, 2021).

A legislação brasileira tem buscado promover parcerias público-privadas no setor de rodovias, visando à expansão e melhoria da infraestrutura rodoviária. Através do Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT), criado para orientar as intervenções públicas e privadas nesse setor, visando ao desenvolvimento econômico, social e ambiental e das garantias oferecidas, o Brasil tem criado oportunidades para investidores interessados em participar da construção, operação e manutenção de rodovias no país (Queiroz; Motta, 2012).

As exigências ambientais não são oriundas apenas do licenciamento ambiental, a ANTT também solicita relatórios de acompanhamento ambiental das concessionárias. A ANTT, conforme a Lei de Criação (Lei Nº 10.233/2001), tem o princípio de compatibilizar os transportes com a preservação do meio ambiente. Para garantir isso, a Coordenação de Assuntos Ambientais (COAMB) monitora as cláusulas contratuais relacionadas a questões socioambientais e acompanha o licenciamento ambiental das obras das concessões rodoviárias. Relatório de Acompanhamento Ambiental (RAA), bem como o Relatório de Programas Sociais e Educacionais (RSE), conforme as diretrizes da Portaria Nº 283/2017, em compatibilidade com as questões de ESG. A ANTT analisa esses documentos e monitora as questões socioambientais das concessões, garantindo a proteção dos recursos naturais, a mitigação de impactos e o cumprimento das cláusulas contratuais e da legislação ambiental vigente (Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2023b).



Ainda, sabe-se que tradicionalmente a atenção da gestão é voltada à dimensão econômica da sustentabilidade, negligenciando as dimensões social e ambiental, que devem ser fortalecidas para equilibrar as deficiências atuais, a fim de promover a sustentabilidade. A sustentabilidade das concessionárias só pode avançar de forma geral se suas três dimensões (social, ambiental e econômica) forem devidamente consideradas. Para avançar na sustentabilidade econômica, as relações entre os principais impulsionadores financeiros das rodovias com pagamento pelo usuário devem ser consideradas, a fim de alcançar a sustentabilidade financeira e evitar litígios e renegociações que prejudicariam a legitimidade social dos programas (Castelblanco; Guevara, 2022).

Ao final de 2022, a ANTT definiu novas delimitações para as concessionárias em busca de implementar o modelo da International Finance Corporation (IFC) nas rodovias brasileiras, ainda definindo como projeto-piloto a concessão da Companhia de Concessões Rodoviárias (CCR RioSP) em São Paulo (Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2022). A IFC funciona como suporte na gestão dos riscos ESG e busca soluções sustentáveis que impulsionem o investimento privado e contribuam para o crescimento inclusivo (Setting..., s.d.). No entanto, os custos de sua implementação, somados aos custos da operação, mostram-se como um desafio para as concessões que dependem do pagamento de taxas de pedágio (Castelblanco; Guevara, 2022). Desse modo, a adoção desses indicadores, em conjunto com o que é aplicado em atendimento às condicionantes ambientais, soma-se como um desafio da sustentabilidade econômica das concessões.

As condicionantes do licenciamento ambiental são requisitos legais que garantem a adoção de práticas ambientalmente responsáveis por parte de empresas e organizações. Desempenhando um papel fundamental nas práticas ESG, asseguram o cumprimento de diretrizes e requisitos ambientais. Para fortalecer a relação entre licenciamento ambiental e ESG, é necessário aprimorar a gestão ambiental, utilizar tecnologias e estudos científicos, e promover a conscientização sobre a importância da preservação ambiental como parte integrante das práticas empresariais (Souza, Silva, 2022). Sendo assim, é necessário conhecer de que forma as concessionárias têm gerenciado os indicadores ESG, planos e programas conforme as exigências normativas. A Tabela 2 apresenta um panorama dos grupos responsáveis pela concessão de rodovias federais no Brasil. Ressalta-se que as informações foram retiradas dos Relatórios Integrados apresentados pelas concessionárias.

Tabela 2 – Planos, programas e indicadores ESG apresentados pelas concessionárias de rodovias federais no Brasil.

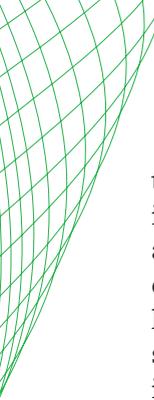
| Grupo | Indicadores ESG (meio ambiente, social e governança) |
|-----------------------------------|---|
| EcoRodovias (ECORODO-VIAS, 2022). | <p data-bbox="289 455 315 591">Meio Ambiente</p> <p data-bbox="341 242 1127 491">Elaborar o plano de descarbonização do Grupo, bem como reduzir as emissões de escopo 1 em 0,5%. Nesse sentido, são avaliados indicadores de:</p> <ul data-bbox="341 300 1127 491" style="list-style-type: none"> - Emissões de gases de efeito estufa (GEE), em CO2e (Escopo 1, 2, 3 e Emissões biogênicas de escopo 1, 3). Alinhamento com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. Permanência no Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE) da B3. Além disso, estão sendo implementadas medidas para mitigar as emissões, como a utilização de etanol no lugar da gasolina, estudos para eletrificação da frota, uso de equipamentos eficientes e produção de energia fotovoltaica para consumo próprio nas praças de pedágio. Bem como, estudos para melhoria da produção de asfalto, visando reduzir o impacto ambiental dessa atividade. <p data-bbox="341 500 1127 527">Como avaliação de indicadores ambientais por meio de programas, são apresentados:</p> <ul data-bbox="341 536 1127 815" style="list-style-type: none"> - Programa de Gestão e Supervisão Ambiental, - Programa Ambiental de Construção, - Programa Ambiental da Operação, - Programa de Proteção à Fauna, - Programa de Prevenção, Controle e Monitoramento de Processos Erosivos, - Programa de Recuperação de Áreas Degradadas, - Programa de Mitigação dos Passivos Ambientais, - Programa de Educação Ambiental, e - Programa de Comunicação Social. |
| | <p data-bbox="289 882 315 937">Social</p> <p data-bbox="341 824 1127 851">Melhoria nos indicadores de diversidade e inclusão sendo avaliado:</p> <ul data-bbox="341 860 1127 1015" style="list-style-type: none"> - Número de colaboradores por tipo de jornada e por tipo de contrato; por categoria funcional e idade; - Indicadores de saúde, segurança, meio ambiente, qualidade através do PAF (Programa de Avaliação de Fornecedores). Programa Na Mão Certa, da ONG Childhood Brasil. Livres e Iguais, campanha da Organização das Nações Unidas (ONU). Participante do Pacto Global das Nações Unidas. |
| | <p data-bbox="289 1024 315 1124">Governança</p> <p data-bbox="341 1024 1127 1135">92% de participação dos colaboradores em treinamentos anticorrupção. Assume compromissos em consonância com a nossa adesão a diversas agendas globais e nacionais, como: Associação ao Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS).</p> |

| Grupo | Indicadores ESG (meio ambiente, social e governança) |
|---|--|
| Companhia de Concessões Rodoviárias (CCR, 2023). | <p>Meio Ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Emissões diretas (Escopo 1) (GEE) - Toneladas de CO₂e; Emissões indiretas (Escopo 2) (GEE) - Toneladas de CO₂e; outras emissões indiretas (Escopo 3) (GEE) - Toneladas de CO₂e; Energia elétrica consumida (kWh); Energia gerada de fonte renovável (kWh); Restauração Florestal; Taxa de reaproveitamento de resíduos (%). |
| | <p>Social</p> <ul style="list-style-type: none"> - Número de municípios impactados pelos projetos sociais; Pessoas impactadas pelos projetos; - Número de colaboradores – Brasil; - % Funcionários locais nas operações; - Turnover voluntário; % de novas vagas de liderança preenchida por mulheres; - Percentual de mulheres – Brasil; - Índice de acidentes de trabalho - Taxa de Frequência de Acidentes com Afastamento (TFCA); - Atendimentos realizados pelos programas de saúde e bem-estar; - Segurança Viária - Índice de acidentes; - Segurança Viária - Índice de mortalidade. |
| | <p>Governança</p> <ul style="list-style-type: none"> - Colaboradores treinados sobre as diretrizes anticorrupção (%); - Operações avaliadas em risco de suborno; - Registros de relatos no Canal Confidencial (Abertos/Finalizados, com tratamento); - Análises de fornecedores e parceiros de alto risco contratados (due diligences de terceiros). |
| Arteris (ARTERIS, 2021) | <p>Meio ambiente, social e governança</p> <p>Em 2021, foram apresentadas as diretrizes para a criação da Agenda ESG, no entanto, o relatório de 2022 ainda não foi apresentado. Com relação aos programas ambientais são apresentados:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Programa na Mão Certa, - Assinatura do Pacto Empresarial Contra a Exploração Sexual de Crianças e Adolescentes nas Rodovias Brasileiras, - Programa Estrada Viva e Projeto Futebol de Rua, e - Programa de Logística Verde Brasil (PLVB). |
| Triunfo (TRIUNFO TRASBRASILIANA, 2021); CONCER, 2021). | <p>Meio ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geração de energia, - Consumo de energia, por fonte; - Consumo de água e Retirada por fonte; - Gestão resíduos perigosos e não perigosos; - Emissões - Controle Operacional em tonelada e carbono equivalente (tCO₂e) Escopo 1, 2 e 3 - Emissões - Participação Societária (em tCO₂e). <p>Foram programas apresentados: Projeto Caminhos da Fauna.</p> |
| | <p>Aspecto social e Governança</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tráfego – veículos pagantes (mil) - Arrecadação (R\$ milhões) - Lucro (prejuízo) líquido - Número de profissionais, por gênero, região, faixa etária, e etnia; - Número de admissões; - Valores para hora homem treinado; <p>Foram programas apresentados: Programa na Mão Certa; Um Freio na Fome; Operação Inverno.</p> |

| Grupo | Indicadores ESG (meio ambiente, social e governança) |
|-----------------------------------|---|
| Invepar rodovias (INVEPAR, 2020). | <p>Meio ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Consumo de energia dentro da Organização; - Consumo de Combustíveis em litros; - Consumo de água em metros cúbicos; - Emissões de Gases do Efeito Estufa – GEE Escopo 1 e 2 (em tCO₂ e); - Destinação de resíduos perigosos e não perigosos em toneladas. - Mapeamento e controle de Biodiversidade em Projeto passagens de fauna na Concessionária Litoral Norte (CLN); - Projeto preguiça-de-coleira; - Manejo e controle de pombo doméstico no MetrôRio; - Projeto plantio compensatório – recuperação de áreas degradadas na CLN; e - Gerenciamento de fauna em sítio aeroportuário. |
| | <p>Aspecto social e Governança</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utiliza os indicadores Ethos para Negócios Sustentáveis e Responsáveis, implementando planos de melhoria contínua e seguindo as diretrizes da Global Reporting Initiative (GRI) para comunicar seus resultados e desempenho. - Colaboradores Próprios - Invepar e Empresas Controladas; - Saúde e Segurança – Invepar e Empresas Controladas; - Média de horas de capacitação por ano, por empregado (GRI Standards 404-1); - Receita Líquida e por segmento; - EBITDA (Lucros Antes de Juros, Impostos, Depreciação e Amortização) e margem EBITDA (R\$ mil) - Custos e Despesas (R\$ Milhões); |

Fonte: Arteris (2021); Companhia de Concessão Rodoviária de Juiz de Fora (2021); Companhia de Concessões Rodoviárias (2023); EcoRodovias (2022); Relatório... (2020); Relatório... (2021).

Conforme apresentado na Tabela 2, ao implementar programas socioambientais e realizar o monitoramento contínuo dos indicadores ESG, de forma resumida, os principais resultados indicados nos relatórios integrados publicados anualmente são: (1) Aspecto ambiental – Plano de descarbonização do Grupo; Gestão de resíduos; e Consumo energético e de água. (2) Aspecto social – Melhoria nos indicadores de diversidade e inclusão; Número de colaboradores por tipo de jornada e contrato, por categoria funcional e idade; Número de municípios impactados pelos projetos sociais; Pessoas impactadas pelos projetos; Índice de acidentes de trabalho TFCA. (3) Aspecto de governança – Iniciativas anticorrupção; Alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. Além desses indicadores, também foram mencionados programas socioambientais como o Programa de Gestão e Supervisão Ambiental, Programa de Proteção à Fauna, Programa de Recuperação de Áreas Degradadas, Programa de Educação Ambiental, entre outros (EcoRodovias, 2022; Companhia de Concessões Rodoviárias, 2023; Arteris, 2021; Relatório..., 2021; Companhia de Concessão Rodoviária de Juiz de Fora, 2021; Relatório..., 2020). Ainda, outras concessões foram avaliadas, porém não foram identificadas informações quanto à aplicação de indicadores de ESG (Meio..., s.d.; Responsabilidade..., s.d.; Política..., s.d.; Sustentabilidade..., s.d.).



Dessa forma, pode-se concluir que tanto as organizações governamentais quanto à iniciativa privada estão realizando esforços para desenvolver uma infraestrutura sustentável que atenda às necessidades sociais e reduza os impactos ambientais. A implementação de sistemas de classificação e avaliação sustentável é fundamental para garantir a conformidade com os princípios de sustentabilidade em projetos de infraestrutura, como estradas. No entanto, a falta de um sistema de classificação específico para avaliar a sustentabilidade de projetos de infraestrutura tem sido um obstáculo. Portanto, é importante que se estabeleçam critérios adequados de avaliação e reavaliação para a operação e manutenção contínuas das estradas, garantindo a manutenção dos padrões sustentáveis ao longo do ciclo de vida das estradas (Adzar *et al.*, 2019).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação de indicadores ESG (Ambiental, Social e Governança) e o acompanhamento de programas socioambientais são elementos cruciais para atender às demandas do licenciamento ambiental. Como observado no desenvolvimento deste estudo, os grandes grupos localizados em áreas de maior fluxo urbano e de pessoas, tais como EcoRodovias, CCR, Arteris e Invepar Rodovias, possuem uma responsabilidade ainda maior devido aos impactos decorrentes da implementação de empreendimentos de grande porte, como rodovias.

Pode-se observar que os indicadores ESG e o acompanhamento de programas socioambientais estão em consonância com os aspectos de monitoramento ambiental exigidos no processo de licenciamento ambiental. Apesar de extensos, complexos e desafiadores em termos de sustentabilidade econômica, são fundamentais para garantir que empreendimentos de grande porte, como rodovias, sejam implantados de forma responsável, considerando os aspectos ambientais, sociais e de governança, contribuindo para a construção de um futuro mais sustentável. Observa-se que muitos grandes grupos já colocam em prática esse monitoramento; no entanto, é necessário que 100% dos grupos estejam em consonância com as demandas de ESG.

Dessa forma, um tema para pesquisas futuras é a investigação das barreiras específicas enfrentadas pelas empresas menores do setor na implementação efetiva de práticas ESG e possíveis estratégias para superá-las. Esses estudos podem contribuir para a formulação de diretrizes ainda mais eficazes para aprimorar a responsabilidade socioambiental no setor de concessões rodoviárias.

REFERÊNCIAS

ADZAR, J. A. *et al.* Development of operation and maintenance sustainability index for penarafan hijau jabatan kerja raya (pHJKR) green road rating system. **IOP Conf. series: materials science and engineering**, v. 527, n. 1, p. 012058, 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Manual de licenciamento ambiental federal**: aspectos gerais do licenciamento ambiental federal e regras específicas do setor de infraestrutura de transportes (rodovias e ferrovias). Brasília, DF: ANTT, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/rodovias/relatorios/acompanhamento-ambiental-das-concessoes-rodoviaras-1/normas-e-documentos/arquivos/manual-de-licenciamento-ambiental-federal.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. ANTT participa de encontro internacional sobre novas tecnologias Free Flow. **Gov.br**, Brasília, DF, 10 jun. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/antt-participa-de-encontro-internacional-sobre-novas-tecnologias-free-flow>. Acesso em: 26 jun. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Concessões Rodoviárias Federais. **Gov.br**, Brasília, DF, 2023a. Disponível em: https://portal.antt.gov.br/resultado/-/asset_publisher/m2By5inRuGGs/content/id/1758076. Acesso em: 25 jun. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Histórico. **Gov.br**, Brasília, DF, 2023b. Disponível em: <http://anuario.antt.gov.br/index.php/content/view/4978/Historico.html>. Acesso em: 23 jun. 2023.

ARTERIS. **Relatório Anual de Sustentabilidade 2021**. São Paulo: Arteris, 2021. Disponível em: https://www.arteris.com.br/documents/102/Relatorio_2022_Arteris_.pdf. Acesso em: 26 jun. 2023.

BANDEIRA, C.; FLORIANO, E. P. **Avaliação de impacto ambiental de rodovias**. Santa Rosa: ANORGS, 2004. n. 8. (Cadernos didáticos).

BRASIL. Ministério dos Transportes. Observatório Nacional de Transporte e Logística. Infra S.A. **Anuário estatístico de transportes 2013-2022**. Brasília, DF: Ministério dos Transportes; Infra S.A., 2022.

CASTELBLANCO, G.; GUEVARA, J. **The Road to Sustainability: Economic, Social, and Environmental Dynamics in Toll Road PPPs**. 2022. Dissertação (Doutorado em Engenharia) — Universidad de Los Andes, Bogotá, CO, 2022.

COMPANHIA DE CONCESSÃO RODOVIÁRIA DE JUIZ DE FORA. Caminhos da Fauna. **Concer**, Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.concer.com.br/sustentabilidade/caminhos-da-fauna.aspx>. Acesso em: 26 jun. 2023.

COMPANHIA DE CONCESSÕES RODOVIÁRIAS. Desempenho ESG/Viva seu caminho: painel trimestral 2023 — PT. **Companhia de concessões rodoviárias**, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/8516d569-e11b-4864-a>

777-68eca8245423/f515a4bc-a04c-b110-3ea4-febb91fbfe2d?origin=1. Acesso em: 26 jun. 2023.

DE ALBUQUERQUE, B. C. *et al.* Impactos ambientais da construção de rodovias e seu processo de licenciamento. CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS, 4., Campina Grande, 2019. **Anais [...]**. Campina Grande: Conapesc, 2019.

DE AMORIM, F. A. **O viés do otimismo em concessões rodoviárias: evidências, causas e soluções.** 2023. Monografia (Especialização em Controle da Desestatização e da Regulação) — Instituto Serzedello Corrêa, Escola Superior do Tribunal de Contas da União, Brasília, DF, 2023.

ECORODOVIAS. **Relatório Integrado 2022.** São Paulo: EcoRodovias, 2022. Disponível em: <https://www.ecorodovias.com.br/wp-content/uploads/2023/05/Relatorio-Integrado-EcoRodovias-2022.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2023.

ESPÍRITO SANTO. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Instrução normativa IEMA nº 13-N, de 30 de dezembro de 2021.** Estabelece procedimentos administrativos e critérios técnicos para o licenciamento ambiental de estradas, rodovias e obras afins; revoga a “Instrução normativa Iema nº 5, de 9 de agosto de 2010”. Espírito Santo: IEMA, 2021.

HOFMANN, R. H. **Gargalos do licenciamento ambiental federal no Brasil.** Brasília, DF: Câmara dos Deputados; Consultoria Legislativa, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Projeções da população. **Gov.br**, Brasília, DF, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html>. Acesso em: 25 jun. 2023.

LEITE, F. H. F. **Avaliação do licenciamento ambiental da construção de três rodovias na Amazônia legal: BR-429/RO, BR-242/TO e BR-163/MT.** 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) — Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2021.

MAPAR, M. *et al.* A composite index for sustainability assessment of health, safety and environmental performance in municipalities of megacities. **Sustainable Cities and Society**, v. 60, n. 61, p. 102164, 2020.

MEIO ambiente. **Rota do Oeste**, Cuiabá, s.d. Disponível em: <http://www.rotadooeste.com.br/pt-br/sustentabilidade/meio-ambiente>. Acesso em: 10 out. 2023.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **OECD water governance initiative: inventory of water governance indicators and assessment frameworks.** Paris, FR: OECD, 2015.

POLÍTICA do sistema de Gestão integrada. **Via Brasil BR-163**, Sinop, s.d. Disponível em: <http://www.viabrasilbr163.com.br/empresa/politica-do-sistema-de-gestao-integrada>. Acesso em: 10 out. 2023.

QUEIROZ, C.; MOTTA, C. E. A Review of Key Factors for Implementing Sustainable Public Private Partnership in the Brazilian Road Sector. **Procedia: Social and Behavioral Sciences**, v. 53, p. 1228–1235, 2012.

RELATÓRIO anual 2020. Rio de Janeiro: Invepar, 2020. Disponível em: https://www.invepar.com.br/ra_2020_v5.pdf. Acesso em: 26 jun. 2023.

RELATÓRIO de sustentabilidade. São Paulo: Triunfo Transbrasiliana, 2021. Disponível em: <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/c544de26-0715-4600-99da-fca65b96d961/ff62bc16-ded7-424b-8e80-6b9d0e42aec6?origin=2>. Acesso em: 10 out. 2023.

RESPONSABILIDADE socioambiental. **VIABAHIA Concessionária de Rodovias S.A.**, Bahia., s.d. Disponível em: <https://viabahiasa.com.br/responsabilidade-socioambiental/>. Acesso em: 10 out. 2023.

SENGUPTA, R.R.; HEBB, T.; MUSTAFA, H. Seeking greener pastures: exploring the impact for investors of ESG integration in the infrastructure asset class. In: WALKER, T.; KIBSEY, S.D.; CRICHTON, R. (ed.) **Designing a sustainable financial system: development goals and socio-ecological responsibility**. London, UK: Palgrave Macmillan, 2018.

SETTING ESG standards and advancing sustainable Finance. **International finance corporation**, [S. l.], s.d. Disponível em: <https://www.ifc.org/en/what-we-do/sector-expertise/sustainability>. Acesso em: 10 out. 2023.

SILVEIRA, N de F. N. **Proposição de metodologia para avaliar o desempenho da gestão ambiental em obras de implantação e pavimentação de rodovias**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Viçosa, 2015.

SOUZA, A. M. R.; SILVA, M. C. G. P. V. Desenvolvimento sustentável: ESG e instrumentos práticos utilizados para o enfrentamento da questão ambiental. **UNISANTA Law and Social Science**, v. 11, n. 1, p. 1-20, 2022.

SUSTENTABILIDADE. **K-Infra rodovia do aço**, Rio de Janeiro, s.d. Disponível em: <https://www.rodoviadoaco.com.br/sustentabilidade>. Acesso em: 26 jun. 2023.

TEIXEIRA, D. A.; DO PRADO FILHO, J. F.; SANTIAGO, A. da F. Indicator of environmental health: Formula modifications and indicator applications in Brazil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 3, p. 543–556, 2018.

WEBINAR A SITUAÇÃO ATUAL E FUTURA DAS CONCESSÕES DE RODOVIAS NO BRASIL, Rio de Janeiro, 2020. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: FGV, 2020. 1 vídeo (1h35). Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/32753?show=full>. Acesso em: 25 jun. 2023.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **National systems to support drinking-water sanitation and hygiene: global status report 2019**. Geneva, CH: WHO, 2019.

EIXO II

PLANEJAMENTO E MUDANÇA DO CLIMA



Foto: Ricardo Botelho



Foto: Ricardo Botelho

AVANÇOS REGULATÓRIOS NO TRANSPORTE FERROVIÁRIO BRASILEIRO: RESULTADOS E DESEMPENHO OPERACIONAL APONTAM NA DIREÇÃO DE UMA INFRAESTRUTURA SUSTENTÁVEL

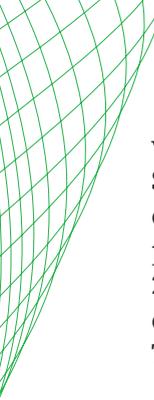
Luciano Bandeira Campos; Péricles Tadeu da Costa Bezerra

RESUMO

Uma infraestrutura de transportes eficiente é essencial ao desenvolvimento econômico e social do país. No Brasil, existe uma concentração do transporte de cargas no modo rodoviário, o que contribui para maior consumo energético e emissão de gases de efeito estufa (GEE). É diretriz do governo brasileiro aumentar a participação do setor ferroviário na matriz de transportes, levando-se em conta seus benefícios econômicos e ambientais. Nesse contexto, por meio de pesquisa bibliográfica, o presente estudo objetivou identificar as principais iniciativas regulatórias voltadas ao desenvolvimento do transporte ferroviário desde os anos 90, bem como os resultados alcançados pelo setor. Ficou evidenciado um processo de amadurecimento regulatório, desde a inclusão da antiga Rede Ferroviária Federal S.A. no Plano Nacional de Desestatização (Decreto nº 473/1992), passando pelo estabelecimento de diretrizes gerais para prorrogação e relicitação dos contratos de parceria (Lei nº 13.448/2017), compatibilização do transporte com a preservação do meio ambiente (Lei nº 10.233/2001), culminando com a chamada “Lei das Ferrovias” (Lei nº 14.273/2021), que dispõe sobre a organização, uso da infraestrutura e tipos de outorga para a exploração indireta das ferrovias. Apurou-se também o desempenho das operadoras ferroviárias no mesmo período, percebendo-se avanços significativos com incremento do investimento privado e redução dos índices de acidentes. Apesar da escassez de recursos públicos observada na última década, há boas perspectivas para o setor e a certeza de que o aumento da participação das ferrovias no transporte de cargas favorece a transição para uma matriz de transportes mais sustentável.

Palavras-chave: regulação; transporte ferroviário; infraestrutura sustentável.

Luciano Bandeira Campos, engenheiro mecânico pela UFMG, mestre em engenharia civil pela UFES com área de concentração em transportes, especialista em engenharia portuária pela UFRJ, pós-graduado em engenharia ferroviária pela PUC-MG. Trabalhou por 16 anos na iniciativa privada, atuando em operação ferro-



viária, estudos operacionais e planejamento de longo prazo de portos e ferrovias. Servidor público federal desde 2012, atuou como analista de infraestrutura em diversas áreas no setor de transportes (custos de infraestrutura de transportes, planejamento, concessões ferroviárias, controle interno), trabalhando a partir de 2019 com foco em atividades voltadas à gestão e análise de dados e informações de transportes. Atualmente em exercício na Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT).

Péricles Tadeu da Costa Bezerra, engenheiro civil pela Universidade de Pernambuco (1996). Especialista em altos estudos de defesa pela Escola Superior de Defesa (ESD) (2022). Especialista em gestão e controle ambiental (2000) pela Universidade de Pernambuco (UPE). Mestre (2009) e doutor (2013) em recursos naturais pela Universidade Federal de Campina Grande-UFCG. MBA em auditoria interna pela Coimbra Business School (2017). Servidor público federal, atuando como analista de infraestrutura na área transportes desde 2012. Professor do curso de engenharia civil no Centro de Educação Superior de Brasília (IESB) entre 2014 e 2019. Professor da Universidade Federal do Vale do São Francisco-Univasf no período de 2004 a 2012. Engenheiro chefe da Norconsult-Projetos e Consultoria Ltda entre 1997 e 2004. Tem experiência em engenharia civil, com ênfase em projetos/construção de rodovias e em engenharia de produção e administração, atuando em pesquisa operacional e gestão ambiental. Possui experiência também na gestão acadêmica e coordenação de cursos de ensino superior.

1 INTRODUÇÃO

A eficiência da infraestrutura de transportes é fundamental para o desenvolvimento econômico e social de um país, afetando diretamente a competitividade de sua economia (Nakamura, 2020, p. 68).

Tanto para a manutenção quanto para a expansão da rede de transportes, são necessários altos investimentos. Em janeiro de 2023, ao divulgar o Plano de 100 dias, o Ministério dos Transportes apresentou sua percepção dos desafios a serem enfrentados: “Recuperar rodovias, **ampliar transporte ferroviário** e salvar vidas” (Brasil, 2023c, grifo nosso). Na ocasião, foi demonstrada a redução gradual dos investimentos públicos em infraestrutura de transportes ocorrida nos últimos dez anos.

Diante das restrições de orçamento público, exige-se do gestor atuante no setor de transportes, grande habilidade na busca de soluções viáveis do ponto de vista técnico e legal, tanto para a captação de recursos, quanto para a preservação e desenvolvimento da infraestrutura de transportes.

Nesse contexto, houve um esforço governamental nos últimos anos para assegurar fontes de financiamento e aumentar a participação privada nos investimentos de infraestrutura de transportes juntamente com inovações regulatórias relacionadas às outorgas para exploração de infraestruturas de transporte, mediante concessões e autorizações (Brasil, 2022d, p. 3).

Nas últimas décadas, é possível verificar um conjunto de ações do governo brasileiro para aumentar a participação das ferrovias no transporte de cargas levando em consideração a elevada eficiência energética desse modo de transporte, com seus benefícios econômicos e ambientais associados, e assim, buscando diminuir a forte dependência do modo rodoviário.

Nesse sentido, o objetivo geral do presente estudo é apurar, por meio de pesquisa bibliográfica, as ações governamentais voltadas ao desenvolvimento do transporte ferroviário de cargas no Brasil nos últimos 30 anos e os resultados alcançados no setor. Como objetivos específicos, têm-se: (i) caracterização da vantagem competitiva do modo ferroviário do ponto de vista ambiental; (ii) levantamento das principais iniciativas de aspecto regulatório com impacto no setor; (iii) apuração de resultados práticos observados no período, mediante análise de indicadores operacionais; (iv) enumeração de projetos concluídos pelo governo nos últimos quatro anos, com impacto na malha de ferrovias.

Assim, na seção 2, é feita breve contextualização da atual infraestrutura para transporte ferroviário no Brasil, e o nível de representatividade das ferrovias no transporte de cargas nacional. Na seção 3, são apresentados indicadores que permitem comparar os modos de transporte sob a ótica ambiental. Na seção 4 são tratadas as iniciativas governamentais com vistas a ampliar o transporte ferroviário. A seção 5 apresenta o desempenho das ferrovias desde os anos 90 e os projetos concluídos de 2019 a 2022, além de perspectivas verificadas em função de recentes mudanças regulatórias. A conclusão do estudo é apresentada na seção 6.

2 REPRESENTATIVIDADE DA MALHA FERROVIÁRIA E DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGAS NO BRASIL

No Brasil, a Lei nº 12.379/2011 estabelece que o Sistema Nacional de Viação (SNV) é constituído pela infraestrutura física e operacional dos modos de transporte ferroviário, rodoviário, aquaviário e aeroviário. A parcela do SNV sob jurisdição federal corresponde ao Sistema Federal de Viação (SFV), o qual abrange as malhas viárias federais dos diversos modos de transporte (subsistemas federais de viação). As parcelas do SNV sob jurisdição de Estados, Municípios e Distrito Federal abrangem as malhas viárias desses respectivos entes subnacionais.

Segundo o artigo 4º da Lei nº 12.379/2011, são objetivos do SFV:

- I - assegurar a unidade nacional e a integração regional;*
- II - garantir a malha viária estratégica necessária à segurança do território nacional;*
- III - promover a integração física com os sistemas viários dos países limítrofes;*
- IV - atender aos grandes fluxos de mercadorias em regime de eficiência, por meio de corredores estratégicos de exportação e abastecimento; e*
- V - prover meios e facilidades para o transporte de passageiros e cargas, em âmbito interestadual e internacional.*

Conforme a referida Lei, a administração do SFV é de competência da União, a qual deverá se responsabilizar pelo seu planejamento, construção, manutenção, operação e exploração. Para exercer tais competências relativas ao SFV, a União poderá atuar diretamente, por meio dos órgãos e entidades da administração federal, ou poderá optar por mecanismos como: parceria público privada, concessão, autorização ou arrendamento (a empresa pública ou privada).

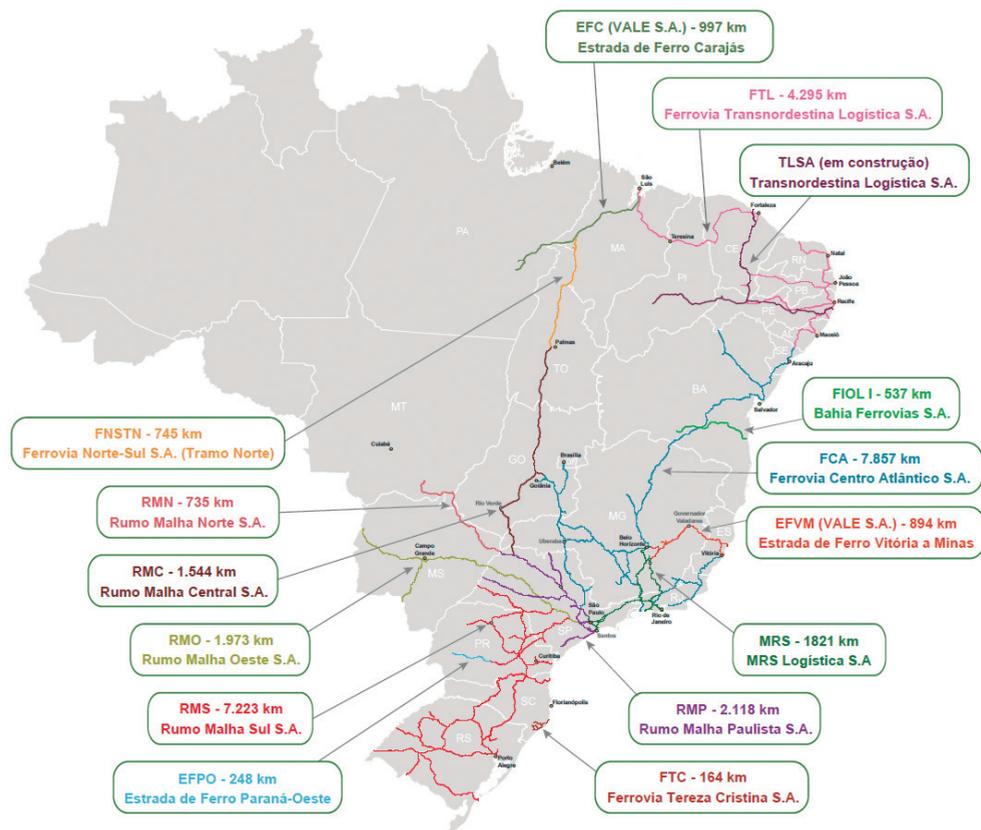
No âmbito do SFV, o subsistema rodoviário federal é o que possui a maior malha viária de transporte terrestre, com 65,8 mil km de extensão (Brasil, 2023a), considerando-se somente a parcela de rodovias federais pavimentadas. Desse total, cerca de 13 mil km são exploradas por meio de concessões (Brasil, 2023b). Na prática, o transporte rodoviário utiliza uma malha muito mais extensa, incluindo as rodovias estaduais e municipais, com grande capilaridade, conforme indicado no Plano Nacional de Logística 2035 (PNL), ao considerar uma malha de 331,8 mil km de rodovias em 2017 (Brasil, 2021).

No Brasil, o transporte ferroviário possui uma malha viária bem menos extensa que o modo rodoviário. Atualmente, o transporte de cargas por trilhos no país ocorre no âmbito de ferrovias concedidas (atualmente, no setor ferroviário brasileiro, a concessionária é responsável tanto pela infraestrutura ferroviária

quanto pela prestação do serviço de transporte). Ao fim de 2022, a malha de ferrovias concedidas somava pouco mais de 31 mil km, dividida entre 15 concessionárias, das quais 13 com operações de transporte em vigor (Figura 1).

Parte dessa malha concedida está subutilizada ou sem condições de operação. O modelo funcional de simulação integrada utilizado no PNL considerou que no ano 2017 o transporte ferroviário ocorria em aproximadamente 21 mil km (Brasil, 2021).

Figura 1 – Malha ferroviária concedida (situação em 2022).



Fonte: Agência Nacional de Transportes Terrestres (2023c); Brasil (2023b) (adaptado).

Conforme pode ser verificado na Tabela 1, se for considerada a proporção entre a extensão da malha ferroviária e sua cobertura territorial (km de vias / 1000 km²), constata-se uma baixa densidade da malha nacional, quando comparada com às dos países do BRICS, dentre outros.

Tabela 1 – Densidade das malhas ferroviárias em diferentes países.

| País | Malha ferroviária (mil km) | Área (milhões km ²) | Densidade da malha (km ferrovia/1.000 km ²) |
|---------------|-------------------------------|------------------------------------|--|
| EUA | 293,56 | 9,83 | 29,85 |
| Índia | 65,55 | 3,29 | 19,94 |
| África do Sul | 20,99 | 1,22 | 17,21 |
| China | 150,00 | 9,60 | 15,63 |
| México | 23,39 | 1,96 | 11,91 |
| Argentina | 17,87 | 2,78 | 6,43 |
| Rússia | 85,49 | 17,10 | 5,00 |
| Canadá | 49,42 | 9,98 | 4,95 |
| Austrália | 36,06 | 7,74 | 4,66 |
| Brasil | 31,15 | 8,52 | 3,66 |

Fontes: Malha brasileira: Agência Nacional de Transportes (2023c); demais países: Central Intelligence Agency (2023).

Com relação à representatividade do transporte ferroviário nacional, é apresentada a matriz de transportes ou divisão modal na Tabela 2, que indica a distribuição do transporte de cargas entre os diversos modos de transporte, quantificada em toneladas x km (TKU). A produção de transporte é obtida com a multiplicação das toneladas úteis de carga transportadas, pelas respectivas distâncias percorridas em território nacional, considerando a soma de todos os fluxos de carga. Nota-se o grande desequilíbrio da matriz, com alta concentração de transporte no modo rodoviário. Da análise da Tabela 2, constata-se que as ferrovias têm potencial para maior participação na divisão modal.

Tabela 2 – Matriz de transporte de cargas em 2017 (Cenário base do PNL).

| Modo de transporte | TKU (bilhões) | Divisão modal |
|--------------------|----------------|----------------|
| Rodoviário | 1.549,8 | 66,21% |
| Ferrovário | 414,1 | 17,69% |
| Cabotagem costeira | 215,5 | 9,21% |
| Hidroviário | 130,6 | 5,58% |
| Dutoviário | 29,6 | 1,26% |
| Aeroviário | 1,3 | 0,06% |
| Total geral | 2.341,0 | 100,00% |

Fonte: Plano Nacional de Logística 2035 (Brasil, 2021, p. 75).

Diferentemente do transporte rodoviário, o transporte ferroviário atualmente é feito pelas próprias concessionárias e subconcessionárias que exploram a infraestrutura. A obrigatoriedade da prestação de informações ao órgão regulador (Agência Nacional de Transportes Terrestres [ANTT]) facilita o acesso

a dados estatísticos de transporte (Brasil, 2007). Na Tabela 3, apresenta-se a produção total de 371,1 bilhões de TKU no ano de 2022 e sua distribuição entre as concessionárias e subconcessionárias:

Tabela 3 – Concessionárias de ferrovias e produção de transporte em 2022.

| Concessionárias | Malha ferroviária atual | | Transporte em 2022 | |
|-----------------|-------------------------|-------------|--------------------|-------------|
| | [km] | % | [milhões TKU] | % |
| EFC | 997 | 3,2% | 157.201 | 42,37% |
| MRS | 1.821 | 5,8% | 58.214 | 15,69% |
| EFVM | 894 | 2,9% | 46.770 | 12,60% |
| RMN | 735 | 2,4% | 43.976 | 11,85% |
| FCA | 7.857 | 25,2% | 21.157 | 5,70% |
| RMS | 7.223 | 23,2% | 13.096 | 3,53% |
| FNSTN | 745 | 2,4% | 12.696 | 3,42% |
| RMC | 1.544 | 5,0% | 9.019 | 2,43% |
| RMP | 2.118 | 6,8% | 7.834 | 2,11% |
| FTL | 4.295 | 13,8% | 606 | 0,16% |
| FTC | 164 | 0,5% | 267 | 0,07% |
| RMO | 1.973 | 6,3% | 184 | 0,05% |
| EFPO | 248 | 0,8% | 43 | 0,01% |
| FIOL I | 537 | 1,7% | 0 | 0,00% |
| TLSA | em construção | – | 0 | 0,00% |
| Total | 31.152 | 100% | 371.063 | 100% |

Fonte: Anuário do Setor Ferroviário (Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2023a) e Lista de Concessões Ferroviárias (Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2023c).

Nota: a produção de transporte (TKU) indicada para cada concessionária abrange o transporte nela originado (de carga própria ou de terceiros) até o destino final, incluindo o percurso em outras ferrovias.

O modo ferroviário, apesar de mais competitivo que o modo rodoviário no caso do transporte de grandes volumes de carga por longas distâncias, requer altos investimentos em infraestrutura e frota de material rodante. Outra característica marcante do transporte ferroviário é o menor índice de acidentes em relação ao modo rodoviário (CNT, 2013, p. 15).

Do ponto de vista da regularidade ambiental, a implantação ou ampliação de capacidade de ferrovias são atividades sujeitas ao licenciamento ambiental, nos termos do art. 7º, inciso XIV, Lei Complementar nº 140/11 e, conforme o art. 2º da Resolução CONAMA nº 01/86, necessitam de Estudo de Impacto Ambiental para seu pleno funcionamento. Tais normativos, aliados a outros regramentos, buscam atender ao objetivo do Art. 225 da Constituição Federal que trata sobre as questões do meio ambiente.

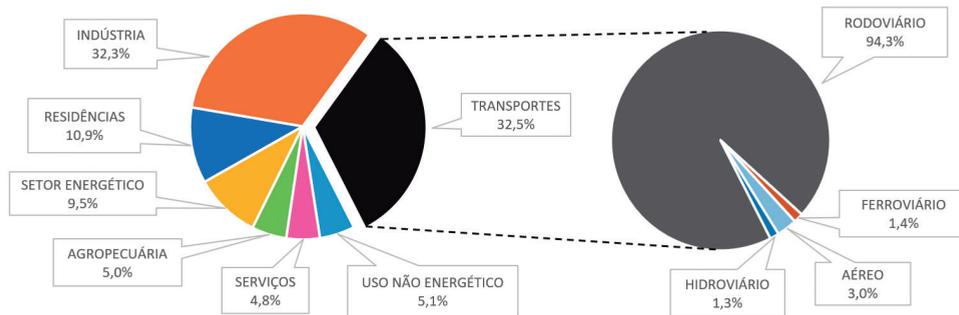
No planejamento do setor de transportes, a Política Nacional de Transportes (PNT) (Brasil, 2018) é o documento de mais alto nível no país, que orienta o desenvolvimento de planos estratégicos (como o PNL), planos táticos e programas setoriais para a rede de transportes sob responsabilidade da União.

Dentre os objetivos da Política Nacional de Transportes, destaca-se o de “Prover uma matriz viária racional e eficiente” (Brasil, 2018, p. 44). Tal orientação, segundo o PNL, traduz-se na busca de modos de transporte de grande capacidade, dentre os quais, o modo ferroviário (Brasil, 2021, p. 106). Nesse sentido, espera-se que a entrada em operação dos diversos projetos ferroviários da carteira de empreendimentos do governo possa ampliar a participação das ferrovias na matriz de transportes.

3 CONSUMO ENERGÉTICO E EMISSÃO DE GEE NOS MODOS DE TRANSPORTE

A predominância do transporte rodoviário no Brasil se reflete no consumo energético do país. Como mostrado na Figura 2, em 2021 o setor de transportes respondeu por 32,5% do consumo, ao passo que a quase totalidade do consumo energético no setor (94,3%) deveu-se ao modo rodoviário.

Figura 2 — Consumo Setorial de Energia no Brasil em 2021.

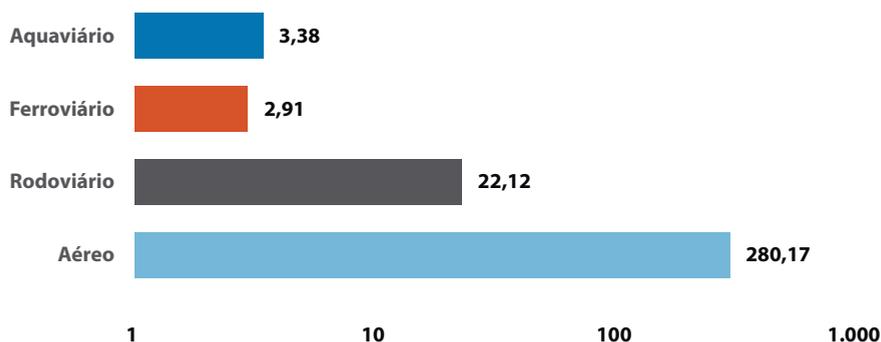


Fonte: Elaborado pelos autores a partir do Balanço Energético Nacional (Brasil, 2022b; 2022c, p. 23).

Em termos de emissões de GEE, o setor de transportes respondeu por 44,4% do total de 445,4 milhões de toneladas de emissões antrópicas de CO₂ equivalente em 2021 (Brasil, 2022c, p. 45).

No tocante a eficiência energética, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) produz indicadores, como a “intensidade energética por modo” no transporte de cargas, que mede a energia necessária (em toneladas equivalentes de petróleo) para cada milhão de tonelada.km transportada. Nesse diapasão, as eficiências energéticas por modo de transporte no Brasil em 2021 estão apresentadas a seguir:

Figura 3 – Intensidade energética por modo no transporte de cargas no Brasil em 2021 [tep/(10⁶ t.km)].



Fonte: Elaborado pelos autores a partir do Atlas da Eficiência Energética, disponível em planilha (Brasil, 2022a).

Na Figura 3, fica evidenciada a elevada eficiência energética do modo ferroviário, que exige menos de 1/7 da energia necessária para transporte da mesma quantidade de carga por igual distância em rodovias.

Estudo comparativo entre diferentes modos no transporte doméstico de cargas norte americano (Kruse *et al.*, 2021) avaliou aspectos como congestionamento, segurança, eficiência energética, emissões de GEE, entre outros. Foram avaliados os transportes rodoviário, ferroviário e navegação interior.

Considerando as premissas e a realidade norte-americana, a eficiência energética do transporte ferroviário (medida em toneladas.milha/galão de combustível) foi cerca de três vezes superior à do transporte rodoviário em 2019. Por sua vez, a emissão de GEE do transporte ferroviário (medida em toneladas de GEE para cada milhão de toneladas.milha transportada) foi menos do que 1/6 da emissão verificada no transporte rodoviário (Tabela 4):

Tabela 4 – Eficiência energética e emissão de GEE (transporte doméstico de cargas nos EUA, 2019).

| Modo de transporte | Eficiência Energética [tonelada.milha/galão] | Emissão de GEE [toneladas de GEE/(10 ⁶ tonelada.milha)] |
|------------------------|--|--|
| Navegação interior | 675 | 15,1 |
| Ferrovário | 472 | 21,6 |
| Rodoviário (caminhões) | 151 | 140,7 |

Fonte: Kruse *et al.* (2021).

Com base no exposto, ainda que ressalvadas as particularidades de cada país, foi evidenciada a elevada eficiência energética do transporte ferroviário. A baixa emissão de gases de efeito estufa (GEE) frente ao transporte rodoviário

é outro aspecto que consolida a vantagem das ferrovias sob o ponto de vista ambiental, em favor da sustentabilidade.

4 AÇÕES REGULATÓRIAS RELEVANTES PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR FERROVIÁRIO NO BRASIL

No início dos anos 90, o sistema ferroviário no Brasil era operado pelo Estado e se encontrava em situação deficitária. A inclusão da antiga Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA) no Plano Nacional de Desestatização por meio do Decreto nº 473/1992 e a edição da lei geral das concessões e permissões de serviços públicos - Lei nº 8.987/1995 foram marcos importantes para embasar a transferência de 25,9 mil km de vias férreas da RFFSA para a iniciativa privada entre 1996 e 1999. Nessa época o sistema foi dividido em sete malhas ferroviárias, mediante concessões, para a exploração e desenvolvimento do serviço público de transporte ferroviário de carga por 30 anos.

Além das malhas da RFFSA, destacam-se outros dois grupos de ferrovias:

- as concessões da Estrada de Ferro Carajás (EFC) e da Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM) para a então Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) em 1997, ano de sua privatização; e
- as ferrovias planejadas (CNT, 2015, p. 19): que ainda antes do processo de desestatização nos anos 90 haviam sido concedidas para construção, operação, exploração e conservação. Atualmente, tais ferrovias já foram construídas (como concessão ou subconcessão), algumas com projetos de expansão.

Dentre as ferrovias planejadas, incluem-se: a Ferroeste, (EFPO), concedida ao Estado do Paraná por meio do Decreto nº 96.913/1988; a então Ferronorte S.A. (atualmente operada pela RMN), concedida por meio do Decreto nº 97.739/1989; a Ferrovia Norte-Sul (FNS), concedida à então Engenharia e Construções Ltda (VALEC). por meio do Decreto nº 94.813/1987 e hoje operada mediante duas subconcessões (FNSTN e RMC), conforme Figura 1.

A transferência do transporte ferroviário para a iniciativa privada desonerou o Estado, mas seu desenvolvimento dependeria do cumprimento das obrigações contratuais pelas concessionárias e de regulamentação complementar. Dentre as obrigações das concessionárias, havia metas para aumento de produção e redução de acidentes, além da garantia de tráfego mútuo ou direito de passagem com outras concessionárias, de modo a viabilizar o transporte de carga entre as diferentes malhas concedidas.

Nesse contexto, a edição do Regulamento de Transporte Ferroviário por meio do Decreto nº 1.832/1996 regulamentou aspectos não inteiramente tratados nos contratos de concessão, envolvendo as relações entre Administração Pública, concessionárias e os usuários dos serviços ferroviários, incluindo questões tarifárias, operacionais e de segurança.

Outro marco relevante foi a edição da Lei nº 10.233/2001, que criou a Agência Nacional de Transportes Terrestres, órgão regulador com atribuição de supervisionar a prestação de serviços de exploração da infraestrutura de transportes exercidas por terceiros, com vistas a assegurar a movimentação de pessoas e bens com padrões de qualidade e em benefício do interesse público.

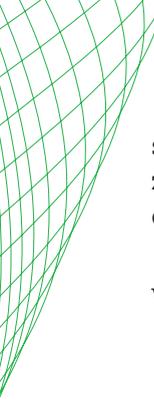
O normativo conferiu independência administrativa, além de autonomia financeira e funcional para a ANTT. Segundo Nakamura (2020, p. 128), a autonomia funcional garante que a autarquia possa exercer suas atribuições de forma independente, com decisões baseadas em aspectos técnicos, sem interferências políticas. Buscou-se, assim, maior segurança jurídica para investidores, concessionárias, permissionários, e autorizatários, prevenindo eventuais prejuízos decorrentes de ingerências políticas.

Houve, portanto, avanço significativo na regulação dos transportes. Segundo Mélo Filho (2020, p. 156), com o advento da Lei nº 10.233/2001, criou-se um ambiente mais favorável à regulação responsiva, caracterizada pela busca do diálogo entre regulador e regulado, com vistas à criação de regras que incentivem o regulado a cumpri-las voluntariamente. Inovações regulatórias positivas do ponto de vista da responsividade também foram percebidas em novas regulamentações subsequentes, como a Lei nº 13.848/2019, que trata da gestão, organização, controle social e processo decisório das agências reguladoras, aprimorando a Lei nº 10.233/2001.

No aspecto ambiental, a Lei nº 10.233/2001 estabeleceu dentre os princípios gerais para gerenciamento da infraestrutura e da operação do transporte, a compatibilização do transporte com a “preservação do meio ambiente, reduzindo os níveis de poluição sonora e de contaminação atmosférica, do solo e dos recursos hídricos” (art. 11, V), bem como a promoção da conservação de energia “por meio da redução do consumo de combustíveis automotivos” (art. 11, VI). Dentre as diretrizes gerais para gerenciamento e operação (art. 12, V), consta “promover a adoção de práticas adequadas de conservação e uso racional dos combustíveis e de preservação do meio ambiente”.

Em 2016, no intuito de fortalecer e ampliar a interação entre o Estado e a iniciativa privada, foi instituído o Programa de Parcerias de Investimento (PPI) com o advento da Lei nº 13.334/2016, por meio da celebração de contratos de parceria para a execução de empreendimentos públicos de infraestrutura (não necessariamente limitados ao setor de transportes) e de outras medidas de desestatização. Projetos qualificados para integrar a carteira de projetos do PPI são tratados com prioridade pelo governo, por serem considerados de interesse estratégico. Para tal qualificação, os projetos necessitam estar bem estruturados e cumprir requisitos que assegurem a qualidade e consistência técnica das propostas. Nesse sentido, diversos projetos ferroviários foram qualificados para o PPI e concluídos nos últimos anos.

Novo avanço regulatório ocorreu com o advento da Lei nº 13.448/2017, estabelecendo diretrizes gerais para prorrogação e relicitação dos contratos de parceria de empreendimentos previamente qualificados para integrar o PPI, nos



setores rodoviário, ferroviário e aeroviário. O normativo contribuiu para viabilizar novos investimentos privados no curto prazo, com vistas ao desenvolvimento econômico do país.

Foram definidos dois tipos de prorrogação (aplicáveis aos setores rodoviário e ferroviário), ambas sujeitas a novas condições contratuais:

- prorrogação contratual: por meio da qual ocorre mudança no prazo de vigência do contrato em vigor, em razão do término da sua vigência; e
- prorrogação antecipada: por meio da qual o prazo contratual é prorrogado antecipadamente mediante termo aditivo, produzindo efeitos antes do término do prazo original, com a inclusão de novos investimentos relevantes não previstos inicialmente (nesse caso, tais investimentos passam a ser atraentes ao concessionário, uma vez que haverá tempo suficiente para sua amortização, com a prorrogação da vigência da concessão).

A prorrogação antecipada requer estudo técnico que fundamente a vantagem de sua escolha, ao invés de realizar nova licitação. Segundo Pereira (2021), é essencial que tal vantagem esteja caracterizada no estudo técnico (recomenda-se que o empreendimento esteja alinhado ao interesse público, traga soluções para problemas urgentes e relevantes, e contribua para a reparação de problemas históricos no setor ferroviário brasileiro), para aumentar as chances de aprovação do projeto junto aos órgãos de controle.

Cabe ainda destacar um dispositivo relevante para o interesse público, previsto no artigo 25, § 1º da Lei nº 13.448/2017, conhecido como investimento cruzado, que pode ser aplicado no contexto da prorrogação antecipada. Nesse caso, como parte das condicionantes para a prorrogação antecipada, o governo poderá incluir como obrigação da concessionária a execução de investimentos em outras malhas ferroviárias que não sejam da própria concessão, mas que são de interesse da Administração Pública, contribuindo para a expansão da malha ferroviária nacional.

A Lei nº 13.448/2017 trata também da relicitação, quando o concessionário não atende às obrigações contratuais ou financeiras e o contrato de parceria é extinto amigavelmente, abrindo condições para novo processo licitatório com novas condições contratuais. A relicitação deverá estar amparada por estudos técnicos que comprovem sua viabilidade econômico-financeira e operacional.

Destacam-se mecanismos fundamentais na gestão pública, tais como a participação da sociedade e a atuação dos órgãos de controle, previstos de forma explícita nos artigos 10, 11, 18 e 19 da Lei nº 13.448/2017: o órgão ou entidade competente da administração pública deverá submeter à consulta pública os estudos e justificativas para as prorrogações e relicitações pretendidas. Ao fim das consultas públicas, os estudos deverão ser encaminhados ao Tribunal de Contas da União.



Mais recentemente, destaca-se o novo marco regulatório do transporte ferroviário, iniciado com a Medida Provisória nº 1.065/2021, sucedida pela Lei nº 14.273/2021, conhecida como “Lei das Ferrovias”. A Lei dispõe sobre a organização do transporte ferroviário, o uso da infraestrutura ferroviária e os tipos de outorga para a exploração indireta das ferrovias em território nacional (a exploração direta pelo Estado, quando ocorrer, será feita por entidades estatais especializadas). A questão ambiental também constitui um aspecto importante da Lei das Ferrovias, a qual estabeleceu a preservação do meio ambiente como um dos seus princípios norteadores (Art. 4º, II).

Regulamentada via Decreto nº 11.245/2022, a legislação estabelece dois tipos de outorga para exploração indireta das ferrovias: em regime público, mediante concessão (já conhecida), ou em regime privado, mediante autorização (nova forma de exploração do transporte ferroviário no Brasil desde as concessões dos anos 90). Para a outorga por autorização, foram estabelecidas condições à sua implementação, buscando atrair a participação da iniciativa privada e investimentos para o setor.

Pelo novo marco regulatório, novos empreendimentos ferroviários poderão ter implementação autorizada por contratos de adesão firmados entre a ANTT e a pessoa jurídica interessada, com prazo determinado. Tais contratos serão formalizados por requerimento do interessado ou por chamamento público. Para ser autorizado, o empreendimento precisa ser compatível com a política nacional de transporte ferroviário (avaliação pelo Ministério dos Transportes) e possuir viabilidade locacional com as ferrovias já implantadas ou outorgadas, sem impedimento técnico operacional relevante (avaliação pela ANTT).

Na outorga por autorização, ao contrário da outorga por concessão, os bens constituintes da ferrovia não serão revertidos ao poder público ao fim da vigência do contrato (Lei das Ferrovias, artigo 22). Outro diferencial da exploração de ferrovias em regime privado em relação ao transporte via concessão (o qual está sujeito a um teto tarifário) é a garantia da liberdade de preços (Lei das Ferrovias, artigo 4º, parágrafo único). No entanto, apesar da liberdade de preços, práticas anticompetitivas e abuso do poder econômico estão sujeitos à atuação dos órgãos de defesa da concorrência e do regulador ferroviário (Santos; Pereira, 2022).

Em termos regulatórios, grande inovação na forma de gestão das ferrovias sob regime privado foi a criação do instituto da autorregulação ferroviária (Santos; Pereira, 2022). Segundo Ferrari (2018, p. 218) o termo autorregulação refere-se a “qualquer arranjo regulatório que fuja de uma regulação exclusivamente governamental”.

A Lei das Ferrovias estabelece que as operadoras ferroviárias no regime de direito privado poderão se associar voluntariamente para promover a autorregulação (artigo 43 da Lei). Entretanto, ressalta-se que essa regulação está sujeita a parâmetros pré-definidos, impedimentos, fiscalização e supervisão pelo poder público. Ainda assim, é considerada “uma forma de incentivo à autogestão privada, alinhada aos interesses públicos pré-estabelecidos [...]” (Santos; Pereira, 2022, p. 9).



Outro aspecto fundamental previsto pela Lei das Ferrovias foram regras referentes ao compartilhamento da infraestrutura ferroviária entre as operadoras, incentivando a integração e o transporte entre malhas.

Com relação aos aspectos ambientais, cumpre mencionar a publicação da Portaria nº 1.324, de 24 de setembro de 2022, que instituiu o Programa Frota Ferroviária Verde no âmbito do então Ministério da Infraestrutura com intuito de promover o incremento da sustentabilidade do material rodante no âmbito das concessões e autorizações ferroviárias federais.

Ainda em 2022, destaca-se a publicação pelo então Ministério da Infraestrutura, da Agenda de Sustentabilidade para o período 2023 a 2026, instituída pela Portaria 1.441 de 24 de outubro de 2022. A Agenda tem por objetivo a execução integrada de ações entre as unidades do Ministério e suas entidades vinculadas para o período em questão, operacionalizando as Diretrizes de Sustentabilidade da pasta (estabelecidas pela Portaria nº 5, de 31 de janeiro de 2020).

Em linha com as Diretrizes de Sustentabilidade do Ministério, a ANTT instituiu o Índice de Desempenho Ambiental (IDA) e sua metodologia de cálculo (Portaria nº 10 de 12 de janeiro de 2021), para avaliar e estimular boas práticas socioambientais no âmbito das concessões de ferrovias federais. Importante destacar que a participação das ferrovias no processo avaliação do IDA ocorre por adesão voluntária. O cálculo do indicador é feito anualmente e leva em consideração oito aspectos ou dimensões: governança; cultura e comunidades; emissões; eficiência energética; águas e efluentes; resíduos sólidos; passivos e acidentes ambientais; biodiversidade.

Pelo exposto, foi possível exemplificar iniciativas relevantes do ponto de vista regulatório nas últimas três décadas que buscaram contribuir para o crescimento do transporte ferroviário no país, aliadas a preocupações com a sustentabilidade.

De fato, alguns normativos não se restringem apenas ao modo ferroviário, a exemplo da Lei nº 13.334/2016, que buscou incentivar a participação da iniciativa privada e instituiu o Programa de Parcerias de Investimento), mas certamente o modo ferroviário também foi incentivado por meio de tais regramentos.

5 RESULTADOS ALCANÇADOS NO SETOR

A seguir, apresentam-se resultados observados considerando duas vertentes: (i) aspectos operacionais e (ii) eventos decorrentes das iniciativas regulatórias.

5.1 RESULTADOS OPERACIONAIS

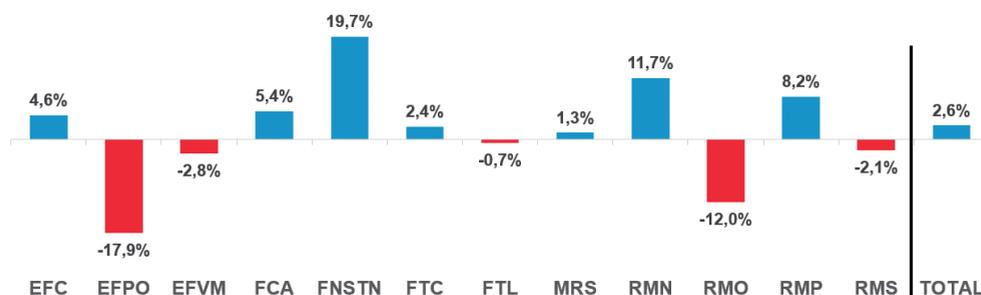
O transporte ferroviário teve um crescimento mais acentuado nos primeiros 15 anos após as concessões realizadas a partir de 1996, diminuindo o ritmo de crescimento nos anos seguintes.

Segundo Pinheiro (2014, p. 210), “As metas estabelecidas na privatização foram amplamente superadas. De 1997 a 2012, a produção das ferrovias, medida em ton.km, expandiu em média 5,3% ao ano, bem acima do PIB”.

Para informações mais recentes, o presente estudo considerou como referência o Anuário do Setor Ferroviário (Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2023a), no qual são publicadas informações do Sistema de Acompanhamento e Fiscalização do Transporte Ferroviário (SAFF) utilizado pela ANTT, contendo informações e séries históricas de vários indicadores de transporte das concessionárias a partir do ano 2006. Embora o site da agência reguladora disponibilize relatórios anuais de acompanhamento das concessões anteriores a 2006 optou-se pela adoção das séries históricas citadas, visando maior uniformidade nos critérios de apuração dos indicadores.

No período de 2006 a 2022, a produção de transporte das concessionárias medido em ton.km (TKU) apresentou crescimento médio anual de 2,6% (Figura 4):

Figura 4 — Variação média anual do transporte ferroviário (TKU) de 2006 a 2022*.



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do Anuário do Setor Ferroviário (Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2023a).

* Obs.: FNSTN a partir de 2008. Desconsiderada a RMC (tendo em vista dados históricos limitados).

No caso da produção de transporte, é desejável uma variação média anual positiva (azul), indicando crescimento do transporte, comparados os valores iniciais e finais da série histórica (2006 a 2022).

Foi desconsiderado o transporte da Rumo Malha Central S.A. (RMC) por ser um caso à parte: o leilão da sua subconcessão ocorreu somente em 2019, com dados de TKU disponíveis a partir de 2021. Nessa fase inicial, a RMC apresentou crescimento de 150% no TKU de 2021 a 2022.

Quanto aos principais valores negativos apresentados na Figura 4, a concessionária RMO vem apresentando baixo desempenho, de maneira que a relicitação da concessão é projeto qualificado no PPI, conforme Decreto nº 10.633/2021, com leilão previsto para o segundo trimestre de 2024 (Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2023d). A EFPO, por sua vez, é uma ferrovia concedida ao Estado do Paraná e há estudos para sua subconcessão à iniciativa

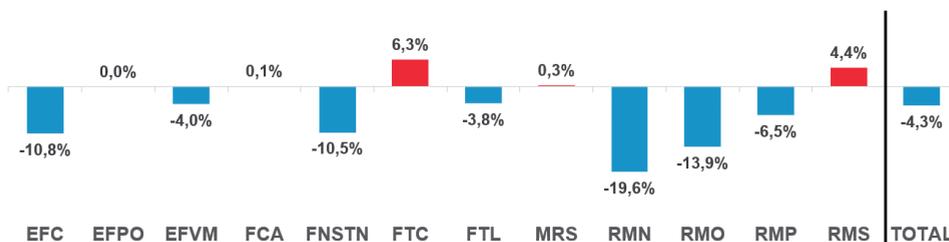
privada. O apoio ao seu processo de desestatização está qualificado como projeto do PPI, conforme Decreto nº 10.487/2020.

Os destaques positivos foram a FNSTN, RMP e a RMN. Consultas ao SAFF indicam que, na FNSTN, o crescimento ocorreu principalmente nos fluxos de grãos e celulose no sentido exportação via Ponta da Madeira (MA), passando pela EFC. Na RMN, houve crescimento no transporte de álcool com destino à Malha Paulista, além da expansão nos fluxos de celulose, contêineres e produção agrícola no sentido exportação, passando pela RMP. Por sua vez, na RMP houve expansão nos fluxos de adubos e fertilizantes no sentido importação, óleo diesel originário da REPLAN destinado ao interior paulista e Mato Grosso do Sul, e açúcar destinado a Santos.

Com relação a indicadores de segurança, considerando o conjunto das concessões de ferrovias no mesmo horizonte de tempo (2006 a 2022), houve redução média anual de 4,3% no índice de acidentes ferroviários. O índice de acidentes é apurado dividindo-se a quantidade de acidentes ocorridos em determinado período, pela respectiva movimentação de trens (total de acidentes / milhões de trem.km). O número de acidentes e a movimentação de trens por concessão foram obtidos respectivamente pelas tabelas 1.2.1 e 1.3.1.3 do Anuário do Setor Ferroviário (Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2023a). Na Figura 5, apresenta-se a variação média anual do índice de acidentes nas concessões ferroviárias desde o início da série histórica disponível no SAFF até 2022.

A variação média do índice de acidentes no conjunto das concessões (-4,3%) foi apurada a partir da soma dos acidentes em todas as concessões (exceto RMC), dividida pela somatória de trem.km das ferrovias (1.638 acidentes / 70,4 milhões trem.km no ano 2006, frente a 780 acidentes / 67,5 milhões trem.km no ano 2022).

Figura 5 – Variação média anual do índice de acidentes nas concessões ferroviárias de 2006 a 2022*.



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do Anuário do Setor Ferroviário (Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2023a).

* Obs.: FNSTN a partir de 2008. Desconsiderada a RMC (tendo em vista dados históricos limitados).

Para o índice de acidentes, é desejável variação média anual negativa (azul), indicando redução do índice de acidentes (mais segurança), comparados os valores iniciais e finais da série histórica (2006 a 2022).

Existem registros de acidentes na Rumo Malha Central S.A. apenas em 2015 (etapa inicial) e em 2022. Tal como na avaliação da produção de transporte, a RMC

foi desconsiderada, visando uniformidade de critérios. Das 12 ferrovias consideradas, sete apresentaram redução nas taxas de acidentes, três permaneceram estáveis (EFPO, FCA, MRS) e duas se destacaram com aumento nas taxas (FTC e RMS).

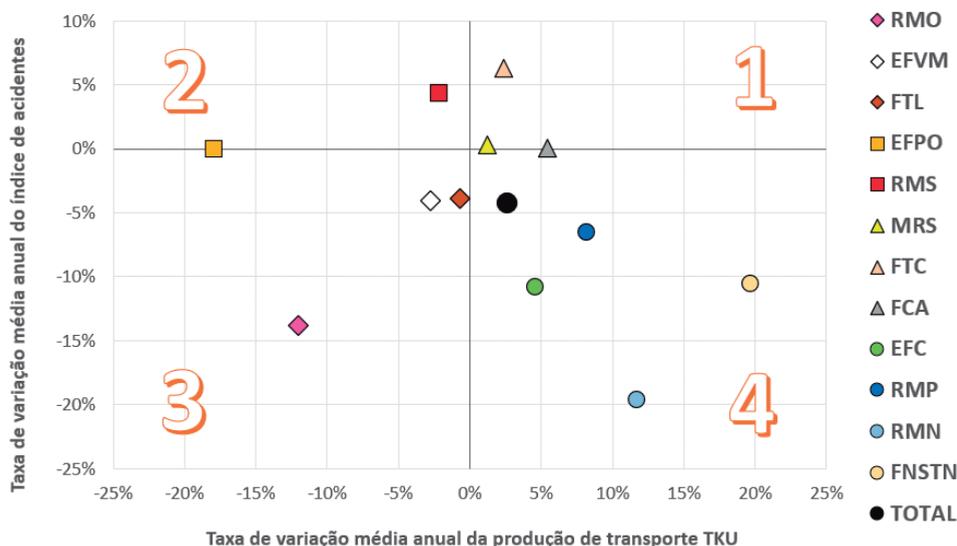
Cabe notar que se trata de um indicador relativo, relacionado à movimentação de trens. Assim, havendo aumento no transporte sob as mesmas condições de operação, é de se esperar que o índice se mantenha estável, com aumento no número absoluto de acidentes, proporcionalmente ao aumento do tráfego.

Analisando-se simultaneamente a Figura 4 e a Figura 5, percebe-se uma evolução favorável do transporte como um todo desde 2006, na medida em que houve aumento na produção do transporte (crescimento médio de 2,6% ao ano) combinado com uma redução ainda maior no índice de acidentes (redução média de 4,3% ao ano).

A evolução do transporte e dos acidentes nos últimos 17 anos está retratada para as 12 concessões e para todo o conjunto de ferrovias na Figura 6 (desconsiderada RMC). Tendo em vista diferentes volumes de transporte entre as ferrovias, a variação percentual dos indicadores permite comparar as concessionárias, ao mesmo tempo em que as ferrovias de maior representatividade (EFC, MRS e EFVM, por exemplo) têm maior contribuição para a variação total da produção e dos acidentes

Observando-se a Figura 6, percebe-se que as concessões posicionadas no quadrante 4 (EFC, RMP, RMN e FNSTN) apresentaram evolução mais favorável que as demais, com aumento no transporte e redução no índice de acidentes (nesse caso, destacam-se a EFC e a RMN, nas quais o ritmo de redução no índice de acidentes foi ainda mais acentuado que o ritmo de crescimento do transporte).

Figura 6 — Variação anual do transporte e do índice de acidentes (concessões ferroviárias, 2006 a 2022).



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do Anuário do Setor Ferroviário (Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2023a).

No quadrante 1, a FTC apresentou crescimento no transporte; entretanto, houve crescimento ainda maior no índice de acidentes. No quadrante 3 (RMO, EFVM e FTL), destaca-se a FTL, onde a redução no índice de acidentes foi proporcionalmente maior que a redução no transporte. O quadrante 2 representa a evolução mais desfavorável, destacando-se a RMS, com queda no transporte acompanhada de crescimento ainda mais acentuado no índice de acidentes. As concessionárias MRS, FCA e EFPO mantiveram-se estáveis com relação ao índice de acidentes, independentemente de variação no transporte de carga.

Por fim, o índice de acidentes no conjunto das concessões apurado anualmente é indicado na Figura 7:

Figura 7 — Evolução do índice de acidentes no conjunto das concessões.



Fonte: Elaborado pelos autores a partir das tabelas 1.2.1 e 1.3.1.3 do Anuário do Setor Ferroviário (Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2023a).

5.2 EVENTOS DECORRENTES DAS INICIATIVAS REGULATÓRIAS

Como pode ser verificado no Quadro 1, no período de 2019 a 2022 foram concluídos importantes projetos ferroviários no âmbito do PPI, envolvendo subconcessões, investimentos cruzados e prorrogações antecipadas de concessões. Diversos investimentos oriundos da iniciativa privada foram contratados e irão contribuir para ampliar a capacidade de tráfego, expandir a malha de ferrovias e solucionar conflitos urbanos relacionados ao tráfego e segurança do transporte ferroviário, favorecendo o maior equilíbrio da matriz de transportes.

Quadro 1 — Projetos ferroviários do PPI concluídos de 2019 a 2022.

| Ferrovia | Resultado | Ano | Investimentos projetados |
|----------|--|------|--------------------------|
| RMC | Subconcessão de trecho de 1537 km da FNS para a RMC por 30 anos a partir de 31/07/2019 | 2019 | R\$ 2,7 bilhões |
| EFC | Prorrogação antecipada da concessão por mais 30 anos a partir de 01/07/2027 | 2020 | R\$ 8,2 bilhões |
| EFVM | | 2020 | R\$ 8,8 bilhões |

| Ferrovias | Resultado | Ano | Investimentos projetados |
|-----------|---|------|--------------------------|
| FICO | Recursos privados de investimento cruzado (outorga da EFVM) para construir 383 km da FICO | 2020 | R\$ 2,7 bilhões |
| RMP | Prorrogação antecipada da concessão por mais de 30 anos a partir de 01/01/2029 | 2020 | R\$ 5,8 bilhões |
| FIOLI | Subconcessão de 537 km para a Bahia Ferrovias S.A. por 35 anos a partir de 03/09/2021 | 2021 | R\$ 3,3 bilhões |
| MRS | Prorrogação antecipada da concessão por mais 30 anos a partir de 2026 | 2022 | R\$ 10,2 bilhões |

Fonte: Programa de Parcerias de Investimentos (Brasil, [2023d]); ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2023c).

Com relação às perspectivas para expansão da malha de ferrovias mediante autorizações ferroviárias, até o fim de 2022 o *site* da ANTT registrava 32 contratos de adesão, totalizando cerca de 11 mil km de extensão. Embora não haja garantias de que todas essas ferrovias autorizadas serão concretizadas de fato, são um forte indicador de interesse da iniciativa privada, o que por si só é bastante positivo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista a diretriz governamental para aumentar a participação das ferrovias na divisão modal do transporte de cargas e diante da escassez de recursos públicos para o transporte ferroviário, foram apresentadas diversas iniciativas regulatórias nos últimos 30 anos que contribuiriam para o setor.

Os resultados apresentados permitiram quantificar por meio de indicadores operacionais a situação das diversas concessionárias e sua evolução ao longo dos últimos anos. Constatou-se que o setor ferroviário como um todo apresentou evolução favorável nos indicadores de transporte e segurança. No conjunto das concessões analisadas, o transporte de cargas desde 2006 apresentou taxa média de crescimento de 2,6% ao ano, combinado com uma redução ainda maior no índice de acidentes (queda de 4,3% ao ano).

Quanto à segurança, a simples identificação de concessionárias que se destacaram negativamente sugere maior atenção por parte do órgão regulador, independentemente das metas contratuais. Quanto ao transporte de cargas, embora algumas concessões tenham reduzido a produção de transporte de 2006 a 2022, existem projetos em andamento para reverter a situação, como foi demonstrado (RMO e EFPO).

No aspecto ambiental, a vantagem do modo ferroviário foi demonstrada por meio de indicadores comparando diferentes modos de transporte do ponto de vista da eficiência energética e da emissão de GEE, evidenciando que o aumento da participação das ferrovias no transporte de cargas favorece a transição para uma matriz de transportes mais sustentável.



Houve também diversos avanços regulatórios, destacando-se a viabilização das prorrogações antecipadas e a previsão de regras para uso compartilhado da malha de diferentes operadoras. Também foi demonstrado o interesse da iniciativa privada em diversos projetos e nas autorizações propiciadas pela Lei das Ferrovias, aumentando o potencial de expansão da malha ferroviária. A avaliação de indicadores ambientais, tais como o Índice de Desempenho Ambiental (IDA), a identificação de melhores práticas de sustentabilidade e a mensuração de ganhos decorrentes do Programa Frota Ferroviária Verde são temas que requerem aprofundamento em estudos futuros.

Do exposto, conclui-se que o setor ferroviário no brasileiro passa por um processo de amadurecimento regulatório e operacional, abrindo perspectivas positivas para ampliar significativamente a participação das ferrovias na matriz de transportes, caracterizando uma política pública em favor da sustentabilidade, buscando eficiência econômica e ambiental.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Anuário do setor ferroviário:** tabelas Excel. Brasília, DF: ANTT, 2023a. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias/anuario-do-setor-ferroviario>. Acesso em: 31 maio 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Concessionárias.** Brasília, DF: ANTT, 2023b. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/rodovias/concessionarias>. Acesso em: 31 maio 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Concessões ferroviárias:** lista de concessões. Brasília, DF: ANTT, 2023c. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias/concessoes-ferroviarias>. Acesso em: 31 maio 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Resolução nº 2.502, de 19 de dezembro de 2007.** Dispõe sobre o SAFF - Sistema de Acompanhamento e Fiscalização do Transporte Ferroviário, o CAFEN - Cadastro Ferroviário Nacional, o RIF - Registro de Informações de Fiscalização e o SIADE Sistema de Acompanhamento do Desempenho das Concessionárias de Serviços Públicos de Transportes Ferroviários, e dá outras providências. Brasília, DF: ANTT, 2007. Disponível em: https://anttlegis.antt.gov.br/action/ActionDatalegis.php?acao=abrirResenhaAnoAto&cod_modulo=161&cod_menu=7796&ano=2007. Acesso em: 9 ago. 2023.

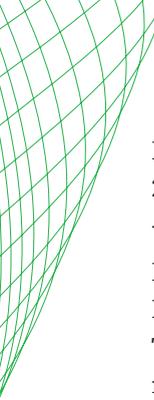
AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Rumo Malha Oeste:** relicitação. Brasília, DF: ANTT, 2023d. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias/novos-projetos-ferroviarios/rumo-malha-oeste>. Acesso em: 1 jun. 2023.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Plano Nacional de Viação e Sistema Nacional de Viação:** [Arquivo SNV_202301B.xls]. Brasília, DF: DNIT, 2023a. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/atlas-e-mapas/pnv-e-snv>. Acesso em: 31 maio 2023.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Atlas da eficiência energética Brasil 2022:** relatório de indicadores. Rio de Janeiro, RJ: EPE, 2022a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-de-eficiencia-energetica-brasil-2022>. Acesso em: 13 jun. 2023.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional 2022:** ano base 2021. Rio de Janeiro, RJ: EPE, 2022b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em: 13 jun. 2023.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2022:** relatório síntese 2022, ano base 2021. Rio de Janeiro, RJ: EPE, 2022c. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em: 13 jun. 2023.



BRASIL. Ministério dos Transportes. **Caderno transportes 2022**. Brasília, DF: MT, 2023b. 111 p. Disponível em: https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/bit/publicacoes-1/Transportes2022_web.pdf. Acesso em: 31 maio 2023.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Observatório Nacional de Transporte e Logística. Infra S.A. **Plano Nacional de Logística 2035** (PNL 2035). Brasília, DF: Ministério dos Transportes; Infra S.A., 2021. 216 p. Disponível em: <https://ontl.epl.gov.br/planejamento/>. Acesso em: 31 maio 2023.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Plano de 100 dias**: ações prioritárias [apresentação feita pelo Ministro de Estado dos Transportes]. Brasília, DF: Ministério dos Transportes, 2023c. Disponível em: https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/noticias/2023/01/plano_100_dias-ministerio_transportes-pdf/view. Acesso em: 31 maio 2023.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Política nacional de transportes**: livro de Estado. Brasília, DF: Ministério dos Transportes, 2018. 74 p. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/politica-e-planejamento/politica-e-planejamento/pnt>. Acesso em: 31 maio 2023.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Relatório de gestão 2022**: janeiro – dezembro. Brasília, DF: Ministério dos Transportes, 2022d. 125 p. Disponível em: https://www.gov.br/transportes/pt-br/aceso-a-informacao/transparencia-e-prestacao-de-contas/RelatorioGestao_4Trimestre.pdf. Acesso em: 31 maio 2023.

BRASIL. Programa de Parcerias de Investimentos. Projetos concluídos (ferroviário). **PPI**, Brasília, DF, [2023d]. Disponível em: <https://www.ppi.gov.br/projetos/>. Acesso em: 1 jun. 2023.

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY. The World Factbook: explore all countries. **CIA**, Virgínia, USA, 2023. Disponível em: <https://www.cia.gov/the-world-factbook/countries/>. Acesso em: 19 jun. 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de ferrovias 2015**. Brasília, DF: CNT, 2015. 239 p. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/pesquisas>. Acesso em: 31 maio 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Transporte e economia**: o sistema ferroviário brasileiro. Brasília, DF: CNT, 2013. 58 p. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/pesquisas>. Acesso em: 31 maio 2023.

FERRARI, I. A abertura da regulação aos agentes privados: alguns insights sobre a autocertificação à luz da teoria da autorregulação. *In*: ARAGÃO, A. de S.; PEREIRA, A. C. M.; LISBOA, L. L. A. (coord.). **Regulação e Infraestrutura**. Belo Horizonte: Fórum, 2018. 693 p.

KRUSE, C. J. *et al.* **A modal comparison of domestic freight transportation effects on the general public**: 2001-2019 – final research report. Arkansas, US: Maritime

Transportation Research and Education Center; University of Arkansas, 2021. 116 p. Disponível em: <https://rosap.nrl.bts.gov/view/dot/60644>. Acesso em: 14 jun. 2023.

MÉLO FILHO, M. A. Da regulação responsiva à regulação inteligente: uma análise crítica do desenho regulatório do setor de transporte ferroviário de cargas no Brasil. **Revista de Direito Setorial e Regulatório**, Brasília, DF, v. 6, n. 1, p. 144-163, 2020. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rdsr/article/view/31093>. Acesso em: 31 maio 2023.

NAKAMURA, A. L. dos S. **Agências reguladoras de transportes (ANTT e ANTAQ) e DNIT: lei nº 10.233, de 5 de junho de 2001**. São Paulo: Thomsom Reuters, 2020. 340 p.

PEREIRA, V. S. O conceito de vantajosidade da prorrogação antecipada no setor ferroviário. **Revista de Direito e Atualidades**, v. 1, n. 2, 2021. Disponível em: <https://www.portaldeperiodicos.idp.edu.br/rda/article/view/5835>. Acesso em: 31 maio 2023.

PINHEIRO, A. C. A nova reforma regulatória do setor ferroviário. *In*: PINHEIRO, A. C.; FRISCHTAK, C. R. (org.). **Gargalos e soluções na infraestrutura de transportes**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2014. p. 203-241.

SANTOS, J. V.; PEREIRA, V. S. A autorregulação nos projetos de autorização ferroviária. **Enap**, p. 1-22, 2022. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/handle/1/7244>. Acesso em: 31 maio 2023.



Foto: Ricardo Botelho

EFICIÊNCIA DO USO DE IMAGENS SRTM COMO SUPORTE EM ANÁLISES DE ATENDIMENTO A EMERGÊNCIAS AMBIENTAIS FERROVIÁRIAS: UM ESTUDO DE CASO DO KM 788+200 DA EFC

José Marinho Mendes

RESUMO

O aumento da aplicação de ferramentas de geotecnologias, com uso de banco de dados geográficos gratuitos, tem auxiliado, estudos técnicos e científicos na área ambiental, auxiliando na elaboração de espacializações e quantificação de dados utilizados em representações cartográficas. Inserido nesse grupo de dados gratuitos, tem-se as imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), que é um conjunto de imagens com informações topográficas e subsidiam avaliações baseadas em altimetria do terreno. Tais imagens, dependendo do nível do projeto, servem como fonte primária de dados de elevação do terreno. Este trabalho tem o objetivo de avaliar a eficiência do uso de imagens SRTM, como suporte ao planejamento de ações durante o atendimento às emergências ferroviárias, por meio de um estudo de caso do km 788+200 da Estrada de Ferro Carajás (EFC). Com isso, foi elaborado Modelo Digital de Elevação (MDE), para suportar a confecção de mapas de elevação, que propiciem análise do direcionamento de recursos em campo, para a correta alocação de controles e execução de monitoramentos ambientais. Obtendo como resultado desta análise, a constatação da eficiência no uso destas imagens, no planejamento do cenário de resposta à emergência ambiental ferroviária avaliado.

Palavras-chave: SRTM; MDE; altimetria; hipsometria; emergência.

José Marinho Mendes, graduado em engenharia ambiental, engenharia de segurança no trabalho, esp. em engenharia geotécnica, esp. geoprocessamento, MBA em gestão de produção e qualidade, MBA em gestão de pessoas e recursos humanos, MBA em gestão de projetos e mestre em processos construtivos e saneamento urbano. Atuou como coordenador de meio ambiente do terminal marítimo de Ponta da Madeira, da Vale em São Luis de 2019 a 2021; como coordenador de meio ambiente da Estrada de Ferro Carajás, de 2021 a 2023 e, em 2023, assumiu a coordenação de meio ambiente da mina de Serra Sul, em Canaã dos Carajás e atualmente é coordenador de meio ambiente das minas de Serra Norte, Serra Leste e Manganês.

1 INTRODUÇÃO

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) exercem grande importância na gestão ambiental devido facilitarem o gerenciamento de informações espaciais, subsidiando a tomada de decisão (Brandão; Santos, 2009; Elesbon *et al.*, 2011).

Desta forma, as diversas ferramentas que compõem os SIG auxiliam na avaliação ambiental de vários aspectos da superfície terrestre, dando informações objetivas que propiciem o direcionamento de análises e ações de gestão ambiental específicas.

Sendo assim, o sensoriamento remoto, devido à rapidez e periodicidade na obtenção de dados primários sobre a superfície terrestre, constitui-se uma das formas mais eficazes de monitoramento ambiental em escalas locais e globais (Brandão; Santos, 2009).

Moreira Braz *et al.* (2018) citam que o crescente aumento da aplicação de ferramentas de geotecnologias, a partir de métodos de espacialização e quantificação de dados utilizados para representações cartográficas e obtenção de informações gratuitas tem auxiliado, em estudos técnicos e científicos contribuintes nas áreas ambientais como zoneamentos, análises ambientais, estudos ambientais em bacias hidrográficas, entre outros, amparando decisões aplicadas em planejamento ambiental.

Desta forma, imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), subsidiaram avaliações baseadas em altimetria do terreno, servindo como fonte primária de dados de elevação do terreno.

Segundo a Embrapa (Satélites..., 2018) a National Imagery and Mapping Agency (Nima) e a National Aeronautics and Space Administration (NASA) foram as instituições responsáveis pela missão SRTM, sendo que o propósito da missão SRTM foi atuar na produção de um banco de dados digitais para todo o planeta, necessários na elaboração de um Modelo Digital de Elevação (MDE) das terras continentais.

Os MDEs são organizados em tiles¹ de 1°x1° e oferecem 30 m de resolução vertical para os Estados Unidos e 90 m de resolução vertical para as outras localidades (Ribeiro Filho *et al.* 2006; Demetrio *et al.*, 2006; Tomazoni *et al.* 2011; Satélites..., 2018; Orlando *et al.*, 2022).

O emprego destes dados como fonte de informação altimétrica supre as necessidades inerentes à ausência ou escassez de dados cartográficos em muitas regiões do globo terrestre, por sua vez, causadas pela dificuldade de acesso ou pela carência de projetos de mapeamento sistemático (Zeilhofer, 2001; Nobrega *et al.*, 2004 apud Brandão; Santos, 2009).

Valeriano (2005 apud Moreira Braz *et al.*, 2018; Brandão; Santos, 2009), reforça que a utilização de MDE obtidos por sensores orbitais representa uma

¹ Tiles – tradução do inglês “ladrilho”, no sentido da frase conforme referencial teórico seria o formato da área definido de 1°x1°.



alternativa de grande interesse para suprir a carência de mapeamentos nos mais diversificados segmentos de estudos, ou seja, reitera que tal ferramenta supri essa defasagem de informações técnicas do tema, sendo possível reduzir custos, entregando informações relevantes e aplicando decisões de melhoria para uma região (Freire Silva *et al.* 2022).

Os MDEs são muito utilizados em diversas análises geomorfológicas, pois possuem coberturas contínuas de áreas extensas e podem ser trabalhados de modo automatizado em softwares específicos com rapidez e precisão (Brandão; Santos, 2009; Tomazoni *et al.* 2011; Mello; Silveira, 2018; Freire Silva *et al.* 2022; Grohmann *et al.* 2017).

Nesse contexto o uso de MDEs se torna uma ferramenta abrangente de uso em diversas áreas ou processos, sejam para tomadas de decisão em planejamento de médio e longo prazo como em tomada de decisão para suporte ao atendimento de emergências ambientais ferroviárias.

Ajmar, Perez e Terzo (2008) reforçam que o uso de técnicas de sensoriamento remoto, para realizar avaliações precisas e oportunas, combinadas com conjuntos de dados de base de referência atualizados, confiáveis e facilmente acessíveis são um fator chave para o sucesso das operações de emergência

Dessa forma, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar a eficiência do uso de imagens SRTM, como suporte ao planejamento de ações durante o atendimento às emergências ferroviárias, em um estudo de caso realizado no km 788+200 da Estrada de Ferro Carajás.

1.1 Característica locacional e operacional da Estrada de Ferro Carajás

Localização e produtividade

Segundo o relatório “Cave-out” Vale (2022), a Estrada de Ferro Carajás (EFC) compreende uma ferrovia de 979 quilômetros, que interliga a Serra dos Carajás, no Estado do Pará, ao porto de Ponta Madeira em São Luís - Maranhão, onde se localiza o seu controle operacional. É substancialmente utilizada para o escoamento dos minérios extraídos e beneficiados pela Vale provenientes das suas próprias minas.

A Ferrovia também efetua transportes de minério de ferro, pelotas e outras cargas para terceiros (tais como ferro-gusa, grãos, veículos e combustíveis), além do transporte de passageiros.

Segundo este mesmo relatório, no ano de 2022, a Ferrovia transportou 172.088 mil toneladas (em TU – tonelada útil tracionada) de produtos da Companhia (2021: 188.262 mil toneladas) e 329 mil passageiros (2021: 178 mil).

De acordo com o Anuário do Setor Ferroviário divulgado pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) em seu site, nesta ferrovia entre os anos de 2006 e 2022 houve um aumento de 102%, no transporte de cargas, indo

de 85.133 toneladas úteis (TU) em 2006 para 172.088 TU em 2022 no transporte de minério de ferro. Neste mesmo período, o transporte de combustíveis e derivados de petróleo passou de 765 TU em 2006 para 911TU em 2022, um aumento de mais de 19%. Tais incrementos no transporte de cargas mostram a relevância desta ferrovia para a balança comercial da região e do país. Este aumento pode ser melhor visualizado na tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Produção de Transporte Ferroviário de Cargas, em Toneladas Úteis (TU), por Subgrupo de Mercadoria (EFC, 2006 a 2022).

| Produção de Transporte Ferroviário, por Subgrupo de Mercadoria (milhares de TU) | | | | | | | | | | |
|---|---------|------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Ano | Total | Minério de Ferro | Aubos e Fertilizantes | Soja e Farelo de Soja | Carvão/Coque | Graneis Minerais | Ind. Cimenteira e Const. Civil | Ind. Siderúrgica | Comb., Deriv. do Petr. e Alcool | Carga Geral - Não Con-teinerizada |
| 2006 | 92.591 | 85.133 | 12 | 1.502 | 18 | 1.782 | 0 | 3.353 | 765 | 27 |
| 2007 | 100.361 | 93.151 | 9 | 1.352 | 20 | 1.596 | 0 | 3.342 | 879 | 13 |
| 2008 | 103.670 | 97.716 | 0 | 0 | 20 | 1.960 | 0 | 3.133 | 841 | 0 |
| 2009 | 96.267 | 92.183 | 0 | 0 | 0 | 1.658 | 0 | 1.605 | 821 | 0 |
| 2010 | 104.949 | 100.380 | 3 | 0 | 0 | 2.344 | 0 | 1.502 | 718 | 1 |
| 2011 | 114.543 | 108.880 | 0 | 0 | 0 | 3.138 | 0 | 1.767 | 757 | 1 |
| 2012 | 116.428 | 112.273 | 0 | 0 | 0 | 1.628 | 0 | 1.795 | 732 | 0 |
| 2013 | 115.006 | 110.748 | 0 | 0 | 0 | 1.822 | 5 | 1.697 | 733 | 0 |
| 2014 | 118.454 | 114.741 | 0 | 0 | 4 | 1.648 | 4 | 1.366 | 691 | 0 |
| 2015 | 134.713 | 130.962 | 0 | 0 | 0 | 1.960 | 5 | 1.150 | 636 | 0 |
| 2016 | 155.252 | 151.605 | 0 | 0 | 0 | 2.063 | 23 | 845 | 716 | 0 |
| 2017 | 175.333 | 171.896 | 0 | 0 | 0 | 2.142 | 37 | 542 | 716 | 0 |
| 2018 | 205.407 | 202.379 | 0 | 0 | 0 | 1.704 | 37 | 461 | 826 | 0 |
| 2019 | 193.572 | 190.507 | 0 | 0 | 0 | 1.654 | 70 | 455 | 886 | 0 |
| 2020 | 195.738 | 192.489 | 0 | 0 | 0 | 1.709 | 31 | 530 | 979 | 0 |
| 2021 | 190.300 | 188.262 | 0 | 0 | 0 | 621 | 33 | 527 | 857 | 0 |
| 2022 | 174.328 | 172.088 | 0 | 0 | 0 | 725 | 22 | 582 | 911 | 0 |

Fonte: Agência Nacional de Transportes Terrestres (2023, adaptado), SAFF²/SIADÉ³ 2006 a 2022.

A Tabela 1 acima, ratifica a relevância da EFC, e seu aumento no transporte de cargas em 16 anos, passando de 92.591 TU em 2006 para 174.328 TU em 2022. Tendo como carro chefe na movimentação da ferrovia o minério de ferro, que correspondeu por 98,72% de todos os produtos transportados em 2022, seguido por combustíveis e derivados (1%), graneis minerais (0,42%), materiais de indústria siderúrgica (0,33%) e materiais da indústria cimenteira e construção civil (0,01%).

² SAFF – Sistema de Acompanhamento e Fiscalização do Transporte Ferroviário.

³ SIADÉ – Sistema de Acompanhamento do Desempenho Operacional das concessionárias.

Acidentes ferroviários registrados

Quanto à quantidade de acidentes ferroviários registrados, o ciclo 2006-2022 apresentado o Anuário Ferroviário da ANTT, mostra uma enorme evolução da EFC quanto a redução destes, conforme o Gráfico 1 apresentado a seguir.

Gráfico 1 – Quantidade de acidentes por ano.



Fonte: Agência Nacional de Transportes Terrestres (2023, adaptado).

Conforme Gráfico 1 acima, o registro de acidentes ferroviários passou de 61 registros em 2006 para 13 em 2022, uma redução de 79%, em um período de 16 anos.

De acordo com a Tabela 1, os índices de acidentes registrados (acidentes por milhão de trem x km) estão dentro da meta contratual desta ferrovia com a ANTT.

Tabela 2 – Índice de Acidentes x Meta Contratual (EFC, 2006 a 2022).

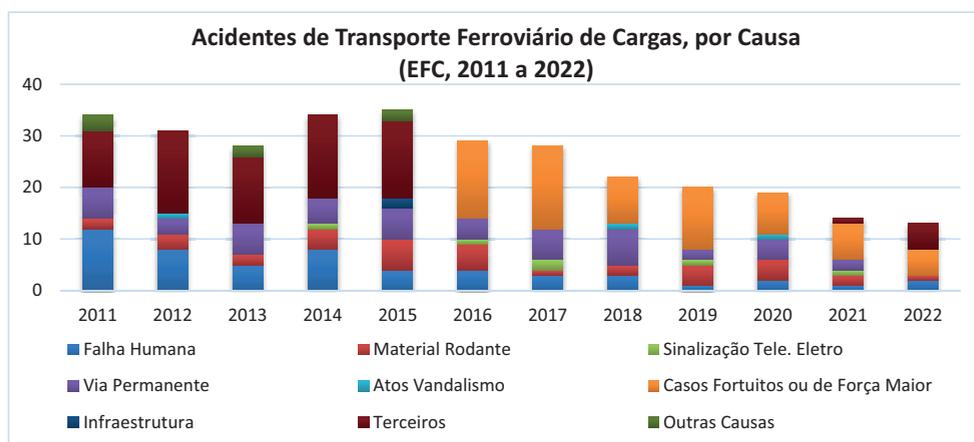
| Índice de Acidentes x Meta Contratual (acidentes por milhão de trem.km) | | |
|--|---------------------|-----------------|
| Ano | Índice de Acidentes | Meta Contratual |
| 2006 | 7,43 | 12,20 |
| 2007 | 4,50 | 12,20 |
| 2008 | 6,75 | 12,20 |
| 2009 | 5,50 | 12,20 |
| 2010 | 4,98 | 12,20 |
| 2011 | 4,20 | 12,20 |
| 2012 | 3,92 | 12,20 |
| 2013 | 3,48 | 7,07 |
| 2014 | 4,13 | 6,93 |
| 2015 | 3,84 | 6,79 |
| 2016 | 2,97 | 6,65 |

| Índice de Acidentes x Meta Contratual (acidentes por milhão de trem.km) | | |
|--|---------------------|-----------------|
| Ano | Índice de Acidentes | Meta Contratual |
| 2017 | 2,67 | 6,52 |
| 2018 | 1,81 | 5,10 |
| 2019 | 1,73 | 5,04 |
| 2020 | 1,59 | 4,88 |
| 2021 | 1,21 | 4,77 |
| 2022 | 1,19 | 4,66 |

Fonte: Agência Nacional de Transportes Terrestres (2023, adaptado), SAFF / SIADe e RAAF⁴/METAS 2006 a 2022.

A estratificação pela causa do acidente e o ano, são apresentados no Gráfico 2 a seguir.

Gráfico 2 – Número de acidentes e número de acidentes por ano e causa.



Fonte: Adaptado do Relatório de Acompanhamento de Acidentes Ferroviários (RAAF) da ANTT, dados 2011 a 2022 (Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2023).

Conforme Gráfico 2 acima, até 2015 havia uma maior incidência de acidentes que tinham como causa a interferência de terceiros, e em 2022 dos 13 eventos registrados, as causas identificadas foram 2 relativas a falha humana, 1 referente ao material rodante, 5 relativas a casos fortuitos e força maior e apenas 5 relacionados a terceiros.

Segundo a NBR 15219 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020) em seu item 3.20 conceitua emergência como uma situação crítica e fortuita, que representa perigo à vida, ao meio ambiente, ou ao patrimônio, com potencial de gerar dano contínuo e que obriga a uma imediata intervenção.

⁴ RAAF – Relatório de Acompanhamento de Acidentes Ferroviários.

2 CONCEITUAÇÃO E PROBLEMA

Segundo a NBR 15219 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020) em seu item 3.20 conceitua emergência como uma situação crítica e fortuita, que representa perigo à vida, ao meio ambiente, ou ao patrimônio, com potencial de gerar dano contínuo e que obriga a uma imediata intervenção.

A supracitada norma em seu item 3.2 traz o conceito de acidente como uma situação inesperada que resulta na lesão às pessoas, danos ao meio ambiente, danos aos equipamentos e/às estruturas e/ou paralização das atividades.

Já em seu item 3.32 conceitua incidente como evento que ocorre de forma fortuita e/ou imprevisível, com **potencial** [grifo nosso] de causar interrupção, perda, emergência, crise, desastre ou catástrofe.

Nascimento (2011), cita que os acidentes com produtos perigosos concentram seu principal risco ambiental no transporte, por expor a carga a situações que escapam ao controle, capaz de desencadear emergências a qualquer hora e em qualquer ponto do deslocamento.

A Agência Nacional de Transportes Terrestres (Agência Nacional de Transportes Terrestres, s.d. apud Ribeiro, 2011), exige que os acidentes ferroviários sejam tratados adequadamente pelas concessionárias, reforçando que as emergências devem ser atendidas sempre visando à minimização dos riscos e dos impactos sociais e ambientais.

Nas emergências, as empresas operadoras do transporte ferroviário devem realizar ações para tratar e controlar a situação de forma a minimizar os danos causados à sociedade, ao meio ambiente e à infraestrutura ferroviária, ou seja, menores serão os danos quanto maior for a eficácia dessas empresas no tratamento de emergências (Nascimento; Ribeiro; 2011).

Nesse contexto, a Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE), traz capacidades de melhora a eficiência na resposta a emergências de curto prazo, redução de riscos de longo prazo, desenvolvimento e atividades de proteção ambiental (Ajmar; Perez; Terzo, 2008).

O termo IDE é frequentemente usado para denotar a coleção de base relevante de tecnologias, políticas e arranjos institucionais que facilitam a disponibilidade e o acesso a dados espaciais (Ajmar; Perez; Terzo, 2008). Já para as organizações em geral, o uso de banco de dados geográficos montados a partir dessas bases de dados abertas e públicas, traz um fator relevante de conhecimento, que pode ser usado para tomada de decisões diversas.

Ajmar, Perez e Terzo (2008) citam que a reutilização e reorganização dos conjuntos de dados, juntamente com o acesso direto a fontes geográficas abertas (dados SRTM, arquivo de imagens de satélite etc.) sem qualquer necessidade de pré-processamento de dados, dão apoio à análise geográfica e mapeamento, para tomada de decisões durante emergências.

Com isso, a realização de mapas de elevação, trazem resultados satisfatórios, para análise preliminar da cena da emergência, trazendo informações necessárias para o correto direcionamento de bloqueios, contenções, ou ainda execução de monitoramentos necessários, uma vez que a elaboração de MDE a partir de imagens SRTM é uma ferramenta rápida e prática para elaboração de análises ambientais (Ribeiro Filho *et al.* 2007; Fornelos; Neves, 2007; Grohmann *et al.* 2017; Mello; Silveira 2018; Freire Silva, *et al.* 2022).

Considerando a relevância do transporte de cargas e o volume de combustível transportando pela EFC, em caso de eventos envolvendo combustíveis, o tempo de resposta à emergência, é condição *si ne qua non* ao restabelecimento da circulação da via, e principalmente para redução de impactos ambientais, oriundos de liberação de substâncias perigosas.

Desta forma, no cenário de uma emergência ferroviária o conjunto de elementos e ferramentas disponíveis para a gestão da situação, traz maior celeridade a resposta à emergência. Portanto, um banco de dados geográficos, com uso de imagens SRTM o compoendo, pode trazer ganhos qualitativos dentro das análises ambientais a serem realizadas, ratificando a relevância deste trabalho.

Assim, este estudo de caso utilizará como referência para execução da avaliação, o km 788+200 da EFC, devido ser um trecho de sensibilidade ambiental, por estar na confluência de corpos hídricos e por ter histórico com eventos ferroviários.

3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho seguiu uma abordagem qualitativa relacionado ao estudo, seguindo-se a fase de levantamento bibliográfico, no qual foram levantadas e analisadas as características base relacionadas e questões norteadoras ao problema abordado, normas técnicas brasileiras, requisitos legais, principais referências sobre o objeto do estudo, e estudos similares.

Após esse levantamento inicial, foi realizada a coleta e compilação de dados técnicos relacionados ao trabalho, como mapas, arquivos em formato *shapefile* (.shp) e outros formatos relacionados aos sistemas de informações geográficas (SIG).

Para utilização dos dados de SIG, o trabalho se desenvolveu da seguinte forma:

Dados SRTM: Foi utilizada base de dados geográfica disponibilizada pela Embrapa em seu sítio eletrônico com trabalho executado por Miranda (2005), com resolução altimétrica de 90 m, mosaico de 2005, além de dados SRTM disponibilizados pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), com resolução altimétrica de 25 m, mosaico 2014;

Tantos os dados da Embrapa quanto da USGS, estavam no sistema de Coordenadas Geográficas UTM e Datum WGS84, tais dados foram utilizados para geração de mapas hipsométricos;

Imagens de satélite: utilizadas imagens de satélite de alta resolução, disponíveis no software Google Earth Pro versão 7.3.2.5776, satélites CNES/ Airbus e Maxar Technologies mosaico 2019/2021/2022;

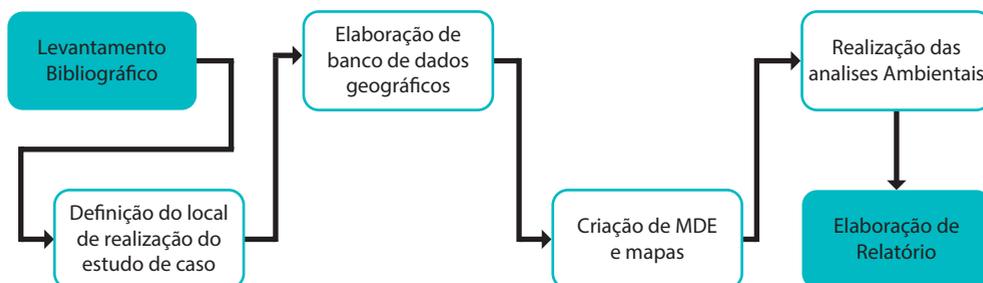
Arquivos *shapefiles* (.shp): Arquivos shp para formatação de mapas de localização obtidos na base de dados do IBGE em seu sítio eletrônico, dos municípios brasileiros ano de 2018, escala de 1:250.000, projeção geográfica LAT/LONG, Sistema Geodésico de Referência – SGR Sirgas 2000;

Softwares de SIG; Foram utilizados para trabalhar os dados geográficos obtidos os softwares QGIS versão 2.18, ArcMap versão 10.5.

Com o banco de dados, elaborado, procedeu-se à execução dos mapas, e consequentes análises ambientais, para elaboração do relatório.

Com os resultados dessa análise, buscou-se realizar a correlação com outros estudos que utilizaram imagens SRTM em análises ambientais, a fim de comparação e acreditação da ferramenta. Em resumo a metodologia de análise seguiu o seguinte fluxo de trabalho, presente na Figura 1 a seguir.

Figura 1 – Fluxograma de trabalho da metodologia empregada.



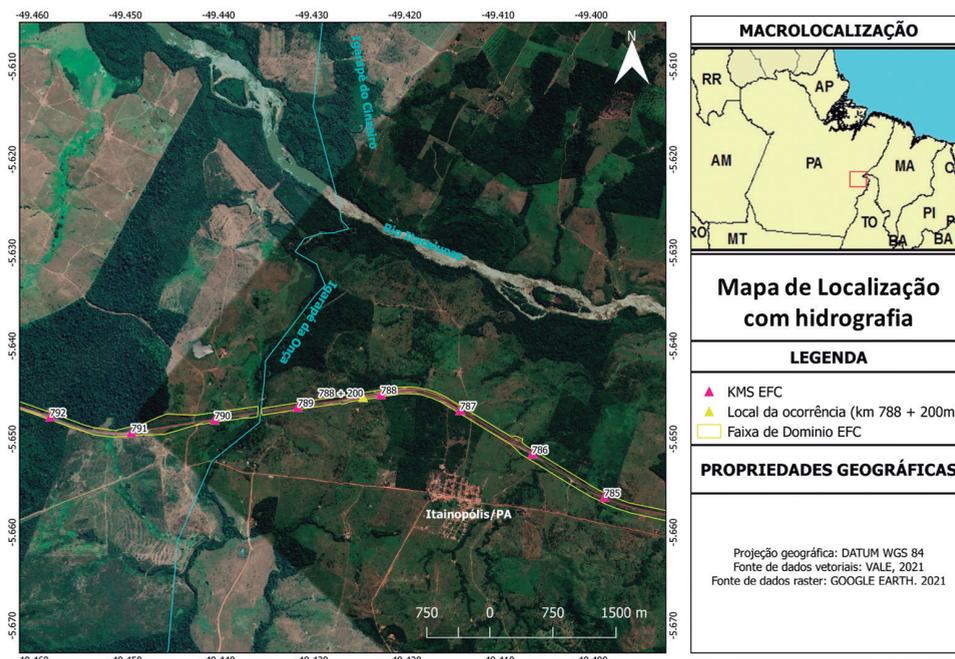
Fonte: Elaborado pelo autor.

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

Conforme apresentado na metodologia, para construção desta análise buscou-se utilizar base de dados de imagens da Embrapa quanto da USGS para geração de mapas hipsométricos, usando banco de dados vetoriais existente da Vale, para os arquivos .shp de localização (km EFC), e delimitação do espaço (faixa de domínio).

Dessa forma, se definiu a área de estudo que compreende o km 788+200 da EFC, situado no município de Marabá – PA. Tal área foi selecionada, para avaliação devido a confluência com corpos hídricos, além do histórico com eventos ferroviários.

Figura 2 — Planta chave do cenário de análise do local da ocorrência, km 788+200.



Fonte: Dados raster, Google Earth c2022. Projeção geográfica WGS84 (Banco de dados Vale, 2022).

Conforme Figura 2, acima o local do cenário está a priori, entre a confluência de dois corpos hídricos, sendo um de primeira ordem (Rio Itacaiúnas) e um de segunda ordem (Igarapé da onça), com área predominante de pastagem.

Com a delimitação do ponto de análise definido, buscou-se a elaboração de mapas utilizando banco de imagens SRTM, usando um MDE para trabalhar mapas topográficos e hipsométricos.

É importante destacar que durante a fase de atendimento à emergência, em áreas remotas e de difícil acesso, em cenários acidentais onde haja liberação de combustíveis, as equipes de atendimento à emergência deverão realizar caminhamentos para verificação de toda a possível região de abrangência, a fim de garantir checagem total da área, e direcionar as ações de controle e bloqueio de possível escoamento de combustível e/ou derivados de petróleo.

Tal cenário gera em campo um trabalho adicional à equipe de emergência, pois sem informações complementares, o esforço amostral é maior, aumentando o tempo de trabalho e recursos empregados.

Assim, o intuito principal dessa análise é prover dados técnicos visuais, que suportem a tomada de decisão em campo, auxiliando o direcionamento das equipes de emergência, a fim de executar possíveis bloqueios (leiras, barreiras em solo, cordões de contenção etc.) em drenagens, e o direcionamento de

possíveis monitoramentos ambientais durante a fase de resposta a emergência com combustíveis e derivados.

Dessa forma, o cenário hipotético apresentado seria um acidente ferroviário, com liberação de óleo combustível a altura do km 788+200 da EFC, para avaliar a efetividade do uso de imagens SRTM para a tomada de decisão.

Já com a base de dados organizada, procedeu-se à elaboração dos mapas topográficos com hipsometria, conforme Figuras 3 e 4 a seguir.

Figura 3 – Mapa hipsométrico/topográfico do local avaliado.

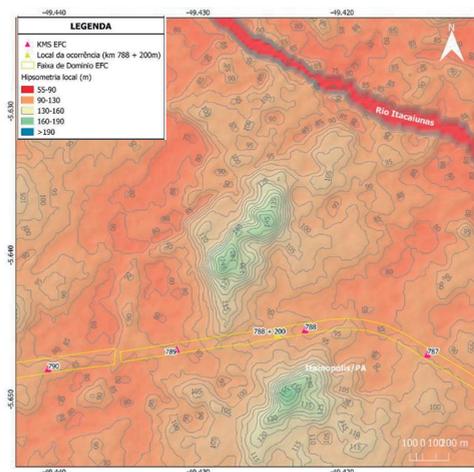
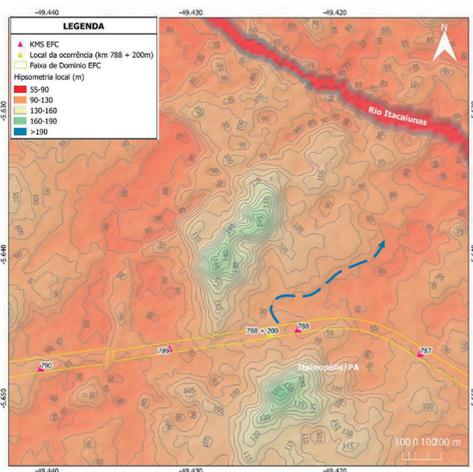


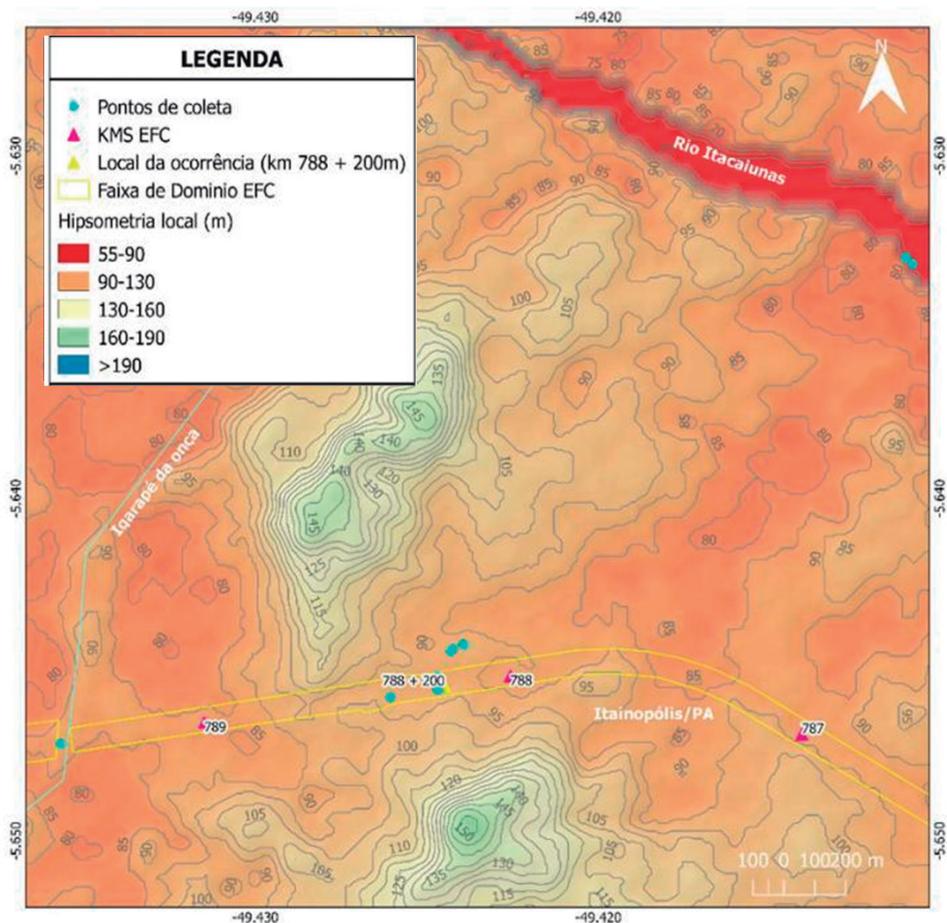
Figura 4 – Destaque do caminhamento pluvial preferencial destacado na seta azul, com base na hipsometria.



Fonte: Dados raster, Google Earth c2022. Projeção geográfica WGS84. SRTM USGS, 2011 (Banco de dados Vale, 2022).

Com base nos dados da hipsometria apresentada, há um divisor de águas à esquerda do ponto no cenário avaliado (início de escoamento na cota 90, divisor cota 115), direcionando possível fluxo de escoamento à direita do local, com probabilidade de escoamento até a cota 80.

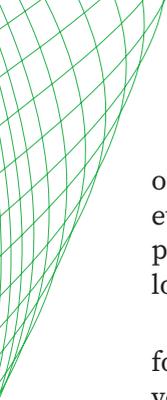
Figura 5 – Mapa hipsométrico/topográfico com delimitação de pontos de amostragem de água superficial.



Fonte: Dados raster, Google Earth c2022. Projeção geográfica WGS84. SRTM USGS, 2011 (Banco de dados Vale, 2022).

Conforme Figura 5, com a ajuda da análise hipsométrica/topográfica, são estabelecidos os possíveis pontos de amostragem de água superficial, onde nos pontos mais próximos do cenário simulado são também executados os bloqueios na drenagem e contenções (paralisação do fluxo de liberação de combustível, execução de leiras em solo, ou solo envelopadas com materiais geotêxteis, barreiras de contenção etc.).

Com a definição dos 2 pontos do Rio Itacaiúnas, podem ser direcionados os monitoramentos à montante e jusante. Sendo o ponto à montante, o mais provável de contato do combustível com lâmina d'água e o ponto jusante, funcionando como controle para avaliação da possível dispersão do efluente no corpo hídrico.



Já o ponto no Igarapé da onça serviria apenas para se ter o *back ground* ou amostra “branco” para controle da qualidade da água superficial, a fim de evidenciar que não houve o contato do combustível, pois seria o único ponto provável de escoamento de combustível neste corpo hídrico, considerando o local do evento nesta simulação.

Ressalta-se que a ferramenta dá uma referência, para onde direcionar o foco do atendimento à emergência, sendo que este, deve ser complementado com verificação de campo, com avaliação de todos os elementos físicos que possam suportar a análise, como bueiros, canaletas, cercas, leiras, vegetação etc.

Nesse cenário hipotético, utilizando os mapas hipsométricos, conseguiu-se simular esta primeira resposta, com o direcionamento de monitoramento ambiental e controles necessários. Dando para o gestor da emergência, base técnica para ir alterando, pontos de amostragem e barreiras. Tendo portando as seguintes saídas:

1. Delimitação do sentido provável de escoamento do líquido vazado;
2. Definição de pontos de controle e bloqueio do escoamento do líquido vazado;
3. Definição da localização de pontos de monitoramento de água superficial, considerando o sentido de escoamento do líquido vazado;
4. Orientação das equipes de atendimento à emergência em campo;
5. Redução do tempo de planejamento de resposta à emergência em campo.

Ou seja, com as saídas apresentadas, pela presente análise, o uso da ferramenta torna-se eficiente no planejamento dos cenários de resposta a emergências ferroviárias.

Comparação do uso de imagens SRTM em outras análises ambientais

Comparando o uso de imagens SRTM com outras análises ambientais, temos Demétrio *et al.* (2006), que utilizaram este tipo de imagens para confecção de mapas potenciométricos (mapas para estudo do fluxo de água subterrânea), e que concluíram que, os erros cometidos na utilização das cotas obtidas em imagens SRTM são inferiores a 5 metros, compatível com os erros do nivelamento barométrico. Destacando a possibilidade de utilizar essas cotas na elaboração de mapas potenciométricos preliminares. Reforçam que o trabalho demonstra que o hidrogeólogo dispõe de uma ferramenta muito boa, simples e grátis, na elaboração de seus mapas preliminares ou para fazer as primeiras avaliações, ou para recomendar detalhamento de estudos.

Gomes *et al.* (2020) e Garcia *et al.* (2020) concluem que o uso de imagens SRTM é eficiente como método de análise sobre as dimensões e distribuição espacial para validação de APP de topo de Morro.

Já Tomazoni *et al.* (2011), em sua avaliação do potencial de uso dos MDEs dos produtos SRTM e ASTER GDEM, para caracterização da rede de drenagem, constataram uma aproximação insatisfatória, em relação aos rios traçados a partir da carta topográfica/Imagem SPOT5. Sendo assim, concluíram que pela baixa eficiência do traçado da rede de drenagem utilizando MDE SRTM e MDE ASTER, sugerem que estes produtos não sejam utilizados, para extração de rede de drenagem em escala maior do que 1:100.000, e que para trabalhos em escalas maiores sejam utilizados dados com maior resolução como digitalização direta, utilização de imagens de satélite para correção, com resolução espacial menor ou igual a 5m.

Dessa forma, entende-se que o uso de imagens SRTM para análises ambientais preliminares, que não dependam de alta precisão, é suficiente e atende as demandas apresentadas.

Para o cenário avaliado de suporte ao atendimento a emergências ambientais ferroviárias, se torna uma ferramenta imprescindível para o planejamento de ações de controle e monitoramentos de campo, auxiliando assim na eficiência do atendimento à emergência.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de imagens SRTM para realização de MDE, objetivando análises ambientais, é uma ferramenta eficiente a depender da precisão da informação necessária, uma vez que os dados disponíveis no Brasil, tem resolução espacial de 90m, sendo assim, para grande parte das análises altimétricas é uma ferramenta indispensável em análises preliminares, que não dependam de muita precisão, como citado por Tomazoni *et al.* (2011), pois segundo os autores, para trabalhos que exijam maior precisão, sugerem que estes produtos não sejam utilizados para extração de rede de drenagem em escala maior do que 1:100.000, e que para trabalhos em escalas maiores sejam utilizados dados com maior resolução como digitalização direta, utilização de imagens de satélite para correção, com resolução espacial menor ou igual a 5m.

Para o cenário de suporte ao planejamento de ações ambientais em emergências ferroviárias, de acordo com o estudo realizado para o km 788+220 da EFC, o uso das imagens SRTM se mostrou eficiente, trazendo um suporte técnico a mais, para a simulação de atendimento das equipes de campo, dando um melhor direcionamento dos recursos a serem empregados dentro da análise ambiental realizada, orientando a localização da implantação dos controles e monitoramentos ambientais durante o suporte a emergência, atendendo portanto ao objetivo deste trabalho.

Em função da efetividade do método para suporte em emergências ambientais ferroviárias, para estudos futuros sugere-se realizar simulação usando MDE, avaliando o tempo resposta a emergências ambientais, considerando áreas de relevo acidentado, áreas de difícil acesso ou ainda áreas de maior sensibilidade ambiental.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Anuário do setor ferroviário**: ciclo 2006 a 2022. Brasília, DF: ANTT, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias/anuario-do-setor-ferroviario>. Acesso em: 10 ago. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Estrada de Ferro Carajás**: demonstrações financeiras “cave-out”. Brasília, DF: VALE, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias/concessoes-ferroviarias/vale-estrada-de-ferro-carajas/demonstracoes-financeiras/dezembro-de-2022.pdf/view>. Acesso em: 10 out. 2023.

AJMAR, A.; PEREZ, F.; TERZO, O. WFP spatial data infrastructure (SDI) implementation in support of emergency management. The International **Archives of the Photogrammetry**: Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Beijing v. XXXVII, part B4, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15219**: planos de emergência – requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. p. 58.

BRANDÃO, T. F.; SANTOS, R. L. O uso de imagens SRTM na modelagem de fenômenos hidrológicos (escoamento superficial). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., Natal, 2009. **Anais** [...]. Natal: Inpe, 2009. p. 4663-4670.

DEMETRIO, J. G. A.; CORREIA, L. C.; SARAIVA, A. de L. Utilização de imagens SRTM na confecção de mapas potenciométricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 14., Curitiba, 2006. **Anais** [...]. Curitiba: Águas Subterrâneas, 2006. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23191>. Acesso em: 25 set. 2022.

ELESBON, A. A. A. *et al.* Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfológica da bacia hidrográfica do Braço Norte do Rio São Mateus - Brasil. **Revista Escola de Minas**, v. 64, n. 3, p. 281-288, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672011000300005>. Acesso em: 25 set. 2022.

FORNELOS, L. F.; NEVES, S. M. A. D. S. Uso de modelos digitais de elevação (MDE) gerados a partir de imagens de radar interferométrico (SRTM) na estimativa de perdas de solo. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1., Campo Grande, 2006. **Anais** [...]. Campo Grande: Inpe, 2006.

FREIRE SILVA, J.; MIRANDA, R. DE Q.; CANDEIAS, A. L. B. Análise dos Modelos Digitais de Elevação (PE3D, SRTM-30, SRTM-90, ASTER GDEM, TOPODATA, TANDEM-X, ALOS PALSAR e ALOS AW3D30) e a necessidade da produção de dados

altimétricos em excelência no Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 3, p. 1543-1555, jun. 2022. ISSN 1984-2295. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/251253>. Acesso em: 25 set. 2022.

GARCIA, B. S. *et al.* Mapeamento de áreas de preservação permanente de topo de morro e encostas do município de Saquarema, RJ. **Revista Cultivando o Saber**, v. 13, n. 3, p. 58-72, 2020.

GOMES, D. S. *et al.* Uso imagens de radar SRTM para delinear Áreas de Proteção Permanente no topo de morro para apoiar o mapeamento e análise no CAR. **Revista brasileira de sensoriamento remoto**, v. 1, n. 3, 29-39, 2020.

GROHMANN, C. H.; RICCOMINI, C.; STEINER, S. dos S. Aplicações dos modelos de elevação SRTM em geomorfologia. **Revista Geografia Acadêmica**, v. 2, n. 2 (viii.2008), p. 73-83, 2017.

MELLO, Y. R. DE; SILVEIRA, C. T. DA. Análise de Modelos Digitais de Elevação e geração de atributos topográficos para a região da Serra do Mar do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 6, p. 2029-2045, jan. 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/235915>. Acesso em: 25 set. 2022.

MOREIRA BRAZ, A. *et al.* Análise da diferença entre dados altimétricos em uma bacia hidrográfica através da comparação entre modelos digitais de elevação. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 12, n. 1, p. 71-96, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/atelie/article/view/41467>. Acesso em: 25 set. 2022.

NASCIMENTO, C. A. **Gestão de Riscos Ambientais no Transporte Ferroviário de Produtos Perigosos em Santa Catarina, Brasil**. 2011. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

ORLANDO, F. C.; BIAS, E. de S.; JUNIOR, A. C. SRTM: Para uma melhor Utilização - Conhecendo um pouco mais da qualidade planialtimétrica, da influência da resolução espacial e dos modelos de superfície equipotenciais de referência. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 2, p. 1153-1168, abr. 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/250924>. Acesso em: 25 set. 2022.

RIBEIRO FILHO, J. R.; MADUREIRA CRUZ, C. B.; BALBI REIS, R. Aplicação do Modelo Digital De Elevação do SRTM na geração de mapas fisiográficos do relevo. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 13., Florianópolis, 2007. **Anais** [...]. Florianópolis: Inpe, 2007. p. 3057-3064.

RIBEIRO, G. V. **Uma contribuição metodológica ao atendimento emergencial em ferrovias**. 2011. 256 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

SATÉLITES de monitoramento. **Embrapa**, Campinas, s.d. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento>. Acesso em: 25 set. 2022.

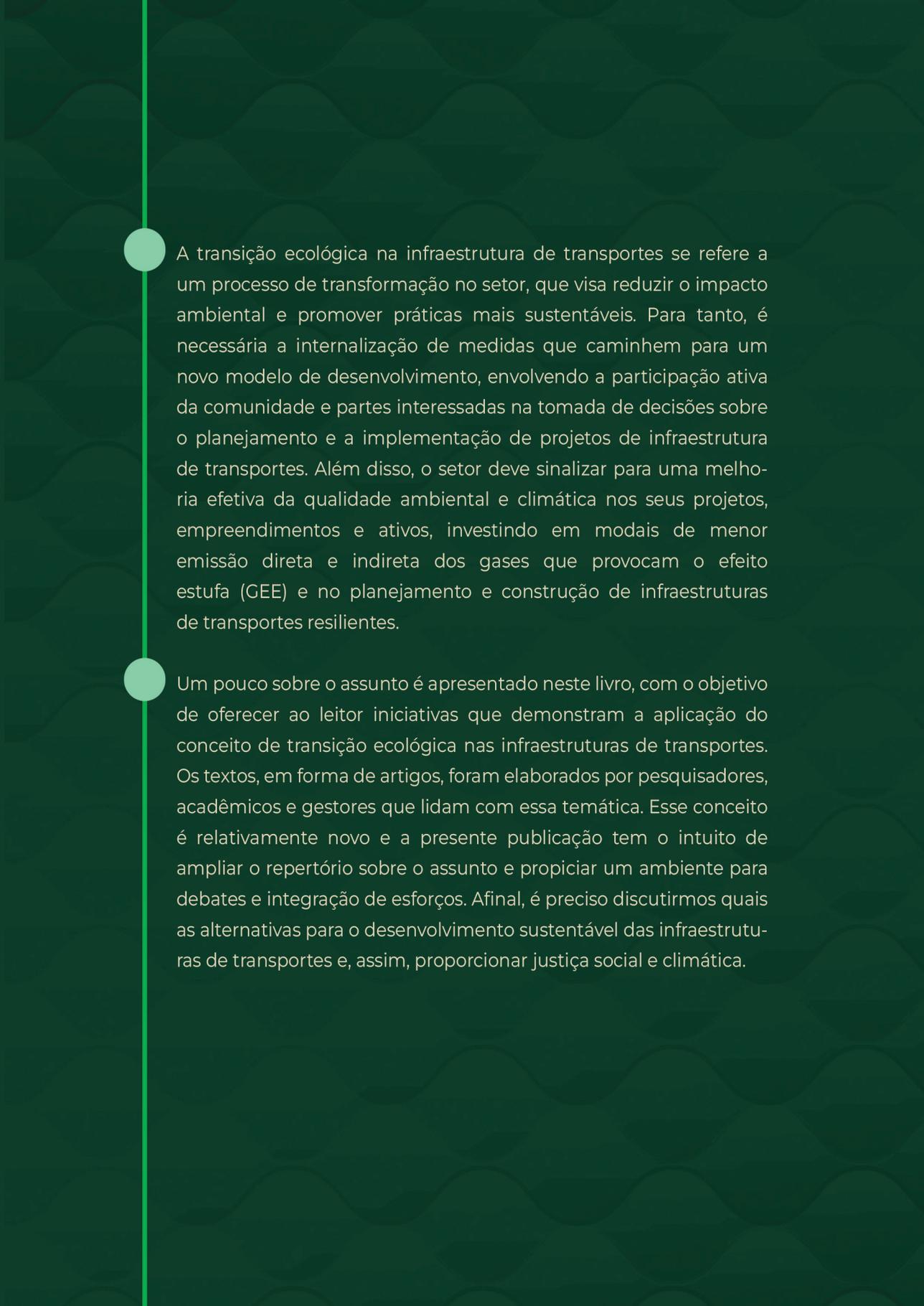
TOMAZONI, J. C. *et al.* Uso de Modelo Digital de Elevação Gerados a partir do ASTER GDEM e SRTM para Caracterização da Rede de Drenagem do Município de Renascença no Sudoeste do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 2, p. 365-376, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232705>. Acesso em: 25 set. 2022.



O desafio de tratar da complexidade do tema da sustentabilidade da infraestrutura de transportes está a cargo da Subsecretaria de Sustentabilidade (SUST), criada no âmbito da Secretaria Executiva do Ministério dos Transportes.

A realização do VII Seminário Socioambiental em Infraestrutura de Transportes: Via Viva 2023 – Transição Ecológica na infraestrutura de transportes representa o cumprimento de um compromisso da Agenda de Sustentabilidade 2023-2026, estabelecida pela Portaria nº 1.441, de 24 de outubro de 2022, no âmbito das Diretrizes de Sustentabilidade do Ministério dos Transportes.

A presente publicação concretiza o último propósito do Via Viva 2023 de criar um repositório de informações técnicas especializadas sobre a sustentabilidade, relacionada à infraestrutura de transportes.



A transição ecológica na infraestrutura de transportes se refere a um processo de transformação no setor, que visa reduzir o impacto ambiental e promover práticas mais sustentáveis. Para tanto, é necessária a internalização de medidas que caminhem para um novo modelo de desenvolvimento, envolvendo a participação ativa da comunidade e partes interessadas na tomada de decisões sobre o planejamento e a implementação de projetos de infraestrutura de transportes. Além disso, o setor deve sinalizar para uma melhoria efetiva da qualidade ambiental e climática nos seus projetos, empreendimentos e ativos, investindo em modais de menor emissão direta e indireta dos gases que provocam o efeito estufa (GEE) e no planejamento e construção de infraestruturas de transportes resilientes.

Um pouco sobre o assunto é apresentado neste livro, com o objetivo de oferecer ao leitor iniciativas que demonstram a aplicação do conceito de transição ecológica nas infraestruturas de transportes. Os textos, em forma de artigos, foram elaborados por pesquisadores, acadêmicos e gestores que lidam com essa temática. Esse conceito é relativamente novo e a presente publicação tem o intuito de ampliar o repertório sobre o assunto e propiciar um ambiente para debates e integração de esforços. Afinal, é preciso discutirmos quais as alternativas para o desenvolvimento sustentável das infraestruturas de transportes e, assim, proporcionar justiça social e climática.