



VIA VIVA

IV SEMINÁRIO SOCIOAMBIENTAL EM INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

FINANCIAMENTO VERDE, INFRAESTRUTURA
RESILIENTE E DE BAIXO CARBONO

V.3 n.1 (2020) | ISSN 2675-2662 | e-ISSN – 2675-2700





**VIA
VIVA**

IV SEMINÁRIO SOCIOAMBIENTAL EM INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

FINANCIAMENTO VERDE, INFRAESTRUTURA
RESILIENTE E DE BAIXO CARBONO

VIA VIVA • 2020

V.3 n.1 (2020)

ISSN 2675-2662

e-ISSN – 2675-2700



Por meio de:

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



MINISTÉRIO DA
INFRAESTRUTURA



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

JAIR MESSIAS BOLSONARO

Presidente

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA

TARCÍSIO GOMES DE FREITAS

Ministro

SECRETARIA EXECUTIVA

MARCELO SAMPAIO CUNHA FILHO

Secretário Executivo

SUBSECRETARIA DE SUSTENTABILIDADE

MATEUS SALOMÉ DO AMARAL

Subsecretário

COORDENAÇÃO TÉCNICA EXECUTIVA

GEORGE YUN

Coordenador-Geral de Projetos Especiais

RENATA HELENA DA SILVA

Coordenadora de Gestão Territorial - Substituta

LARISSA CAROLINA AMORIM DOS SANTOS

Coordenadora-Geral de Licenciamento Ambiental

RODRIGO BAUDSON GODOI E SILVA

Coordenador de Gestão Ambiental

EQUIPE TÉCNICA

ARTHUR SAMPAIO DE OLIVEIRA

BRUNO MARQUES DOS SANTOS SILVA

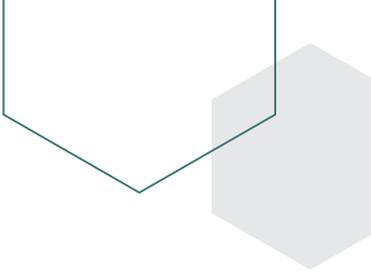
CAMILA LOURDES DA SILVA

DIANA NOGUEIRA DE NOVAES SILVA

FANI MAMEDE

FERNANDA DE CARVALHO BORGES

VÍTOR HUGO JORGE LINS



COMITÊ EDITORIAL

COORDENADOR: GEORGE YUN

MEMBROS:

ANNELISE VENDRAMINI

GEORGE YUN

JOSÉ PEDRO FRANCISCONI JUNIOR

LUIZ HONORATO DA SILVA JÚNIOR

MANOEL DE ANDRADE E SILVA REIS

SANDRO FILIPPO

VALENTÍN SANTANDER RAMÍREZ

EQUIPE REVISORA

FANI MAMEDE

GEORGE YUN

RENATA HELENA DA SILVA

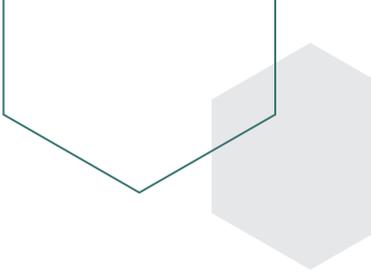
ADAPTAÇÃO DA CAPA, PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

BIANCA RONDON DE ANDRADE

CAPA

VÍTOR HUGO JORGE LINS





GIZ - DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT

Esta quarta edição do Seminário Socioambiental em Infraestrutura de Transportes – VIA VIVA 2020 contou com o apoio da Cooperação Brasil-Alemanha para o Desenvolvimento Sustentável, por meio da Agência de Cooperação Internacional GIZ - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit - GmbH.

A GIZ é uma empresa de utilidade pública que presta serviços de Cooperação Técnica Internacional para o Governo da República Federal da Alemanha que atua, no Brasil, no âmbito da Proteção do Meio Ambiente e Manejo Sustentável dos Recursos Naturais, de Energias Renováveis e Eficiência Energética, de Cooperação Triangular e apoio prático às Parcerias com o Setor Empresarial, bem como contribuição, por meio de recursos humanos e financeiros, em atividades e projetos de interesse comum.

Em 2019, o Ministério da Infraestrutura e GIZ firmaram um instrumento de cooperação mútua para a revisão, fortalecimento e implementação das Diretrizes de Sustentabilidade do MInfra. Como resultado do primeiro trabalho conjunto entre as instituições, foram publicadas em janeiro corrente ano as Diretrizes e a Agenda de Sustentabilidade para o período 2020-2022.

Ainda no âmbito dessa parceria, MInfra e GIZ se uniram para transformar o VIA VIVA 2020 em um palco de um qualificado debate acerca de financiamento verde, infraestrutura resiliente e de baixo carbono, elementos fundamentais para o alcance de uma infraestrutura cada vez mais sustentável e mais atrativa aos investidores. Desta parceria obteve-se como resultado a publicação do Livro VIA VIVA 2020, com excelentes trabalhos técnico-científicos que proporcionaram aos leitores uma leitura agradável e que conduzem ao aprimoramento do conhecimento de sustentabilidade aplicável a infraestrutura de transportes.





PALAVRAS DO MINISTRO

A relevância do tratamento das questões ambientais e de mudança do clima em empreendimentos de infraestrutura de transportes desponta como tema importante na composição da agenda nacional. O desenvolvimento socioeconômico do Brasil só será possível com a ampliação de investimentos na melhoria e modernização dos serviços prestados aos cidadãos e no aumento da capacidade de circulação das riquezas produzidas no país, o que exige forte incremento em todos os modos de transportes, ampliando as respectivas malhas viárias, sem perder de vista a atenta vigilância à sustentabilidade ambiental.

Focados nessas premissas, o Ministério da Infraestrutura e suas entidades vinculadas vêm trabalhando sistematicamente no compromisso de dotar o Brasil de infraestrutura adequada, sem renunciar à responsabilidade socioambiental. Investir nesse segmento é condição essencial para promover o desenvolvimento socioeconômico e a integração nacional, dotando o País de maior capacidade produtiva e de oportunidades, de modo a propiciar que as regiões geoeconômicas atuem de forma mais integradas e dinamizem a economia, o que refletirá na redução das desigualdades.

A variabilidade climática atual e a mudança do clima têm exposto o setor de transportes a riscos e incertezas. Para enfrentar esse e outros desafios, o Ministério da Infraestrutura e as suas entidades vinculadas, têm como ação estratégica e orientadora, a implementação das Diretrizes de Sustentabilidade, que se configuram como a principal referência na gestão socioambiental e de suas áreas afetas à infraestrutura.

Em 2020, o Seminário VIA VIVA aborda o tema “Financiamento Verde, Infraestrutura Resiliente e de Baixo Carbono”, que se alinha aos objetivos estratégicos e às Diretrizes de Sustentabilidade da Pasta. A escolha do tema foi muito oportuna e surgiu da constatação dos inúmeros desafios no âmbito da temática da mudança do clima, a serem enfrentados na perspectiva da sustentabilidade dos ativos de infraestrutura de transportes, de modo a dar alicerce para expressivo ciclo de investimentos para o setor.

TARCÍSIO GOMES DE FREITAS
Ministro da Infraestrutura



PALAVRAS DO SECRETÁRIO EXECUTIVO

No cenário de retomada da expansão e da modernização da infraestrutura de transportes, o planejamento e a governança socioambiental revelam-se determinantes para o desenvolvimento sustentável do País.

A avaliação sistemática dos impactos socioambientais e climáticos devem permear os eixos que balizam o planejamento estratégico do setor, fazendo-se presente de maneira mais concreta nos respectivos planos e programas. Esse é o caminho que o Ministério da Infraestrutura está trilhando.

O MInfra tem como papel fomentar a mobilidade interurbana e regional, de modo a facilitar o acesso aos serviços públicos e privados de saúde, educação, segurança, turismo, cultura, esporte, bem como o escoamento de bens e produtos. São medidas que impactam diretamente a economia, com geração de emprego e renda, desenvolvimento regional e eficiência na logística de transporte.

A missão do Ministério da Infraestrutura é proporcionar infraestrutura viária integrada e confiável para mobilidade segura e eficiente de pessoas e bens. Pretende, com isso, aumentar a competitividade nacional, com a visão de tornar-se líder do segmento na América Latina.

O contexto atual apresenta desafios a serem enfrentados, exigindo a adoção de conjunto de atributos que considerem precipuamente respeito à vida, eficiência logística, excelência institucional, planejamento e integração territorial, bem como o exercício de responsabilidade socioambiental.

No início de 2020, foram lançadas as Diretrizes de Sustentabilidade do MInfra, documento estratégico e político, elaborado com a participação de todo o setor, que contribui para a compreensão do contexto da sustentabilidade relacionada ao setor de transportes. Sua operacionalização tem o papel de fortalecer a capacidade de execução planejamento integrado, bem como de apresentar as ações necessárias à promoção e ao aperfeiçoamento das políticas públicas do setor.

A reunião desses artigos, aqui publicados, fruto do IV VIA VIVA - Seminário Socioambiental em Infraestrutura de Transportes, que teve como tema “Financiamento Verde, Infraestrutura Resiliente e de Baixo Carbono”, irá contribuir sobremaneira para a continuidade desse trabalho e de outras iniciativas setoriais, em um processo contínuo de aperfeiçoamento da gestão sustentável nos empreendimentos de infraestrutura de transportes.

MARCELO SAMPAIO CUNHA FILHO

Secretário Executivo do Ministério da Infraestrutura

PALAVRAS DO SUBSECRETÁRIO DE SUSTENTABILIDADE

O Ministério da Infraestrutura busca de modo contínuo e incessante o aprimoramento da gestão sustentável de seus empreendimentos, empenhado em incorporar, da melhor forma possível, as boas práticas dessa gestão nas fases de planejamento, implantação, expansão, operação e manutenção da infraestrutura de transportes federal.

Ressalta-se que o nono Objetivo, dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS da Organização das Nações Unidas - ONU, orienta em suas metas o desenvolvimento de infraestrutura de qualidade confiável, sustentável e resiliente.

O financiamento mediante títulos verdes, a certificação ambiental, bem como as estratégias de mitigação e adaptação à mudança do clima ainda são discussões incipientes no setor de infraestrutura de transportes nacional. Nesse sentido, o fortalecimento da temática representa o compromisso com a sustentabilidade ambiental na tomada de decisões e nas ações políticas do Ministério da Infraestrutura no seu papel de articulador entre sociedade, investidores e governo.

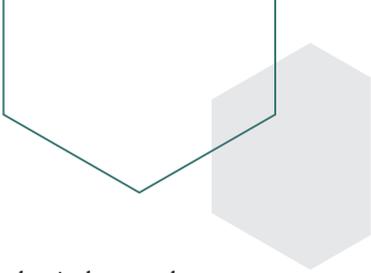
A Mudança do Clima se configura como uma das Diretrizes de Sustentabilidade do MInfra, o documento assume papel relevante como instrumento balizador para políticas, planos, programas e projetos setoriais, bem como para viabilizar a expansão da oferta de infraestrutura de transportes de modo sustentável e socialmente responsável, que são fatores cada vez mais relevantes para a atração de investimentos.

Consciente dos desafios a enfrentar e da complexidade que lhes é peculiar, o MInfra idealizou um espaço capaz de congregiar visões distintas em torno de temas socioambientais, o Seminário VIA VIVA.

Atualmente, na sua quarta edição, o Seminário Viva Viva se consolida como o fórum para discussão de temas socioambientais que permeiam a infraestrutura de transportes, cujo conceito representa a transformação contínua e os diferentes posicionamentos dos diversos setores da sociedade. A importância dessa iniciativa está no objetivo de sua criação, cujo intuito é promover o debate de questões socioambientais no âmbito dos empreendimentos de transportes, sem nenhuma pretensão de se encerrar em si, mas trazer uma provocação nos temas relacionados.

O tema escolhido para a realização do IV Seminário Via Viva foi o “Financiamento Verde, Infraestrutura Resiliente e de Baixo Carbono”. O evento foi estruturado em três blocos de debates, quais sejam:

- BLOCO I - Financiamento verde: adoção dos fatores Ambientais, Sociais e de Gover-



nança (ASG), financiamento da infraestrutura sustentável, utilização de títulos verdes em financiamento de projetos de infraestrutura;

- BLOCO II - Infraestrutura de Baixo Carbono: ganhos e perspectivas a partir da adoção da infraestrutura de baixo carbono, desafios para implementação de ações de mitigação no setor de transportes e as principais soluções em andamento;
- BLOCO III - Infraestrutura resiliente: conjuntura sobre a mudança do clima no país, ampliação da resiliência na infraestrutura e no ciclo de vida dos empreendimentos, medidas de adaptação e o uso de ferramentas de análise de risco climático.

Esta publicação apresenta uma coletânea de trabalhos técnico-científicos de diversos autores, que guardam relação e contribuem com o tema geral do evento VIA VIVA 2020, infraestrutura de transportes sustentável, cujos textos foram submetidos à avaliação do Comitê Editorial, composto por renomados especialistas, mestres e doutores, nacionais e internacionais.

Esperamos que os leitores encontrem nesta coletânea, a partir das experiências relatadas, resultados e ideias que venham a contribuir para um melhor conhecimento da temática e para a formação de uma base conceitual, servindo de inspiração nos seus respectivos ramos de atuação.

MATEUS SALOMÉ DO AMARAL
Subsecretário de Sustentabilidade do Ministério da Infraestrutura



APRESENTAÇÃO

A promoção de uma infraestrutura de transportes cada vez mais sustentável se mostra internalizada no Ministério da Infraestrutura. Em 2019, foi instituída, por meio do Decreto nº 9.676/2019, a Subsecretaria de Gestão Ambiental e Desapropriações - SGAD, e em, 2020, por meio do Decreto 10.368/2020, reestruturada em Subsecretaria de Sustentabilidade – SUST, setor responsável pela coordenação do presente trabalho.

Em 2020, o MInfra publicou suas Diretrizes de Sustentabilidade, documento estratégico e político que atualiza as Diretrizes Socioambientais de 2016. Ambas as publicações contaram com ampla participação de todo o setor de transportes.

O VIA VIVA é um fórum permanente e anual de discussão de temas socioambientais que permeiam a infraestrutura de transportes, cujo conceito representa a busca contínua de consensos frente aos diversos posicionamentos dos diversos setores da sociedade em relação à sustentabilidade na infraestrutura de transportes, cuja idealização e realização se deu no âmbito da Secretaria Nacional de Transportes Terrestre e Aquaviário – SNTTA, em 2017, no então Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil - MTPA. De 2017 a 2018, o evento foi coordenado por aquela Secretaria finalística responsável pelos transportes terrestres e aquaviário.

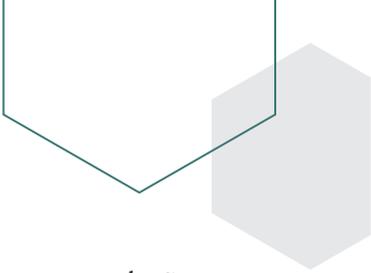
Com a reestruturação do MInfra, em 2019, por meio do Decreto nº 9.676/2019, foi instituída a Secretaria Nacional de Transportes Terrestres – SNTT que deu continuidade a este fórum.

Em 2020 o evento passa então a ser conduzido pela Subsecretaria de Sustentabilidade, vinculada à Secretaria Executiva, com o intuito de tratar de forma sinérgica os temas transversais da infraestrutura sustentável para os modos de transportes rodoviário, ferroviário, aeroportuário e aquaviário.

De início, em 2017, o VIA VIVA abordou o tema da “Gestão Socioambiental em Concessões de Transportes Rodoviário e Ferroviário”, quando se constatou inúmeros desafios socioambientais que necessitariam ser enfrentados para alicerçar um grande ciclo de investimentos privados, em meio a um cenário de forte restrição fiscal.

No ano de 2018, foi estabelecido um importante canal para se debater o tema “A Convenção 169 da OIT e os empreendimentos de transporte”, buscando-se uma reflexão acerca dos procedimentos e dos desafios para regulamentação do processo de consulta, livre, prévia e informada dos povos indígenas e tribais, que apresentou grande valia e repercussão no meio das entidades governamentais internacionais, do mercado, do judiciário e da academia.

No ano passado, o foco se deu sobre as tendências tecnológicas presentes na Administração Pública e no setor privado do setor de transportes, cujo tema foi “Inovações e Boas Práticas aplicadas na gestão socioambiental de empreendimentos de transportes”,



objetivando fomentar as discussões sobre a transformação tecnológica e novas soluções que vivencia a gestão socioambiental aplicável ao âmbito da infraestrutura de transportes.

Neste ano, a quarta edição do VIA VIVA buscou abordar à temática da infraestrutura de transportes sustentável, com foco em três subeixos: “Financiamento verde, infraestrutura resiliente e de baixo carbono”, a partir de intercâmbios técnicos, painéis e palestras apresentadas por autoridades nacionais e internacionais, contando com a participação de representantes do governo, da academia, de organismos internacionais, de mercado e da sociedade civil.

O repositório de produções técnico-científicas - VIA VIVA é dedicado a divulgar a produção de estudos ou experiências profissionais sobre o setor de transportes, em especial, relacionados a políticas, planos, programas e projetos setoriais. Os temas socioambientais sobre a infraestrutura de transportes discutidos nesta publicação abrangem e relacionam os modos de transportes rodoviário, ferroviário, aeroportuário e aquaviário, e, muitas vezes, relacionam componentes ou experiências de outros setores de infraestrutura.

Neste ano, a publicação VIA VIVA, de periodicidade anual, obteve o Número Internacional Normalizado para Publicações Seriadas, ISSN: 2675-2700 (versão eletrônica) e ISSN: 2675-2662 (versão impressa), usado para identificação única de uma publicação em série e que possui aceitação internacional.

A obra procura sintetizar a relevante contribuição desses atores ao desenvolvimento da gestão socioambiental no âmbito do sistema de transportes, composto por nove trabalhos técnico-científicos que devem ser vistos como uma imprescindível fonte de inspiração para a continuidade desse trabalho e de outras iniciativas setoriais em um processo contínuo de aperfeiçoamento da gestão socioambiental nos empreendimentos de infraestrutura de transportes.



COMITÊ EDITORIAL

ANNELISE VENDRAMINI

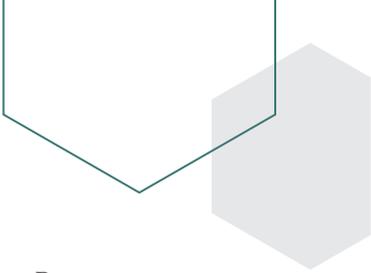
Professora dos mestrados de administração e economia da FGV São Paulo. Possui doutorado e mestrado em administração pela Escola de Administração da Universidade de São Paulo. Coordena projetos de pesquisa em finanças sustentáveis e Análise de Ciclo de Vida -ACV no FGVces. Alguns de seus projetos recentes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

GEORGE YUN

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

JOSÉ PEDRO FRANCISCONI JUNIOR

Especialista Ambiental e Transportes no Laboratório de Transportes e Logística da Universidade Federal de Santa Catarina - LabTrans/UFSC. Mais de 10 anos de experiência na estruturação de projetos de infraestrutura, incluindo o gerenciamento de empreendimentos financiados por organismos internacionais de crédito, licenciamento ambiental e o desenvolvimento de estudos e métodos de quantificação de emissão de gases de efei-



to estufa - GEE e adaptação da infraestrutura às mudanças climáticas. Recentemente atuou como Assessor de Meio Ambiente da Secretaria de Estado da Infraestrutura do Estado de Santa Catarina - SIE e na concepção do Plano de Desenvolvimento e Zoneamento - PDZ do Porto Organizado de Itaquí/MA. Em 2016, realizou a coordenação técnica do estudo Diretrizes Socioambientais do Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. 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 SENAC; e, Graduação em Engenharia Agrícola pela UEM e Universidad Nacional Agraria La Molina - Peru (UNALM). (Membro Técnico)

LUIZ HONORATO DA SILVA JÚNIOR

Possui graduação (2001), mestrado (2003) e doutorado (2009) em economia pela Universidade Federal de Pernambuco com estágio doutoral (2008) na Université Pierre-Mendès-France. Recebeu o prêmio BNB (2003) e BNDES (2004) de melhores dissertações de mestrado em economia. Foi professor da Universidade Federal de Pernambuco entre os anos de 2006 a 2012 e atualmente é professor da Universidade de Brasília onde atua como professor e pesquisador na Faculdade UnB Planaltina e nos Programas de Pós-Graduação em Gestão Pública; Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação em Recursos Hídricos; e, no Programa de Pós-Graduação em Agronegócios. É pesquisador colaborador do Centro de Pesquisas de Opinião Pública da Universidade de Brasília – DATAUnB. Concluiu o Curso Superior de Política e Estratégia – CSUPE pela Escola Superior de Guerra – ESG em 2017 e o Curso Avançado de Avaliação de Políticas Públicas pela Fundação Itaú social (2010). É Membro do Conselho Editorial da Revista dos Mestrados Profissionais e revisor de periódicos e agência de pesquisa tais como Nova Economia, Oecologia Australis, Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos, Revista Econômica do Nordeste, Economia e Desenvolvimento, Planejamento e Políticas Públicas e Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal. Possui mais de quarenta artigos científicos publicados em periódicos nacionais e internacionais, livros e capítulos de livros publicados, além de artigos de opinião e participação em programas de televisão. Tem experiência nas áreas de Economia e Administração Pública, com ênfase em Economia dos Recursos Naturais, Economia do Setor Público e Avaliação de Políticas Públicas. (Membro Técnico)

MANOEL DE ANDRADE E SILVA REIS

Engenheiro Naval e Mestre em Engenharia pela Escola Politécnica da USP-Universidade de São Paulo e Ph.D pelo MIT - Massachusetts Institute of Technology. Na Fundação





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

SANDRO FILIPPO

Possui Doutorado em Engenharia de Transportes pela COPPE/UFRJ (2008), Mestrado em Engenharia de Transportes pelo Instituto Militar de Engenharia (2000), Especialização em Administração Pública pela UGF (2014), Especialização em Engenharia de Saúde Pública pela ENSP/Fiocruz (1995) e Graduação em Engenharia Civil pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1991). Em 1993, concluiu o Curso de Formação de Oficiais do Quadro de Engenheiros Militares - QEM no Instituto Militar de Engenharia - IME do Exército Brasileiro, na especialidade de Engenharia de Fortificação e Construção. No ano de 2009, participou do Programa de Intercâmbio entre Pessoal Militar, trabalhando como pesquisador no Engineer Research and Development Center do U.S. Army Corps of Engineers - ERDC/USACE, em Vicksburg, Estado do Mississippi, nos EUA. Entre 2000 e 2005 atuou como Professor nomeado no IME, na graduação e na 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 Interameri-





cano 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)

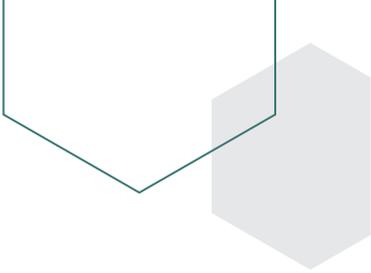
VALENTÍN SANTANDER RAMÍREZ

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

AASHTO - Association of State Highway and Transportation Officials
ACB - Análise Custo Benefício
ACV - Análise de Ciclo de Vida
AENFER - Associação de Engenheiros Ferroviários
AET - Autorização Especial de Trânsito
AIA - Avaliação de Impacto Ambiental
ALL - América Latina Logística
ANA - Agência Nacional de Águas
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários
ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres
APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima
APROSOJA - Associação Brasileira dos Produtores de Soja
ASG - Fatores Ambientais, Sociais e de Governança
BID - Banco Interamericano de Desenvolvimento
BNB - Banco do Nordeste
BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BRT - Bus Rapid Transit
CAF - Corporação Andina de Fomento
CAP - Conselho de Autoridade Portuária
CBI - Climate Bond Initiative
CBR - California Bearing Ratio
CBR - Energia Normal e Intermediária
CBTU - Companhia Brasileira de Trens Urbanos
CCP - Construção da Capacidade em Projeto
CEBDS - Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
CEFET-MG - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
CENSIPAM - Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNA - Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
CNPE - Conselho Nacional de Política Energética
CNT - Confederação Nacional do Transporte
CO₂ - Dióxido de Carbono
CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente



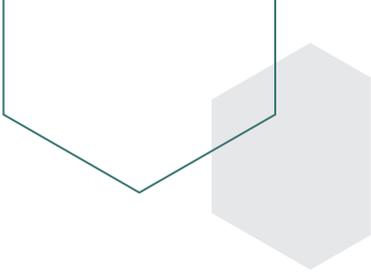
CONTRAN - Conselho Nacional de Trânsito
COPPE/UFRJ - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CSC - Custo Social do Carbono
CTLOG - Câmara Temática de Infraestrutura e Logística do Agronegócio
CVC - Combinação de Veículo de Carga
DATAUNB - Centro de Pesquisas de Opinião Pública da Universidade de Brasília
DER - Departamento de Estradas de Rodagem
DGAD - Departamento de Gestão Ambiental e Desapropriação
DICE - Dynamic Integrated Climate and Economy
DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EAS - Estaleiro Atlântico Sul S.A
EF - Estrada de Ferro
EFC - Estrada de Ferro Carajás
EIA - Estudo de Impacto Ambiental
EMATER - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENSP - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca
EPL - Empresa de Planejamento e Logística S.A.
ERDC - Engineer Research and Development Center
ESG - Escola Superior de Guerra
ESRD - Eixo Simples de Rodas Duplas
ESRS - Eixo Simples Roda Simples
ETC - Estações de Transbordo de Cargas
ETD - Eixo TANDEM Duplo
ETT - Eixo TANDEM Triplo
EVTEA - Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental
FC - Fator de Equivalência de Carga
FDC - Fundação Dom Cabral
FEPASA - Ferrovia Paulista S.A.
FERROGRÃO - Ferrovia EF-170 MT/PA
FGV - Fundação Getúlio Vargas
FGVCELOG - Centro de Excelência em Logística e Cadeia de Suprimentos
FGVCES - Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas
FGV - EAESP Escola de Administração de Empresas da Fundação Getúlio Vargas
FHWA - Federal Highway Administration





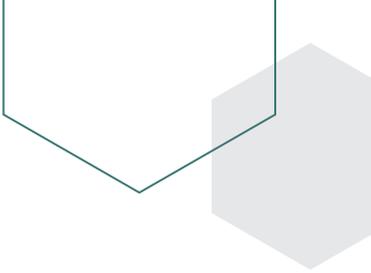
FICO - Ferrovia de Integração Centro-Oeste
FIOCRUZ - Fundação Oswaldo Cruz
FIOL - Ferrovia de Integração Oeste-Leste
FOFA - Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças
FUND - Climate Framework for Uncertainty, Negotiation, and Distribution
GEE - Gases de Efeito Estufa
GEIPOT - Grupo de Estudos para Integração da Política de Transportes
GIRH - Gestão Integrada de Recursos Hídricos
GPS - Global Positioning System
GVCES - Centro de Estudos em Sustentabilidade
GWP - Global Warming Potential
GWP - Global Water Partnership
HDM - Highway Development and Management
HN - Hidrovia Nacional
IAM - Integrated Assessment Models
IBAPE - Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IEDE - Instituto de Desenvolvimento Executivo
HEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
IFC - International Finance Corporation
IHMC - Institute of Human & Machine Cognition
IICA - Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura
IME - Instituto Militar de Engenharia
IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change
IPR - Instituto de Pesquisas Rodoviárias
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISOHDM - International Study of Highway Development and Management
ISSN - Número Internacional Normalizado para Publicações Seriadas
LCPC - Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées
LI - Licença de Instalação
MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCE - Método Custos Evitados
MCP - Método Gastos Preventivos
MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
MDR - Ministério do Desenvolvimento Regional
Minfra - Ministério da Infraestrutura





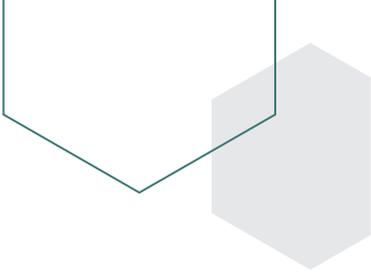
MIT - Massachusetts Institute of Technology
MLG - Modelo Linear Geral
MMA - Ministério do Meio Ambiente
MR - Módulo de Resiliência
MTPA - Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil
NB - Norma Brasileira
NBR - Norma Brasileira Registrada
NDC - Contribuição Nacionalmente Determinada
OAE - Obras de Arte Especial
ODS - Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
OIT - Organização Internacional do Trabalho
ONU - Organização das Nações Unidas
PAGE - Policy Analysis of the Greenhouse Effect
PBGHGP - Programa Brasileiro GHG Protocol
PBT - Peso Bruto Total
PBTC - Peso Bruto Total Combinado
PDZ - Plano de Desenvolvimento e Zoneamento
PHD - Doctor of Philosophy
PHE - Plano Hidroviário Estratégico
PIARC - World Road Association
PIB - Produto Interno Bruto
PMU - Plano de Mobilidade Urbana
PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos
PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PPI - Programa de Parceria de Investimentos
PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
PROMAQ - Programa de Monitoramento Aquaviário
PROMEFL - Programa de Modernização e Expansão da Frota
PUCMINAS - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
QEM - Quadro de Engenheiros Militares
RAMS - Reliability, Availability, Maintainability and Safety
RBV - Resource Based View
RFFSA - Rede Ferroviária Federal S.A.
RIMA - Relatório de Impacto Ambiental
RNA - Redes Neurais Artificiais
RNC - Registro de Não-Conformidade
ROC - Registro de Ocorrência





ROR - Registro de Orientação
SENAC - Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial
SGO - Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais
SICOMEX - Sistema Integrado de Comércio Exterior
SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática
SIE - Secretaria de Estado da Infraestrutura do Estado de Santa Catarina
SIG - Sistema de Informações Geográficas
SITE - Sistema de Inteligência Territorial Estratégica
SITE-MLOG - Sistema de Inteligência Territorial Estratégica da Macrologística Agropecuária Brasileira
SNTT - Secretaria Nacional de Transportes Terrestres
SNTTA - Secretaria Nacional de Transportes Terrestre e Aquaviário
SUST - Subsecretaria de Sustentabilidade
SWOT - Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats
TB - Trem-tipo rodoviário brasileiro
TCU - Tribunal de Contas da União
THI - Transporte Hidroviário Interior
TIC - Tecnologias da Informação e Comunicação
TIR - Taxa Interna de Retorno
TKU - Tonelada Transportada por quilômetro útil
TPB - Toneladas de Porte Bruto
TRANSPETRO - Petrobras Transporte S.A.
TRRL - Transport and Road Research Laboratory
TST - Transporte sobre trilhos
UEM - Universidade Estadual de Maringá
UFLA - Universidade Federal de Lavras
UFPA - Universidade Federal do Pará
UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina
UGF - Universidade Gama Filho
UNALM - Universidad Nacional Agraria La Molina
UnB - Universidade de Brasília
USACE - U.S. Army Corps of Engineers
USP - Universidade de São Paulo
VALEC - Valec Engenharia, Construções e Ferrovias S.A.
VIA VIVA - Seminário Socioambiental em Infraestrutura de Transportes
VLT - Veículo Leve sobre Trilhos
VMD - Volume Médio Diário





VPL - Valor Presente Líquido

WBSCD - World Business Council for Sustainable Development

WITCH - World Induced Technical Change Hybrid

WRI - World Resources Institute

WWF - World Wide Fund for Nature



SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	25
EIXO I: ESTUDOS SOBRE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES	29
ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GEE PARA FIOLETA E FICOM: CERTIFICAÇÃO DE FERROVIAS ESTRUTURANTES PARA OBTENÇÃO DE TÍTULOS VERDES NO BRASIL	30
Natália Bittencourt de Oliveira Angarten Paulo Alipius Miketen da Silva Ana Carla Alves da Silva	
VALORAÇÃO AMBIENTAL DAS EMISSÕES DE CO ₂ : UMA PROPOSTA PARA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES RODOVIÁRIOS	49
Bernardo Bubniak Bocanegra	
EIXO II: BOAS PRÁTICAS COMO MEDIDAS DE RESILIÊNCIA NOS TRANSPORTES	71
TRANSPORTE HIDROVIÁRIO E GESTÃO INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS: PROJETO PILOTO NOS RIOS TAPAJÓS E AMAZONAS	72
Bruna Renata Cavalcante de Barros Eliezé Bulhões de Carvalho	
DO APOGEU AO DECLÍNIO, COMPREENDENDO A CONSTRUÇÃO NAVAL SOB A ÓTICA DA CAPACIDADE OPERACIONAL E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA REDUÇÃO DE EMISSÃO DE CO ₂	93
Mária de Lara Moutta Calado de Oliveira Sergio Iaccarino	
EIXO III: CONTRIBUIÇÕES NO CAMINHO DE UMA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES MAIS SUSTENTÁVEL	115
O SITE-MLOG E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS EM LOGÍSTICA AGROPECUÁRIA	116
Gisele Freitas Vilela Gustavo Spadotti Amaral Castro Marlene de Araújo	
CENÁRIOS DE INFRAESTRUTURA SUSTENTÁVEL VIA READEQUAÇÃO DA MATRIZ INTERMODAL DE TRANSPORTES DO BRASIL	129
Mária de Lara Moutta Calado de Oliveira Sergio Iaccarino	

CRITÉRIOS E PARÂMETROS PARA SUPERVISÃO AMBIENTAL DAS OBRAS DE IMPLANTAÇÃO DO CONTORNO DO MESTRE ÁLVARO, SERRA/ES.....	149
Clezio Ribeiro de Almeida Thiago Oliveira Machado Carlos Alberto da Silva Júnior	
IMPACTO DOS LIMITES DE PESO DOS VEÍCULOS NA RESILIÊNCIA DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES SOB A ÓTICA DO PAVIMENTO E DAS OBRAS DE ARTE ESPECIAIS	168
Theonelly Nascimento Teodozio	
ELABORAÇÃO DE BANCO DE DADOS COM FINS DE MODELAGEM GEOTÉCNICA PARA PAVIMENTAÇÃO DE RODOVIAS NO ESTADO DO CEARÁ.....	188
Wana Maria de Souza Antonio Júnior Alves Ribeiro	



BR-101-ES - Trecho contorno de Iconha-ES 28-02-2019 - Foto: Alberto Ruy-MInfra



INTRODUÇÃO

Os trabalhos apresentados neste livro são frutos de estudos, experimentos e reflexões de 17 estudiosos, profissionais do setor e pesquisadores de diversas áreas do conhecimento que se propuseram a contribuir com o debate.

Este livro incorpora ao repertório de discussão das edições anteriores do VIA VIVA, mais nove trabalhos técnico-científicos a respeito da promoção de sustentabilidade nos transportes, dialogando com a sociedade em três eixos: estudos sobre emissão de gases de efeito estufa - GEE na infraestrutura de transportes; boas práticas como medidas de resiliência nos transportes e contribuições no caminho de uma infraestrutura de transportes mais sustentável.

O primeiro eixo apresenta duas discussões sobre a emissão de gases de efeito estufa derivado do uso dos transportes, em abordagens distintas. O primeiro assinado por Natália Bittencourt de Oliveira Angarten, Paulo Alipius Miketen da Silva e Ana Carla Alves da Silva, apresenta uma avaliação com base nos critérios determinados pela *Climate Bond Initiative - CBI*, à Ferrovia de Integração Oeste-Leste - FIOL e à Ferrovia de Integração Centro-

-Oeste - FICO, de modo a apresentar a potencialidade de certificação verde destes empreendimentos, cujos resultados demonstram que em ambas as ferrovias, os critérios de emissão de CO₂ menor que 25g de gás carbônico por tonelada-quilômetro transportada bem como transporte de carga de combustíveis fósseis abaixo do limite de 50%, foram atendidos, e ainda, com base nas estimativas de emissão de Gases de Efeito Estufa, utilizando-se a metodologia *GHG Protocol*, evidenciou-se redução significativa das emissões atmosféricas em relação à alternativa rodoviária. No segundo trabalho escrito por Bernardo Bubniak Bocanegra, objetivou-se apresentar uma proposta de valoração ambiental das emissões de CO₂ que seja aplicável nas avaliações econômicas de estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental - EVTEA de empreendimentos rodoviários, baseado em profunda revisão bibliográfica sobre valoração ambiental e conceitos econômicos correlatos, com ênfase na valoração ambiental aplicada à infraestrutura de transportes rodoviários, com o intuito de que esta valoração possibilite não apenas identificar qual alternativa de investimento

emite menos carbono, mas estimar um valor monetário para os custos gerados pela emissão de CO₂, possibilitando tomadas de decisão cada vez mais direcionadas a uma infraestrutura sustentável.

O segundo eixo apresenta dois trabalhos de boas práticas que se traduzem em medidas de resiliência nos transportes, ambas direcionadas ao modo de transportes por água. O primeiro, idealizado por Bruna Renata Cavalcante de Barros e Eliezé Bulhões de Carvalho, apresenta uma abordagem holística com a análise de um modelo em implementação pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT para incrementar a sustentabilidade do transporte por hidrovias na Amazônia, por meio de pesquisa documental e observação não participante para descrever a concepção do Programa de Monitoramento Aquaviário - PROMAQ e a implementação das ações de educação ambiental junto a populações ribeirinhas na Amazônia Oriental, nos rios Tapajós - HN-110 e Amazonas - HN-100 e na região dos Estreitos, constatando-se que operação, manutenção e melhoramentos de infraestruturas de transporte não podem estar dissociados do empoderamento das comunidades, a fim de perseguir o objetivo de assegurar a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados para as gerações atual e futura. Em seguida, é apresentado um estudo desenvolvido por Maria de Lara Moutta Calado de Oliveira e Sergio Iaccarino, que objetivou compreender o declínio da construção naval, sob a ótica da capaci-

dade operacional por meio de aprofundada revisão bibliográfica, incluindo-se a identificação de capacidades operacionais de estaleiros brasileiros, em um estudo qualitativo de múltiplos casos, tendo como unidades de análise os casos dos estaleiros Atlântico Sul e Vard Promar, com evidência da importância, no segmento empírico da construção naval, das categorias de capacidade operacional de melhoria, cooperação e controle, mas que se mostraram insuficientes para manter os estaleiros em funcionamento, uma vez que ambos os estaleiros, no momento, estão sem demanda para dar continuidade em suas atividades. Ainda, os resultados indicam a necessidade de melhoria das capacidades de responsividade e reconfiguração, sobretudo em mercados complexos, com fortes tendências globais e dependência de políticas governamentais.

O terceiro eixo apresenta cinco trabalhos que contribuem para o alcance de uma infraestrutura de transportes mais sustentável, no qual o primeiro trabalho corresponde a um caso de estudo, no qual os autores, Gisele Freitas Vilela, Gustavo Spadotti Amaral Castro e Marlene de Araújo, apresentam uma exitosa plataforma virtual desenvolvida em 2018, em atendimento a uma demanda do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, a plataforma on-line Sistema de Inteligência Territorial Estratégica da Macrologística Agropecuária Brasileira - Site-MLog da Embrapa Territorial, sendo que neste trabalho, foi apresentada uma avaliação tecnológica desta plataforma junto a gesto-

res públicos e privados, além disso, analisa pressupostos em relação a possíveis impactos econômicos e ambientais pela substituição de modais na indicação de obras prioritárias, evidenciando-se economias financeiras projetadas na ordem de R\$ 4,7 bilhões para o setor produtivo agropecuário até 2031, ainda, apresenta previsão de redução de emissões de gases de efeito estufa com a implantação de três obras logísticas da ordem de 8,5 milhões de toneladas de CO₂ retirados da atmosfera até 2031, oferecendo suporte direto ao planejamento governamental e às entidades ligadas ao agronegócio. O segundo trabalho desenvolvido em parceria dos autores Maria de Lara Moutta Calado de Oliveira e Sergio Iaccarino ressalta o desequilíbrio da matriz de transportes e contextualiza a qualidade da infraestrutura, governança, arranjo institucional e a competitividade, por meio de uma matriz SWOT estabelecendo cenários para as estratégias de ação vinculadas às políticas sustentáveis, em comparação a outras infraestruturas. O trabalho seguinte, escrito por Clezio Ribeiro de Almeida, Thiago Oliveira Machado e Carlos Alberto da Silva Júnior, destaca a oportunidade de comparação dos impactos ambientais previstos na etapa de planejamento com os eventualmente registrados na etapa de execução da obra, que possibilita a calibração dos métodos de Avaliação de Impactos Ambientais - AIA utilizada na elaboração dos Estudos Ambientais. Com base nas atividades de supervisão ambiental das obras de implantação do Contorno

do Mestre Álvaro, Serra/ES, que demandaram o desenvolvimento de uma sistemática de classificação das eventuais não-conformidades registradas no curso da execução das atividades, permitiu-se a minimização do caráter subjetivo da avaliação da gravidade destes desvios de não conformidades, cujos resultados da emissão dos registros gerou uma melhoria da qualidade ambiental da obra, refletida sobretudo na mudança de comportamento dos trabalhadores da construtora. O quarto trabalho, assinado por Theonelly Nascimento Teodozio, avalia os limites de peso regulamentados pelas normas do DNIT e do Contran em relação aos critérios de dimensionamento de pavimentos e das cargas móveis das Obras de arte especiais - OAE, demonstrando sua adequação para assegurar a integridade do pavimento, contudo, ressalta que os critérios estabelecidos não consideram as especificidades das estruturas, nem acompanham as evoluções normativas, propondo-se a inclusão de critérios nas normas de limites de peso de forma a resguardar as OAE, e, em especial no que diz respeito aos veículos com peso acima de 74 toneladas. O último trabalho, idealizado por Wana Maria de Souza e Antonio Júnior Alves Ribeiro, destaca que a existência de um banco de dados geotécnico para obras rodoviárias é fundamental para a redução dos custos e otimizar a elaboração de projetos de pavimentação, sendo proposta a construção de um banco de dados geotécnico para o estado do Ceará, a partir de um levantamento de dados em projetos viários deste

Estado contratados pelo Departamento de Estradas de Rodagem - DER e DNIT, composto por 1790 amostras, contemplando informações referentes a subleito, empréstimos e jazidas de solos, além disso, foram aplicados dois modelos do tipo linear geral - MLG da variação do *California Bearing Ratio* - CBR por classe da *American Association of State Highway and Transportation Officials* - AASHTO para as energias Normal e Intermediária do Proctor.

Esta obra é mais uma contribuição para o desenvolvimento da sustentabilidade na infraestrutura de transportes, de modo a avançar na discussão de boas práticas transversais para todos os modos de transportes, esperando-se que os leitores encontrem nesta publicação mais um motivo para crer que o VIA VIVA é um fórum qualificado e propício para a discussão de temas socioambientais no âmbito da infraestrutura de transportes.

GEORGE YUN
RENATA HELENA DA SILVA



EIXO I

ESTUDOS SOBRE EMISSÃO
DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES



ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GEE PARA FIOLE E FICO: CERTIFICAÇÃO DE FERROVIAS ESTRUTURANTES PARA OBTENÇÃO DE TÍTULOS VERDES NO BRASIL

RESUMO

O setor de infraestrutura está desenvolvendo importante programa de certificação verde de ferrovias com vistas à captação de recursos para investimento em projetos sustentáveis e que visem à mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Este trabalho avalia com base nos critérios determinados pela *Climate Bond Initiative* - CBI, a Ferrovia de Integração Oeste-Leste - FIOLE e a Ferrovia de Integração Centro-Oeste - FICO, de modo a verificar a potencialidade de certificação verde destes empreendimentos. Para ambas as ferrovias, foram atendidos os critérios de emissão de CO₂ menor que 25g de gás carbônico por tonelada-quilômetro transportada bem como transporte de carga de combustíveis fósseis abaixo do limite de 50%. Com base nas estimativas de emissão de Gases de Efeito Estufa - GEE, utilizando-se a metodologia *GHG Protocol*, pode-se verificar, ainda, redução significativa das emissões atmosféricas quando a alternativa rodoviária é substituída pela ferroviária.

Palavras-chave: Ferrovia; *GHG Protocol*; *Green Bonds*; Títulos Verdes.

Natália Bittencourt de Oliveira Angarten Graduada e mestre em Ciências Biológicas pela Universidade de Brasília. Empregada pública da Valec - Engenharia, Construções e Ferrovias S.A. desde 2015. Em 2019 atuou como Gerente de Meio Ambiente. Desde 2020 atua como Gerente de Monitoramento - GEMON na Superintendência de Gestão Ambiental e Territorial - SUGAT, desenvolvendo projetos relacionados a sistemas e soluções tecnológicas na área de monitoramento, geotecnologia e inteligência de negócios.

Paulo Alipius Miketen da Silva Bacharel em Ciências Ambientais e mestre em Gestão Econômica do Meio Ambiente pela Universidade de Brasília e Pós-Graduado em Gestão, Auditoria e Perícia Ambiental. Colaborador da Valec - Engenharia, Construções e Ferrovias S.A., atua nas áreas de geoprocessamento e perícia ambiental pela Gerência de Monitoramento - GEMON da Superintendência de Gestão Ambiental e Territorial - SUGAT.

Ana Carla Alves da Silva Engenheira Ambiental pela UNICAP. Especialista em Recuperação de Áreas Degradadas pela Unileya. Trabalhou na Agência Pernambucana de Águas e Clima - Apac. Atualmente exerce suas atividades como Engenheira Ambiental na Valec Engenharia, Construções e Ferrovias, atuando, dentre outros programas, no Programa de Controle e Monitoramento de Emissões Atmosféricas.

1. INTRODUÇÃO

O setor de infraestrutura dos transportes é estratégico para o desenvolvimento brasileiro, pois permite uma rápida mobilidade de pessoas, bens e serviços e uma maior difusão geográfica de atividades produtivas. No âmbito econômico, a infraestrutura dos transportes afeta a produtividade do país, influencia no comércio, tanto interno quanto externo, melhora a logística, permite a abertura de novas fronteiras de produção e a diminuição dos custos associados.

No que se refere ao transporte de cargas, o Brasil utiliza principalmente os modais ferroviário, hidroviário e rodoviário, com ênfase para o rodoviário (COLAVITE & KONISHI, 2015). A variabilidade da eficiência e dos custos de deslocamento associados a esses modais de transportes reflete no grau de impacto ao meio ambiente, bem como nos custos dos insumos e dos produtos transportados, influenciando toda cadeia produtiva.

Nesse sentido, o transporte de cargas pelo modal ferroviário caracteriza-se, especialmente, por sua capacidade de transportar grandes volumes, com menores custos, elevada eficiência energética, principalmente em casos de deslocamentos a médias e grandes distâncias (RODRIGUES, 2004). O Ministério dos Transportes (2012) corrobora com esse entendimento ao afirmar que o modal ferroviário é mais eficiente em uma perspectiva de gasto energético, e consequentemente, emite menos poluentes atmosféricos e ga-

ses de efeito estufa, ao se comparar com o modal rodoviário.

Sob esse prisma “verde”, o investimento na infraestrutura ferroviária passa ter novas diretrizes, como a captação de recursos para investimentos em projetos de sustentabilidade que visam à mitigação e adaptação das mudanças ambientais e climáticas por meio da emissão de títulos verdes - *Green Bonds*.

Nesse viés, o Ministério da Infraestrutura assinou em setembro de 2019 o Memorando de Entendimento com a organização Climate Bonds Initiative - CBI para a estruturação do primeiro programa brasileiro de certificação de títulos verdes para investimento em infraestrutura, inicialmente voltado para as ferrovias, dentre as quais estão incluídas a Ferrovia de Integração Oeste-Leste - FIOL e a Ferrovia de Integração Centro-Oeste - FICO. Tais títulos de “infraestrutura verde”, além de valorizar os projetos a serem concedidos e ampliar as alternativas de financiamento, trazem impacto nas metas de redução de emissões previstas no Acordo de Paris (2015). Acordo esse ratificado por 180 países (KOS-SOY, 2018), que se comprometeram, por meio da Contribuição Nacionalmente Determinada - NDC, a diminuir as emissões de carbono e, consequentemente, a reduzir o aquecimento global e a probabilidade de ocorrência de eventos extremos. O compromisso foi firmado em dezembro de 2015 e entrou em vigor em novembro

de 2016, sendo que o Brasil apresentou uma das NDC mais ambiciosas (KOSSOY, 2018), comprometendo-se a reduzir as emissões de GEE em 37% até 2025 e 43% até 2030, abaixo dos níveis obtidos em 2005 (MMA, 2020). Desse modo, existem diversas iniciativas com o intuito de contribuir e apoiar o Brasil (KOSSOY, 2018), dentre eles os Green Bonds.

Os Green Bonds têm grande potencial de promover maior reconhecimento e segurança aos projetos de infraestrutura brasileiros no exterior, o que favorece ao aces-

so de mercados e investidores estrangeiros, além de propiciar maior suporte aos empreendimentos, uma vez que este mercado se encontra em ascensão.

Diante desse cenário, este artigo se propõe a apresentar a avaliação das ferrovias FIOL e FICO como potenciais projetos verdes à luz dos critérios de certificação do CBI, estimar as emissões de GEE desses empreendimentos na fase de operação e com base no consumo de combustível, bem como comparar as estimativas de emissões entre os modais rodoviário e ferroviário.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. PROBLEMATIZAÇÃO

A certificação de empreendimentos para a emissão de títulos verdes é inovador no setor ferroviário nacional e traz vantagens ao possibilitar a captação de recursos para o desenvolvimento de projetos sustentáveis. Neste sentido, a Superintendência de Gestão Ambiental e Territorial da Valec – SUGAT realizou a análise da FIOL e da FICO quanto ao atendimento aos critérios estabelecidos pelo CBI para certificação de ferrovias como projetos verdes. Para tanto, deve-se comprovar uma emissão menor que 25g de gás carbônico por tonelada-quilômetro transportada e carga total de combustíveis fósseis menores que 50% do frete total. De forma complementar, deve ser evidenciada a redução de emissões de GEE quando da mudança do modal rodoviário para o ferroviário.

2.2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLOGIA

2.2.1. Ferrovias

A Ferrovia de Integração Oeste-Leste - EF 334/FIOL apresenta aproximadamente 1.522 quilômetros de extensão entre o futuro porto de Ilhéus/BA e Figueirópolis/TO (Figura 1) e prevê o transporte de grãos e farelo, álcool, açúcar, algodão, minério de ferro e demais produtos (VALEC, 2010). A ferrovia é dividida em três trechos. A FIOL I, entre Ilhéus/BA a Caetitê/BA, e, a FIOL II, de Caetitê/BA a Barreiras/BA, encontram-se em fase de Licença de Instalação - LI. Na FIOL III, de Barreiras/BA a Figueirópolis/TO, ainda em processo de emissão de LI, não existe intervenção de obras.

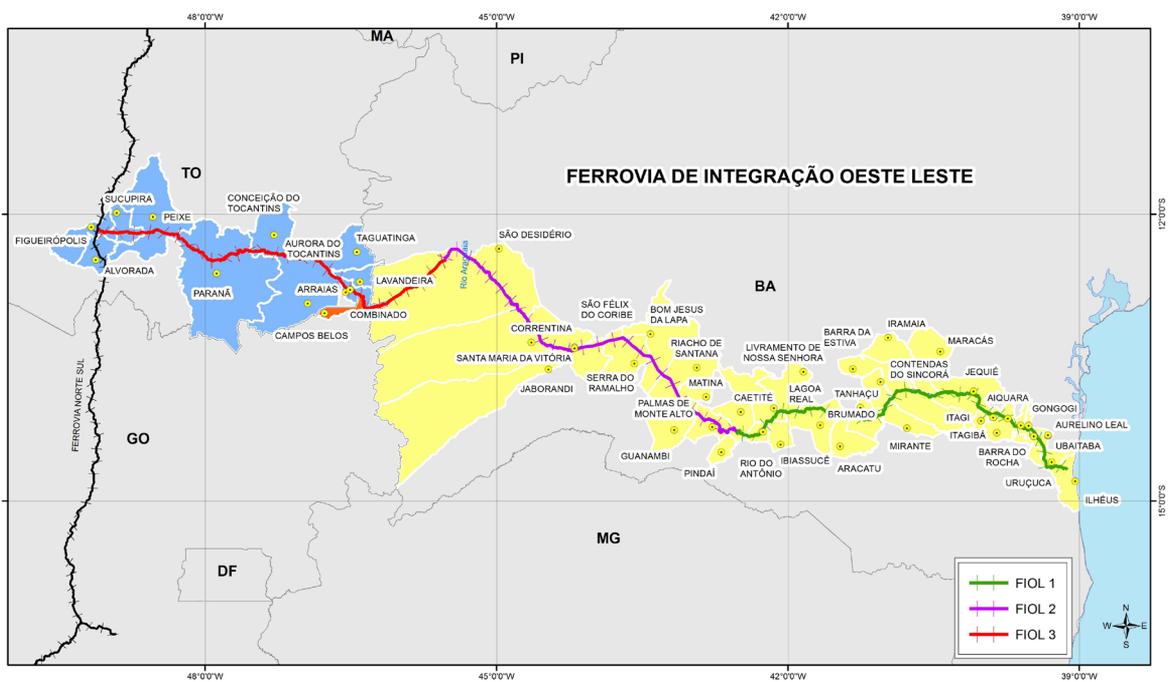


FIGURA 1 | Mapa esquemático da EF 334/FIOL.

A Ferrovia de Integração Centro-Oeste - EF 354/FICO, no trecho considerado como FICO I e II, apresenta cerca de 880 quilômetros de extensão (374,4 quilômetros de Mara Rosa/GO a Água-Boa/MT e 505 quilômetros de Água Boa/MT a Lucas do Rio Verde/MT, respectivamente) (Figura 2). Entre Mara Rosa/GO e Lucas do Rio Verde/MT, são transportados fertilizantes, óleo diesel combustível, cimento e carga geral no sentido importação e soja, milho e algodão no sentido exportação (VALEC, 2018). Ambos os trechos da ferrovia se encontram em processo de emissão de Licença de Instalação.

O Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e ambiental - EVTEA da FICO (VALEC, 2018) levanta a possibilidade três cenários possíveis de transporte. O cenário I traz um panorama sem a Ferrogrão, ferrovia com extensão de 933 quilômetros entre os municípios de Sinop/MT e Iaituba/PA. Tendo em vista a perspectiva de implanta-

ção da ferrovia, este cenário foi desconsiderado neste estudo, sendo objeto de análise somente os cenários II e III. O cenário II - Alocação com Repartição de Fluxos considera a implantação da Ferrogrão, no qual, hipoteticamente, é considerado que os fluxos de grãos originados nos municípios da região de Lucas do Rio Verde seriam repartidos igualmente entre a alternativa de exportação pela Ferrogrão e a alternativa de exportação pela Ferrovia Norte-Sul, através da EF-354. O cenário III - Alocação Tudo ou Nada considera a implantação da Ferrogrão, na qual a totalidade da demanda de transporte de grãos (soja e milho), originada num dado Município, seja alocada à rota de menor custo de transporte, sem limite de capacidade. Neste caso a Ferrogrão deve captar um volume significativo de cargas anteriormente alocadas à EF-354 no cenário sem Ferrogrão. A presença da Ferrogrão praticamente elimina o fluxo de grãos de Lucas do Rio Verde para a FICO I (VALEC, 2018).

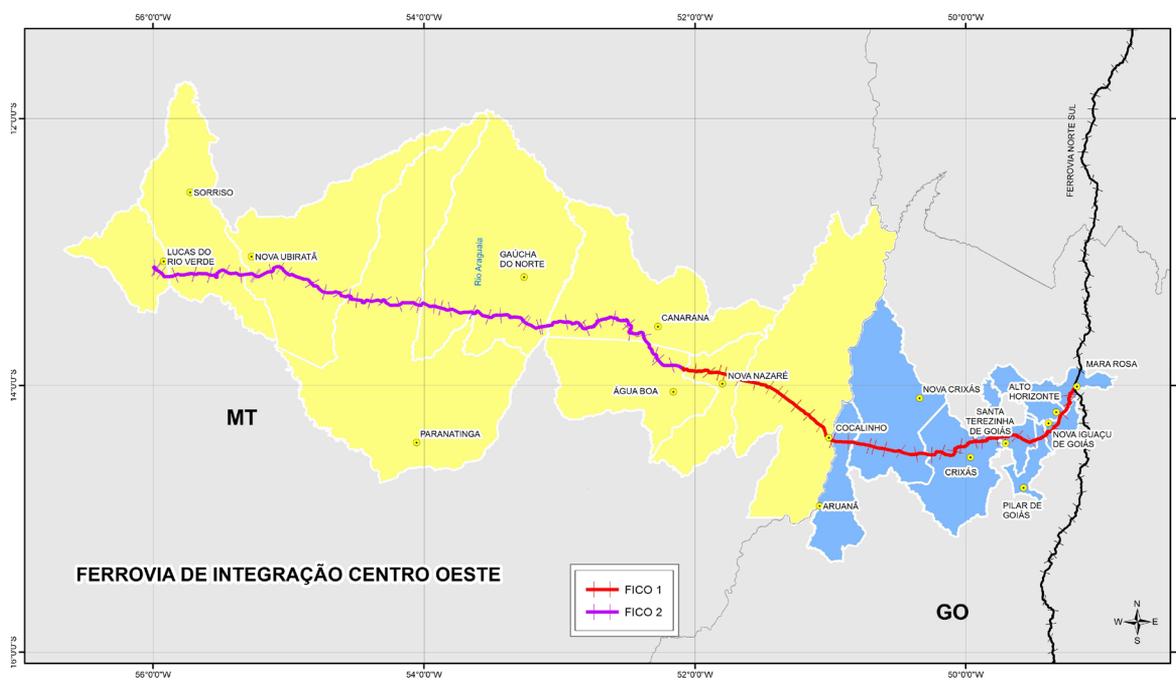


FIGURA 2 | Mapa esquemático da EF 354/FICO.

2.2.2. Metodologia de cálculo

Os dados utilizados para a definição dos fatores de emissão de cada empreendimento foram obtidos dos seus respectivos EV-TEA (VALEC, 2010; 2018) e estão discriminados no Quadro 1.

Os fatores de emissão de CO₂ com base na tonelada útil transportada (t.ku) foram obtidos por meio da equação $Fe = Ce \times Fed$, em que Fe representa o fator de emissão de CO₂ da ferrovia em t/t.ku; Ce é o consumo específico em l/t.ku; e Fed é o fator de emissão de CO₂ do combustível diesel em t/l, igual a 0,0026305 (IPCC, 2006).

Para o cálculo de emissões totais de GEEs foi utilizada a metodologia do GHG Protocol. O Programa Brasileiro GHG Protocol - PBGHGP tem por objetivo promover a ampliação da mensuração de emissões de gases de efeito estufa, bem como a publicação e inventariança das emissões nas mais diversas organizações.

Trata-se da maior base de dados públicas de inventários corporativos de GEE da América Latina, inicialmente desenvolvida nos Estados Unidos em 1998, e o método mais usado mundialmente por empresas e governos para cálculos de emissões de GEE. O método foi adaptado ao contexto brasileiro em 2008 pelo Centro de Estudos em Sustentabilidade - GVces - da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas - FGV EAESP e pelo World Resources Institute - WRI em parceria com o Ministério do Meio Ambiente, Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável - CEBDS, World Business Council for Sustainable Development - WBSCD e 27 Empresas Fundadoras (GHG PROTOCOL BRASIL, 2017).

Ele permite o inventário do período anual anterior e a ferramenta disponível em GHG PROTOCOL BRASIL é atualizada ano a ano a partir da inserção das informações pelos mais diversos setores.

QUADRO 1 | Dados utilizados para cálculo dos fatores de emissão.

Trecho	Origem e destino	Distância (km)	Carga útil (tu)	Locomotiva (t)	Carga total (t)	Consumo (L)	t.ku	Consumo específico (L/t.ku)
FIOL								
FIOL I	Caetitê/BA – Ilhéus/BA	532	18.870	3.230	22.100	20.104	10.040.727	0,0031351
FIOL I	Ilhéus/BA - Caetitê/BA	530		3.230	3.230	11.375		
FIOL II	Barreiras/BA - Caetitê/BA	471	8.280	2.760	11.040	11.982	3.898.224	0,0049343
FIOL II	Caetitê/BA - Barreiras/BA	470		2.760	2.760	7.253		
FIOL III	Figueirópolis/BA - Barreiras/BA	520	8.280	2.760	11.040	14.575	4.304.772	0,0051798
FIOL III	Barreiras/BA - Figueirópolis/BA	518		2.760	2.760	7.723		
FICO Cenário I								
FICO I	Mara Rosa/GO a Água Boa/MT	374,4	14.256	4.464	18.720	17.809	5.337.446,4	0,00472998
FICO I	Água Boa/MT a Mara Rosa/GO					7.437		
FICO II	Água Boa/MT a Lucas do Rio Verde/MT	506,0	14.256	4.464	18.720	24.001	7.212.837,4	0,00477329
FICO II	Lucas do Rio Verde/MT a Água Boa/MT					10.428		
FICO Cenário II								
FICO I	Mara Rosa/GO a Água Boa/MT	374,4	9.504	2.976	12.480	11.859,95	3.558.297,6	0,00474986
FICO I	Água Boa/MT a Mara Rosa/GO					5.041,46		
FICO II	Água Boa/MT a Lucas do Rio Verde/MT	506,0	9.504	2.976	12.480	16.245,93	4.808.558,3	0,00482044
FICO II	Lucas do Rio Verde/MT a Água Boa/MT					6.933,44		

Fonte: VALEC (2010; 2018)

O método foi adaptado para o cálculo à medida que foi extrapolado para a estimativa de emissões futuras (GHG PROTOCOL BRASIL, 2020).

A estimativa das emissões atmosféricas foi realizada utilizando-se o consumo anual de combustível obtido a partir do número de viagens previstas ao ano, da extensão dos trechos ferroviários e do volume de combustível gasto por veículo/trem por viagem. Para o cálculo, considerou-se o Diesel Comercial com fração de biodiesel de 15%, conforme Resolução nº 16 de 29 de outubro de 2018, do Conselho Nacional de Política Energética - CNPE. A citada Resolução dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel, estabelecendo que no cenário a partir de março de 2023, o percentual obrigatório é de 15% de biodiesel. No entanto, para a FIOLE, que possui dados de consumo a partir de 2021, com o intuito de uniformizar os cálculos, utilizou-se o percentual de 15% já para os anos de 2021 e 2022.

Foram estimadas as emissões dos gases de efeito estufa dióxido de carbono - CO₂, metano - CH₄ e óxido nitroso - N₂O, bem como de poluente atmosféricos como o monóxido de carbono - CO, dióxido de oxigênio - NO₂ e material particulado - MP. Os resultados referentes aos GEE foram expressos em termos de Dióxido de Carbono Equivalente - CO₂e, conforme equivalência do Potencial de Aquecimento Global, *Global Warming Potential* - GWP, para esses gases.

Os fatores de emissão dos gases CO₂, CH₄ e N₂O foram apresentados pela própria ferramenta *GHG Protocol*, tanto para o modal ferroviário, quanto para o rodoviário. Já os fatores de emissão dos gases CO e NO₂ e do MP foram obtidos para motores movidos a Diesel considerando a fase 5 do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE (MMA, 2011). Nos cálculos para a conversão das unidades desses fatores, de gpoluente/kg-combustível para kgpoluente/Lcombustível, utilizaram-se as densidades do diesel igual a 0,853 kg/L e a do biodiesel igual a 0,88 kg/L (BR DITRIBUIDORA, 2015; 2018).

A partir do volume de combustível e dos fatores de emissão de cada gás, obteve-se o quantitativo em massa (tonelada) dos gases emitidos. Para esse cálculo, multiplicou-se o fator de emissão do gás pelo volume de combustível em litros, dividindo-se o resultado por mil (fator de conversão de quilograma para tonelada).

Para a comparação entre os modais ferroviário e rodoviário foi utilizada a mesma ferramenta *GHG Protocol*, mas com cálculos específicos para cada modal. Utilizou-se, para efeito de comparação, um caminhão bi-trem de sete eixos com capacidade de transporte de 37 toneladas úteis (SILVA, 2015). A rota rodoviária foi obtida por meio do *software Google Maps*, considerando a rota ferroviária no que diz respeito aos pátios previstos no EVTEA. Foram mensurados, então, quantos caminhões seriam necessários para o transporte da mesma carga prevista para a ferrovia.

Para a FIOI, o percurso considera os municípios de Figueirópolis/TO, Combinado/TO, Barreiras/BA, Correntina/BA, Caetité/BA, Tanhaçú/BA e Ilhéus/BA, sendo que para a FIOI I – trecho caracterizado pelo transporte de minérios – seriam necessários 510 caminhões para cada viagem da ferrovia. Já para a FIOI II e III, seriam necessários 223 caminhões para carregamento da carga para cada um dos trechos. Para

a FICO o percurso considera os municípios de Vilhena/RO, Campos de Júlio/MT, Brasnorte/MT, Nova Maringá/MT, Lucas do Rio Verde/MT, Paratininga/MT, Água Boa/MT, Nova Crixás/GO e Mara Rosa/GO. O número de caminhões necessários para o transporte da carga do trem para a FICO I e II é de 385,3 caminhões para cada viagem da ferrovia no cenário II. No cenário III seriam necessários 257 caminhões.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1. FATOR DE EMISSÃO

Para atendimento ao primeiro critério de certificação dos empreendimentos pelo CBI foram obtidos os fatores de emissão de CO₂ em gramas por tonelada útil transportada. Os resultados podem ser observados na Tabela 1.

3.2. TRANSPORTE DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

No que se refere à participação do transporte de combustíveis fósseis no frete total, para a FICO I e II, em ambos os cenários, o valor variou entre 27% e 33% (Tabela 2 e Tabela 3). Segundo o EVTEA (VALEC, 2010), não há previsão de transporte de combustíveis fósseis na FIOI, razão pela qual não foi incluída nesta análise.

TABELA 1 | Fatores de emissão (gCO₂/t.ku) por trecho ferroviário.

Trecho	Fator de emissão (gCO ₂ /t.ku)
FIOI I	8,247
FIOI II	12,980
FIOI III	13,626
FICO I – Cenário II	12,442
FICO II – Cenário II	12,556
FICO I – Cenário III	12,494
FICO II – Cenário III	12,680

TABELA 2 | Representatividade dos fretes por produto. FICO I e II - Cenário II.

Produto	Taxa Part. (%) (1)	Ano 2023	% Ano 2023	Ano 2027	% Ano 2027	Ano 2032	% Ano 2032	Ano 2042	% Ano 2042	Ano 2052	% Ano 2052
Soja	100,0	141,7	8%	112,3	6%	112,3	6%	112,5	6%	112,8	6%
Milho	100,0	141,1	8%	109,0	6%	108,9	6%	109,3	6%	110,0	6%
Algodão	100,0	225,5	13%	177,6	9%	177,8	9%	178,4	10%	179,3	10%
Álcool	100,0	-	0%	500,4	27%	500,4	27%	500,4	27%	500,4	27%
Fertilizantes	100,0	235,8	13%	173,1	9%	173,0	9%	173,1	9%	173,4	9%
Óleo Diesel	100,0	572,4	33%	509,1	27%	509,0	27%	509,2	27%	509,4	27%
Cimento	100,0	261,5	15%	156,6	8%	156,7	8%	156,7	8%	156,9	8%
Demais Produtos	100,0	169,3	10%	137,8	7%	137,8	7%	137,8	7%	138,0	7%
TOTAL		1.747,3	100%	1.875,8	100%	1.875,8	100%	1.877,3	100%	1.880,2	100%

Fonte: VALEC (2018)

TABELA 3 | Representatividade dos fretes por produto. FICO 1 e 2 - Cenário III.

Produto	Taxa Part. (%) (1)	Ano 2023	% Ano 2023	Ano 2027	% Ano 2027	Ano 2032	% Ano 2032	Ano 2042	% Ano 2042	Ano 2052	% Ano 2052
Soja	100,0	141,7	8%	131,0	7%	130,9	7%	131,2	7%	131,6	7%
Milho	100,0	141,1	8%	133,4	7%	133,4	7%	134,1	7%	135,0	7%
Algodão	100,0	225,5	13%	177,6	9%	177,8	9%	178,4	9%	179,3	9%
Álcool	100,0	-	0%	500,4	26%	500,4	26%	500,4	25%	500,4	25%
Fertilizantes	100,0	235,8	13%	192,8	10%	192,6	10%	192,1	10%	192,0	10%
Óleo Diesel	100,0	572,4	33%	529,0	27%	528,8	27%	528,3	27%	528,1	27%
Cimento	100,0	261,5	15%	156,6	8%	156,7	8%	156,7	8%	156,9	8%
Demais Produtos	100,0	169,3	10%	141,4	7%	141,3	7%	141,2	7%	141,1	7%
TOTAL		1.747,3	100%	1.962,2	100%	1.961,8	100%	1.962,3	100%	1.964,4	100%

Fonte: VALEC (2018)

3.2.1. FIOL

Quanto às estimativas de emissões para cada uma das ferrovias, obtidas por meio da ferramenta GHG *Protocol*, para a FIOL I estimou-se a emissão média de CO₂ equivalente de cerca de 374 mil toneladas anuais. Para a FIOL II e III, esse valor foi me-

nor, apresentando cerca de 96 mil e 30 mil toneladas médias de CO₂ equivalentes, respectivamente (Gráfico 1). As emissões específicas de CH₄ e N₂O para todos os trechos da FIOL podem ser observadas no Gráfico 2 e para CO, NO₂ e MP no Gráfico 3.

GRÁFICO 1 | Emissões de CO₂ e CO₂ equivalente para FIOL, dividida em trechos.

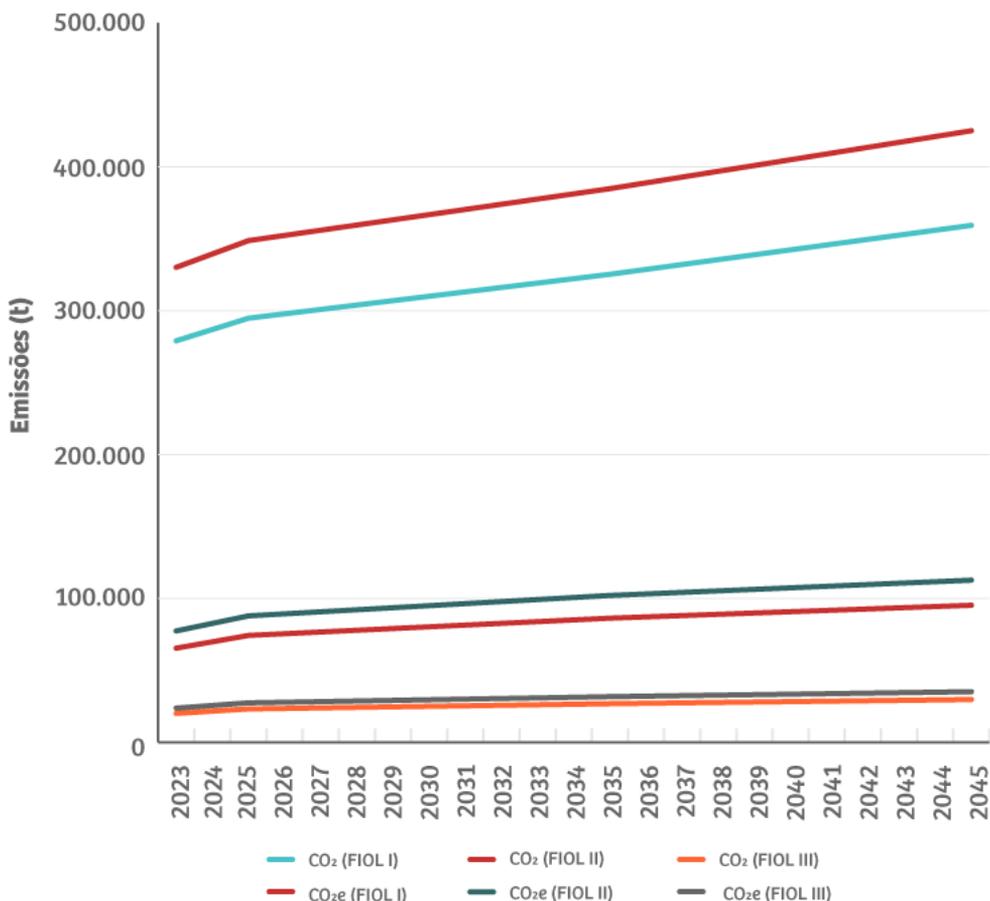


GRÁFICO 2 | Emissões de CH₄ e N₂O para FIO L, dividida em trechos.

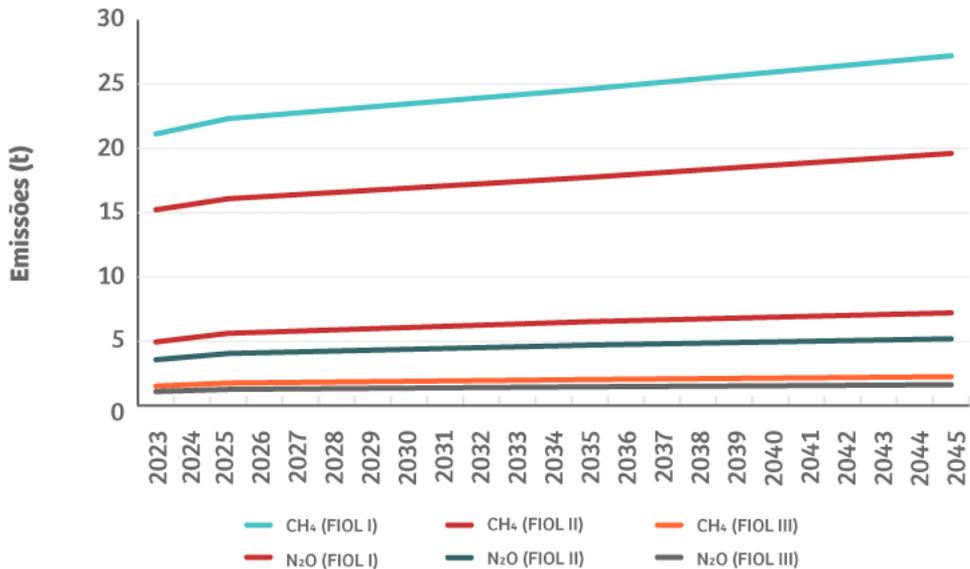
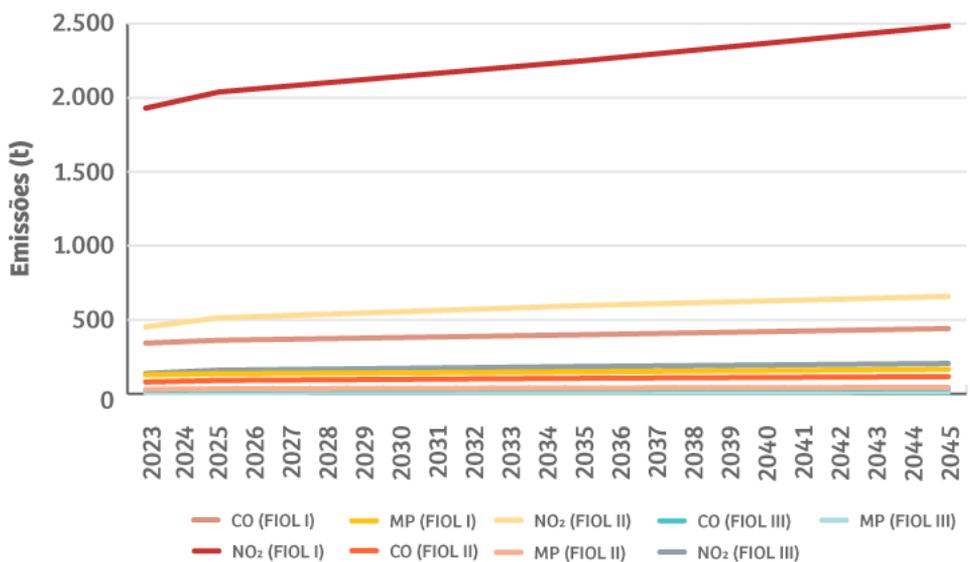


GRÁFICO 3 | Emissões de CO, NO₂ e MP para FIO L, dividida em trechos.



3.2.2. FICO

Para a FICO I e II no cenário II, os valores médios de CO₂ equivalente foi cerca de 240,5 e 214 mil toneladas anuais (Gráfico 4). No cenário III, esses valores atingiram cerca de 101 e 34 mil tonela-

das/ano (Gráfico 5). As emissões específicas de CH₄ e N₂O para todos os trechos e cenários da FICO podem ser observadas nos gráficos 6 e 7 e para CO, NO₂ e MP nas gráficos 8 e 9.

GRÁFICO 4 | Emissões de CO₂ e CO₂ equivalente para FICO (Cenário II), dividida em trechos.

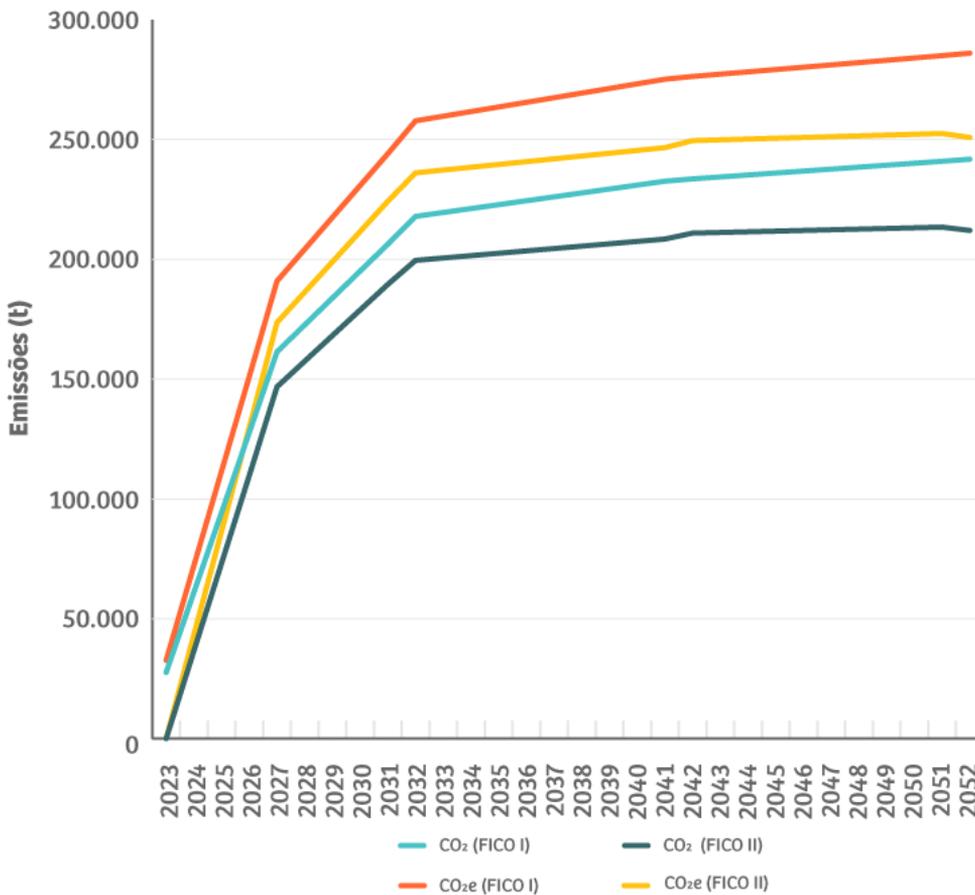


GRÁFICO 5 | Emissões de CO₂ fóssil e CO₂ equivalente para FICO (Cenário III), dividida em trechos.

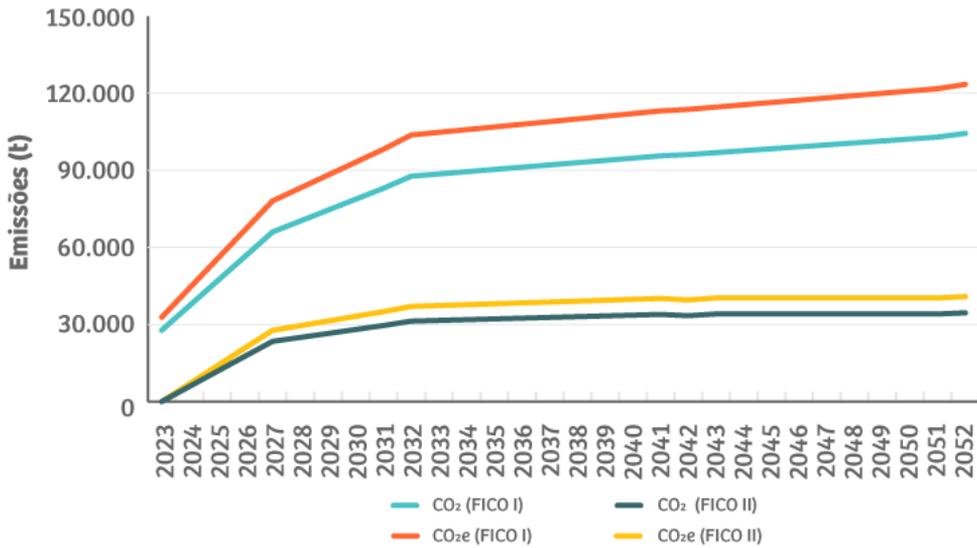


GRÁFICO 6 | Emissões de CH₄ e N₂O para FICO (Cenário II), dividida em trechos.

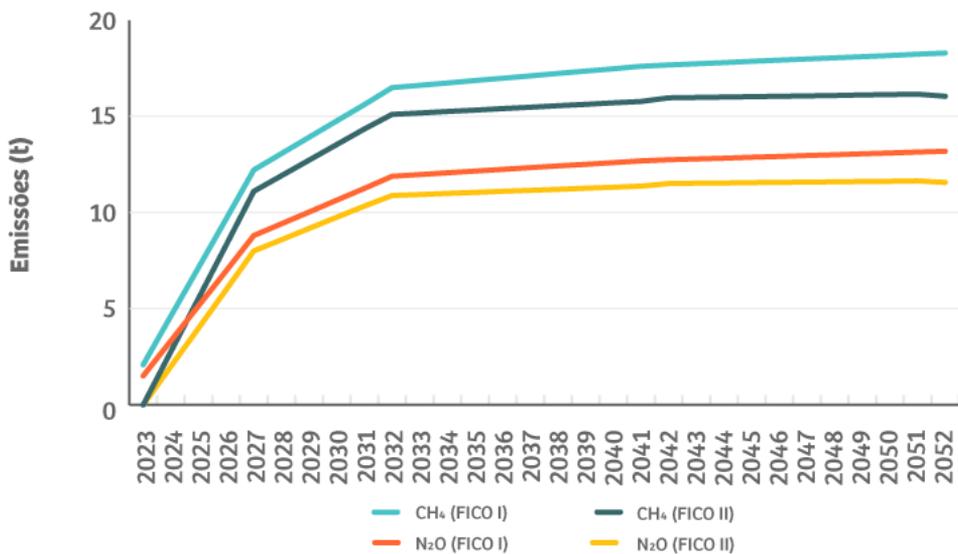


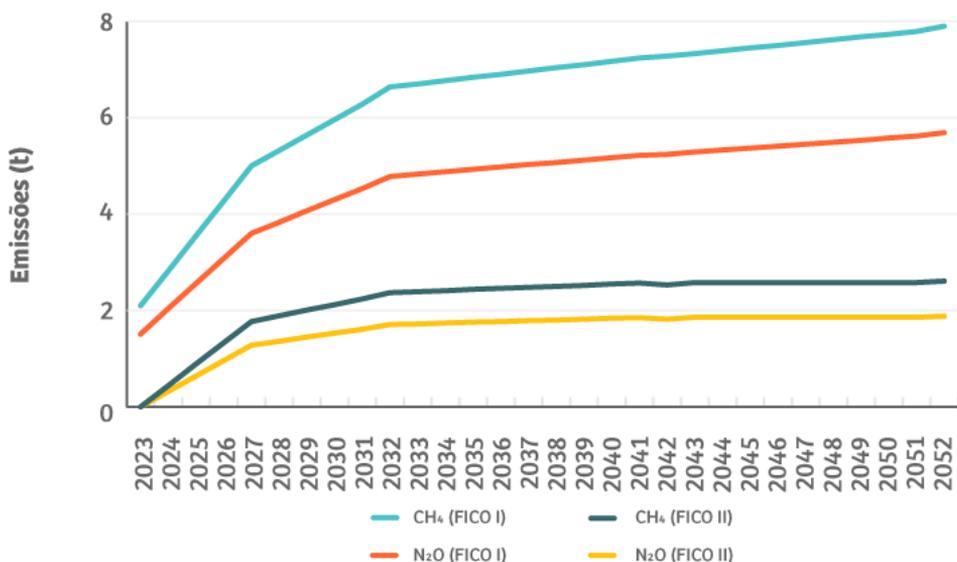
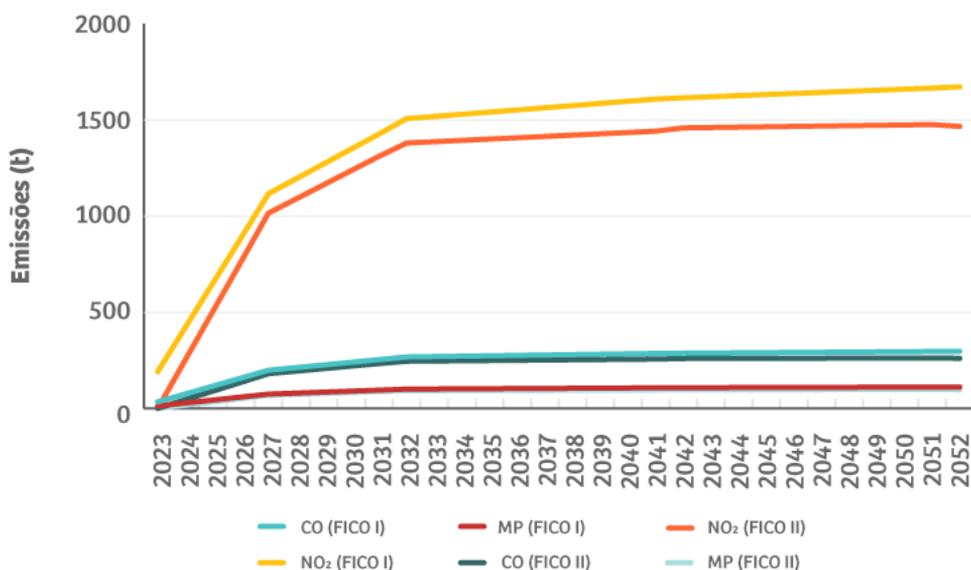
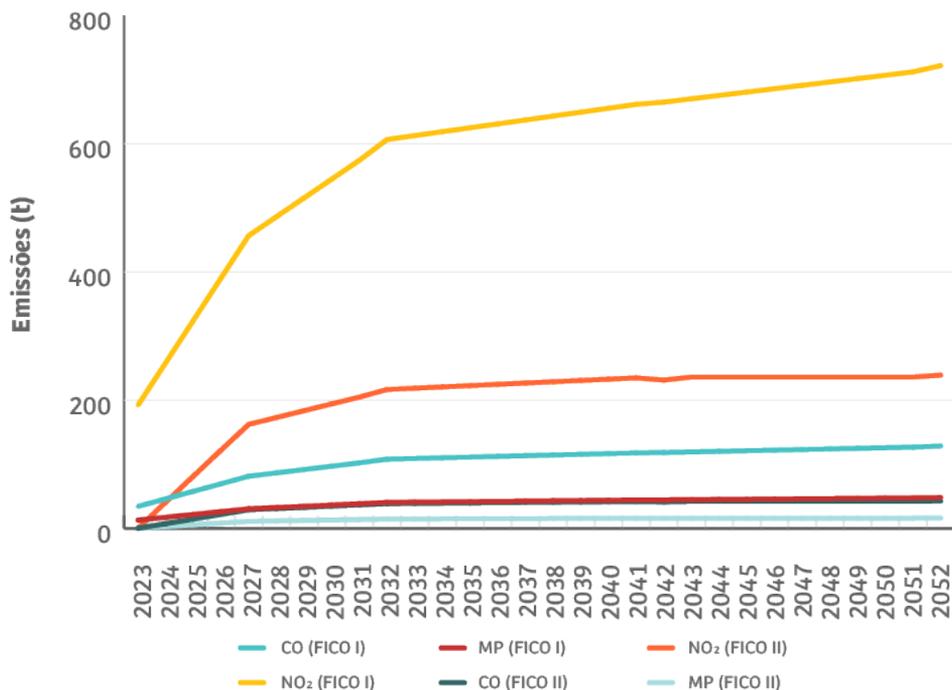
GRÁFICO 7 | Emissões de CH₄ e N₂O para FICO (Cenário III), dividida em trechos.**GRÁFICO 8** | Emissões de CO, NO₂ e MP para FICO (Cenário II), dividida em trechos.

GRÁFICO 9 | Emissões de CO, NO₂ e MP para FICO (Cenário III), dividida em trechos.



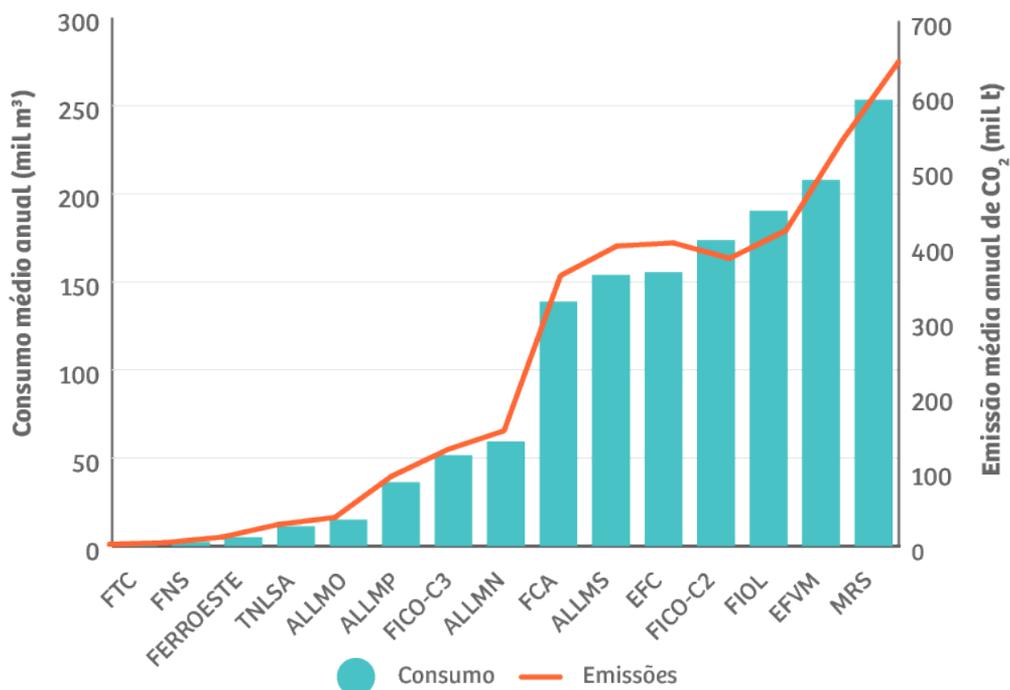
3.2.3. Breve Comparativo

Os dados obtidos por esse estudo estão condizentes com os resultados apresentados pela Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT em seu Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas do Transporte Ferroviário realizado em 2012. Neste relatório, a agência utiliza a metodologia *tier 1* do *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC com base no consumo anual de

combustíveis. Para consumo semelhante de combustível fóssil, obtiveram-se valores próximos de emissão de GEE (Gráfico 10).

As emissões obtidas para FIOLE e a FICO foram comparáveis à ALL Malha Norte, hoje denominada Rumo Malha Norte S.A., Estrada de Ferro Carajás - EFC e Estrada de Ferro Vitória-Minas - EFVM, entre os anos de 2002 a 2011.

GRÁFICO 10 | Comparativo de emissões de CO₂ entre ferrovias brasileiras com base no consumo médio anual de combustível.



Fonte: ANTT, 2012.

3.3. COMPARAÇÃO DE EMISSÕES DE GEE ENTRE OS MODAIS FERROVIÁRIO E RODOVIÁRIO

A comparação entre os modais ferroviário e rodoviário foi realizada utilizando-se os valores médios de emissão anual para cada um dos trechos das ferrovias, considerando a mesma carga transportada e o trajeto rodoviário equivalente ao ferroviário. Para a FIOL, foi obtida a redução média anual de

emissões de CO₂ equivalente de 85%, 80% e 86% para os trechos I, II e III respectivamente (Gráfico 11).

Para a FICO I, em ambos os cenários, a redução média anual de emissão de CO₂ equivalente foi de 84%, e para a FICO II, de 86% (Gráfico 12).

GRÁFICO 11 | Resultados da comparação das emissões dos modais ferroviário (FIOLE) e rodoviário.

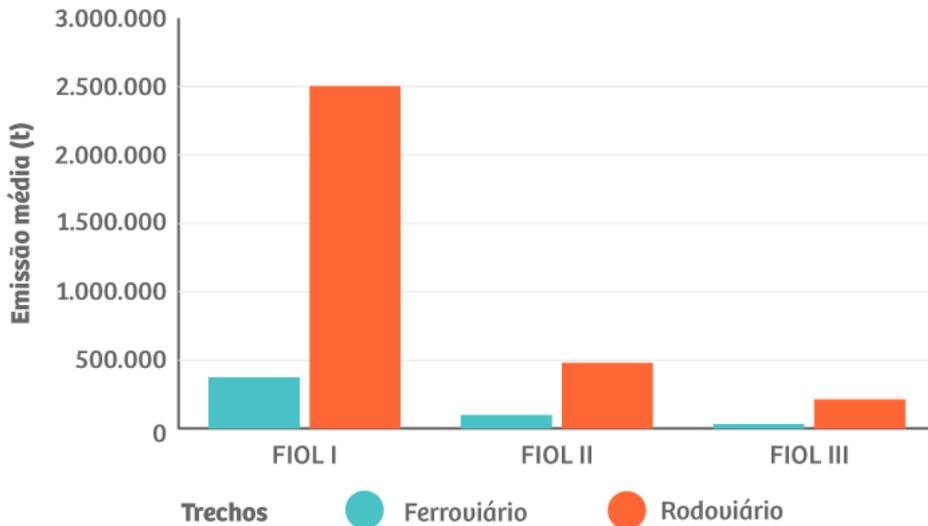
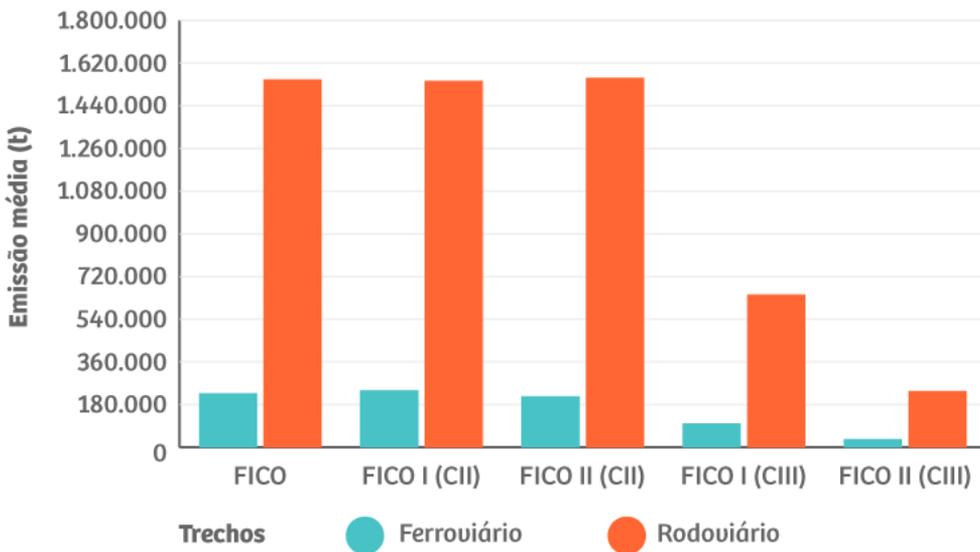


GRÁFICO 12 | Resultados da comparação das emissões dos modais ferroviário e rodoviário (Cenário II – CII e Cenário III - CIII).



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma análise da FIOL e da FICO quanto ao enquadramento destas ferrovias nos critérios de certificação determinados pelo *CBI* para certificação projetos verdes.

O primeiro critério requerido é a emissão de CO₂ menor que 25g de gás carbônico por tonelada-quilômetro transportada. Como pode ser observado na Tabela 2, tanto a FIOL quanto a FICO apresentaram valores de emissão bem abaixo do máximo permitido. Já com relação ao segundo critério, o transporte de carga de combustíveis fósseis para a FICO atingiu o máximo de 33%, abaixo do limite de 50% determinado pelo *CBI*, conforme tabelas 3 e 4. Para a FIOL não há previsão de transporte deste tipo de carga.

Restou evidenciada, também, a redução das emissões de gases de efeito estufa quando a alternativa rodoviária é substituída pela ferroviária. A ferrovia é capaz de transportar maior volume de carga, com maior eficiência e a maiores distâncias. Vê-se essa eficiência revestida de factual sus-

tentabilidade econômica e ambiental quando comparado a matriz rodoviária.

Dessa forma, considerando os resultados obtidos pela análise da FIOL e FICO, ambas as ferrovias demonstraram potencial para certificação como projetos verdes e, conseqüentemente, eletivos para financiamento por meio da emissão de títulos verdes.

A certificação das ferrovias promove maior visibilidade aos projetos, atuando como marketing verde, além de apoiar as metas de redução de gases de efeito estufa acordadas pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris de 2015, a qual prevê a redução de 37% de emissões de GEE até 2025 e 43% até 2030, em comparação aos níveis de 2005.

Desta forma, o desenvolvimento da infraestrutura do transporte ferroviário recebe um importante aliado, em termos de fontes de financiamento, ao mobilizar recursos advindos do mercado de títulos verdes promovendo o desenvolvimento do país alinhado a políticas sustentáveis e de enfrentamento dos riscos associados às mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

- 1 AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas do Transporte Ferroviário de Cargas. 2012. Disponível em <http://www.antt.gov.br/textogeral/Informacoes_Tecnicas.html>. Acesso em: 08 de junho de 2020.
- 2 BR DISTRIBUIDORA. Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - BIODIESEL (B-100). BR Distribuidora. 2015.

- 3 BR DISTRIBUIDORA. **Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - ÓLEO DIESEL S10 B15 EX**. BR Distribuidora. 2018
- 4 BR DISTRIBUIDORA. **Ficha de In OSHI, F. A matriz do transporte no Brasil: uma análise comparativa para a competitividade**. Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Outubro, 2015.
- 5 GHG PROTOCOL BRASIL. **O Programa Brasileiro GHG Protocol**. 2017. Disponível em: <<https://www.ghgprotocolbrasil.com.br/o-programa-brasileiro-ghg-protocol?locale=pt-br>>. Acesso em: 01 de junho de 2020.
- 6 GHG PROTOCOL BRASIL. **Ferramenta de Cálculo**. 2020 Disponível em: <<https://www.ghgprotocolbrasil.com.br/ferramenta-de-calculo>>. Acesso em: 18 de maio de 2020.
- 7 INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Volume 2. Chapter 3, 2006.
- 8 KOSSOY, A. **Qual é a importância do Brasil no Acordo do clima de Paris?**. Artigo da Organização das Nações Unidas (ONU), novembro de 2018. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/artigo-qual-e-a-importancia-do-brasil-no-acordo-do-clima-de-paris/>>. Acesso em: 11 de setembro de 2020.
- 9 MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES (MT). **Projeto de Reavaliação de Estimativas e Metas do PNLT**. Brasília, 2012.
- 10 MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE (MMA). **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários**. Brasília, 2011.
- 11 MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE (MMA). **Acordo de Paris. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC)**. 2020. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>>. Acesso em: 11 de setembro de 2020.
- 12 MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA (MINFRA). **Ministério da Infraestrutura apresenta obras e ações prioritárias para 2020**. 2019. Disponível em: <<https://www.infraestrutura.gov.br/component/content/article.html?id=9373>>. Acesso em: 16 de junho de 2020.
- 13 RODRIGUES, P. R. A. **Introdução aos Sistemas de Transporte no Brasil e à Logística Internacional**. 2004. 3ª edição. Edições Aduaneiras Ltda., 180 p. São Paulo.
- 14 SILVA, R. J.M. **Metodologia de avaliação de emissões de dióxido de carbono no transporte intermodal: um estudo de caso da soja de exportação brasileira**. 2015. Dissertação de mestrado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- 15 VALEC. **Estudos de Viabilidade (EVTEA)**. 2010. Disponível em <<https://www.valec.gov.br/ferrovias/ferrovia-de-integracao-oeste-leste/estudos-de-viabilidade-evtea>>. Acesso em: 18 de maio de 2020.
- 16 VALEC. **Estudos de Viabilidade (EVTEA) Ferrovia Transcontinental – FICO – Mara Rosa/GO a Lucas do Rio Verde/MT (adequação e atualização)**. 2018. Disponível em <<https://www.valec.gov.br/ferrovias/ferrovia-transcontinental/estudos-de-viabilidade-evtea>>. Acesso em: 25 de maio de 2020.



VALORAÇÃO AMBIENTAL DAS EMISSÕES DE CO₂: UMA PROPOSTA PARA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES RODOVIÁRIOS

RESUMO

A infraestrutura de transportes rodoviários não apenas contribui para o desenvolvimento econômico como também é uma considerável fonte de externalidades ambientais, como às relacionadas às mudanças climáticas. Um dos modos de internalizar os custos externos é incluí-los no processo de avaliação econômica. Verificou-se que nas avaliações econômicas de Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental - EVTEA de empreendimentos de infraestrutura rodoviária do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT não há a inclusão dos custos relativos à emissão de CO₂. Deste modo, o objetivo do artigo é apresentar uma proposta de valoração ambiental das emissões de CO₂ que seja aplicável nas avaliações econômicas de EVTEA de empreendimentos rodoviários. Com base em informações obtidas em consulta a artigos científicos, livros, manuais de avaliação econômica de projetos de transportes, relatórios técnicos, assim como outras publicações relacionadas à fundamentação teórica sobre valoração ambiental e conceitos econômicos correlatos, com ênfase na valoração ambiental aplicada à infraestrutura de transportes rodoviários, o artigo apresenta uma proposta com diretrizes para realizar a valoração ambiental das emissões de CO₂ em uma avaliação econômica de um EVTEA de empreendimentos rodoviários. Tal valoração possibilita não apenas identificar qual alternativa de investimento emite menos carbono, mas estimar um valor monetário para os custos gerados pela emissão de CO₂. Com a incorporação deste valor monetário nas avaliações econômicas, ao se avaliar uma alternativa de investimento, os custos das emissões estarão internalizados, sendo possível determinar a alternativa mais viável economicamente, considerando as externalidades geradas pelas emissões de CO₂.

Palavras-chave: Análise Econômica; Emissão de CO₂; Infraestrutura de Transportes Rodoviários; Mudanças Climáticas; Valoração Ambiental.

Bernardo Bubniak Bocanegra Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Paraná – UFPR. Mestre em Economia pela Universidade de Brasília – UnB. Atualmente é Analista em Infraestrutura de Transportes do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, lotado na Coordenação Geral de Meio Ambiente.

1. INTRODUÇÃO

A infraestrutura de transportes rodoviários, em geral, tem a intenção de melhorar o nível de bem-estar da sociedade. Porém, a construção ou adequação de capacidade de rodovias, além de demandar o uso de uma quantidade significativa de recursos econômicos, é responsável por gerar tanto benefícios como danos à sociedade e ao meio ambiente, os quais não devem ser negligenciados (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997).

Considerando que, na maioria dos países em desenvolvimento, há limitações de recursos econômicos, é conveniente que haja um processo que auxilie tanto à tomada de decisões quanto à priorização de investimentos, assim como verificar se os recursos têm a capacidade de serem alocados de forma que os benefícios possam superar os custos do investimento.

No Brasil, no âmbito do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, existem os Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental - EVTEA, que representam um conjunto de estudos desenvolvidos para avaliação dos benefícios sociais e econômicos decorrentes dos investimentos em implantação de novas rodovias ou melhoramentos de rodovias já existentes (BRASIL, 2006a).

Em um EVTEA, por meio do uso de Análises Custo Benefício - ACB, é verificado se os benefícios estimados podem superar os custos incorridos com o empreendimento. Porém, muitos destes custos e benefícios não possuem um valor monetá-

rio de mercado que permita que sejam estimados diretamente. Grande parte desses custos e benefícios que não podem ser estimados diretamente são relacionados ao meio ambiente (MUELLER, 2012), como no caso das emissões de CO₂. Bocanegra (2017) verificou que, na avaliação econômica dos EVTEA do DNIT, não ocorre a incorporação dos custos das externalidades relativas à emissão de CO₂.

Na literatura, vários métodos de valoração ambiental que permitem estimar um valor monetário para algumas externalidades associadas à infraestrutura de transportes rodoviários. A aplicação de tais técnicas de valoração, adaptadas às características dos EVTEA, pode permitir que as externalidades ambientais geradas pela emissão de CO₂ sejam incorporadas às análises custo benefício.

A valoração das emissões de CO₂ possibilita não apenas identificar qual alternativa de investimento emite menos carbono, mas estimar um valor monetário para os custos gerados pelas emissões. Com a incorporação deste valor monetário nas avaliações econômicas, ao se avaliar uma alternativa de investimento, os custos das emissões estarão internalizados, sendo possível determinar a alternativa mais viável economicamente, considerando as externalidades geradas pelas emissões de CO₂.

A contribuição esperada do artigo é a apresentação de uma proposta de abordagem para realizar a quantificação e valora-

ção ambiental das emissões de CO₂ aplicável às particularidades da avaliação econômica dos Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental - EVTEA de empreendimentos de infraestrutura de transportes ro-

doviários. Na proposta de quantificação, são contabilizadas apenas as emissões geradas pelo uso da rodovia, não são consideradas as emissões pontuais resultantes da construção e manutenção da rodovia.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. PROBLEMATIZAÇÃO

Embora, para a sociedade, haja muitos aspectos positivos advindos da infraestrutura de transportes, pode haver significativos impactos negativos no meio ambiente, tanto em escala local como global. Um dos impactos negativos a nível global da infraestrutura de transportes rodoviários são as emissões de CO₂ que contribuem para as mudanças climáticas (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997; PIARC, 2012).

As externalidades geradas pelas emissões de CO₂ na infraestrutura de transportes rodoviários são significativas em relação às externalidades ambientais? Em caso de resposta afirmativa, é possível estimar um valor monetário para estas emissões? Como incorporar os custos das emissões de CO₂ em alternativas de investimento de infraestrutura de transportes rodoviários no Brasil? O artigo se propõe a responder tais questionamentos e possui como objetivo principal apresentar uma proposta de valoração ambiental para emissões de CO₂ que possa ser aplicável às características de EVTEA de empreendimentos de infraestrutura de transportes rodoviários.

2.2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLOGIA

O desenvolvimento do artigo realizou-se inicialmente por meio de pesquisa bibliográfica a artigos científicos, livros, teses, dissertações, manuais de avaliação econômica de projetos de transportes, relatórios técnicos, assim como outras publicações relacionadas à fundamentação teórica sobre valoração ambiental e conceitos econômicos correlatos, com ênfase na valoração ambiental aplicada à infraestrutura de transportes rodoviários.

Foram verificados aspectos da avaliação econômica de projetos na infraestrutura de transportes, assim como obtidas informações sobre a importância relativa das emissões de CO₂ entre as externalidades ambientais. Foram identificados métodos de valoração ambiental que possam ser utilizados para estimar um valor para as externalidades relacionadas às mudanças climáticas. Em manuais de avaliação econômica de projetos de transportes, foi verificado como ocorre a internalização das emissões de CO₂ e se há viabilidade de replicação de tais procedimentos nas avaliações eco-

nômicas no Brasil. São apresentadas informações do software HDM-4 que possuem aplicabilidade na quantificação das emissões de CO₂ na infraestrutura rodoviária, e por fim, de modo a cumprir com o objetivo do artigo, é apresentada uma proposta de valoração ambiental para as emissões de CO₂ que possa ser aplicável aos EVTEA ou outras avaliações econômicas similares.

2.2.1. Avaliação econômica de projetos na infraestrutura de transportes

Entre possíveis métodos úteis no processo de ordenar a preferência na hierarquização de alternativas de projetos estão a Análise Custo Efetividade, Análise Multicritério, Análise Custo Benefício - ACB, entre outros. Em particular, a ACB além de ser útil no processo de hierarquizar alternativas de projeto, também permite testar sua viabilidade econômica e, desde a década de 1960, tornou-se norma acadêmica aceita para avaliar projetos de infraestrutura de transportes (QUADROS, 2014). Apesar de suas possíveis limitações, a ACB atualmente é um dos métodos de avaliação ex ante mais populares. Reconhecida como a principal técnica de avaliação de investimentos públicos e políticas públicas, a ACB é utilizada em muitos países para decisões de prioridades de investimentos governamentais em projetos de infraestrutura de transportes (PIARC, 2012; QUADROS, 2014).

No setor de transportes rodoviários no Brasil, estabeleceu-se como uma das medidas mais diretas de avaliação e prioriza-

ção de investimentos os estudos de viabilidade técnica e econômica, com os quais, pelos indicadores econômicos resultantes, setores governamentais, instituições financiadoras e até o setor privado passaram a subsidiar suas tomadas de decisões (QUADROS, 2014). No caso do DNIT, o processo de avaliação econômica de empreendimentos de transportes rodoviários é realizado através de estudos conhecidos como Estudos de Viabilidade Técnica Econômica e Ambiental.

No âmbito do DNIT, de acordo com BRASIL (2006a, p. 31), os Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental de empreendimentos rodoviários são: “o conjunto de estudos desenvolvidos para avaliação dos benefícios sociais e econômicos decorrentes dos investimentos em implantação de novas rodovias ou melhoramentos de rodovias já existentes”. A técnica utilizada na avaliação econômica é a ACB.

Como essência, a ideia por detrás da ACB é muito simples. É uma técnica para verificar se os benefícios (melhoria do nível de bem-estar humano ou utilidade) esperados de uma ação são maiores que os custos (redução no nível de bem-estar), avaliados do ponto de vista da sociedade como um todo. Trata-se uma forma racional de decidir sobre a adequabilidade e aceitabilidade de realizar algum empreendimento (PEARCE *et al.*, 2006; HANLEY e BARBIER, 2009; MOURA, 2011).

Um dos pré-requisitos para que os custos e benefícios sejam confrontáveis entre si é que os mesmos sejam mensurados ou repre-

sentados em uma mesma unidade, em geral a monetária (HANLEY e BARBIER, 2009). O objetivo de tais análises é verificar se o valor presente dos benefícios é maior que o valor presente dos custos (DIXON, 2012).

2.2.2. Externalidades, mudanças climáticas o setor de transportes

Uma das principais falhas de mercado que envolve o meio ambiente e geram dificuldades na realização de uma avaliação econômica por meio de uma ACB são os efeitos (custos ou benefícios) externos ou externalidades.

As externalidades podem ser definidas como a diferença existente entre os custos privados e os custos sociais (PEARCE *et al.*, 2006). Elas ocorrem quando uma atividade produz benefícios ou custos para outras atividades que não possuem preços diretos no mercado. Ou seja, nenhuma compensação é recebida ou pagamento é realizado pelo gerador do impacto na renda afetada (PERMAN *et al.*, 2003).

O setor de transportes é uma considerável fonte de danos ambientais que afetam uma ampla faixa de receptores. A extensão de parte destes danos pode ser representada por externalidades cujo valor geralmente não é refletido em preços de mercado (TSOLAKIS *et al.*, 2003; BICKEL *et al.*, 2006), fazendo-se necessário estimar um valor monetário para que tais externalidades possam ser incorporadas em um processo de avaliação econômica que utiliza uma análise custo benefício. Maibach *et al.*

(2008) citam que projetos de pesquisa têm mostrado que a internalização das externalidades dos transportes através mensuração do seu custo (ou benefício) pode ser um eficiente meio de reduzir os impactos negativos do setor de transportes.

Entre as principais fontes de externalidades resultantes da infraestrutura de transportes estão as mudanças climáticas geradas pelas emissões de gases de efeito estufa, entre os quais o CO₂ (TSOLAKIS *et al.*, 2003; MAIBACH *et al.*, 2008; GIBSON *et al.*, 2014; UK GOVERNMENT, 2015; ARE, 2016). Bocanegra (2017), ao analisar externalidades no setor de transportes rodoviárias, verificou que as externalidades relacionadas às mudanças climáticas são economicamente relevantes entre as externalidades ambientais.

As Mudanças Climáticas são uma das principais externalidades relacionadas ao setor de transportes, podendo ser definidas como alterações no clima, atribuídas à alteração da atmosfera global, causadas direta ou indiretamente pela atividade humana. Tais alterações na atmosfera devem-se ao aumento da concentração de gases de efeito estufa e geram um efeito comumente chamado de aquecimento global (NOCERA e CAVALLARO, 2012; ZAWIESKA *et al.*, 2013).

A contribuição da infraestrutura de transportes às mudanças climáticas deve-se às emissões de gases de efeito estufa como o dióxido de carbono - CO₂, óxido nitroso - N₂O e metano - CH₄ (MAIBACH *et al.*, 2008; CRAVIOTO *et al.*, 2013). Ao nível

global o principal poluente é o CO₂, que pode representar mais de 75% do total de emissões de gases de efeito estufa (SANTOS *et al.*, 2010; NOCERA e CAVALLARO, 2012).

Diferente de outros tipos de emissões, que podem ter apenas um impacto local, os impactos gerados pelas mudanças climáticas possuem uma posição especial nas externalidades da infraestrutura de transportes, devido ao fato que as mudanças climáticas não dependem necessariamente da localização das emissões e seus efeitos são globais.

O setor de transportes é responsável por 14% do total de emissões de gases de efeito estufa a nível global, de acordo com dados do IPCC (2015). As emissões indiretas de CO₂ do setor de transportes correspondem a 0,3% das emissões globais (IPCC, 2015). Becker *et al.* (2012) citam que na Europa o setor de transportes é responsável por um quarto das emissões de gases de efeito estufa - com dados de 2009 - e dentro das emissões de transportes, o setor rodoviário contribui com quase 70% do total de emissões.

No Brasil, com dados estimados para o ano de 2012, o transporte rodoviário contribui com mais de 90% das emissões de gases de efeito estufa no setor de transportes e, aproximadamente, 16% do total de emissões de gases de efeito estufa (MCTI, 2014). No estado de São Paulo a contribuição do transporte rodoviário para as emissões de gases de efeito estufa chega a aproximadamente 25% do total de emissões (CETESB, 2011).

As emissões de CO₂ no setor de transportes rodoviários dependem de vários fatores que podem dificultar a quantificação, como o tipo de veículo - tanto modelo como idade, equipamentos de controle de emissões, combustível utilizado, velocidade de viagem, nível de manutenção dos veículos, comportamento do condutor, geometria da rodovia e nível de tráfego (PRATT, 2002). Tal quantificação pode apresentar algumas dificuldades no caso brasileiro devido a não homogeneidade da frota e a existência de veículos com muito tempo de uso - principalmente veículos de carga.

2.2.3. Métodos de valoração ambiental na infraestrutura de transportes

Para realizar uma avaliação econômica por meio de Análises Custo Benefício - ACB é necessário estimar todos os custos e benefícios envolvidos, porém muitos desses custos e benefícios não possuem um valor monetário de mercado que permita que sejam estimados diretamente. Grande parte desses custos e benefícios que não podem ser estimados diretamente refere-se a atributos ambientais. Então, para que estes atributos ambientais possam ser valorados faz-se necessário o uso de métodos de valoração ambiental (MUELLER, 2012).

Na literatura há vários métodos de valoração ambiental que permitem estimar um valor para algumas externalidades associadas à infraestrutura de transportes rodoviários. Porém, como observado por Castro (2015), nenhum desses métodos é inteiramente apro-

priado para se avaliar alguma externalidade ambiental, inclusive às relacionadas à infraestrutura de transportes, sendo então muitas vezes necessário realizar a combinação de mais de um método e/ou adaptação de tais métodos às diferentes especificidades e características das externalidades ambientais da infraestrutura de transportes.

Perman *et al.* (2003) citam que a literatura sobre técnicas de valoração ambiental é muito extensa, motivo pelo qual estão apresentadas apenas as técnicas de valoração ambiental com conceitos utilizados no artigo para valorar os efeitos das mudanças climáticas causadas pela emissão de CO₂ advindas da infraestrutura de transportes.

2.2.3.1. Método Dose Resposta - MDR

O Método de Dose Resposta (Nogueira *et al.*, 2000; Hanley e Barbier, 2009), que entre suas variações também é chamado de método da produtividade marginal (MOTTA, 2006) ou função de danos (Jensen *et al.*, 2008), baseia-se no princípio de estimar o valor de um atributo ambiental, por meio de uma variação de uma função de produção ocasionada pela variação do fator ambiental objeto da valoração¹.

Para aplicação do Método Dose Resposta são necessárias duas etapas básicas: a identificação da relação de dose (poluente) resposta (do receptor). Ou seja, primeiro deve-se determinar os efeitos físicos de uma mudança ambiental em uma atividade econômica, e na sequência, é necessária a escolha e aplicação do modelo econômico. Nessa segunda etapa, o impacto desta alteração ambiental é avaliado em termos da mudança correspondente na produção comercializada da atividade relevante (HANLEY e BARBIER, 2009; JENSEN *et al.*, 2008; DANIELIS e CHIABAI, 1998; NOGUEIRA *et al.*, 2000).

2.2.3.2. Método de Custos de Controle (MCC)²

A receita líquida de uma atividade econômica pode ser afetada pela variação de um recurso ambiental, não apenas pela redução da produção, mas também pelo aumento de custos. O método de custos de controle recebe este nome devido a estimar o valor do recurso ambiental, com base nos custos incorridos por empresas ou consumidores para controlar ou evitar a perda de qualidade ou quantidade do bem ambiental (MOTTA, 2006).

1 DEFRA (2007) argumenta que o MDR não é uma técnica de valoração, pois a valoração é realizada através do resultado quantificado pelo uso das relações dose resposta, sendo então necessário o uso de uma outra técnica para obter o valor dos bens ambientais. Como mencionado anteriormente, existe um desacordo entre nomenclatura, terminologias, classificações e conceitos sobre os métodos de valoração ambiental, deste modo o MDR às vezes é considerado como todo o processo de valoração, ou apenas a quantificação do impacto. Como o propósito deste trabalho não é discorrer sobre a divergência entre classificações, terminologias e conceitos, quando menciona-se o MDR, considera-se que abrange todo o processo de valoração e não apenas as relações dose resposta.

2 O que denominamos MCC neste artigo, pode receber outras denominações na literatura especializada: Método Custos Evitados (MCE), Método Gastos Preventivos (MCP).

Como exemplo da aplicação do MCC na infraestrutura de transportes, pode-se citar o estudo de Landmann *et al.* (2007). Eles valoram a poluição do ar com base nos custos incorridos para controlar que as emissões veiculares não ultrapassem determinado nível de concentração. Neste caso, considera-se que se forem adotadas medidas de controle para as emissões veiculares, a qualidade do ar não seria afetada. Então ao estimar todos os custos relativos ao controle de emissões a níveis aceitáveis, pode-se inferir que este seria um valor para a emissão gerada pelos veículos.

2.2.4. Transferência de benefícios

Para Boyle e Bergstrom (1992³ apud PEARCE *et al.*, 2006 p.255), a transferência de valores ou transferência de benefícios pode ser definida como: “*a transferência de estimativas existentes de bens sem valor de mercado para um novo estudo que é diferente do estudo do qual os valores foram originalmente estimados*”.

O processo de utilizar valores para externalidades ambientais obtidas em outros estudos, nem sempre é tão simples (muitas vezes sendo necessários vários ajustes), mas pode ser muito útil ao evitar a necessidade de realizar um estudo original ou primário para cada externalidade de um novo projeto, assim podendo-se economizar recursos

financeiros e principalmente tempo (DIXON e PAGIOLA, 1998; PEARCE *et al.*, 2006; SCHWEMER, 2012).

Há duas principais abordagens para transferência de benefícios (SCHWEMER, 2012):

- a. Transferência de valores: que seria a transferência simples de valor (assumido que ambos os locais são muito semelhantes) e transferências com ajustes de renda (na maioria dos casos). Geralmente o resultado da transferência é um valor marginal para algumas externalidades (ex. Emissão de CO₂ em Euros por km/veículo rodado); e
- b. Transferência de funções: que é o uso de funções de outros estudos, principalmente dose resposta. A transferência pode ser realizada a partir de apenas um estudo original, ou um conjunto de estudos, mas de qualquer modo é necessária uma análise minuciosa para verificar a possibilidade de uso de dados de outros estudos.

Entre algumas condicionantes para realizar a transferência de valores em externalidades ambientais, é necessário conhecer a linha de base do estudo original, dados socioeconômicos, variações temporais e principalmente a existência de estudos originais de boa qualidade. Devido à falta de bons

³ Boyle, K.J. and J.C. Bergstrom, Benefits Transfer Studies: Myths, Pragmatism and Idealism, Water Resources Research, Vol. 28, n. 3, p. 657-663. 1992.

estudos originais de qualidade para muitos tipos de externalidades, além do fato de estudos bons tipicamente não serem desenvolvidos para aplicações de transferência de benefícios, muitos cuidados devem ser tomados (DIXON e PAGIOLA, 1998; PEARCE *et al.*, 2006; SCHWEMER, 2012):

- a. As características da externalidade a ser avaliada devem mostrar uma considerável concordância com o estudo primário;
- b. As condições socioeconômicas da população afetada devem ser muito semelhantes. A precisão de uma transferência internacional de dados é consideravelmente menor que a de uma transferência regional dentro de um país, porém, mesmo dentro de um país, pode haver muita disparidade;
- c. O estudo primário precisa ser suficientemente bem documentado para permitir a variação de certos parâmetros para permitir a transferência com confiabilidade;
- d. A definição do mercado deve ser plausível e lógica. Deve ser possível tirar conclusões sobre a disposição a pagar (DAP). Para calcular o valor agregado com base em uma transferência de valores, é usual multiplicar a DAP do estudo primário pelo número de famílias afetadas pelo dano ambiental em questão; e
- e. Os resultados devem ser o mais atualizado possível. Muitas vezes é neces-

sário ajustar os resultados dos estudos mais antigos.

PIARC (2008) menciona que não há uma razão fundamental para que a transferência de benefícios de impactos socioambientais não possa ser utilizada em países com economias menos desenvolvidas. No entanto, no caso de transferência de valores, a utilização de valores europeus poderia ser uma aproximação um pouco grosseira. O uso de transferência de valores para externalidades relacionadas a poluição do ar e mudanças climáticas, poderia ser realizada com a justificativa de que é impraticável a realização de alguns estudos de valoração (principalmente por questões financeiras em países com economias em desenvolvimento).

A maioria dos estudos relacionados à valoração de externalidades ambientais do transporte rodoviário é derivada da Europa e de países com características muito distintas do Brasil, o que poderia tornar o uso da transferência de benefícios um processo com uma incerteza grande, principalmente se o dado a ser transferido for apenas à transferência de valores e, conseqüentemente, neste caso, não ter um uso recomendado conforme mencionado por De Rus *et al.* (2006).

2.2.5. Guias de Avaliação Econômica de Projetos de Transportes

O governo de muitos países, como forma de orientar as avaliações econômicas de investimentos em projetos de infraestrutura

de transportes, desenvolve guias ou manuais de procedimentos com instruções e metodologias que orientam a realização de avaliações econômicas e internalização de algumas externalidades. Embora muitos manuais identifiquem as externalidades, não são todos que apresentam diretrizes para valorar atributos ambientais como as mudanças climáticas.

PIARC (2008), ao fazer uma análise sobre as práticas de monetização de impactos ambientais em metodologias de avaliação econômica de projetos de rodovias que são utilizadas ao redor do mundo, menciona que impactos e custos de tabelas derivadas da União Europeia (relativas aos guias avaliados), do modo que se encontram, não são aptos para serem transferidos para países fora da União Europeia, em particular para economias de transição ou em desenvolvimento.

Ao avaliar um conjunto de guias de modo a extrair informações de como as variáveis ambientais são incorporadas na avaliação econômica, Bocanegra (2017) verificou que embora existam manuais muito bem detalhados, inclusive apresentando valores monetários do custo marginal de algumas externalidades ambientais para serem utilizados na formulação de políticas públicas, tais valores foram obtidos de projetos com características muito locais, tanto físicas como socioeconômicas, e não poderiam ser replicáveis sem várias adaptações, assim como as propostas de quantificação de fontes de externalidades não poderiam ser utilizadas sem a necessi-

dade de adequações à realidade brasileira e ao objetivo da avaliação econômica.

No Brasil embora não haja um guia de referência propriamente dito, o DNIT por meio do Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR, em suas publicações 726/2006 e 727/2006, apresentam diretrizes de como deve ser realizada uma avaliação econômica no âmbito dos EVTEA de empreendimentos rodoviários (BRASIL, 2006a; 2006b). Em relação ao meio ambiente, apenas há referência a serem determinados custos relativos às medidas de proteção ambiental e custos de recuperação do passivo ambiental.

2.2.6. HDM - Highway Development and Management Model (HDM-4)

A produção de um modelo de avaliação de projetos rodoviários teve origem com iniciativas do Banco Mundial em 1968, por meio de estudos em conjunto com o *Transport and Road Research Laboratory - TRRL* e o *Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées - LCPC*. O *Massachusetts Institute of Technology - MIT* elaborou o modelo *Highway Cost Model* baseado nas condições disponíveis na época, que foi um avanço na análise das interações entre custos de construção, de manutenção e de operação dos veículos. Apesar desta evolução, ainda faltava uma base empírica que se adequasse a diversas regiões, assim como países em desenvolvimento, que em tese seriam os que mais necessitavam realizar avaliações econômicas em seus projetos (KLEIN, 2005).

A base empírica, adequação a diversas regiões, incluindo países em desenvolvimento, ocorreu por meio de estudos realizados pelo TRRL e pelo Banco Mundial no Quênia, no Caribe, na Índia e no Brasil. No caso brasileiro, houve um convênio entre o governo brasileiro, através do Grupo de Estudos para Integração da Política de Transportes - Geipot e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD, o que resultou na elaboração do HDM-III (KLEIN, 2005; NUNES, 2012).

Com o passar dos anos, constatou-se que as relações técnicas presentes nos modelos ficaram ultrapassadas. Foi necessário que os modelos até então utilizados fossem reformulados para a incorporação de maior variedade de tipos e estruturas de pavimentos e condições de utilização, além de considerar efeitos de congestionamentos, climas frios, aspectos relacionados a acidentes e efeitos ambientais. Diante disso, o *International Study of Highway Development and Management* - ISOHDM, projeto internacional coordenado pela *World Road Association* - PIARC, foi conduzido para estender o alcance do modelo HDM-III, obtendo-se o programa de análise técnico-econômica HDM-4 - *Highway Development & Management* (KLEIN, 2005; NUNES, 2012).

O HDM-4, *Highway Development and Management Model*, é uma ferramenta computacional destinada ao auxílio no gerenciamento de pavimentos, assim como na avaliação econômica de projetos de infraestrutura de transportes rodoviários. O HDM-4 simula as condições físicas e eco-

nômicas do modal de transporte rodoviário em um determinado período de análise, para uma série de alternativas de estratégias de intervenções e cenários de investimentos especificados pelo usuário (PRA-SAD *et al.*, 2013), sendo uma ferramenta mundialmente reconhecida no que diz respeito ao auxílio a engenheiros em Sistemas de Gerência Rodoviários, principalmente para análises econômicas de alternativas de investimentos (NUNES, 2012).

A grande utilidade e disseminação do HDM-4 devem-se ao fato de ser um modelo capaz de reunir as principais características do modal de transporte rodoviário (condições da rodovia, custos de manutenção, custos de operação, custos de tempo de viagem, entre outros) e apresentar auxílio no estudo de viabilidade econômica através dessas informações, remetendo dados finais de saída, indicadores econômicos como Taxa Interna de Retorno - TIR, Valor Presente Líquido - VPL e relação benefício Custo, para cada alternativa de análise (NUNES, 2012).

O uso do software HDM-4 na análise de viabilidade técnica e econômica em obras de infraestrutura de transportes é obrigatório para obtenção de recursos para investimento no Banco Mundial, sendo exigido também na solicitação de financiamentos em outras agências de fomento, como o BID, CAF e BNDES (BRASIL, 2016).

O software HDM-4, se calibrado corretamente, apresenta um potencial a contribuir no auxílio da valoração de externalidades relativas à poluição atmosférica e mudanças climáticas. Entre suas opções

de uso, o HDM-4 pode fornecer dados de emissão de gases (BENNETT e GREENWOOD, 2004).

Em EVTEA de empreendimentos rodoviários do DNIT analisados por Bocanegra (2017), observa-se a utilização do HDM-4 como ferramenta de avaliação econômica em todos os estudos, porém, em nenhum deles foram atribuídos dados relativos ao meio ambiente (emissões).

Pelo fato do HDM-4 incorporar uma grande quantidade de parâmetros de en-

trada de modo a obter dados mais precisos, observa-se uma maior potencialidade de resultados mais consistentes na quantificação das emissões comparando-se a outros métodos utilizados em guias de avaliação econômica de projetos de transportes. Os parâmetros de entrada que tornam seu uso relevante para serem utilizados no processo de valoração das emissões de CO₂ em EVTEA ou outros processos de avaliação econômica são apresentados no Quadro 1.

QUADRO 1 | Parâmetros Avaliados no HDM-4

Característica	Descrição	Relevância
Divisão em segmentos homogêneos	Permite que a rodovia seja dividida em segmentos que apresentam características semelhantes de geometria ou interferência em áreas urbanas	As emissões dependem de características geométricas da rodovia
Calibração por tipo de combustível	Cada classe de veículo pode utilizar um tipo de combustível diferente	As emissões dependem do tipo de combustível utilizado
Dados geométricos e topográficos da rodovia		As emissões dependem de características geométricas e topográficas da rodovia
16 classes de veículos	16 tipos diferentes de veículos	Pode haver uma variação muito maior que simplesmente separar em veículos de carga e leves. As emissões dependem da tecnologia do sistema de combustão.
Volume de tráfego	Quantidade de veículos transitam no intervalo de uma hora	As emissões dependem da quantidade de veículos
Velocidade dos veículos	Velocidade média percorrida no segmento	As emissões dependem da velocidade dos veículos
Combustível	Combustível utilizado em cada classe de veículo	As emissões dependem da composição do combustível utilizado e são proporcionais ao consumo de combustível.
Poluentes quantificados	Hidrocarbonetos; Monóxido de carbono; Óxido Nitroso; Dióxido sulfúrico; Dióxido de carbono; Material Particulado; chumbo.	Possui os principais poluentes objeto de análise.
Taxa de crescimento do tráfego	Pode prever a variação do número de veículos ao longo do período de análise, não sendo necessariamente a mesma variação para todos os veículos	Permite prever as alterações das emissões ao longo do tempo, em função do número de veículos.

Fonte: Elaboração própria, com dados de Bennett e Greenwood (2004).

Com esses parâmetros de entrada é possível obter uma maior precisão na estimativa das emissões para o conjunto total de veículos que circulam pela rodovia, que apenas utilizar valores médios de emissões por veículo, ou uma função que dependa apenas do tipo de veículo e combustível sem considerar as características da rodovia.

Foi verificado que existem estudos que já realizaram quantificações de emissões veiculares utilizando o HDM-4 em rodovias brasileiras no estado de Santa Catarina (JUNIOR *et al.*, 2016). No entanto, foi realizada apenas a quantificação de emissões, sem um processo de valoração ambiental e não necessariamente foram utilizados todos os 16 tipos de veículos que o software permite. Assim, preliminarmente não se recomenda que nos EVTEA do DNIT sejam adotados os mesmos parâmetros utilizados por SANTA CATARINA (2012), antes de uma profunda avaliação no processo de calibração.

2.3. PROPOSTA DE VALORAÇÃO AMBIENTAL DAS EMISSÕES DE CO₂

Como verificado na fundamentação teórica, as externalidades relacionadas às mudanças climáticas apresentam relevância econômica entre as externalidades ambientais. Por meio de técnicas de valoração ambiental é possível estimar um valor monetário para as externalidades ambientais.

A avaliação econômica utilizada em um EVTEA é realizada *ex ante*, considerando um período de análise de 20 anos, utilizada tanto para casos de implantação como ade-

quação de rodovias. Neste contexto, em várias situações não se está avaliando apenas uma alternativa que existe fisicamente e permanecerá igual, mas sim situações hipotéticas (de projeto) e/ou simulações de situações futuras que serão comparadas com a situação atual.

O objetivo da proposta de valoração das emissões de CO₂ da infraestrutura de transportes é, portanto, apresentar diretrizes que permitam a realização de um processo de valoração das emissões aplicável a qualquer EVTEA do DNIT -ou outra avaliação econômica semelhante, com um nível de precisão razoável para a tomada de decisões.

Os resultados obtidos podem ser utilizados tanto para estimar o custo das externalidades em uma rodovia em seu estado atual, como em situações de projeto, e verificar se, com o novo projeto, tanto de implantação como adequação de capacidade, é possível reduzir o valor das externalidades geradas pela emissão de gases de efeito estufa - gerando assim um benefício.

Maibach *et al.* (2008) citam que resultados mais precisos ocorrem quando a metodologia é elaborada para o caso concreto, baseada em processos de valoração e dados próprios, e há uma precisão menor quando ocorre a transferência de valores para áreas específicas e situações de tráfego próprias, que seria o caso dos EVTEA do DNIT. Consequentemente, não é conveniente utilizar dados de outros estudos que forneçam um valor para cada externalidade ambiental em termos de unidade monetária para cada quilômetro de rodovia, veículo, pas-

sageiro ou tonelada de carga transportada, pois aqueles valores provavelmente são válidos apenas no local do estudo original.

De Rus *et al.* (2006) observam que a avaliação econômica pode pecar por dois erros extremos que afetam os impactos ambientais: o primeiro, por omissão, quando os aspectos ambientais não são levados em consideração; o segundo, quando há um dispêndio grande de esforço em quantificar custos e benefícios.

Partindo do pressuposto afirmado por ARE (2016) de que é impossível calcular externalidades sem fazer considerações e simplificações, levando em consideração as observações de Maibach *et al.* (2008), de De Rus *et al.* (2006) e de DEFRA (2007)⁴ no desenvolvimento de uma abordagem para valoração das externalidades ambientais originadas pelas emissões de CO₂, a proposta procurou fazer uso das práticas mais viáveis, considerando os recursos e o tempo disponível para a realização dos estudos. A proposta inclui também a transferência de benefícios em casos onde possa ser aplicável, como no caso da transferência de funções dose resposta ou preços sombra.

O processo de valoração proposto para as emissões é composto, então, por duas etapas principais:

- a. Quantificação das emissões; e
- b. Valoração Monetária: sendo que nesta etapa utilizando-se dos dados de entrada da etapa anterior, ocorrem de modo simultâneo a identificação das externalidades geradas, quantificação e valoração monetária.

Como as mudanças climáticas são uma fonte de externalidades em nível global, o impacto não depende diretamente da localização das emissões. Portanto, de modo a realizar simplificações, adota-se a premissa que todo CO₂ (ou gás equivalente) emitido contribuirá para as mudanças climáticas, seja de modo direto ou indireto⁵.

2.3.1. Quantificação das Emissões de Gases de Efeito Estufa

A quantificação física das emissões veiculares depende do tipo e idade do veículo, velocidade, composição do combustível, sistema de exaustão e tratamento de gases, tamanho e carga do veículo, geometria da rodovia, comportamento do condutor, entre outros fatores (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997; BICKEL *et al.*, 2006; MAIBACH *et al.*, 2008).

Para quantificar as emissões de gases de efeito estufa, recomenda-se a utilização

4 Uma grande vantagem da transferência de benefícios é a redução da necessidade da realização estudos primários de valoração para cada ACB realizada, principalmente em ACBs que envolvam um grande número de impactos sem valor de mercado, pois nestes casos poderia ser inviável a realização de todos os estudos primários de valoração ambiental necessários (DEFRA, 2007).

5 Criando concorrência com outra molécula que não seja emitida por veículos no processo de assimilação pela natureza.

do software HDM-4, pois tal software já é uma ferramenta utilizada no processo de avaliação econômica das alternativas nos EVTEA, assim como permite apresentar dados de emissões em cada segmento homogêneo. Para que o HDM-4 apresente resultados consistentes é necessária a calibração do modelo para as características da frota e combustíveis utilizados no Brasil.

Em consulta a Bennett e Greenwood (2004), verificou-se que o modelo utiliza o consumo de combustível para quantificar as emissões. Assim, caso o modelo esteja corretamente calibrado no que se refere ao consumo de combustíveis, com um pouco de conhecimento de termodinâmica, composição dos combustíveis e dados sobre catalisadores utilizados da frota brasileira, pode-se ajustar o HDM-4 para quantificar as emissões dos veículos brasileiros.

Após a simulação no HDM-4 corretamente calibrados em cada segmento homogêneo, pode-se obter a quantidade de Dióxido de Carbono - CO₂ e Óxido Nitroso - N₂O emitida pelos veículos em dado intervalo de tempo. A quantificação das emissões será utilizada como dados de entrada para a etapa de valoração monetária.

2.3.2. Valoração Monetária

As principais abordagens utilizadas para a valoração monetária das emissões de CO₂

envolvem custos e danos e custo de abatimento das emissões. Medidas que estimem o custo de abatimento do carbono, de acordo com Watkiss *et al.*⁶(2005, apud Maibach *et al.* 2008 p.244), não são a primeira melhor solução da perspectiva de bem-estar econômico, mas poderiam ser utilizadas assumindo que a redução de carbono representa a preferência das pessoas.

Para Gibson *et al.* (2014), uma medida que pudesse estimar por completo os custos e danos, embora seja desejável do ponto de vista científico, é difícil de ser utilizada devido a grandes incertezas quanto aos efeitos do aquecimento global, assim como muitos danos podem surgir apenas em um horizonte de tempo mais distante. BECKER *et al.* (2012) citam que de uma perspectiva científica, o cálculo de custos dos danos deveria ser o modo teoricamente preferível, porque os efeitos e custos externos são quantificados diretamente.

Uma alternativa que pode simplificar todo o processo de valoração, envolvendo as etapas de identificação dos impactos, quantificação dos impactos e valoração monetária das externalidades geradas, sem utilizar métodos de custo de abatimento, assim como tampouco desenvolver modelos próprios para estimar todos os danos gerados pelas mudanças climáticas, é a utilização da transferência de benefícios através do Custo Social do Carbono - CSC.

6 Watkiss et al. The Social Cost of Carbon (SCC) Review: Methodological Approaches for Using SCC Estimates in Policy Assessment, Final Report November London: UK Defra, 2005.

O Custo Social do Carbono representa uma estimativa monetária dos danos causados ao longo do tempo pela emissão de uma tonelada de CO₂ (ou gás equivalente) em um dado ano ou, em outros termos, poderia ser definido como o preço sombra dos efeitos do carbono em seu ciclo de vida - desde as emissões até que seja novamente assimilado pela natureza. Tem a intenção de incluir os efeitos das mudanças climáticas na saúde humana, nas alterações na produtividade agrícola, riscos de enchentes e valor de serviços ecossistêmicos, entre outros efeitos (NORDHAUS, 2014).

O valor do CSC varia de acordo com o ano - devido principalmente ao aumento da concentração de CO₂ acumulado na atmosfera - e da taxa de desconto escolhida, assim como também sofre constantes atualizações e revisões, de acordo com aperfeiçoamento dos modelos escolhidos para estimar o seu valor (IAWG, 2016).

O valor do CSC é tipicamente estimado através do uso de modelos de simulação relativamente complexos que combinam processos climáticos, crescimento econômico e relações entre ambos em uma única estrutura de modelagem, muitas vezes referidos como modelos de avaliação integrada, *Integrated Assessment Models* - IAM. Não há uma unanimidade quanto o valor monetário do custo social do carbono e do modelo escolhido para estimar os efeitos das alterações da concentração do CO₂ no meio ambiente, cada modelo utiliza um método de estimar os danos, assim o valor do CSC pode ser distinto de acordo como o mode-

lo utilizado. Os principais modelos utilizados são: *Dynamic Integrated Climate and Economy* - DICE, *Climate Framework for Uncertainty, Negotiation, and Distribution* - FUND, *Policy Analysis of the Greenhouse Effect* - PAGE e *World Induced Technical Change Hybrid* - WITCH (NEWBOLD *et al.*, 2010).

Em alguns casos, com em IAWG (2016), o valor do CSC é obtido pela combinação de mais de um modelo, no caso: o DICE 2010, FUND 3.8, e PAGE 2009. Na tabela 1, a título de exemplo, são apresentados valores do custo social do carbono, para diferentes taxas de desconto com sua variação ao longo do tempo.

Ressalta-se que os dados da tabela 1 são apresentados apenas a título de ilustração, assim, para o uso de valores do CSC em um processo de avaliação econômica, recomenda-se que seja consultada a fonte, para obter os valores mais atuais disponíveis, bem como se utilizem os dados para cada ano do período de análise e na mesma taxa de desconto utilizada na avaliação econômica.

Com os dados de emissões de CO₂ (ou gás equivalente) a cada ano do período de análise e os valores do CSC, é possível obter uma estimativa de um valor monetário para as externalidades geradas por mudanças climáticas.

Embora, em grande parte dos casos, o uso de valores obtidos através da transferência de benefícios não seja recomendado, devido principalmente a características locais que determinam o grau de danos,

como as externalidades geradas pelas mudanças climáticas ocorrem a nível global, o uso da transferência de benefícios apenas referente ao valor do CSC apresenta uma incerteza muito menor que utilizar a transferência de benefícios para obter valores para os danos gerados a cada quilômetro de rodovia percorrido por um veículo, pois neste caso há diferenças entre o tipo de veículo, características da rodovia e composição do combustível.

Apesar das muitas incertezas envolvidas na identificação de todos os potenciais efeitos das mudanças climáticas, assim como a concentração de CO₂ presente na atmosfera a cada ano, o CSC demonstra ser uma medida útil para ser incluída em avaliações econômicas como nos EVTEA do DNIT, pois, possivelmente, as incertezas geradas quanto a obtenção do valor do CSC sejam muito menores que um valor obtido em um estudo próprio realizado em um EVTEA.

TABELA 1 | Custo Social do Carbono para diferentes taxas de desconto (em US\$ de 2007 por tonelada métrica de CO₂)

Ano	5 %	3%	2,5 %
2015	11	36	56
2020	12	42	62
2025	14	46	68
2030	16	50	73
2035	18	55	78
2040	21	60	84
2045	23	64	89
2050	26	69	95

Fonte: IAWG (2016). Adaptado.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a conclusão do presente artigo, verificou-se que as externalidades relacionadas às mudanças climáticas são economicamente relevantes entre as externalidades ambientais da infraestrutura de transportes rodo-

viários. Embora as externalidades geradas pela emissão de gases de efeito estufa na infraestrutura de transportes sejam relevantes, dificilmente são incorporadas em avaliações econômicas no Brasil, como no caso

dos EVTEA do DNIT que não incorporam os custos relacionados às emissões CO₂ na avaliação econômica.

Verificou-se que é possível internalizar os custos relativos às mudanças climáticas em avaliações econômicas com a utilização de métodos de valoração ambiental. Existem países que incorporaram as emissões de CO₂ em avaliações econômicas de projetos de infraestrutura rodoviária, porém os procedimentos utilizados podem não ter resultado satisfatório se utilizados no Brasil, pois muitas vezes são constituídos de tabelas com valores monetários obtidos em estudos com características próprias.

Dessa forma, o artigo apresentou uma proposta com diretrizes para realizar a valoração ambiental das emissões de CO₂ em uma avaliação econômica de um EVTEA de empreendimentos rodoviários. Tal valoração possibilita não apenas identificar qual alternativa de investimento emite menos carbono, mas estimar um valor monetário para os custos gerados pela emissão de CO₂. Com a incorporação deste valor monetário nas avaliações econômicas, ao se avaliar uma alternativa de investimento, os custos das emissões estarão internalizados, sendo possível determinar a alternativa mais viável economicamente, considerando as externalidades geradas pelas emissões de CO₂.

A proposta de valoração das externalidades geradas pela emissão de gases de efeito estufa foi apresentada para ser aplicável aos EVTEA de empreendimentos rodoviários do DNIT, mas pode ser replicável

a outras avaliações econômicas semelhantes que também utilizem o HDM-4. Tal proposta de valoração é teórica e baseada na literatura, deste modo é relevante que haja uma aplicação prática da metodologia em um EVTEA - ou avaliação econômica semelhante - para confirmar a sua aplicabilidade e verificar a relevância econômica das emissões de CO₂.

A proposta de valoração apresentada no artigo expõe diretrizes que devem ser seguidas, porém, para serem aplicadas, são necessários dados adicionais, como a correta calibração - no que se refere a atributos ambientais - do HDM-4 para a frota e composição de combustíveis do Brasil. Cabe a ressalva que, na proposta de quantificação e valoração, são consideradas apenas as emissões geradas pelos usuários da rodovia, não sendo consideradas as emissões resultantes da construção e manutenção da rodovia.

De modo geral, na avaliação econômica dos EVTEA, o objetivo não é verificar apenas em uma alternativa de investimento se os benefícios superam os custos, mas sim, comparar os indicadores econômicos entre mais de uma alternativa de investimento. Se ocorrer um processo de valoração para as principais externalidades ambientais relativas a emissões de CO₂ por meio de um mesmo critério em cada alternativa avaliada, o peso das externalidades exercerá influência na avaliação econômica de um EVTEA, evitando que haja total omissão dos efeitos econômicos da infraestrutura de transportes rodoviários no meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- 1 ARE - Federal Office of Spatial Development. **External Costs and Benefits of Transport in Switzerland. Road, rail, air and waterborne transport from 2010 to 2012.** 2016.
- 2 BECKER, Udo J.; BECKER, Thilo; GERLACH, Julia. **The True Costs of Automobility: External Costs of Cars Overview on existing estimates in EU-27.** TU Dresden, 2012.
- 3 BENNETT, C. AND GREENWOOD, I., Modelling road user and environmental effects in HDM-4, Volume 7, **The Highway Development and Management Series**, PIARC, Paris, 2004.
- 4 BICKEL, Peter *et al.*, Introducing environmental externalities into transport pricing: measurement and implications. **Transport reviews**, v. 26, n. 4, p. 389-415, 2006.
- 5 BOCANEGRA, Bernardo Bubniak. **Metodologia para valoração ambiental em estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental (EVTEA) de empreendimentos de infraestrutura de transportes rodoviários.** 2017. 151 f., il. Dissertação (Mestrado em Gestão Econômica do Meio Ambiente) - Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2017.
- 6 BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Diretrizes básicas para estudos e projetos rodoviários: escopos básicos / instruções de serviço.** - 3. ed. - Rio de Janeiro, 2006a. 484p. (IPR. Publ., 726)
- 7 BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Diretrizes básicas para estudos e projetos rodoviários instruções para apresentação de relatórios.** - Rio de Janeiro, 2006b. 313p. (IPR. Publ., 727)
- 8 BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental - EVTEA.** 2016. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/download/planejamento-e-pesquisa/planejamento/estudosde-viabilidade/lcs-097-2010-solic-public-texto-evtea-site-dnit.pdf>>. Acesso em 15 ago 2016.
- 9 CASTRO, Joana D'arc Bardella. **Usos e abusos da valoração econômica do meio ambiente: ensaios sobre aplicações de métodos de função demanda no Brasil.** 2015. 250 f., il. Tese (Doutorado em Economia) - Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2015.
- 10 CETESB, Companhia Ambiental do Estado. Paulo-CETESB. **1º. Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do Estado de São Paulo - Comunicação Estadual,** São Paulo, 2011.
- 11 CRAVIOTO, Jordi *et al.*, Road transport externalities in Mexico: Estimates and international comparisons. **Transport Policy**, v. 30, p. 63-76, 2013.
- 12 DANIELIS, R; CHIABAI, A. *Estimating the Cost of Air Pollution from Road Transport in Italy.* **Transportation Research Part D**, v.3, p.249-258, 1998.

- 13 DEFRA - Department for Environment, Food and Rural Affairs. **An introductory guide to valuing ecosystem services.** 2007.
- 14 DE RUS, Gines; CRUZ, Ofelia; CAMPOS, Javier. **Manual de evaluación económica de proyectos de transporte.** Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo. 2006.
- 15 DIXON, John A. **Economic Cost-Benefit Analysis (CBA) of Project Environmental Impacts and Mitigation Measures: Implementation Guideline.** Inter-American Development Bank, 2012.
- 16 DIXON, John; PAGIOLA, Stefano. **Economic analysis and environmental assessment. Environmental assessment sourcebook update,** v. 23, 1998.
- 17 GIBSON, Gena *et al.*, **Update of the handbook on external costs of transport.** Final report for the European commission, Directorate-General, Mobility and Transport, London, UK, 2014.
- 18 HANLEY, Nick; BARBIER, Edward B. **Pricing Nature: Cost-Benefit Analysis and Environmental Policy-Making.** Edward Elgar, UK, 2009. 360 p.
- 19 IAWG, U. S. **Technical update of the social cost of carbon for regulatory impact analysis under executive order 12866.** Interagency Working Group on Social Cost of Carbon, United States Government Technical support document, Washington, DC, 2016.
- 20 IPCC. **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change.** Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA, 2015.
- 21 JENSEN, S.S.; *et al.*, Evaluation of exposure factors applied in marginal external cost analysis of transportation related air pollution. **Transportation Research Part D,** v.13 p.255-273, 2008.
- 22 JUNIOR, José Pedro Francisconi *et al.* Contribuição do programa de infraestrutura logística de Santa Catarina na redução das emissões de gases de efeito estufa. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental,** v. 5, n. 2, p. 694-710, 2016.
- 23 KLEIN, Frederico de Carvalho. **Análise da influência de características geométricas de rodovias nos custos dos usuários utilizando o programa HDM-4.** 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- 24 LANDMANN, M. C.; RIBEIRO, H; DEÁK, C. Uma proposta metodológica para estimar o custo da poluição do ar nas análises de viabilidade de sistemas de transportes urbanos. **Transportes (Rio de Janeiro),** v.15, p.42-49, 2007.
- 25 MAIBACH, Markus *et al.*, **Handbook on estimation of external costs in the transport sector.** CE Delft, 2008.
- 26 MCTI. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa – 2ª edição.** 2014.
- 27 MOTTA, R. S. **Economia Ambiental.** Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006. 228p.
- 28 MOURA, Luiz Antônio Abdalla de. **Economia Ambiental: gestão de custos e investimentos** Del Rey, 2011. 296 p.
- 29 MUELLER, Charles. C. **Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente.** Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1ª reimpressão, 2012. 562 p.

- 30 NEWBOLD, Stephen *et al.* **The “social cost of carbon” made simple.** 2010.
- 31 NOCERA, Silvio; CAVALLARO, Federico. Economic evaluation of future carbon dioxide impacts from Italian highways. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 54, p. 1360-1369, 2012.
- 32 NOGUEIRA, J.M., *et al.*, Valoração Econômica do Meio Ambiente: Ciência ou Empirismo? **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 17, n.2, p.81-115, 2000.
- 33 NORDHAUS, William. Estimates of the social cost of carbon: concepts and results from the DICE-2013R model and alternative approaches. **Journal of the Association of Environmental and Resource Economists**, v. 1, n. 1/2, p. 273-312, 2014.
- 34 NUNES, D.F. **Procedimento para análise de sensibilidade do programa HDM-4.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2012.
- 35 PEARCE, David; ATKINSON, Giles; MOURATO, Susana. **Cost-benefit analysis and the environment: recent developments.** Organisation for Economic Co-operation and development, 2006.
- 36 PERMAN, R.; MA, Y.; McGILVRAY, J.; COMMON, M. **Natural Resource & Environmental Economics.** Harlow: Pearson Educated Limited, 2003. 726p.
- 37 PIARC - THE WORLD ROAD ASSOCIATION. **The use of monetised values for**
- 38 **socio-environmental impacts of road projects.** 107 p. 2008.
- 39 PIARC - THE WORLD ROAD ASSOCIATION. **Approaches to Evaluation of Social Impacts of Road Projects.** Technical Committee A.3 – Road System Economics and Social Development. 2012.
- 40 PRASAD, Chandrama; SWAMY, Aravind Krishna; TIWARI, Geetam. **Calibration of HDM-4 emission models for Indian conditions.** *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, v. 104, p. 274-281, 2013.
- 41 PRATT, Caroline. **Estimation and valuation of environmental and social externalities for the transport sector.** In: 25th Australasian Transport Research Forum– Incorporating the BTRE Transport Policy Colloquium. 2002. Disponível em: <http://atrf.info/papers/2002/2002_Pratt.pdf>. Acesso em 12 mar 2017.
- 42 QUADROS, Saul Germano Rabello. **Contribuição ao Processo de Priorização de Investimentos em Infraestrutura de Transportes pelo Uso do Método de Análise Hierárquica.** – Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2014. 301p.
- 43 SANTA CATARINA (Estado). **Programa infraestrutura logística de Santa Catarina - BID VI: informe de gestão ambiental e social.** Florianópolis, 2012. 311p.
- 44 SANTOS, Georgina *et al.*, Part I: Externalities and economic policies in road transport. **Research in Transportation Economics**, v. 28, n. 1, p. 2-45, 2010.
- 45 SCHWEMER, S. **Economic valuation of environmental damage: Methodological convention 2.0 for estimates of environmental costs.** Dessau, Germany: Umweltbundesamt. 2012.
- 46 TSOLAKIS, D. HOUGHTON, N; LESTER, C; SEETHALER, R ; **Valuing environmental and other externalities.** ARRB Transport Research Ltd, 2003.

- 47 TSUNOKAWA, Koji; HOBAN, Christopher. **Roads and the Environment: A handbook**. World Bank technical paper; no. WTP 376. Washington, D.C.: The World Bank. 1997.
- 48 UK GOVERNMENT. Department for Transport. **Transport Analysis Guidance UNIT A3. Environmental Impact Appraisal**. London. 2015.
- 49 ZAWIESKA, Jakub; ARSENIO, Elisabete; PONTES, José Pedro. **How Transport Policies Have Been Influenced by Transport Externalities' Studies? A Comparison Study Between Portugal and Poland**. In: **European Transport Conference 2013**. 2013.



EIXO II

BOAS PRÁTICAS COMO MEDIDAS DE RESILIÊNCIA NOS TRANSPORTES

Assinatura do contrato da área STS20 - Porto de Santos - SP 29-01-2020 Foto: Alberto Ruy-MInfra



TRANSPORTE HIDROVIÁRIO E GESTÃO INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS: PROJETO PILOTO NOS RIOS TAPAJÓS E AMAZONAS

RESUMO

Impulsionado pela pavimentação da BR-163/PA, o volume de cargas transportadas na hidrovia do Rio Tapajós quintuplicou entre 2015 e 2019. Com o aumento do tráfego, surgiu a necessidade de uma proposta que associe o transporte hidroviário interior à Gestão Integrada de Recursos Hídricos - GIRH. O presente trabalho visa suprir essa lacuna, com a análise de um modelo em implementação pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT para incrementar a sustentabilidade do transporte por hidrovias na Amazônia. Foi realizada pesquisa documental e observação não participante para descrever a concepção do Programa de Monitoramento Aquaviário – PROMAQ e a implementação das ações de educação ambiental junto a populações ribeirinhas na Amazônia Oriental, nos rios Tapajós (HN-110) e Amazonas (HN-100) e na região dos Estreitos. Utilizou-se a metodologia de mapas conceituais para demonstrar a integração entre o PROMAQ e as ações educativas com conceitos de segurança hídrica, GIRH, mudança climática, resiliência de ecossistemas e juventude. Constata-se que operação, manutenção e melhoramentos de infraestruturas de transporte não podem estar dissociados do empoderamento das comunidades, a fim de perseguir o objetivo de assegurar a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados para as gerações atual e futura. Concluiu-se que, após consolidação do modelo em implementação no Tapajós, a iniciativa deverá ser expandida para outras hidrovias brasileiras.

Palavras-chave: Educação Ambiental; Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos; Mapas Conceituais; Monitoramento Aquaviário.

Bruna Renata Cavalcante de Barros Doutoranda no Programa de Pós-Graduação do Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília desde 2019. É jornalista e mestre em Comunicação Social pela Universidade de Brasília. É analista administrativo no Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, onde ingressou por meio de concurso público em 2006. Desde 2016, atua na Diretoria de Infraestrutura Aquaviária do DNIT.

Eliezé Bulhões de Carvalho Doutor e mestre em Transportes pela Universidade de Brasília. Graduado em Engenharia Civil e Administração de Empresas, desde 2001 atua na área de transportes e é professor universitário. Atualmente é coordenador de Operações Aquaviárias no Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, onde ingressou por meio de concurso público em 2007.

1. INTRODUÇÃO

O transporte sustentável é tema transversal da Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. A mudança modal rumo ao transporte hidroviário interior - THI é reconhecida como alternativa ambiental e socialmente sustentável para o transporte de carga, devido à grande capacidade e baixos custos (SLOCAT, 2019). Como signatário do Acordo de Paris, o Brasil assumiu o compromisso de adotar medidas para reduzir a emissão de gases do efeito estufa, por meio da Contribuição Nacionalmente Determinada – NDC (MCTIC, 2017). O transporte hidroviário interior pode contribuir significativamente para a sustentabilidade do que diz respeito às mudanças climáticas, devido à eficiência energética e aos níveis mais baixos de emissão de CO₂, quando comparado às operações rodoviárias e ferroviárias (PPMC, 2017). O THI é adequado para a exportação de *commodities* agrícolas devido às grandes capacidades de embarcação e baixa velocidade, apropriadas para itens não perecíveis (BARROS *et al.*, 2015). Ao considerar consumo de combustível, emissões de poluentes, capacidade de armazenamento a granel e acidentes, as vias navegáveis interiores tendem a ser mais eficientes que as rodoviárias e ferroviárias, desde que sejam usadas grandes combinações de barcas, com conexão direta ao porto de destino final (MELO *et al.*, 2017).

Nas últimas três décadas, uma nova fronteira agrícola foi criada na região cen-

tral do Brasil, com a produção de soja concentrada no estado de Mato Grosso, onde foram colhidas 69,4 milhões de toneladas de milho e soja, 31,18% da produção brasileira, na safra 2019/2020 (COSTA *et al.*, 2001; ARAÚJO *et al.*, 2019; CONAB, 2020). escoar essa produção para os portos do Arco Norte (acima do paralelo 16°S) é mais vantajoso, pois de caminhão, é possível efetuar duas viagens mensais entre Sinop/MT, e o Porto de Santos/SP, enquanto no mesmo período viaja-se seis vezes da mesma origem até Miritituba/PA, no Rio Tapajós (FREITAS *et al.*, 2016). Em uma comparação entre 17 rotas para a exportação brasileira de produção de milho, uma combinação da BR-163 com as hidrovias do Tapajós e do Amazonas foi a mais eficaz ao considerar custos de logística, preferências do cliente e questões de desenvolvimento sustentável, como consumo de combustível, idade da frota e composição de a matriz de transporte (OLIVEIRA e CICOLIN, 2016).

A Gestão Integrada de Recursos Hídricos – GIRH pode ser definida como um processo que visa assistir países no esforço de lidar com as questões relacionadas à água de maneira economicamente viável e sustentável (GWP, 2000). É necessário garantir água para produção de alimentos, desenvolver estratégias de trabalho para o desenvolvimento econômico, e proteger ecossistemas vitais: os aquáticos têm papel fundamental em áreas de cabeceiras, por causa da infil-

tração de águas pluviais, recarga de lençóis freáticos e regimes hídricos dos rios; os terrestres produzem uma gama de benefícios econômicos, como produção de madeira, lenha e plantas medicinais, além de servirem de habitat e locais de reprodução para diversas espécies da fauna. Os ecossistemas têm a vazão e a qualidade da água como determinantes fundamentais, por isso é preciso lidar com a variação da água no tempo e no espaço. Em outras palavras, é preciso garantir segurança hídrica, que pode ser definida como “disponibilidade de água em quantidade e qualidade aceitáveis para a saúde, subsistência, ecossistemas e produção, associada a um nível aceitável de riscos para pessoas, meio ambiente e economia” (GREY e SADOFF, 2007).

Desde a Conferência de Dublin sobre Água e Desenvolvimento Sustentável em 1992, o conceito de GIRH tem atraído atenção. No mesmo ano foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento no Rio de Janeiro, na qual foi aprovada a Agenda 21, que recomenda que se preservem as funções hidrológicas, biológicas e químicas dos ecossistemas, adaptando as atividades humanas aos limites da capacidade da natureza (SAITO, 2018). Mais recentemente foram estabelecidos os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS na Agenda 2030, dos quais os ODS 6 – Água potável e saneamento e 14 – Vida na Água referem-se explicitamente ao tema (UN, 2015).

As ações que integram a proposta de gestão descritas neste trabalho foram con-

cebidas em 2018, quando começou a Década Internacional para Ação “Água para o Desenvolvimento Sustentável”, que vai se estender até 2028 (UN, 2016). A abordagem adotada foi a de expandir o foco tradicional na engenharia, incluindo perspectivas múltiplas de ecologia, governança, ética e cultura para o desafio de garantir água em quantidade e qualidade suficiente, pois se trata de elemento indispensável à vida humana (VÖRÖSMARTY *et al.*, 2018).

Nessas etapas estrutura-se a implementação de uma proposta de gestão integrada de recursos hídricos no Rio Tapajós com dois elementos: um programa de monitoramento operacional aquaviário no Rio Tapajós e atividades de educação ambiental de ribeirinhos na região. O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT é responsável pela execução da política de transportes e tem, entre as atribuições, operar, manter, restaurar e adequar vias navegáveis e infraestrutura de embarque e desembarque de passageiros em hidrovias. Em 2018, a autarquia idealizou o Programa de Operação e Monitoramento Aquaviário – PROMAQ a ser implementado de forma experimental no trecho de 280 quilômetros de extensão onde há transporte comercial de cargas no Rio Tapajós, entre Miritituba/Itaituba/PA e a Foz, no Rio Amazonas. Trata-se da construção de uma rede de informações para atingir a eficiência da gestão, da operação e do planejamento do setor. Serão coletadas informações sobre variação do nível d’água e velocidades de correntes; imageamento do rio; dados me-

teorológicos e sedimentológicos; acompanhamento e registro da operação das Instalações Portuárias Públicas de Pequeno Porte – IP4 sob jurisdição do DNIT. Com essas ferramentas, espera-se aumentar a segurança da navegação e melhorar a análise dos ciclos hidrológicos. Assim será possível montar uma série histórica confiável e de fácil acesso para planejar intervenções estruturadas de manutenção e ampliação da capacidade da via, bem como prevenir e amenizar os efeitos de cheia e vazante.

Paralelamente, um programa de conscientização de comunidades ribeirinhas em mais de dois mil quilômetros de extensão nos rios Tapajós, Amazonas, Tocantins e na região dos Estreitos foi implementado pela autarquia em parceria com a Universidade Federal do Pará e a Marinha do Brasil, com a colaboração de diversas instituições. O projeto foi estruturado com duração de cinco anos, com ações para educação ambiental nas escolas das comunidades atendidas e no navio que transporta a equipe do

projeto, a fim de que as populações locais compreendam sua relação com o transporte hidroviário e participem ativamente da proteção do seu direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado. A estratégia de combinar o programa de monitoramento ao de educação visa auxiliar no atendimento aos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos de assegurar às gerações futuras a disponibilidade de água com qualidade, utilização racional e integrada de recursos, incluindo o transporte aquaviário e prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos (BRASIL, 1997).

Além desta breve introdução, o presente trabalho está dividido nas seguintes partes: fundamentação teórica, nas quais serão apresentados conceitos de segurança hídrica, gestão adaptativa e a metodologia de mapas conceituais; discussão, que inclui os resultados e análise dos programas descritos, além do mapa conceitual e, finalmente, a conclusão.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A natureza, o caráter e a intensidade dos problemas relacionados à água, recursos humanos, capacidades institucionais, forças e características dos setores público e privado, aspectos culturais, condições naturais e diversos outros fatores variam entre países e regiões. Sob essa premissa, o presente trabalho alicerça o modelo proposto na gestão adaptativa, um processo sistemático para

melhorar políticas e práticas de gerenciamento. Trata-se de reconhecer que nossa habilidade de conhecer o comportamento de um sistema e prever os fatores que influenciam o futuro é limitada. Assim, é necessário ter habilidade para mudar as práticas de gerenciamento, incorporando o conhecimento adquirido com a experiência. No regime adaptativo integrado, a governança é poli-

cêntrica e horizontal, com grande participação dos atores envolvidos (PAHL-WOSTL, 2009). A escala de análise e operação é múltipla, trazendo um entendimento abrangente, com o compartilhamento de informações que preenche lacunas e facilita a integração. Medir a capacidade de um regime ser adaptativo pode ser resumido nos seguintes passos: primeiro, informações precisam ser coletadas e disponibilizadas, com indicadores que apontem para efeitos desejados e indesejados, e o monitoramento deve ser feito em uma escala de tempo maior do que objetivos políticos de curto prazo. Posteriormente, passam-se às demais fases: habilitar os atores envolvidos para que eles processem as informações e tirar conclusões delas. Por fim, as mudanças precisam ser compreendidas por todos os atores envolvidos (PAHL-WOSTL *et al.*, 2007).

As duas ações descritas no presente trabalho foram concebidas e estruturadas em torno dos conceitos da estratégia de segurança hídrica da *Global Water Partnership* - GWP. A GWP é uma rede de ação global com mais de três mil organizações parceiras em 183 países. O objetivo é promover conhecimento e construir capacidades para melhorar o gerenciamento de recursos nos níveis local, regional, nacional e global, a fim de obter segurança hídrica para o planeta (GWP, 2018). A ToolBox é uma plataforma online de conhecimento com manuais, artigos técnicos e instruções para unir ciência, tecnologia, políticas públicas e prática. A estratégia da GWP está organizada sobre seis temas centrais rela-

tivos à segurança hídrica: resiliência climática, zonas transfronteiriças, alimentos, energia, urbanização e ecossistemas. Há ainda dois temas transversais: juventude e gênero. A intenção é maximizar o bem-estar social e os resultados econômicos de maneira equitativa, sem comprometer a sustentabilidade de ecossistemas vitais (FÁBREGA *et al.*, 2017).

Mapas conceituais são ferramentas gráficas para organizar e representar relações entre conceitos. Essas relações são estabelecidas por meio de palavras ou frases de ligação, escritas nas linhas que ligam conceitos. O mapa conceitual pode ser pertinente a uma situação ou evento que se deseja compreender por meio da organização do conhecimento (NOVAK e CAÑAS, 2007). Com origem na década de 1970, o uso de mapas conceituais baseia-se na psicologia cognitiva, para a qual o aprendizado acontece por meio de assimilação de novos conceitos e proposições a conhecimentos pré-existentes.

Uma função crítica da GIRH é assegurar a proteção de ecossistemas, usuários legítimos de recursos hídricos. É preciso garantir reservas de água a fim de construir resiliência no longo prazo. É um desafio combinar perspectivas antropocêntricas e ecocêntricas nos projetos de infraestrutura, em que aspectos técnicos, financeiros e utilitaristas predominam no ambiente de tomada de decisão (JANÁČ *et al.*, 2016; WILLEMS *et al.*, 2018). Aponta-se para a necessidade de rever esse ambiente, no sentido de adotar novas práticas mais inclusi-

vas na formulação de políticas de infraestrutura hidroviária (WILLEMS, 2018).

Uma alfabetização ecológica que envolva a apropriação de conceitos e as habilidades para aplicá-los e resolver problemas deve ser baseada em três aspectos: biodiversidade, integridade ecológica e saúde ecológica (TROMBULAK *et al.*, 2004). É necessária articulação para desenvolver mais competências, conhecimentos, habilidades e comportamentos a fim de ajudar a resolver os problemas existentes, como a mudança climática, e evitar novos problemas ambientais no futuro, por meio do desenvolvimento de uma cultura e de uma sociedade mais ecológicas (MARCINKOWSKI, 2010). Existem diversos modelos de sustentabilidade, e tipicamente todos incluem elementos de igualdade, empoderamento, coesão social e participação (DIDUCK, 1999).

Existem exemplos de reconhecimento de ecossistemas como detentores de direito à água na China. No Rio Amarelo, a água necessária para carrear sedimentos para trechos à jusante foi deduzida durante os cálculos de alocação para diversas regiões administrativas. No Rio Hai, as necessidades hídricas dos lagos Luyan foram explicitadas na alocação de água, que foi determinada levando em consideração a disponibilidade sazonal, no Rio Daling, e, a descarga mínima em direção aos oceanos é respeitada para garantir a qualidade da água, e no Rio Shiyang os níveis dos lençóis freáticos foram escolhidos como parâmetro de controle (ZHANG *et al.*, 2012). Óleo lubrificante, combustível e esgoto são

os principais poluentes lançados pelas embarcações, ameaçando a segurança ambiental. Supervisão específica, monitoramento, sistema de resposta a emergências e educação ambiental do pessoal em relação ao problema são medidas preventivas para prevenir e controlar danos (Li *et al.*, 2017). A navegação para atividades recreativas também pode ter impactos nos sistemas hidroviários, exigindo atividades de proteção ambiental para evitar perdas ambientais em longo prazo (BACHOK e KADER, 2015). Tenciona-se utilizar dados obtidos no programa de monitoramento para definir parâmetros de garantia dos direitos à água dos ecossistemas do Rio Tapajós e torná-lo resiliente à mudança climática, como ocorreu nos casos chineses.

Na China, na bacia do Rio Yangtze foram implementadas Áreas de Conservação da Função de Ecossistemas, com o objetivo de aumentar a retenção de água e reduzir o carreamento de sedimentos, mas também trazer benefícios para a biodiversidade, o sequestro de carbono e o gerenciamento sustentável do uso do solo. Em cada província onde o modelo foi adotado, foi formado um comitê com representação dos principais públicos interessados, com um objetivo estratégico em mente: construir a capacitação necessária para participação ativa das comunidades. Como resultado, houve o desenvolvimento de meios de subsistência alternativos, para promover incremento da renda das famílias locais e o desenvolvimento econômico da região, com iniciativas de in-

centivo ao ecoturismo e ao plantio sustentável de ervas medicinais tradicionais e cultivo de frutas da região (YAN, 2013).

Na Holanda, no rio Waal, gestores de recursos hídricos envolveram pescadores profissionais no monitoramento de peixes e operadores de embarcação na medição do uso de combustível para avaliar os impactos de um projeto de estruturas de treinamento sobre diferentes partes interessadas da hidrovia, mas grupos mais difusos não estavam interessados em participar do processo participativo (VERBRUGGE *et al.*, 2017). Os sistemas da Internet das Coisas são uma maneira econômica de planejar e monitorar embarcações, fornecendo informações em tempo real para operadores de comboios sobre profundidade, neblina, risco de inundação, qualidade da água e tráfego de embarcações (MUÑUZURI *et al.*, 2020). Embarcações

dentro de uma área de água podem formar uma rede de comunicação e ser uma fonte potencial para mitigar incidentes e minimizar perdas, aumentando a conscientização sobre os riscos e, portanto, a resiliência do sistema (WANG *et al.*, 2019).

Até o momento não foi apresentada proposta que associe o sistema de operações hidroviárias interiores à gestão integrada de recursos hídricos no Brasil - GIRH. A existência de um modelo assim visa promover a sincronização de operações no sistema, prover os gestores com ferramentas para explorar os resultados de decisões alternativas e capacitar as comunidades locais, afetadas por essa operação, a participar da gestão da operação do transporte por hidrovias, bem como suprir a necessidade de dados precisos do ponto de vista da GIRH (CARIS *et al.*, 2014).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A região de estudo é a área do Rio Tapajós (HN-110), que teve expressivo crescimento no volume de cargas nos últimos anos, à medida que a recém-concluída pavimentação da BR-163 avançava (DNIT, 2010; 2017; 2019). Isso gerou uma relação de interdependência entre os modos rodoviário e hidroviário, pois mais caminhões utilizavam a infraestrutura rodoviária para usufruir das Estações de Transbordo de Cargas – ETC, cuja construção se intensificou em Miritituba/PA a partir de 2013 (RODRIGUES *et al.*,

2019). Como resultado da intermodalidade verificada na região, a carga transportada pelo Tapajós saltou de cerca de 1,8 milhão de toneladas em 2015 para 10,7 milhões em 2019 (ANTAQ, 2020).

De Miritituba até a Foz, no Rio Amazonas (HN-100), são 280 quilômetros de extensão a serem percorridos por embarcações de até 40 mil toneladas de capacidade até os portos marítimos no estuário do Rio Amazonas (BARROS *et al.*, 2019). O trecho comporta embarcações de até 40 mil

toneladas de capacidade e conecta grandes centros de produção de grãos aos portos marítimos no estuário do Rio Amazonas, de onde essa carga pode ser exportada por via marítima. A intenção é que o modelo analisado neste trabalho, depois de amadurecido, seja implementado em todos os principais rios navegáveis sob responsabilidade do DNIT no âmbito do Plano Hidroviário Estratégico – PHE (MT, 2013).

Espera-se complementar o chamado Eixo Tapajós do Corredor Logístico Norte com a construção da Ferrogrão - EF-163, ferrovia de 933 quilômetros de extensão ligando Lucas do Rio Verde/MT à hidrovia em Miritituba/PA (MTPA, 2017; BRANCO *et al.*, 2020). Todos esses fatores motivaram a escolha do Tapajós como projeto-piloto para a aplicação de uma proposta de GIRH.

Foi elaborada pesquisa documental no projeto do PROMAQ, nos relatórios das Campanhas de Conscientização de Ribeirinhos na Amazônia Oriental – denominadas “Operação Educação na Hidrovia I e II”, bem como a observação não-participante durante a condução da primeira expedição efetuada para as atividades educativas, realizada entre os dias 29 de outubro e 13 de novembro de 2018, entre as cidades paraenses de Santarém, Almeirim, Porto de Moz e Breves, nos rios Tapajós, Amazonas e na região dos Estreitos, em escolas locais e a bordo do navio que leva a equipe das campanhas. A Operação Educação na Hidrovia II foi iniciada entre 6 de março de 2020 e, inicialmente prevista para encerrar em 1º de abril de 2020. Entretanto, devi-

do às medidas de combate à COVID-19 foi abreviada, regressando a Belém no dia 20 de março e atracando em 23 de março na Base Naval de Val de Cães. Por força da Instrução Normativa nº 21, de 16 de março de 2020, não foi possível o acompanhamento presencial da Operação Educação na Hidrovia 2 pelos autores do presente trabalho (BRASIL, 2020).

A análise desse material foi efetuada por meio da técnica de mapeamento conceitual, que visa explicitar as relações entre o conhecimento já possuído com novas informações a serem incorporadas em sua estrutura cognitiva (CHAIBEN *et al.*, 2011). O mapa conceitual do presente artigo foi elaborado com o software CMapTools, desenvolvido pelo *Florida Institute of Human & Machine Cognition* - IHMC, que permite desenvolver modelos de conhecimento baseados no raciocínio sistêmico. O pensamento sistêmico parte da premissa de que a dificuldade em solucionar os problemas vem do estreitamento dos laços entre vários sistemas físicos e sociais (RICHMOND, 1993). Estruturas sistêmicas são reflexos de visões compartilhadas sobre os valores desejados, para os quais nossas ações podem ser generativas, ou seja, criar as condições para que o desejado exista (FOLLEDO, 2000). Mapas conceituais facilitam a compreensão do conjunto de relações e melhoram a comunicação entre especialistas que, geralmente, estão isolados em suas disciplinas (SAITO, 2016).

No presente trabalho o método de construção de mapa conceitual foi utiliza-

do para facilitar a análise das interdependências entre um projeto de educação comunitária para segurança da navegação e meio ambiente e um projeto de engenharia de monitoramento hidroviário. Sistematizar

essas interdependências é uma premissa para a elaboração de políticas públicas interdisciplinares e conferir sustentabilidade às ações de infraestrutura desenvolvidas pelo DNIT.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. PROGRAMA DE OPERAÇÃO E MONITORAMENTO AQUAVIÁRIO

A análise de sistemas complexos como o Rio Tapajós requer grande quantidade de dados e conhecimento. A coleta de dados operacionais de monitoramento se dará por meio de sensores para a leitura do nível d'água, velocidade de corrente, pressão e pluviometria, bem como da qualidade da água, com dados de turbidez, resíduos sólidos e oxigênio dissolvidos, pH e temperatura. Também serão realizadas campanhas periódicas de levantamentos hidrográficos, a fim da obtenção da profundidade do canal navegável e do mapeamento do leito do rio para subsidiar a elaboração e atualização de cartas náuticas, e de levantamentos hidrossedimentológicos para a medição de descarga total (sedimentação). Complementarmente haverá serviços de imageamento das margens, por meio dos quais será possível verificar o alcance e o comportamento do pulso de inundação do Tapajós. Compreender as relações entre precipitação, escoamento superficial (*run-off*) e vazão é fundamental para modelar o comportamento de sistemas hidrológicos, a

fim de gerenciar e negociar usos dos recursos hídricos diante de desafios atuais e futuros (GREY *et al.*, 2013).

O PROMAQ apoia-se no conceito *Reliability, Availability, Maintainability and Safety – RAMS* (GAPANOVICH *et al.*, 2015) de operação de infraestruturas de transportes, que pode ser traduzido como requisitos de Confiabilidade, Disponibilidade, Manutenção e Segurança. Os objetivos de segurança e disponibilidade de um sistema em funcionamento são alcançados se todos os requisitos de confiabilidade, e as atividades de manutenção e de exploração forem controlados ao longo do ciclo de vida do sistema (SOBRAL e FERREIRA, 2016). O objetivo, portanto, é manter o nível de risco o mais baixo possível, em outras palavras, diminuir as vulnerabilidades.

Uma estrutura baseada no risco provê potencial para ligar o transporte hidroviário ao conceito de segurança hídrica sob uma abordagem rigorosa, baseada em conhecimento científico, para descrição, mensuração, análise e gerenciamento. Adotou-se a definição de Grey *et al.* (2013) enraizada na ciência do risco: “segurança hídrica é um nível tolerável de riscos associados à água para

a sociedade”. A ênfase recai em um evento disruptivo, que afeta o propósito fundamental do sistema hídrico. É preciso analisar essas disrupções para antecipar, prevenir, mitigar e restaurar o funcionamento.

O PROMAQ foi desenvolvido baseado no conceito de gestão adaptativa integrada. O programa prevê a participação dos atores interessados na formulação de políticas, em uma governança policêntrica. Instituições parceiras, como Marinha do Brasil, Serviço Geológico Nacional - CPRM, Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia - Censipam, Agência Nacional de Águas – ANA, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio, empresas de navegação, comunidades de ribeirinhos terão acesso a todas as informações do monitoramento. Por meio de aplicativo para *smartphone* e do sítio eletrônico da autarquia, todos serão atualizados sobre as condições do rio. Em contrapartida, eles poderão contribuir para o monitoramento contínuo do sistema, retroalimentando-o. Esta interação poderá aprimorar o processo de verificação da resiliência do sistema em caso de um evento disruptivo, bem como auxiliar na tomada de decisão na aplicação de contramedidas efetivas.

4.2. AÇÕES DE EDUCAÇÃO E CONSCIENTIZAÇÃO DE RIBEIRINHOS

A educação de ribeirinhos é a vertente implementada pelo DNIT da estratégica para a GIRH da Hidrovia do Tapajós. Trata-se de

uma parceria com a Marinha do Brasil e a Universidade Federal do Pará - UFPA para capacitar as comunidades locais para a participação na gestão da hidrovia. A iniciativa visa atender o Acórdão nº 351/2006 do Tribunal de Contas da União - TCU, por meio do qual a Corte apontou lacunas informacionais quanto à produção, tratamento e disponibilização de dados relevantes para as populações ribeirinhas e empresas de navegação (BULHÕES *et al.*, 2016). O Navio Auxiliar Pará, que presta atendimento médico e odontológico às populações da Amazônia Oriental (DNIT, 2018), serve de base ao trabalho educativo. A UFPA foi encarregada da elaboração de material pedagógico para promover a consciência ambiental embasada em termos científico-tecnológicos por meio da interação entre educador e educando, contextualizada pela realidade concreta.

Na Operação Educação na Hidrovia I, realizada em outubro e novembro de 2018, mais de 2.000 crianças e jovens do ensino público fundamental e médio participaram das ações educacionais nas cidades paraenses de Santarém, Almeirim, Porto de Moz e Breves (Figura 1). Também participaram a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural – Emater e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, que trouxeram capacitações para implementação de projetos de desenvolvimento sustentável para a região, como uso de conhecimentos tradicionais para auxiliar na irrigação de áreas para agricultura familiar e filtros de água com a utilização de derivados da palmeira do açai.

FIGURA 1 | Ação com crianças na escola indígena Borari em Santarém durante Operação Educação na Hidrovia I.



Fonte: Elaboração própria.

Durante a Operação Educação na Hidrovia II, realizada em março de 2020, 3.205 jovens e crianças assistiram palestras sobre a prevenção de vandalismo nos sinais náuticos, acidentes de motor com escalpelamento, e as formas de prevenção ao COVID-19 somaram-se aos conteúdos relacionados à navegação em um total de 30 encontros nos quais se reuniram as populações paraenses de Porto de Moz, Santarém e Alter do Chão. Nas ocasiões trabalhou-se com material didático específico para o projeto, que incorpora, além de questões sobre segurança da navegação e cuidados com o meio ambiente, temas trans-

versais identificados pela equipe do projeto durante a Operação conduzida em 2018: o combate à exploração sexual infantil e ao tráfico de drogas em embarcações. Esses conteúdos são trabalhados por meio do livro-gibi “O Uso Seguro e Sustentável de Embarcações nos Rios da Amazônia” e do jogo colaborativo de tabuleiro “Navegando a Amazônia”, elaborados pela equipe docente e discente de antropologia, ciência social, pedagogia e arte-educação do Núcleo Transdisciplinar de Educação Básica e da Engenharia Naval da UFPA sob orientação da equipe de Operações Aquaviárias do DNIT (Figura 2).

FIGURA 2 | Ação educativa com material didático específico durante a Operação Educação na Hidrovia 2.



Fonte: Fonte: Marinha do Brasil.

O elemento norteador dessas ações é o *empowerment*: fortalecimento político-organizacional de uma coletividade, que se autorreferencia nos interesses comuns e transforma a realidade por meio da ação solidária e colaborativa (SAITO, 1999). Monitorar a qualidade da água na região amazônica é importante para os moradores de lá porque os rios têm grande variação de nível da água ao longo do ano. Isso provoca inundações periódicas das áreas marginais que são utilizadas normalmente para assentamentos humanos, agricultura e pecuária. Esses usos do solo podem levar a índices elevados de eutrofização do sistema e ameaçar a saúde das comunidades ribeirinhas, inclusive com a presença de algas tóxicas (AF-

FONSO *et al.*, 2011). Em outras palavras, o problema na região amazônica não é o acesso à água, mas o acesso à água própria para o consumo humano e de animais.

A Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas - ONU em 2009 reconheceu as qualidades dos jovens como facilitadores da troca intergeracional que é uma questão central do desenvolvimento sustentável. A estratégia para juventude da GWP (2015) foi estruturada em torno dessa troca, e considera os desafios que os jovens irão herdar e a importância de engajá-los na proteção do meio ambiente e na promoção da sustentabilidade à medida que a demanda por água aumenta. Envolver a juventude no desenvolvimento comunitário significa fazer

com que eles desenvolvam um senso profundo e ativo de pertencimento, contribuir para a sustentabilidade e construir a confiança e o capital social fundamentais para que eles atuem como agentes de mudança.

Em áreas rurais da Romênia observou-se problema semelhante – poluição antropogênica da água, em uma região na qual o abastecimento se dava por meio de poços (SAMWEL *et al.*, 2010). A partir disso, implementou-se um pacote educacional para escolas desenvolverem Planos de Segurança Hídrica (WSP, acrônimo em inglês) em comunidade. A ação concentrou-se em oito escolas de comunidades abastecidas exclusivamente por poços e bicas públicas e sem sistema de esgoto. Os professores receberam

capacitação para realizar atividades com as crianças, o que se mostrou uma forma eficaz de engajamento da comunidade. A partir daí construíram-se a conscientização sobre importância da qualidade da água na prevenção de doenças, sobre o papel do poder público no abastecimento de água e sobre a necessidade de se implementar estratégias de segurança hídrica. Essa conscientização estimulou a comunidade a agir para garantir seus direitos. As cidades visitadas na Operação Educação na Hidrovia I também têm problemas no abastecimento e na qualidade da água dos municípios visitados. A Tabela 1 mostra os percentuais de domicílios com esgotamento sanitário adequado nos municípios visitados.

TABELA 1 | Percentual de domicílios com esgotamento sanitário nos municípios visitados pelas operações Educação na Hidrovia I e II.

Município	População	Domicílios com esgotamento sanitário adequado (%)
Almeirim	33.614	30,0
Breues	92.860	6,1
Porto de Moç	33.956	11,5
Santarém	294.580	38,1

Fonte: (IBGE, 2018).

Assim como no estudo de caso de Romênia, o projeto de GIRH no Tapajós aposta no trabalho com as crianças e jo-

vens das escolas locais para conscientização quanto à qualidade da água. As campanhas de educação na hidrovia buscam

refletir sobre como a constituição de mudanças na paisagem geradas pelo uso da infraestrutura de transportes, como o incremento no tráfego de grandes embarcações, e mitigar questões de natureza ecológica e social. Estão previstas mais três operações Educação na Hidrovia a serem efetuadas até 2023, durante as quais, com base na gestão adaptativa, visa-se incrementar o capital social das populações atendidas. O capital social pode ser definido como a união de recursos ligados a uma rede duradoura de relacionamentos de conhecimento ou reconhecimento mútuos, em relações sociais construídas, das quais advêm benefícios (PORTES, 1998). Por meio da busca do diálogo com as comunidades locais, o DNIT aproxima-se para evitar uma situação de anomia, quando o componente estrutural – sociedade – cruza com a integração social (SUASSUNA, 2004).

4.3. MAPA CONCEITUAL DA GIRH NO TAPAJÓS

A intenção do mapa conceitual do presente artigo é facilitar o entendimento dos conceitos de Gestão Integrada de Recursos Hídricos subjacentes aos dois projetos implementados pelo DNIT no Rio Tapajós. O mapa construído visa estabelecer graficamente a relação entre o PROMAQ e as ações de educação na hidrovia com a promoção da GIRH daquele corpo hídrico, mostrando que a manutenção de infraestruturas de transporte não pode estar dissociada do en-

gajamento das comunidades, a fim de perseguir o objetivo de assegurar a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados para os respectivos usos para as gerações atual e futura.

O mapa proposto na Figura 3 representa a forma como as iniciativas do PROMAQ e Ações Educativas integram os conceitos de Segurança Hídrica e GIRH, Mudança climática, Ecossistemas e Juventude, para as ações do DNIT no Rio Tapajós. Observa-se a gestão operacional, por meio das Tecnologias da Informação e Comunicação - TIC como instrumento para construção de uma base de registros confiável e pública que vai permitir a modelagem de ações de garantia da navegabilidade e a qualidade da água. As informações serão disponibilizadas para uso da rede de parceiros, integrada por órgãos públicos como Agência Nacional de Águas - ANA, Serviço Geológico Nacional - CPRM, Marinha do Brasil e Universidades, agentes econômicos como empresas transportadoras e comunidades locais. Estas poderão atuar, fortalecidas pelas ações educacionais por meio das quais construirão conhecimentos e habilidades de que necessitam para participarem do processo de gestão dos recursos no Rio Tapajós, o que incrementa as chances de garantia da sustentabilidade do uso daquele corpo d'água. Espera-se que o mapa auxilie no cumprimento correto dos objetivos estabelecidos, que precisam estar em sinergia para que a GIRH de fato aconteça, e na mensuração dos resultados obtidos com as ações.

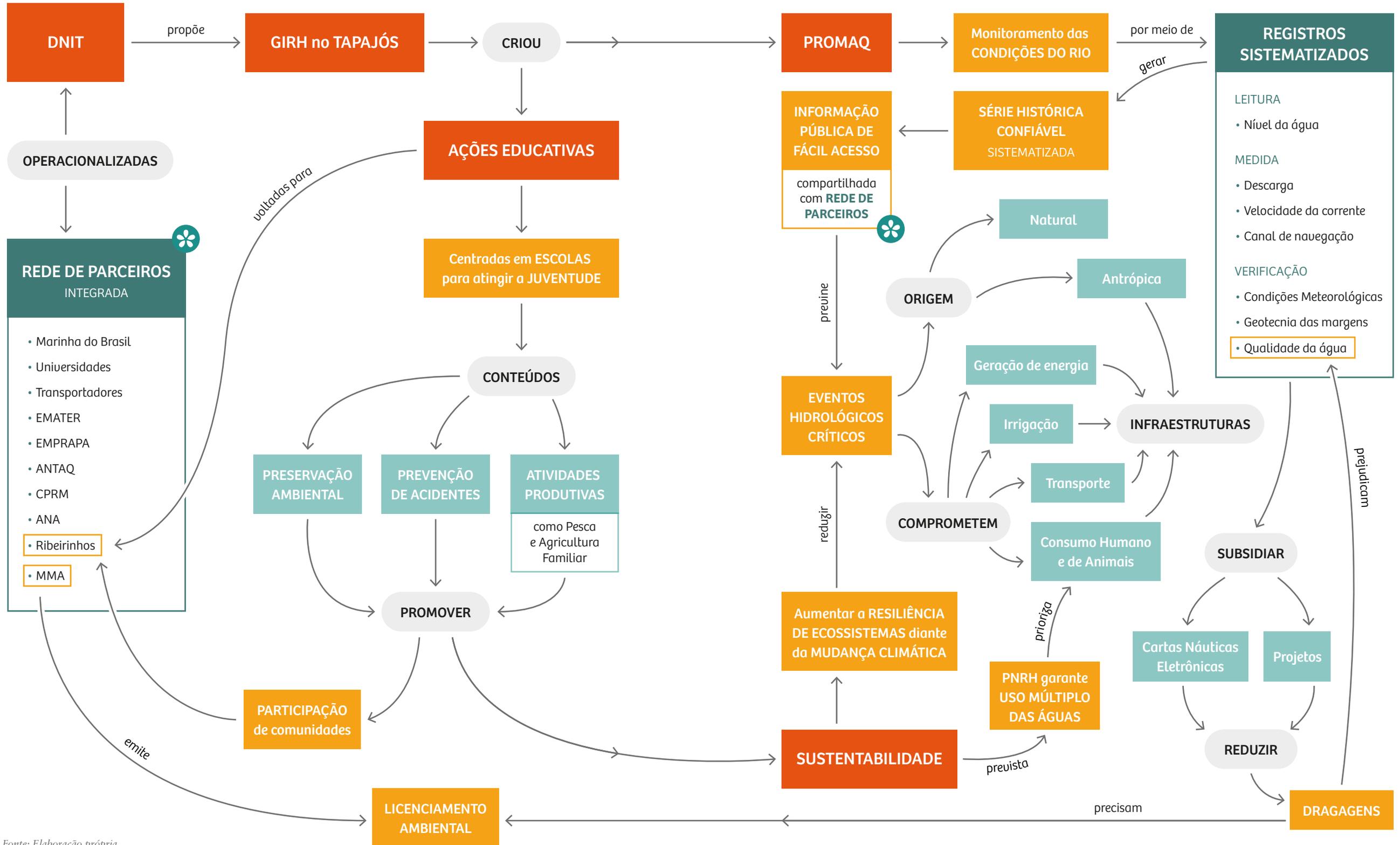
5. CONCLUSÃO

Os fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH trazem a necessidade de garantir o uso múltiplo das águas em uma gestão com a participação do Poder Público – no caso estudado, o DNIT, os usuários – as empresas de navegação – e as comunidades – os ribeirinhos (BRASIL, 1997). Usar a GIRH como instrumento de garantia da segurança hídrica indispensável às comunidades locais e à navegação implica a superação da abordagem mono-disciplinar, voltada para o ponto de vista da engenharia, mais comum nas políticas de infraestrutura de transportes.

Por meio do PROMAQ espera-se viabilizar condições mais seguras de navegação, planejar a operação de uma forma mais precisa e dar recursos para o planejamento logístico dos usuários. Ressalta-se a importância dos fundamentos da gestão adaptativa integrada, pois a partir da primeira experiência do Rio Tapajós pretende-se aprimorar o modelo e replicá-lo para demais rios navegáveis comercialmente, até que as principais vias estejam monitoradas. Essas vias serão inseridas no conceito RAMS, com dados abundantes e precisos para prover confiabilidade, disponibilidade, manutenção e segurança, requisitos indispensáveis à atração de investimentos dos atores envolvidos na produção e no transporte de *commodities* agrícolas e minerais, cuja exportação é um importante motor da economia brasileira.

Construir o capital social necessário para lidar com a gestão de recursos naturais requer que formuladores de políticas públicas reconheçam formas de mediação, tradução, produção conjunta de conhecimento e negociação para lidar com sistemas complexos interligados (BRONDIZIO *et al.*, 2009). As ações de educação ambiental visam integrar as comunidades locais no processo, para que elas participem do processo de gestão de forma efetiva. Conscientizar os atores envolvidos na hidrovia significa promover a convivência harmoniosa entre ribeirinhos, detentores legítimos de direitos sobre o uso da água, e infraestrutura logística, necessária para apoiar o desenvolvimento econômico do Brasil. Em outras palavras, conclui-se que o setor de navegação e as comunidades locais precisam se ver como parceiros porque têm algo em comum: sem água em quantidade e qualidade, não conseguem desenvolver suas atividades. Espera-se que o trabalho contribua para a futura formação do Comitê da Bacia do Rio Tapajós, instância essencial de articulação das entidades intervenientes em corpos hídricos. Propõem-se estudos futuros para avaliar a efetividade da implementação do PROMAQ e das Operações Educação na Hidrovia do Tapajós ao longo dos próximos anos.

FIGURA 3 | Mapa conceitual da proposta para GIRH no Rio Tapajós.



Fonte: Elaboração própria.

REFERÊNCIAS

- 1 AFFONSO, A.G.; BARBOSA, C.; NOVO, E.M.L.M. **Water quality changes in floodplain lakes due to the Amazon River flood pulse: Lago Grande de Curuaí (Pará)**. Brazilian Journal of Biology. v. 71, n. 3, 2011, pp. 601-610.
- 2 ANTAQ. **Anuário Estatístico**. Brasília: Agência Nacional de Transportes Aquaviários, 2020. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/Anuario/>, acesso em 28 jul. 2020.
- 3 ARAÚJO, M.L.S.; SANO, E.E.; BOLFE, E.L.; SANTOS, J.R.N.; SANTOS, J.S. e SILVA, F.B. **Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990–2015)**. Land Use Policy 80, 2019, pp. 57-67.
- 4 BACHOK, A.N.D. & KADER, A.S.A. **Environmental impact of navigation in inland waterways**. Journal of Transport System Engineering v. 2 n. 2, 2015, pp. 21-28.
- 5 BARROS, B.R.C.B.; BULHÕES, E.C. e BRASIL JUNIOR, A.C.P. **Muitas possibilidades, pouca sustentabilidade: análise de governança do transporte hidroviário interior na Amazônia**. In: Anais do 33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes (33º ANPET), Balneário Camboriú/SC. Rio de Janeiro: ANPET, 2019, pp. 338-349.
- 6 BARROS, C.P., GIL-ALANA, L.A. & WANKE, P. **An empirical analysis of freight transport traffic modes in Brazil, 1996-2012**. Transportation Planning and Technology, v. 38 n. 3, 2015, pp. 305-319.
- 7 BRANCO, J.E.H.; BARTHOLOMEU, D.B.; ALVES JUNIOR, P.N. e CAIXETA FILHO, J.V. **Evaluation of the economic and environmental impacts from the addition of new railways to the brazilian's transportation network: An application of a network equilibrium model**. Transport Policy. In press, corrected proof, available online March 21st 2020.
- 8 BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Brasília: Presidência da República, 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm, acesso em 13 set. 2020.
- 9 _____. **Instrução Normativa nº 21, de 16 de março de 2020**. Brasília: Ministério da Economia, 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-21-de-16-de-marco-de-2020-248328867>, acesso em 13 set. 2020.
- 10 BRONDIZIO, E.S.; OSTROM, E. e YOUNG, O. **Connectivity and the governance of multilevel social-ecological systems: the role of social capital**. Annual Review of Environment and Resources n. 34, 2009, pp. 253-278.
- 11 BULHÕES, E.C.; BARROS, B.R.C.; MOURA, G.A. e CALDEIRA, L.K.O. **O setor hidroviário brasileiro: histórico e perspectivas para os próximos 15 anos**. In: Anais do XXX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes (XXX ANPET), Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: ANPET, 2016, pp. 2385-2396.
- 12 CARIS, A., LIMBOURG, S., MACHARIS, C., VAN LIER, T., e COOLS, M. **Integration of inland waterway transport in the intermodal supply chain: A taxonomy of research challenges**. Journal of Transport Geography, n. 41, 2014, pp. 126–136.

- 13 CHAIBEN, H.; SOUZA-LIMA, J.E.; KNECHTEL, M.R. e MACIEL-LIMA, S.M. **A educação ambiental através de mapas conceituais.** InterSciencePlace n. 19, v. 1, Outubro/Dezembro 2011. CONAB. Grãos – Série histórica. Portal de Informações Agropecuárias, 2020. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/index.php/safra-serie-historica-dashboard>, acesso em 28 abr. 2020.
- 14 COSTA, F.G.; CAIXETA FILHO, J.V. e ARIMA, E. **Influence of transportation on the use of the land: viabilization potential of soybean production in Legal Amazon due to the development of the transportation infrastructure.** Brazilian Review of Agricultural Economics and Rural Sociology v. 39, n. 2, 2001, pp. 155-177.
- 15 DIDUCK, A. **Critical education in resource and environmental management: Learning and empowerment for a sustainable future.** Journal of Environmental Management 57, 1999, p. 85–97.
- 16 DNIT. **DNIT inaugura obras em Mato Grosso.** Site Oficial, 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/noticias/dnit-inaugura-obras-em-mato-grosso>, acesso em 12 set. 2020.
- 17 _____. **Arco Norte receberá mais de R\$ 2,2 bi em investimentos do DNIT.** Site Oficial, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/noticias/arco-norte-recebera-mais-de-r-2-2-bi-em-investimentos-do-dnit>, acesso em 12 set. 2020.
- 18 _____. **DNIT conclui Operação Educação na Hidrovia I com mais de 9 mil ribeirinhos atendidos no Pará.** Site Oficial, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2T0cIRn>, acesso em 28 jul. 2020.
- 19 _____. **DNIT cumpre compromisso histórico e finaliza a pavimentação da BR-163/PA até Mirirituba.** Site Oficial, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/noticias/dnit-cumpra-compromisso-historico-e-finaliza-a-pavimentacao-da-br-163-pa-ate-mirirituba-pa>, acesso em 12 set. 2020.
- 20 FÁBREGA, J.R.D.; GUAN, Y.; JANUSZ-PAWLETTA, B.; KILESHYE-ONEMA, J.M.; SAITO, C.H. **IWRM ToolBox Teaching Manual.** Estocolmo, Suécia: Global Water Partnership. 2018. Disponível em: https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/references/iwrmt_teaching_manual.pdf, acesso em 28 jul. 2020.
- 21 FOLLEDO, M. **Raciocínio sistêmico: uma boa forma de se pensar o meio ambiente.** Ambiente & Sociedade, ano III n° 6/7, 2000.
- 22 FREITAS, T.G.; PINHEIRO, A.; VALE, L. & MONAI, R. **Arco Norte: o desafio logístico.** Brasília: Câmara dos Deputados, 2016.
- 23 GAPANOVICH V.A., SHUBINSKY I.B., ROZENBERG E.N e ZAMYSHLYAEV A.M. **System of adaptive management of railway transport infrastructure technical maintenance (Urran Project).** RT&A # 02 (37), v. 10, jun. 2015.
- 24 GREY D., SADOFF C.W. **Sink or swim? Water security for growth and development.** Water Policy 9, 2007, p. 545–571.

- 25 GREY, D.; GARRICK, D.; BLACKMORE, D.; KELMAN, J.; MULLER, M. e SADOFF, C. **Water security in one blue planet: twenty-first century policy challenges for science.** Philosophical Transactions of the Royal Society A 371: 20120406, 2013.
- 26 GWP. **Integrated water resources management.** TAC Background Papers nº 4. Estocolmo, Suécia: Global Water Partnership, 2000. Disponível em: <https://bit.ly/31b0Roa> , acesso em 28 jul. 2020.
- 27 _____. (2015). **GWP Youth engagement strategy.** Estocolmo, Suécia: Global Water Partnership, 2015. Disponível em: https://www.gwp.org/globalassets/global/about-gwp/strategic-documents/gwp_youth-strategy_web.pdf, acesso em 28 jul. 2020.
- 28 _____. (2018). **What is the network?** Site oficial. Disponível em: <https://www.gwp.org/en/About/who/What-is-the-network>, acesso em 28 jul. 2020.
- 29 IBGE. **Brasil em síntese.** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>, acesso em 28 jul. 2020.
- 30 JANÁČ, J. e VAN DER VLEUTEN, E. **Transnational System Building across Geopolitical Shifts: The Danube-Oder-Elbe Canal, 1901-2015.** Water Alternatives v. 9 n. 2, 2016, 271-291.
- 31 LI, Y.; HUANG, S e QU, X. **Water Pollution Prediction in the Three Gorges Reservoir Area and Countermeasures for Sustainable Development of the Water Environment.** International Journal of Environmental Research and Public Health 14 (11), 2017, p.1307.
- 32 MARCINKOWSKI, T.J. **Contemporary challenges and opportunities in environmental education: where are we headed and what deserves our attention?** The Journal of Environmental Education, 41 (1), 2010, p. 34-54.
- 33 MCTIC. **Trajetórias de mitigação e instrumentos de políticas públicas para alcance das metas brasileiras no Acordo de Paris.** Site oficial. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2017. Disponível em: http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/opcoes_mitigacao/Opcoes_de_Mitigacao_de_Emissoes_de_Gases_de_Efeito_Estufa_GEE_em_SetoresChave_do_Brasil.html, acesso em 14 mai. 2019.
- 34 MELO, I. C.; ALVES JUNIOR, P.N.; PERICO, A.E.; GUZMAN, M.G.S. e REBELATTO, D.A.N. **Benchmarking freight transportation corridors and routes with data envelopment analysis (DEA).** Benchmarking: An International Journal. V. 25 N. 2, 2017, pp. 713-742.
- 35 MT. **Plano Hidroviário Estratégico.** Brasília: Ministério dos Transportes, 2013.
- 36 MTPA. **Corredores Logísticos Estratégicos: Volume 1 – Complexo de Soja e Milho.** Brasília: Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil, 2017.
- 37 MUÑUZURI, J.; ONIEVA, L.; CORTÉS, P. & GUADIX, J. **Using IoT data and applications to improve port-based intermodal supply chains.** Computers & Industrial Engineering 139, 2020, 105668.
- 38 NOVAK, J.D. e CAÑAS, A.J. **Theoretical origins of conceptual maps, how to construct them, and uses in education.** Reflecting Education, V. 3, nº 1, nov. 2007, p. 29-42.
- 39 OLIVEIRA, A.L.R. e CICOLIN, L.O.M. **Evaluating the logistics performance of Brazil's corn exports: A proposal of indicators.** African Journal of Agricultural Research, v. 11 n. 8, 2016, pp. 693-700.

- 40 PAHL-WOSTL, C. **A conceptual framework for analyzing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes.** *Global Environmental Change* 19, 2009, p. 354-365.
- 41 PAHL-WOSTL, C., SENDZIMIR J., JEFFREY, P., AERTS, J., BERKAMP, G., CROSS, K. (2007). **Managing change toward adaptive water management through social learning.** *Ecology and Society* 12 (2): 30, 2007.
- 42 PORTES, A. **Social capital: its origins and applications in modern sociology.** *Annual Review of Sociology* v. 24 n. 1, 1998, pp. 1-24
- 43 PPMC **A global macro roadmap outlining an actionable vision towards decarbonized, resilient transport.** Paris Process on Mobility and Climate, 2017.
- 44 RICHMOND, B. **Systems thinking: a critical set of critical skills for the 90's and beyond.** *System Dynamics Review* v. 9, n. 2, 1993, 113-133.
- 45 RODRIGUES, J.C.; RODRIGUES, J.C. & LIMA, R.A.P. **Portos do agronegócio e produção territorial da cidade de Itaituba, na Amazônia Paraense.** *Geosul* v. 34 n. 71, 2019, pp. 357-381.
- 46 SAITO, C.H. **"Cocô na praia, não!" – educação ambiental, ensino de ciências e lutas populares.** *Ambiente & Educação*, Rio Grande, RS, v. 4, 1999, p. 45-57.
- 47 _____. **Concept map for environmental education planning: capacitation of volunteers for the FIFA Football World Cup in Brazil.** *Journal of Education for Sustainable Development* v. 10 n. 2, 2016, 289-308.
- 48 _____. **Segurança hídrica e direito humano à água.** In: Ruscheinsky, A., Calgaro, C. e Weber, T. *Ética, direito socioambiental e democracia.* Caxias do Sul, RS: Educus, 2018.
- 49 SAMWEL, M.; JORRITSMA, F.; RADU, O. **Lessons for water safety plans for small-scale water supply systems as developed by schools in Romania.** WECF, 2010. Disponível em: https://www.gwp.org/en/learn/KNOWLEDGE_RESOURCES/Case_Studies/Europe/Romania_Lessons_from_Water_Safety_Plans_for_small-scale_water_supply_systems_as_developed_by_schools_427/, acesso em 28 jul. 2018.
- 50 SLOCAT. **Sustainable Transport: A Critical Driver to Achieve the Sustainable Development Goals.** Partnership on Sustainable Low Carbon Transport: Utrecht, Holanda: 2019. Disponível em: www.slocat.net/vnr, acesso em 29 jul. 2020.
- 51 SOBRAL, J., FERREIRA, L.A. **Availability of fire pumping systems under periodic inspection.** *Journal of Building Engineering*, v. 8, Dez. 2016.
- 52 SUASSUNA, D. **A educação ambiental e o Projeto Tamar.** *Ambiente & Educação*. Rio Grande, RS, v.9, 2004, pp. 55-67.
- 53 TROMBULAK, S.C.; OMLAND, K.S.; ROBINSON, J.A.; LUSK., J.; FLEISCHNER, T.L.; BROWN, G.; DOMROESE, M. **Principles of Conservation Biology: Recommended Guidelines for Conservation Literacy from the Education Committee of the Society for Conservation Biology.** *Conservation Biology*, v. 18, n. 5, 2004.

- 54 UN (2015). **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**, A/RES/70/L.1. Resolution adopted by the General Assembly, United Nations: New York, USA, 2015.
- 55 _____. **International Decade for Action, “Water for Sustainable Development”**, 2018-2028, A/RES/71/222. Resolution adopted by the General Assembly, United Nations: New York, USA, 2016.
- 56 VERBRUGGE, L.N.H.; GANZEVOORT, W.; FLIERVOET, J.M.; PANTEN, K. e VAN DEN BORN, R.J.G. **Implementing participatory monitoring in river management: The role of stakeholders’ perspectives and incentives**. *Journal of Environmental Management*, v. 195, n. 1, pp. 62-69.
- 57 VÖRÖSMARTY, C.J.; OSUNA, V.R.; CAK, A.D.; BHADURI, A.; BUNN, S.E.; CORSI, F.; GASTELUMENDI, J.; GREEN, P.; HARRISON, I.; LAWFORD, R.; MARCOTULLIO, P. J.; MCCLAIN, M.; MCDONALD, R.; MCINTYRE, P.; PALMER, M.; ROBERTS, R.D.; SZÖLLÖSI-NAGY, A.; TESSLER, R. e UHLENBROOK, S. **Ecosystem-based water security and the Sustainable Development Goals (SDGs)**. *Ecohydrology & Hydrobiology* v. 18, n. 4., 2018, pp. 317-333.
- 58 WANG, Y.; ZIO, E.; WEI, X.; ZHANG, D. e WU, B. **A resilience perspective on water transport systems: The case of Eastern Star**. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 33, 2019, pp. 343–354.
- 59 WILLEMS, J.J. **Beyond maintenance: Emerging discourses on waterway renewal in the Netherlands**. *Transport Policy* 72, 2018, 1-12.
- 60 WILLEMS, J.J.; BUSSCHER, T.; VAN DEN BRINK, M. & ARTS, J. **Anticipating water infrastructure renewal: A framing perspective on organizational learning in public agencies**. *Environment and Planning C: Politics and Space* v. 36 n. 6, 2018, 1–21.
- 61 YAN, A. **China: Integrated ecosystem management in Upper Yangtze River Basin (#406)**. Beijing, China: 2013. Disponível em: https://www.gwp.org/en/learn/KNOWLEDGE_RESOURCES/Case_Studies/Asia/China-Integrated-ecosystem-management-in-Upper-Yangtze-River-Basin-406/, acesso em 29 jul. 2020.
- 62 ZHANG, Q.; KOBAYASHI, M.; HOWEL ALIPALO, M. e ZHENG, Y. **Drying up: What to do about droughts in the People’s Republic of China, with a case study from Guiyang Municipality, Guizhou Province**. Mandaluyong City, Philippines: Asian Development Bank, 2012. Disponível em: https://www.gwp.org/en/learn/KNOWLEDGE_RESOURCES/Case_Studies/Asia/China_Drying_Up_What_to_do_about_droughts_in_the_Peoples_Republic_of_China/, acesso em 29 jul. 2020.



DO APOGEU AO DECLÍNIO, COMPREENDENDO A CONSTRUÇÃO NAVAL SOB A ÓTICA DA CAPACIDADE OPERACIONAL E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA REDUÇÃO DE EMISSÃO DE CO₂

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi compreender o declínio da construção naval, sob a ótica da capacidade operacional. Para tal objetivo, foi dada continuidade a trabalhos anteriores que identificaram as capacidades operacionais encontradas nos estaleiros brasileiros. Os processos dos estaleiros foram abordados pelo levantamento bibliográfico, pesquisa documental e realização de entrevistas. A pesquisa é um estudo qualitativo de múltiplos casos, tendo como unidades de análise os casos dos estaleiros Atlântico Sul e Vard Promar. Os principais resultados indicam que no segmento empírico da construção naval as categorias de capacidade operacional de melhoria, cooperação e controle são importantes, mas não foram suficientes para manter os estaleiros em funcionamento, uma vez que os dois estaleiros, no momento, estão sem demanda para dar continuidade em suas atividades. Os resultados indicam que as capacidades de responsividade e reconfiguração que foram fracamente identificadas em trabalhos anteriores, são fundamentais para adequação dos estaleiros a condições ambientais atuais que envolvem escassez de demanda e mudanças nas estratégias das políticas de fomento. À vista disso, o trabalho ratifica a importância da capacidade de responsividade e de reconfiguração, sobretudo em mercados complexos, com fortes tendências globais e dependência de políticas governamentais, com características predominantemente financeiras, ratificando a indústria naval como um pilar fundamental para o desenvolvimento de uma matriz de transporte com baixa emissão de carbono, sendo, portanto, estratégica para o desenvolvimento de políticas voltadas a um maior balanceamento da matriz de transportes, contribuindo para tríade: meio ambiente, economia e lucratividade.

Palavras-Chave: Capacidade Operacional; Emissão de CO₂; Reconfiguração; Responsividade.

Maria de Lara Moutta Calado de Oliveira Possui graduação em Engenharia Mecânica, Mestrado em Engenharia de Produção, Doutorado em Administração e pós-graduação em Psicopedagogia Institucional, Projetos, Cadeia de Suprimentos e Metodologia Ativas. Analista de Infraestrutura e atua na área da Indústria Naval, no Ministério da Infraestrutura. Possui diversas publicações em livros, capítulos de livros, periódicos, congressos nacionais e internacionais.

Sergio Iaccarino Doutor e Mestre Engenharia de Produção, COPPE/ UFRJ; Engenheiro Civil PUC-RJ; Admin. Pública EBAP/FGV; INRETS/ França: pesquisador de “Sistemas Complexos em Logística e Transportes”; RFFSA: Assessor e Chefe do Departamento Geral de Programas da Diretoria de Transporte Metropolitano; CBTU: Assessor da Diretoria de Planejamento/ Chefe da Coordenadoria de Apoio à Presidência; Diretor técnico da AENFER; Especialista Infraestrutura Sênior ME, em exercício no Ministério da Infraestrutura.

1. INTRODUÇÃO

A Petrobras Transporte S.A – TRANSPETRO, em 2006, lançou o Programa de Modernização e Expansão da Frota - PROMEF, tendo como objetivo a redução da idade média de sua frota para dez anos. O planejamento previa a construção de 49 navios de grande porte, em duas fases de encomendas: a primeira, com 23 navios, e a segunda fase, com 26. O PROMEF estabeleceu como premissas a construção dos navios no Brasil, com Conteúdo Nacional de 65%, na primeira fase, e de 70%, na segunda, focando na garantia da competitividade dos estaleiros em nível internacional.

Depois de mais de uma década, dos 49 navios planejados, 20 foram cancelados, 26 foram entregues e 03 não foram concluídos. Além disso, todos os estaleiros envolvidos estão sem atividades produtivas. As mudanças políticas reduziram as demandas governamentais e as demandas globais se tornaram escassas com a crise do petróleo mundial. Neste contexto, apesar de haver um consenso sobre a importância desse segmento para a sociedade, os debates voltam à tona sobre a credibilidade e a viabilidade do parque industrial brasileiro, sobretudo em virtude de uma forte compe-

titividade internacional dos países asiáticos, mais especificamente, o Japão, a Coreia do Sul e a China.

O segmento empírico da construção naval é muito conservador e de difícil levantamento de dados exploratórios de campo. Recentemente alguns trabalhos exploratórios Oliveira *et. al* (2018), Oliveira (2016), Moser (2016), Amaro (2016), levantaram informações importantes acerca dos estaleiros em Pernambuco, tendo como elo teórico a capacidade operacional, recorte teórico, convergente na compreensão do processo produtivo da construção naval.

Dessa forma, este trabalho justifica-se uma vez que apresenta uma fonte de informações complementares para a literatura de capacidade operacional, mais especificamente num segmento pouco explorado como a construção naval, compreendendo à luz de trabalhos anteriores a recente desarticulação do segmento.

Diante do exposto esse trabalho tem por objetivo compreender à luz da capacidade operacional, as possíveis causas da nova desarticulação do setor de construção naval no Brasil, sugerindo possíveis alternativas para continuidade desse importante segmento.

2. CAPACIDADE OPERACIONAL

Flynn, Wu e Melnyk (2010), com base na literatura de gestão estratégica e aplicando os traços essenciais do domínio da gestão de

operações, definem capacidades operacionais como sendo um conjunto de habilidades, processos, rotinas e práticas organiza-

cionais específicos da empresa desenvolvida no âmbito do sistema de gestão de operações, que são usados regularmente na resolução de seus problemas a partir da configuração dos seus recursos operacionais.

As pesquisas encontradas apresentam um consenso entre os diversos autores, os quais consideram a capacidade operacional como um constructo de maior nível, desenvolvido a partir da interação de recursos para atingir objetivos específicos. No entanto, apesar desse consenso, as capacidades operacionais são frequentemente negligenciadas por não serem perceptíveis e estarem embutidas nos recursos dos sistemas operacionais. A atenção dos gestores tende a ser atraída para o que é mais facilmente perceptível, como ativos, recursos e práticas operacionais. Consequentemente, a maior parte do impacto das capacidades operacionais é, muitas vezes, atribuída a práticas ou recursos (FLYNN; WU; MELNYK, 2010).

A capacidade operacional pode ser identificada a partir das categorias de capacidade operacional, inicialmente propostas por Swink e Hegarty (1998), estudadas por Flynn, Wu e Melnyk (2010) e mais recentemente discutidas por Oliveira (2016). Estas categorias, conjuntamente, tornaram-se bases teóricas para o desenvolvimento deste trabalho.

2.1. CAPACIDADE OPERACIONAL DE MELHORIA (EXPLOITATION)

A capacidade operacional de melhoria, termo usado como tradução de *exploit-*

tation, proposto inicialmente por March, em 1991, refere-se a um diferenciado conjunto de habilidades, processos e rotinas para, de forma incremental, refinar e reforçar os processos de operações existentes. O conceito, usado também por Brady e Davies (2004) no modelo de Construção da Capacidade em Projeto – CCP tem como foco os processos de pequenas mudanças, criando melhorias que se traduzem em maior desempenho. Por meio do uso dos recursos e a aplicação de práticas operacionais já existentes, este tipo de capacidade procura sistematicamente desenvolver novas formas de fazer o trabalho para os clientes, de forma bem diferente das grandes melhorias ou mudanças radicais de processos (BENNER; TUSHMAN, 2003; PENG; SCHROEDER; SHAH, 2008; FLYNN; WU; MELNYK, 2010).

Embora alguns gestores tenham reconhecido a importância da capacidade operacional quando relacionada à melhoria contínua, muitos acreditam que a sua gestão é um desafio. Outros consideram que o seu efeito acumulativo pode ser bastante significativo, beneficiando tanto os produtos existentes, quanto as futuras gerações. Sua obtenção está relacionada com o aumento da compreensão do processo, a identificação e eliminação de atividades que não agregam valor e os elevados níveis de esforço e eficácia em recursos humanos. (WHEELWRIGHT; HAYES, 1985; HARRINGTON; MATHIAS, 1997; SWINK; HEGARTY, 1998).

2.2. CAPACIDADE OPERACIONAL DE INOVAÇÃO (EXPLORATION)

A capacidade operacional de inovação, termo usado como tradução de *exploration*, também é um conceito proposto inicialmente por March (1991). Trata-se de um conjunto diferenciado de habilidades, processos e rotinas para melhorar radicalmente, criando e implementando processos de operações novos e únicos. Usada de forma semelhante por Brady e Davies (2004) no modelo de Construção da Capacidade em Projeto - CCP, este tipo de capacidade se concentra na busca de mudanças e experimentação, a fim de alterar trajetórias e tecnologias associadas às competências organizacionais (BENNER; TUSHMAN, 2003; PENG; SCHROEDER; SHAH, 2008; FLYNN; WU; MELNYK, 2010).

De maneira convergente com essa abordagem, Swink e Hegarty (1998) definiram a inovação como a capacidade de criar e implementar processos únicos de fabricação que melhorem radicalmente o desempenho através da percepção, da criatividade e da engenhosidade. A percepção corresponde à habilidade de identificar problemas, novos processos e desenvolvimentos tecnológicos, dentro e fora da indústria. A criatividade permite a criação e avaliação de novas ideias que satisfaçam objetivos organizacionais. A engenhosidade é descrita como a aplicação de novas tecnologias ou métodos para resolver problemas, sempre com o foco de mudanças radicais que buscam novos conhecimentos

ou competências usando o comportamento inovador e a experimentação de alternativas desconhecidas, de forma distinta das mudanças incrementais propostas na capacidade operacional de melhoria (MARCH, 1991; BENNER; TUSHMAN, 2003; PENG; SCHROEDER; SHAH, 2008).

2.3. CAPACIDADE OPERACIONAL DE COOPERAÇÃO

Inicialmente, Swink e Hegarty (1998) propuseram o conceito de integração como sendo a habilidade de incorporar novos produtos ou processos através da flexibilidade de introduzir e fabricar rapidamente novos produtos, de aprender novas habilidades e novos processos e de ajustar os processos de incorporação e alterações do produto, além de adaptar-se às mudanças de mercado. Posteriormente, Kim (2006) ampliou o conceito e propôs o termo de cooperação como a habilidade de criar e manter relacionamentos saudáveis com os membros da cadeia de suprimento, relacionados com desenvolvimento de produtos.

A partir desses trabalhos, Flynn, Wu e Melnyk (2010) desenvolveram um conceito de capacidade operacional de cooperação mais abrangente. Para elas, a capacidade operacional de cooperação se constitui como a habilidade de reunir as partes envolvidas para compartilhar informações, convergindo para uma interpretação comum do que precisa ser feito. Como a incerteza aumenta, o aumento da capacidade operacional de cooperação é

necessário para ajudar as empresas a lidar com a imprecisão de seus ambientes e promulgar uma visão compartilhada, a fim de adquirir informações, interpretar o ambiente, resolver conflitos organizacionais e chegar a um entendimento mútuo acerca de uma tarefa específica.

A capacidade operacional de cooperação é baseada no uso de tecnologias avançadas para processamento de informações, proporcionando mecanismos que possibilitem à empresa lidar com as complexidades de se competir em um ambiente globalizado. Com o intuito de responder ao aumento dessa complexidade, as empresas buscam mecanismos de coordenação que lhes permitam processar mais informações rapidamente (GALBRAITH, 1973; KOUFTEROS; VONDEREMBASE; DOLL, 1998; FLYNN, B.; FLYNN E., 1999; BOZARTH *et al.*, 2009).

Essa complexidade presente em ambientes globalizados foi estudada por muitos autores ao longo do tempo, os quais convergiram para o conceito de diversidade a fim de explicar sua existência. A diversidade pode ser vista em relação à perspectiva do produto, dos clientes, dos fornecedores, da produção e do trabalho. A diversidade de produto corresponde à variedade dos produtos, dos mercados atendidos e dos volumes de produtos individuais (BOZARTH *et al.*, 2009). A diversidade do cliente é caracterizada pela quantidade de clientes, pelos relacionamentos com os clientes, pelos diferentes volumes comprados e pela distância entre a empresa e os clientes

(ANDERSON; NARUS, 1998). De forma semelhante, a diversidade dos fornecedores corresponde ao número de fornecedores, à natureza do relacionamento com os fornecedores e à localização dos fornecedores (GONZALEZ-BENITO, 2007; KOUFTEROS; CHENG; LAI, 2007; HOLWEG; PIL, 2008; NARASIMHAN; TALLURI, 2009). Por sua vez, a diversidade de produção está relacionada às mudanças nas vendas, à prioridade de expedição e a quantidade e tipo de materiais a serem comprados. A diversidade de trabalho corresponde aos diferentes tipos de atividades nas organizações, incluindo as demissões de funcionários (KOUFTEROS; VONDEREMBASE; DOLL, 1998; BOZARTH *et al.*, 2009).

2.4. CAPACIDADE OPERACIONAL DE CUSTOMIZAÇÃO

A capacidade operacional de customização tem suas raízes na obra de Wheelwright e Hayes (1985), que apresentaram os benefícios do desenvolvimento de processos e equipamentos difíceis para os concorrentes imitarem, bem como a habilidade dos seus funcionários em manter e melhorar esses processos e equipamentos, permitindo o domínio da empresa no que é fundamental para o negócio.

Swink e Hegarty (1998) complementaram esta abordagem, usando o conceito de percepção como sendo a capacidade de compreender as necessidades dos clientes para adquirir, desenvolver e transmitir informações valiosas sobre os produtos ou

processos, usando a consultoria, o compartilhamento de informações e a apresentação do produto. A consultoria tem por objetivo ajudar os clientes internos e externos na resolução de problemas (por exemplo, no desenvolvimento de novos produtos, no design de fabricação e na melhoria da qualidade). O compartilhamento de informações fornece dados críticos sobre o desempenho do produto e parâmetros de processo e de custos para os clientes. Já a apresentação do produto, que vai delinear a tecnologia, o equipamento e os sistemas de produção, transmite o valor dos recursos de fabricação, proporcionando o aumento das vendas e da participação no mercado.

Schroeder, Bates e Junttila (2002) registraram que o caminho da aprendizagem inerente a empresas específicas resultou no desenvolvimento de processos únicos, que conferem vantagem competitiva. Mas, embora existam muitas semelhanças nas práticas associadas com o desenvolvimento desses processos, cada empresa reflete uma capacidade subjacente para personalizar um processo e atender às necessidades exclusivas de um produto e de seus mercados-alvo. Contribuindo com essa abordagem, Brady e Davies (2004) se preocuparam em compreender o caminho da aprendizagem e a sua absorção, apresentando o modelo CCP - já detalhado na seção anterior.

Fynn, Wu e Melnyk (2010), associando a categoria de capacidade operacional de percepção proposta por Swink e Hegarty (1998) e as vantagens obtidas com relação ao desenvolvimento de processos específi-

cos, propuseram o conceito de capacidade operacional de customização. Para elas, essa capacidade é definida como sendo um conjunto diferenciado de competências, processos e rotinas que desenvolve a criação de conhecimento por meio da personalização de processos e sistemas de operações.

2.5. CAPACIDADE OPERACIONAL DE RESPONSABILIDADE

Inicialmente apresentada por Swink e Hegarty (1998), a capacidade operacional de responsividade foi conceituada como sendo a habilidade de reagir, em tempo hábil, a mudanças nos materiais (substituições ou variações de matérias-primas), no encaminhamento da produção (alterações no produto), no sequenciamento da produção (reorganização da ordem no processo de fabricação) e nas entregas (aceleração ou redirecionamento de entregas). Complementando essa categoria, Swink e Hegarty (1998) propuseram outra, chamando de flexibilidade a habilidade de mover-se facilmente de um estado de fabricação para outro, atendendo tanto às mudanças de volume (produção de altos volumes com eficiência) quanto aos tipos de produtos (fabricar uma variedade de produtos, ao longo de um curto período de tempo, sem modificar instalações).

Fynn, Wu e Melnyk (2010), abrangendo simultaneamente as duas categorias descritas acima, definiram a capacidade operacional de responsividade como a habilidade diferenciada, dentro dos processos e rotinas,

de reagir de forma rápida e fácil às mudanças nos requisitos de entrada e de saída, de modo que um processo possa, consistentemente, atender às necessidades dos clientes, demandando pouco tempo ou custo. Definida também como a aptidão de gerenciar recursos de produção (máquinas, materiais e planejamento da produção), ela estabelece a base para o desempenho da flexibilidade fortemente relacionada à produção tecnológica e especialização, permitindo o atendimento a diversas combinações de produtos (flexibilidade de variedade) e variações no tamanho dos lotes (flexibilidade de volume) (vide ZHANG; VONDEREMBSE; LIM, 2003; MARTINEZ; PEREZ, 2005; SWINK; NARASIMHAN; KIM, 2005).

2.6. CAPACIDADE OPERACIONAL DE RECONFIGURAÇÃO

A capacidade operacional de reconfiguração se concentra na remodelação dos recursos de operações, através de decisões de investimento e desinvestimento, com o objetivo de lidar com as mudanças ambientais. É baseada no conceito das capacidades dinâmicas, lançado por Teece, Pisano e Shuen (1997), que por sua vez usaram os fundamentos *Resource Based View - RBV*. Porém, enquanto a RBV se concentra no desempenho durável (em virtude das diferenças de recursos assimétricos e produtividades entre as empresas), a capacidade dinâmica descreve as diferentes habilidades que as empresas desenvolvem para acumular, implantar, renovar e

reconfigurar recursos, em resposta a mudanças em seu ambiente externo (PANDZA *et al.*, 2003a). A capacidade dinâmica corresponde aos processos desenvolvidos pela empresa que geram a integração, a reconfiguração e, até mesmo, a criação de mudança de mercado.

Para Teece, Pisano e Shuen (1997), a capacidade operacional de reconfiguração é um conjunto diferenciado de competências, processos e rotinas, realizando as transformações necessárias para restabelecer o ajuste entre as operações estratégicas e o ambiente de mercado, quando seu equilíbrio for perturbado. É um instrumento valioso quando uma empresa se depara com um ambiente externo em rápida mudança. A capacidade operacional de reconfiguração permite que as rotinas se adaptem às mudanças inesperadas, mantendo respostas flexíveis e implementando o sincronismo nas operações. De acordo com essa definição, Pandza *et al.* (2003b) descreve a capacidade operacional de reconfiguração como sendo o investimento em recursos tangíveis e intangíveis que fornece à empresa, em ambientes incertos, as condições necessárias à mudança. É importante em ambientes de negócios incertos e voláteis, onde as empresas enfrentam inovações, crises econômicas, perdas de produção e eventos políticos.

Trabalhos recentes de Girod e Whittington (2016), a partir da análise de grandes empresas americanas entre 1985 e 2004 encontraram resultados de desempenho contrastantes para reconfiguração, onde a alta

capacidade de reconfiguração é associada a resultados positivos de desempenho, enquanto a reconfiguração mais limitada está associada com resultados negativos de desempenho, ratificando que em ambientes

dinâmicos, a reconfiguração apresenta um papel fundamental. O Quadro 1 a seguir apresenta um resumo das categorias de capacidade operacional que serão usadas como recorte teórico nesse trabalho.

QUADRO 1 | Categorias de capacidade operacional

Categorias	Conjunto diferenciado de habilidades, processos e rotinas para:	Autores
Melhoria (<i>exploitation</i>)	Refinar e Reforçar os processos de operações existentes, de forma incremental.	March (1991) Swink e Hegarty (1998) Benner e Tushman (2003) Davis e Brady (2004) Penh, Schroeder e Shah (2008) Flynn, Wu e Melnyk (2010)
Inovação (<i>exploration</i>)	Melhorar radicalmente processos de operações existentes ou criar novos processos.	March (1991) Swink e Hegarty (1998) Davis e Brady (2004) Penh, Schroeder e Shah (2008) Flynn, Wu e Melnyk (2010)
Cooperação	Criar e manter relacionamentos saudáveis internamente com os diversos departamentos e externamente com a cadeia de suprimento, relacionada com desenvolvimento de produtos. Convergente com a categoria de integração apresentada por Swink e Hegarty (1998).	Swink e Hegarty (1998) Droge, Jayaram e Vickery (1999) Escrig-Tena e Bou-Llusar (2005) Kim (2006) Flynn, Wu e Melnyk (2010)
Resposta eficaz	Reagir de forma rápida e facilmente às mudanças nos requisitos de entrada e de saída, com pouco tempo ou custo. Abrange a flexibilidade de produto e volume proposta por Swink e Hegarty (1998).	Hayes, Pisano (1994) Hayes, Upton (1998) Swink e Hegarty (1998) Flynn, Wu e Melnyk (2010)
Customização	Criar conhecimento por meio da extensão e customização de processos e sistemas de operações. Convergente com o conceito de percepção proposto por Swink e Hegarty (1998).	Wheelwright e Hayes (1985) Schroeder, Bates e Junntila (2002) Swink e Hegarty (1998) Flynn, Wu e Melnyk (2010)
Reconfiguração	Realizar a transformação necessária para restabelecer o ajuste entre a estratégia de operações e ambiente de mercado, quando seu equilíbrio foi perturbado.	Teece, Pisano e Shuen (1997) Pandza et al. (2003a) Flynn, Wu e Melnyk (2010)
Controle	Dirigir e regular os processos operacionais, compreendendo e monitorando seus limites, ajustando e remediando variações indesejáveis nos resultados de fabricação além de identificação das fontes variação dos resultados.	Swink e Hegarty (1998)

Fonte: Elaborado pelos autores

2.7. TRANSPORTE AQUAVIÁRIO UM DIFERENCIAL NA SUSTENTABILIDADE

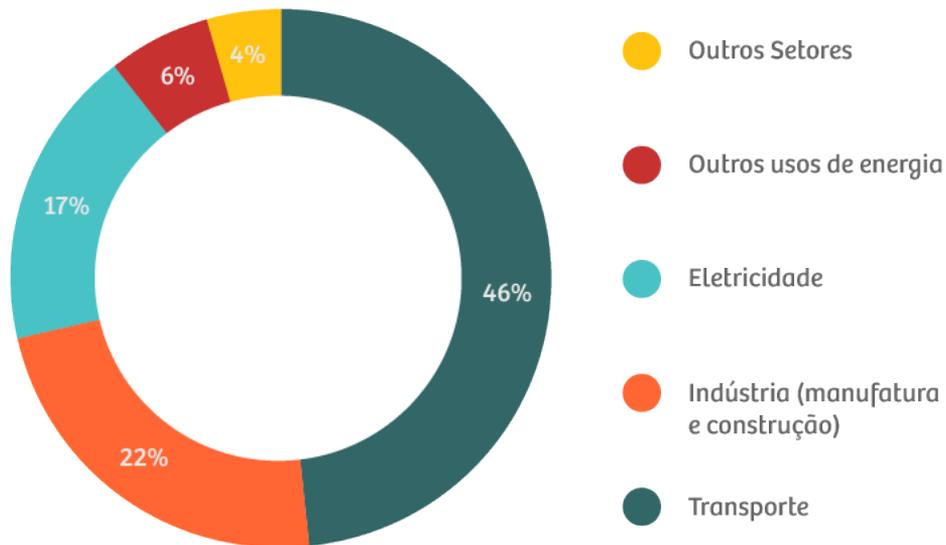
Atualmente, a malha logística do país mostra, em relação ao ano de 2007, um crescimento do fluxo de transportes no modal aquaviário, incluindo os transportes hidroviários e cabotagem, partindo de 5% para 16%, conforme pode ser visualizado na Tabela 1 a seguir.

De acordo com dados da *International Energy Agency* (2015), o setor de transportes, no Brasil, é o que tem maior participação na emissão total de CO₂ no Brasil, responsável por 46%, seguido pela indústria de manufatura e construção (25%); eletricidade (17%); outros usos de energia (6%) e outros setores (4%), conforme apresentado no Gráfico 1.

TABELA 1 | Evolução da matriz de transportes brasileira.

Modo\Fonte	ILOS (2008)	ILOS (2013)	PNLI (2015)
Rodoviário	65%	67%	65%
Ferrovário	19%	19%	15%
Hidroviário	2%	2%	5%
Cabotagem	10%	9%	11%
Dutoviário	4%	3%	4%

Fonte: Baseado em PNLI (Panorama 2015).

GRÁFICO 1 | Distribuição percentual de emissão de CO2

Fonte: International Energy Agency (2015)

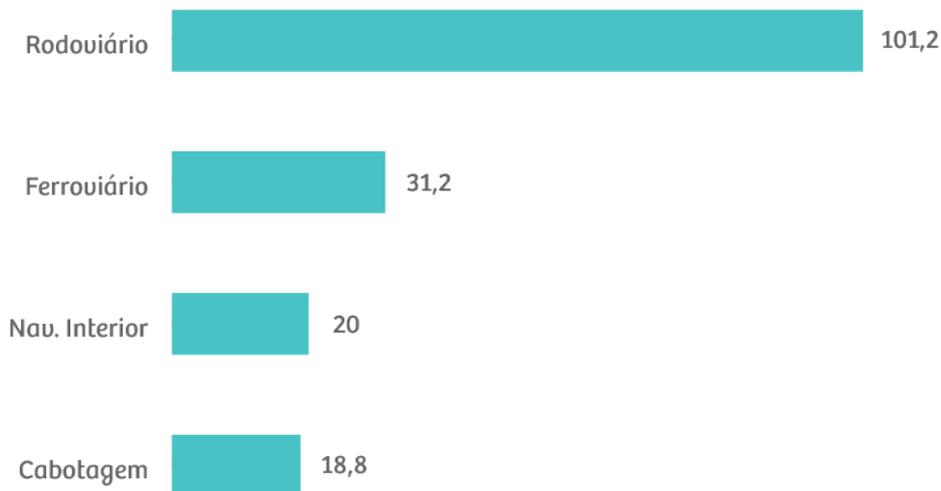
De acordo com CNT (2013), dentre os modais de transporte é o modal rodoviário que se destaca como o maior vilão das emissões de CO2 contribuindo com 62,5 milhões de toneladas de CO2, sendo 92% do total das emissões de transportes, seguida de 5% do rodoviário e apenas 3% para o aquaviário. Com relação ao quantitativo propriamente dito de emissão de CO2 em gramas por Tonelada transportada por quilômetro útil (TKU) os resultados também indicam uma discrepância significativa para as emis-

sões de CO2 no transporte rodoviário, quando comparado aos outros modais, conforme pode ser visualizado no Gráfico 2.

De forma convergente aos estudos anteriores, o antigo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI em 2014 estudou as correlações entre emissões totais de CO2 do setor de transporte indicando além de uma forte correlação com o modal rodoviário, mais uma forte tendência de aumento ao longo dos anos, conforme pode ser visualizado nos gráficos 3 e 4.

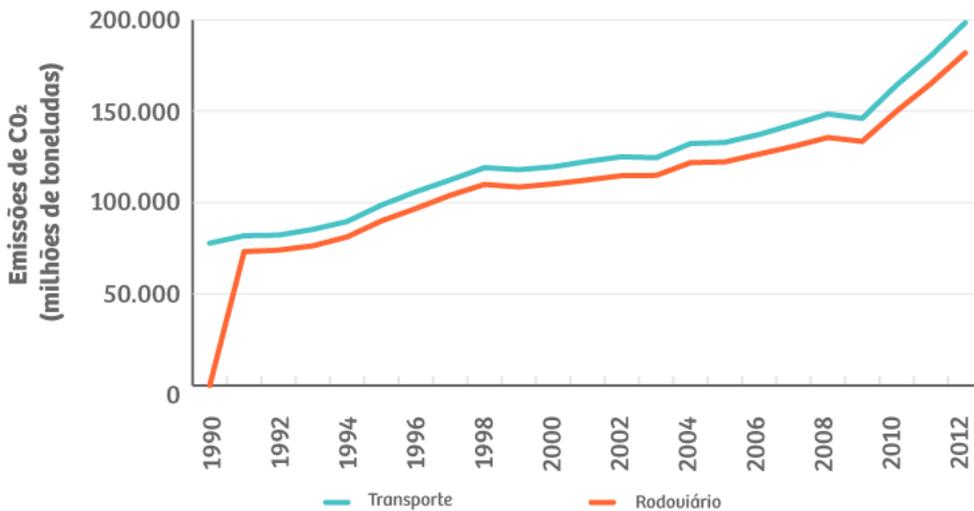
- 103 • Do apogeu ao declínio, compreendendo a construção naval sob a ótica da capacidade operacional e sua contribuição para redução de emissão de CO₂

GRÁFICO 2 | Quantitativo de emissão de CO₂

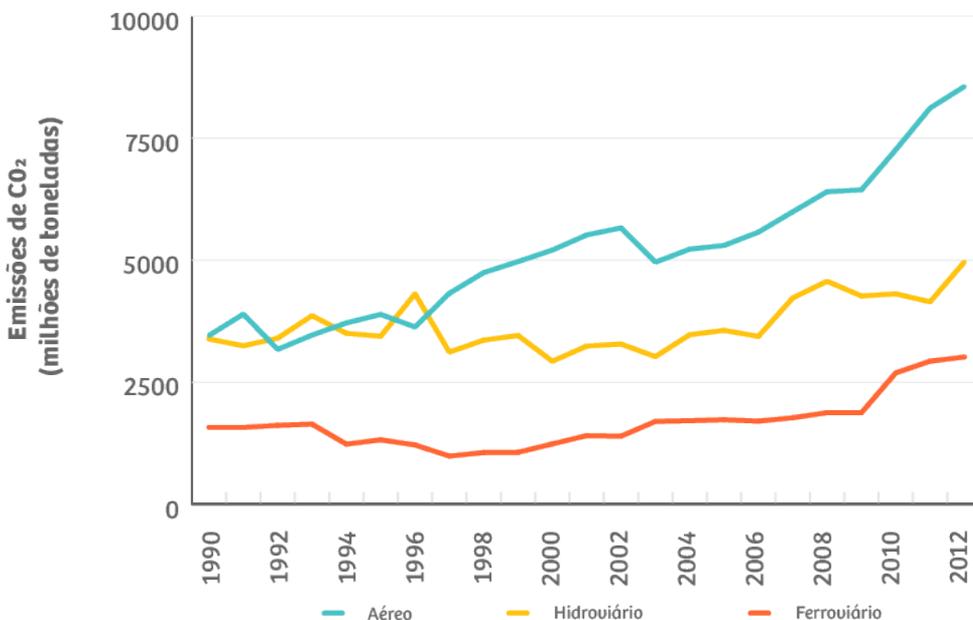


Fonte: CNT (2013)

GRÁFICO 3 | Emissão de CO₂ e transporte Rodoviário



Fonte: MCTI (2014) apud João et. Al. (2016).

GRÁFICO 4 | Emissão de CO₂ e Transporte aéreo, Ferroviário e Hidroviário

Fonte: MCTI (2014) apud João et. Al. (2016).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa desenvolvida ao longo desse trabalho foi caracterizada como aplicada e exploratória. Aplicada em virtude da utilização, na prática, de conhecimentos disponíveis da capacidade operacional, para responder às demandas da sociedade em contínua transformação; e exploratória, por proporcionar uma maior familiaridade com o problema de pesquisa (CERVO, BERVIAN, 2007).

Em virtude da complexidade do segmento empírico da construção naval, foi necessária uma maior flexibilidade no processo de condução da pesquisa de campo, não permitindo uma definição exata e a priori dos caminhos a serem seguidos. O levantamento convergiu para uma abordagem predominantemente qualitativa, baseada na coleta, redução, organização, análise, interpretação, verificação

e validação dos dados (MILES, HUBERMANN, 1994).

Neste trabalho, a pesquisa de campo foi desenvolvida por meio de entrevistas e observação de fatos, visitas aos estaleiros, onde o ambiente natural foi uma das fontes de dados. A partir dos relatos dos entrevistados, dos dados observados e dos documentos secundários descrevemos detalhadamente os fatos e dados, agregando informações ao conhecimento acadêmico e evidenciando a característica descritiva da pesquisa qualitativa (BOGDAN, BIKLEN, 1994; GODOY, 1995; MERRIAM, 1998).

No campo empírico, o nosso interesse foi caracterizado pela continuidade de pesquisas anteriores e o entendimento dos significados no processo da pesquisa em si. Nosso foco foi a compreensão da situação atual dos estaleiros e os resultados entrados no trabalho de Oliveira *et. al.*, (2018), (BOGDAN, BIKLEN, 1994; GODOY, 1995; MERRIAM, 1998).

A forma escolhida para conduzir esta investigação foi o estudo de múltiplos casos, alternativa metodológica de respaldo no meio científico em se tratando do estudo de eventos contemporâneos e complexos, explicando tanto os processos como os resultados e se mostrando compatível com o segmento empírico da construção naval que abrange essas características (MERRIAM, 1998; MILES, HUBERMAN, 1994). Com base nesses dados, delimitamos nossa pesquisa, aos estaleiros EAS e Vard Promar fruto das pesquisas anteriores Oliveira *et. al.* (2018) e a atual situação dos estaleiros. Des-

sa forma delimitamos como unidade de análise, os estaleiros EAS e Vard Promar.

Após a definição dos casos a serem estudados, bem como a unidade de análise, foi necessária à determinação de quais integrantes dos estaleiros responderiam às entrevistas. Para este delineamento, definimos o gestor responsável por cada estaleiro, por se tratar de uma abordagem complementar a abordagem exploratória do trabalho anterior.

Tomando por alicerce os trabalhos de Morse (1994), Godoy (1995) e Bogdan e Biklen (1994), e a partir da análise de conteúdo proposta por Bardin (2011), a organização e análise de dados em nossa pesquisa retrataram a compreensão, a divisão e a síntese do fenômeno estudado (à procura de um padrão, da categorização, da descoberta de aspectos importantes que foram apreendidos e da recontextualização do novo conhecimento). Para os fins desta pesquisa, adotamos a sequência de etapas preconizada por Bardin (2011), tendo em vista sua ampla utilização e popularidade nas pesquisas em administração. Tal sequência é composta por análise prévia, exploração do material, tratamento e interpretação dos resultados com a inferência.

Na análise prévia, fizemos a leitura das entrevistas e identificamos o corpus de análise. Usamos, também, regras de representatividade, homogeneidade e pertinência. A representatividade foi respeitada, uma vez que os casos escolhidos corresponderam aos estaleiros que foram construídos, especificamente, para atender ao PROMEF.

Com relação à homogeneidade, tanto a unidade de análise quanto os sujeitos entrevistados foram definidos de forma semelhante, seguindo esse critério. No que concerne à pertinência, verificamos que a fonte de dados, tanto primária quanto secundária, correspondia adequadamente ao objetivo suscitado pela análise.

Inicialmente, a partir dos dados secundários, identificamos quais categorias de capacidade operacional foram encontradas nos estaleiros e quais categorias seriam necessárias serem desenvolvidas. A partir das entrevistas – Apêndice- identificamos a situação atual dos estaleiros e as percepções de seus gestores. A última fase compreendeu o tratamento dos resultados, inferência e interpretação, consistindo em captar os conteúdos manifestos e latentes contidos em todos os materiais coletados (entrevistas, documentos e observação). A análise

comparativa foi realizada a partir da justaposição das diversas categorias existentes em cada análise, ressaltando os aspectos considerados semelhantes e os que foram concebidos como diferentes.

Outra consideração a ser seguida nas análises de dados está associada ao tratamento dos múltiplos casos, que devem ser feitos em dois níveis de análise: dentro de um caso e cruzando os casos (MERRIAM, 1998). De forma convergente com essa proposta, a pesquisa usou inicialmente uma análise em profundidade em cada estaleiro e, posteriormente, houve o cruzamento dos dados entre os dois estaleiros (com o intuito de descobrir variações dos dados, considerando as diferenças no que tange aos processos produtivos e às especificidades de seus sistemas de gestão). Tais considerações serviram de embasamento para a geração de proposições úteis a estudos futuros.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Tomando por base o recorte teórico de capacidade operacional e a entrevista semiestruturada aplicada aos gestores dos estaleiros e o trabalho de Oliveira *et. al* (2018), foi possível realizar o levantamento e a discussão dos dados apresentados.

O Estaleiro Atlântico Sul S.A., criado em novembro de 2005 e concluído em abril de 2010, tem como sócios os grupos Camargo Corrêa e Queiroz Galvão. O empreendimento recebeu como investimento o valor de R\$ 2,2 bilhões. Com uma capa-

cidade instalada de processamento da ordem de 160 mil toneladas de aço por ano, foi o primeiro estaleiro a ser construído em Pernambuco e produz todos os tipos de navios cargueiros de até 500 mil Toneladas de Porte Bruto - TPB, bem como plataformas *offshore*. Concluiu-se as quinze embarcações contratadas pelo programa PROMEF em junho de 2019, estando atualmente sem demanda para continuar suas atividades.

Segundo Oliveira *et. al* (2016), das categorias da capacidade operacional as ca-

pacidades de customização, responsividade e reconfiguração foram as capacidade fracamente percebidas, indicando assim sinais de problemas para rápidas adequações as mudanças do ambiente externo, que foram consolidadas com as mudanças de estratégias governamentais, a falta de demanda nacional e a necessidade de busca de mer-

cados globais. A dificuldade de desenvolvimento dessas capacidades ratifica a falta de adequação as instabilidades provocadas sejam pelo ambiente externo (alta competição, excedente de demanda internacional, crise do petróleo), seja pelo ambiente interno (mudança de políticas governamentais), conforme Tabela 2.

TABELA 2 | Visão geral das capacidades operacionais - EAS

Categorias analisadas	Resultados encontrados
Melhoria	Fortemente percebida
Inovação	Percebida
Cooperação	Fortemente percebida
Customização	Fracamente percebida
Responsividade	Fracamente percebida
Reconfiguração	Fracamente percebida
Controle	Fortemente percebida
Legenda:	
Não percebida	Não foi identificada
Fracamente percebida	Identificada, muito vagamente. Exemplos escassos e raros quase não lembrada.
Percebida	Identificada com menos intensidade, mas percebida nas entrevistas.
Fortemente percebida	Identificada facilmente com muita intensidade, citada por muitos entrevistados e presente na organização

Fonte: Oliveira *et. al.* (2018)

O estaleiro Vard Promar, localizado em Ipojuca/PE), pertence à multinacional Fincantieri. Tem foco na construção de navios gaseiros e de apoio *offshore*, e contou com investimentos no valor de R\$ 350 milhões, iniciando sua construção em 2011 e sua operação, em 2013. Com capacidade para processar 18 mil toneladas de aço por ano, gera cerca de 1.600 empregos diretos. De forma semelhante ao EAS, em 2018 entregou a última embarcação do programa

PROMEF e atualmente apresenta seu parque industrial abrangendo apenas as manutenções e reparos navais, sem apresentar novas demandas. Semelhante ao EAS, a capacidade de responsividade e reconfiguração também foram fracamente percebidas conforme sugere o trabalho de Oliveira *et. al.* (2018) apresentado na Tabela 3, ratificando assim, uma estrutura com dificuldades de adequação as mudanças estratégicas do ambiente interno e externo.

TABELA 3 | Resumo das categorias da capacidade operacional - Vard Promar

Categorias	Resultados analisados
Melhoria	Fortemente percebida
Inovação	Fracamente percebida
Cooperação	Fortemente percebida
Customização	Percebida
Responsividade	Fracamente percebida
Reconfiguração	Fracamente percebida
Controle	Fortemente percebida
Legenda:	
Não percebida	Não foi identificada
Fracamente percebida	Identificada, muito vagamente. Exemplos escassos e raros quase não lembrada.
Percebida	Identificada com menos intensidade, mas percebida nas entrevistas.
Fortemente percebida	Identificada facilmente com muita intensidade, citada por muitos entrevistados e presente na organização.

Fonte: Oliveira *et. al.* (2018)

A partir dos resultados encontrados nos dois estaleiros, cruzamos as informações consolidadas na Tabela 4 a seguir. Quando comparamos as informações, ratificamos que, nos dois estaleiros, foram fortemente percebidas as categorias de capacidade operacional de melhoria, cooperação e controle e fracamente percebida as capacidades de responsividade e reconfiguração.

TABELA 4 | Cruzamento dos resultados

Categorias de capacidade operacional	EAS	Vard Promar
Melhoria	Fortemente percebida	Fortemente percebida
Inovação	Percebida	Não percebida
Cooperação	Fortemente percebida	Fortemente percebida
Customização	Fracamente percebida	Percebida
Responsividade	Fracamente percebida	Fracamente percebida
Reconfiguração	Fracamente percebida	Fracamente percebida
Controle	Fortemente percebido	Fortemente percebida

Fonte: Fonte: Oliveira *et. al.* (2018)

Os resultados de Oliveira *et. al.* (2018), com relação à responsividade, indicavam uma dificuldade dos estaleiros no atendimento a mudanças rápidas, seja de projeto, processo ou produto, culminando com uma capacidade de responsividade muito baixa, o que torna a organização muito frágil em situações de grandes mudanças no ambiente interno ou externo.

No que se refere à reconfiguração, os resultados de Oliveira *et. al.* (2018) a partir dos conceitos apresentados por Flynn *et al.* (2010) também indicaram uma baixa capacidade de reconfiguração, pois muitos entrevistados consideram a construção naval mais estável, chegando a citar o tempo de duração do próprio produto, que varia entre 25 a 30 anos. Porém, essa observação é

míope, pois ambiente externo depende de muitos fatores como o petróleo, as políticas e demandas sazonais e no caso brasileiro de demandas induzidas por estratégias governamentais, indicando um mercado extremamente instável e dinâmico.

Infelizmente a falta do desenvolvimento da capacidade de responsividade e reconfiguração cobrou um preço alto, os dois estaleiros, não conseguiram rapidamente se adequar as oscilações do mercado internacional e as mudanças das políticas governamentais internas, findando a praticamente encerramento das atividades em virtude da falta de demanda.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos dados pesquisados, identificamos que apesar das capacidades operacionais de melhoria, cooperação e controle terem sido fortemente percebidas, elas não foram suficientes para gerar a adequação necessária às mudanças no ambiente externo. A baixa importância dada às capacidades de responsividade e reconfiguração, em um ambiente extremamente dinâmico, criando uma lentidão para as devidas adequações ao ambiente, cobrou um preço alto gerando, praticamente o encerramento das atividades desses estaleiros.

A indústria naval em Pernambuco chegou a empregar diretamente cerca de treze mil empregados diretos e sessenta mil empregos indiretos, o que atualmente corresponde a menos de cem postos de trabalho. Destacamos ainda que apesar das limita-

Um ponto importante a ser destacado é que um dos estaleiros de forma embrionária buscava uma reconfiguração no uso de um dos equipamentos, o dique flutuante, que foi citado no trabalho anterior como uma tentativa de reconfiguração. De fato, atualmente o estaleiro Vard Promar, apresenta o uso de sua estrutura operacional para reparos navais, ratificando a importância da reconfiguração para sobrevivência em ambientes instáveis. Ele está buscando essa reconfiguração, atendendo as mudanças do mercado nacional.

ções do trabalho no que tange a abrangência, essa pesquisa, além de dar continuidade a uma pesquisa exploratória, ela ratifica conceitos fundamentais da importância da capacidade operacional associando a competitividade e principalmente a sobrevivência organizacional, sugerindo assim, que as capacidades operacionais de responsividade e reconfiguração estão associadas diretamente a essa sobrevivência.

Essa pesquisa abre um leque de oportunidades para outras pesquisas em capacidade operacional sendo uma rica fonte de dados sobre a retomada e declínio da construção naval brasileira. Divergente das críticas recebidas com relação à falta de competitividade internacional e a eficácia das políticas de fomento ao longo desses últimos dez anos no Brasil, a pes-

quiza apresenta que a capacidade operacional é um processo único, gradual e lento para os diversos segmentos industriais, inclusive a construção naval. Porém é fundamental que as políticas públicas de fomento, não tenham um caráter exclusivamente financeiro, proporcionando apenas financiamento. Esses financiamentos deveriam ser atrelados a gatilhos de desenvolvimento de capacidade operacionais, criando assim uma motivação para a implementação de uma cultura naval mais voltada para o processo e menos voltada apenas para os resultados.

Na contramão das políticas de redução de emissão de CO₂, balanceamento da matriz de transporte e aumento de competitividade logística no país, encontramos o dismantelamento e declínio da indústria naval. A falta de um parque industrial competi-

vo da construção naval torna a política de equalização da matriz de transporte dependente de outros países construtores. Conforme disto anteriormente, temos uma distribuição inadequada da matriz de transporte, onde o foco no desenvolvimento do transporte rodoviário, em detrimento aos outros modais, ratifica uma tendência de aumento de evolução nas emissões de CO₂, que contribui com 92% das emissões em comparação com os outros modais.

À luz do exposto, à construção naval é um pilar fundamental para o desenvolvimento de uma matriz de transporte com baixa emissão de carbono, sendo, portanto, uma indústria estratégica para o desenvolvimento de políticas voltadas a um maior balanceamento de nossa matriz de transporte, contribuindo para tríade: meio ambiente, economia e lucratividade.

REFERÊNCIAS

- 1 AMARO, E. S.D.M Capacidades operacionais na cadeia de suprimentos: o caso dos fornecedores da indústria de construção naval brasileira. Tese de doutorado. PROPAD, 2016.
- 2 BARDIN, L. *Análise de Conteúdo*. Lisboa, Portugal; Edições 70, LDA, 2011.
- 3 BOGDAN, R.; BIKLEN, S. *Investigação Qualitativa em Educação – uma introdução à teoria e aos métodos*. Porto: Porto Editora, 1994.
- 4 BRASIL. Lei nº. 10893, de 13 de julho de 2004. Dispõe sobre o Adicional ao Frete para a Renovação da Marinha Mercante - AFRMM e o Fundo da Marinha Mercante - FMM, e dá outras providências. (Seção 1, n. 134, pp. 2-5). Brasília, DF: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2004.
- 5 CERVO, A. L; BERVIAN, P. A; SILVA, R. *Metodologia Científica*. 6ª Ed. São Paulo: Prentice Hall, 2007.
- 6 CEGN - Centro de Estudos em Gestão Naval (2008). *Avaliação de nichos de mercado potencialmente atraentes ao Brasil: análise de políticas públicas*. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

- 7 CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Anuário CNT do Transporte 2016**. Brasília, 2016.
- 8 CORAIOLA, D., M.; JACOMETTI M.; BARATTER, M.A.; GONÇALVES, S., A. COLOTTA, I., SHI, Y.; GREGORY, M. **Operation and performance of international manufacturing networks**. *International journal of operations and production management*, v. 23, n. 10, p. 1184–1206, 2003.
- 9 GIRODI, S.J. G; WHITTINGTON R. **Reconfiguration, restructuring and firm Performance: dynamic capabilities and environmental dynamism**. *Strategic Management Journal, Strat. Mgmt. J.*, 38: 1121–1133 (2017)
- 10 GODOY, A. S. **Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades**. *Revista de Administração de Empresas*, v. 35(2), p. 57 – 63, 1995.
- 11 GUEDES, H. P., ZIVIANI, F., PAIVA, R.V. C., FERREIRA M. A.T.; HERZOG M. M. **Mensuração da capacidade absorviva: um estudo nas empresas brasileiras fabricantes de coletores solares**. *Gestão e Produção*, 24(1). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530x2666-16>, 2017.
- 12 FLYNN, B.B., WU, S.J.; MELNYK, S. **Operational capabilities: Hidden in plain view**. *Business Horizons*, 24 (53), p. 247, 2010.
- 13 FLYNN, B.B.; FLYNN, E.J. **An exploratory study of the nature of cumulative capabilities**. *Journal of Operations Management*, 22(5), p. 439- 457, 2004.
- 14 INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **CO2 emissions from fuel combustion: highlights**. Paris, 2015.
- 15 JOÃO M. *et al.*; Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. **Emissão de CO2 na logística de exportação de soja do mato grosso: o caso das exportações pelo arco norte**. ISSN: 2359-1048, ENGEMA, 2016.
- 16 MCTI. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 2ª edição, Brasília, 2014.
- 17 MERRIAM, S. B. **Qualitative research, and case study applications in education: revised and expanded from case study research in education**. 2.ed. São Francisco-CA: Jossey-Bass Education Series and The Jossey-Bass Higher Education Series, 1998.
- 18 MILES, M. B.; HUBERMAN, A. M. **Qualitative data analysis: an expanded source book**. 2.ed. Londres: Sage Publications, 1994.
- 19 MORSE, J. M., DENZIN, N.K.; LINCOLN, Y.S. **Designing funded qualitative research. Handbook of qualitative research**. Thousand Oaks, CA, US: Sage Publications, Inc.12, p. 220 – 235, 1994.
- 20 MORSE, J. M.; DENZIN, N.K.; LINCOLN, Y.S. **Designing funded qualitative research. Handbook of qualitative research**. Thousand Oaks, CA, US: Sage Publications, Inc. v.12, p. 220 – 235, 1994.
- 21 MOSER, D. D. N. **Governança da cadeia de suprimentos e distribuição de capacidades operacionais: um estudo de caso à montante da cadeia de suprimentos da indústria naval brasileira**. Tese de doutorado. PROPAD, 2016.

- 22 OLIVEIRA, M.L.M.C. **Relações contratuais e desenvolvimentos da capacidade operacional em estaleiros brasileiros: uma análise à luz da teoria da agência.** Tese de doutorado. PROPAD, 2016.
- 23 OLIVEIRA, M.L.M.C.; PRIMO, M. A. M.; AMARO, E.S.D.M.; MOSER; D.D.N.; AMARO, R.G. **Capacidade operacional: um estudo de múltiplos casos nos estaleiros brasileiros.** EnANPAD 2018.
- 24 PNLI. **Plano Nacional de Logística Integrada. Relatório sobre Responsabilidade da Empresa de Planejamento e Logística (EPL),** 2015.
- 25 PRESTON, L. E. **Corporation and society: the search for a paradigm.** Journal of Economic Literature, v. 13, n. 2, p. 434-453, 1975.
- 26 PENG, X., SCHROEDER, R.G., SHAH, R. **Linking routines to operations capabilities: A new perspective.** Journal of Operations Management, n. 26, p. 730 – 748, 2008.
- 27 SINAVAL - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO E REPARAÇÃO NAVAL E OFFSHORE. **Cenário 2014: Evolução do emprego e da produção.** Disponível em: < <http://www.sinaval.org.br/cenarios.html>>. Acesso em: 15 de novembro de 2014.
- 28 _____. **Cenário 2017: Balanço do Primeiro Trimestre.** Disponível em: <<http://www.sinaval.org.br/cenarios.html>>. Acesso em: 26 de abril de 2016.
- 29 RUAS, J. A. G.; RODRIGUES, F. H. L. **Indústria Naval - Projeto Perspectivas do Investimento no Brasil.** BNDES/UFRJ/UNICAMP, 2009.
- 30 STAKE, R. E. **The Art of Case Study Research.** Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 1995.
- 31 SWINK, M.; HEGARTY, W. H. **Core manufacturing capabilities and their links to product differentiation.** International Journal of Operations and Production Management, v. 18, n. 4, p. 374-396, 1998.
- 32 TEECE, D. J. **The Foundations of Enterprise Performance: Dynamic and Ordinary Capabilities in an (Economic) Theory of Firms.** The Academy of Management Perspectives, v. 28, n. 4, p. 328- 35, 2014.
- 33 WHEELWRIGHT, S. C.; HAYES, R. H. **Competing through manufacturing.** Harvard Business Review, 63(1), p. 99–109, 1985.
- 34 WILSON, R. **On the theory of syndicates.** Econometric, n. 36, p. 119-132, 1968.
- 35 YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** Porto Alegre: Bookman, 2009.

APÊNDICE

BREVE HISTÓRICO:

Por que o estaleiro está sem demanda? Qual a dificuldade de encontrar novos mercados? Quais são os atores (internos e externos) que participaram do desenvolvimento do estaleiro? Após a entrega de todos os produtos quais as dificuldades mais vivenciadas? Vocês conseguiram evoluir a responsividade? E a reconfiguração? Quais ações para conseguir novas demandas?

CAPACIDADES OPERACIONAIS DE:

RESPONSIVIDADE:

Existe flexibilidade no atendimento a mudanças rápidas seja de projeto, processo e/ou produto? Essas mudanças afetam o custo? Como é cobrado? Ajustes de variações inesperadas nos componentes e materiais de insumos são realizados de modo fácil e rápido (volume, projeto e produto)? Ajustes nas variações inesperadas das exigências trabalhistas são fácil e rapidamente realizados?

RECONFIGURAÇÃO:

Você considera o mercado de construção naval mais estável ou com muitas mudanças? Por quê? Quando o ambiente é modificado, existem possibilidades de mudanças nos arranjos internos, e nos processos para atender ao mercado? Essas alterações são baseadas nas melhores práticas do mercado? Existem habilidades para responder às mudanças do mercado?

EIXO III

CONTRIBUIÇÕES NO
CAMINHO DE UMA INFRAESTRUTURA
DE TRANSPORTES MAIS SUSTENTÁVEL

Assinatura do contrato da área STS20 - Porto de Santos - SP - 29/01/2020 - Foto: Alberto Ruy/MInfra



O SITE-MLOG E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS EM LOGÍSTICA AGROPECUÁRIA

RESUMO

Em 2018 foi lançada a plataforma on-line Sistema de Inteligência Territorial Estratégica da Macrológica Agropecuária Brasileira - Site-MLog pela Embrapa Territorial a pedido do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. O presente estudo apresenta uma avaliação tecnológica desta plataforma junto a gestores públicos e privados e analisa pressupostos em relação a possíveis impactos econômicos e ambientais pela substituição de modais na indicação de obras prioritárias. Os usuários obtiveram uma economia de tempo de trabalho de mais de R\$ 3,1 milhões. Quanto à substituição do trabalho de um especialista o uso do Site-MLog gerou uma economia superior a R\$ 1,3 milhão. A maior eficiência do ganho energético com a substituição de modais rodoviários para ferroviários e hidroviários gerou uma projeção de R\$ 4,7 bilhões de economia para o setor produtivo agropecuário até 2031. A previsão de redução de emissões de gases de efeito estufa com a implantação de três obras logísticas alcançou 8,5 milhões de toneladas de CO₂ retirados da atmosfera até 2031. A tecnologia Site-MLog tem oferecido suporte direto ao planejamento governamental e às entidades ligadas ao agronegócio e na tomada de decisão para modelos de transporte de baixa emissão de carbono e para o financiamento verde.

Palavras-chave: Agronegócio; Infraestrutura; Logística; Política Pública; Sistemas de Inteligência.

Gisele Freitas Vilela Engenheira agrônoma, mestrado em Engenharia Florestal (1998) e doutorado em Agronomia (Fitotecnia) pela UNESP/Botucatu (2009). Ingressou na Embrapa Soja em 2014 e atuou como fitotecnista na área de melhoramento vegetal da soja até 2016. Atualmente é pesquisadora do Grupo de Gestão Territorial Estratégica da Embrapa Territorial. Atua na área de análise e gestão territorial de sistemas agrícolas, recursos biológicos e ambientais.

Gustavo Spadotti Amaral Castro Engenheiro Agrônomo (2005), Mestre (2009) e Doutor (2012) em Agricultura pela UNESP/Botucatu. Desde 2012 é funcionário da Embrapa. Atualmente supervisiona o Grupo de Gestão Estratégica na Embrapa Territorial, onde coordena 10 analistas e pesquisadores. Publicou 74 artigos, 6 capítulos de livros e apresentou 130 palestras e trabalhos técnico-científicos em eventos nacionais e internacionais.

Marlene de Araújo Doutora em Desenvolvimento Local e Territorial pela Universidade de Valencia, Espanha. Mestre em Políticas Públicas e Gestão de C&T, com ênfase no Desenvolvimento Sustentável pelo CDS/Unb. Trabalha, atualmente, na Secretaria de Desenvolvimento Institucional da Embrapa. Atua nas áreas de avaliação de desempenho institucional; Avaliação de impacto em políticas públicas; Gestão de Ciência e Tecnologia e Gestão da Informação.

1. APRESENTAÇÃO

O Sistema de Inteligência Territorial Estratégica da Macrologística Agropecuária Brasileira - Site-MLog oferece informações sobre a produção e exportação agropecuária, de modo a contribuir com a avaliação da situação da infraestrutura dos modais de escoamento. Adicionalmente, identifica prioridades de investimento atuais e projeção de demandas futuras utilizando o inovador conceito de bacias logísticas. É uma ferramenta, focada nos setores público e privado, que auxilia na tomada de decisão, com vistas a promover maior competitividade para a cadeia produtiva do agro brasileiro. O sistema está disponível para toda a sociedade no *website* da Embrapa em <https://www.embrapa.br/macrologistica>. Ele utiliza uma visão integrada e multifatorial que favorece a contextualização e a análise integrada das situações territoriais que permite a geração de cenários evolutivos (Miranda *et al.*, 2014, Daltio; Carvalho, 2014). Além disso, a plataforma disponibiliza dezessete estudos customizados desenvolvidos sob demanda para o setor privado e, principalmente, órgãos do governo, podendo-se citar o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, a Casa Civil e a Secretaria de Governo da Presidência da República.

A base de dados para o planejamento logístico da agropecuária estava disponibilizada em diversos órgãos governamentais, em bancos de dados diferentes e sem comunica-

ção entre si. Os dados sobre infraestrutura portuária foram obtidos na Agência Nacional de Transportes Aquaviários - Antaq e na Secretaria Nacional de Portos e Transportes Aquaviários do Ministério da Infraestrutura; a base sobre infraestrutura viária veio do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, do Ministério da Infraestrutura, do Ministério da Economia e da Agência Nacional de Águas - ANA; os dados sobre infraestrutura de armazenamento foram obtidos da Companhia Nacional de Abastecimento - Conab, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE e do MAPA. Também foram levantadas fontes de dados sobre a produção agropecuária do Sistema IBGE de Recuperação Automática - Sidra/IBGE, da Conab e do MAPA, e, sobre o comércio exterior, do Sistema Integrado de Comércio Exterior - Sicomex do Ministério da Economia e das Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro - Agrostat/MAPA. Salienta-se que os órgãos e siglas foram atualizados, mas podem sofrer alterações em virtude das mudanças governamentais.

Desde seu lançamento até junho de 2020 o Site-MLog foi acessado por 70.298 usuários do Brasil e do mundo. Usuários de 31 países acessaram a plataforma, com destaque para Estados Unidos, Portugal, Alemanha, Argentina, Hong Kong, Holanda, China e Inglaterra (Google Analytics, 2020).

Neste estudo, apresentamos uma avaliação tecnológica da plataforma, onde a men-

suração dos benefícios e problemas no uso foi realizada pelo ponto de vista do cliente e o indicador considerado foi a eficiência de trabalho para gestores públicos e privados.

Como mudanças em logística são impactos de médio e longo prazo, realizamos uma análise de dois pressupostos em

relação à influência da indicação de obras pelo Site-MLog, um de alcance econômico e outro ambiental. O primeiro avalia o benefício econômico gerado pelo ganho energético e o segundo avalia a redução de emissões de CO₂ na atmosfera, por mudanças de modal logístico de novas obras.

2. BREVE HISTÓRICO DE POLÍTICAS PÚBLICAS EM INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA E A PARTICIPAÇÃO DA EMBRAPA TERRITORIAL

Em 2004, o Ministério dos Transportes - atualmente Ministério da Infraestrutura - começou a trabalhar com o conceito de Corredores Logísticos com o apoio da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil - CNA e no ano seguinte, em 2005, foi criada a Câmara Temática de Infraestrutura e Logística do Agronegócio - CTLog vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Esta Câmara, de caráter consultivo, apoia o MAPA nas decisões estratégicas relacionadas ao tema, recebendo informações e contribuições de mais de 80 entidades que aliam interesses logísticos e atuam nas diversas cadeias do agronegócio nacional.

Em 2016 foi lançado o Programa de Parcerias de Investimentos vinculado ao Ministério dos Transportes, Minas e Energia e Cidades. Neste ano, a Embrapa Monitoramento por Satélite (hoje Embrapa Territorial) passou a integrar a CTLog. Ainda em

2016, o MAPA, a Secretaria-Geral da Presidência da República e a Secretaria Executiva do Programa de Parceria de Investimentos solicitaram estudo de indicação de obras prioritárias à Embrapa Territorial. Os detalhamentos decorrentes desta demanda foram apresentados pela Embrapa Territorial à diretoria Empresa de Planejamento e Logística - EPL e gestores do Ministério dos Transportes. O Governo Federal lançou o Programa Crescer, um conjunto de vinte e cinco projetos que seriam desencadeados nas modalidades de concessão e privatização em 2017 e 2018, dentro do Programa de Parceria em Investimento - PPI.

Em 2017 o Ministério do Planejamento lançou o Programa Avançar e a Embrapa Territorial participou na indicação de obras prioritárias. A partir dos trabalhos de parceria e do reconhecimento da contribuição da unidade da Embrapa Territorial no monitoramento de obras e vias de escoamento, em

2017 foi encomendado à Embrapa Territorial um Sistema de Inteligência Territorial Estratégica (Site) para a logística agropecuária pelo Ministério da Agricultura.

O Sistema de Inteligência Territorial Estratégica da Macrologística Agropecuária (Site-MLog) foi lançado em março de 2018 (Figura 1). Entidades parceiras do setor agropecuário, como a Aprosoja, o Movimento Pró-Logística e a CNA colaboraram no desenvolvimento da plataforma e na sua transferência, o qual foi apresentado e validado dentro da CTLog. Desde então, o Site-MLog tem sido utilizado por equipes de trabalho do

MAPA para o fornecimento de apoio aos estudos e definições das obras prioritárias do Ministério da Infraestrutura e seus programas de concessão. O foco da priorização de obras por conta da Embrapa Territorial resultou no aumento da competitividade dos produtos da agropecuária brasileira nos mercados interno e externo, porque teve como meta a resolução dos principais gargalos logísticos das cadeias de armazenamento e escoamento das produções, utilizando seu inovador conceito de bacias logísticas em detrimento do tradicional conceito de corredores logísticos.

FIGURA 1 | Tela principal do Site-MLog.

Embrapa

A Embrapa / Unidades - Embrapa no Brasil / Unidades / Embrapa Territorial / A Unidade / Macrologística

SISTEMA DE INTELIGÊNCIA TERRITORIAL ESTRATÉGICA DA
MACROLOGÍSTICA
AGROPECUÁRIA BRASILEIRA

Inicial Apresentação Objetivos Como fizemos Sistema Estudos Logísticos Equipe Notícias

O Sistema de Inteligência Territorial Estratégica da Macrologística Agropecuária Brasileira reúne, em base georeferenciada, dados sobre a produção agropecuária, a armazenagem e os caminhos da safra até o mercado interno e a exportação. Ele permite gerar diversos estudos e extrair desse *big data* informações assertivas para o planejamento estratégico do Governo e do Setor Produtivo.

Onde está a produção agropecuária, para onde ela vai, quais rotas utiliza e a que custo?
Como 1,6 bilhão de toneladas de insumos, produtos e coprodutos da agropecuária brasileira são movimentados no País?
Como essa movimentação pode ser mais eficiente no cenário atual e face às mudanças do agronegócio nos próximos anos?

Navegue, descubra, conheça e utilize!

Produção Agropecuária Exportação Agropecuária Caminhos da Safra Bacias Logísticas

Estudos Logísticos

Os dados estão apresentados na plataforma nas camadas Produção agropecuária, Exportação agropecuária, Caminhos

da safra e Bacias logísticas descritas no Quadro 1 e na Figura 1.

QUADRO 1 | Camadas da plataforma Site-MLog.

PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA	500 mil mapas interativos sobre produção, área plantada, área colhida e produtividade para os 10 produtos que respondem por mais de 90% da carga da produção agropecuária nacional – algodão, café, cana-de-açúcar, laranja, madeira para papel e celulose, milho, soja, aves, bovinos e suínos – por recortes espaciais do Brasil – regiões, estados e bacias logísticas.
EXPORTAÇÃO AGROPECUÁRIA	Dados cartográficos e numéricos sobre exportação, portos de destino e países de destino dos dez produtos agropecuários e recortes citados. A camada oferece acesso rápido a mapas e dados que revelam a infraestrutura de portos utilizada pelo agronegócio para escoamento das safras.
CAMINHOS DA SAFRA	Identifica o fluxo do escoamento dos grãos (soja e milho) desde as propriedades rurais, sua origem, até a chegada aos portos, seu destino, e permite fazer o download de mapas dos caminhos da safra pelos diferentes modais logísticos.
BACIAS LOGÍSTICAS	Apresenta uma delimitação geográfica baseada no conceito de bacias hidrográficas, que agrega os municípios produtores e os modais utilizados para fluir a produção de grãos para o comércio exterior. Essas delimitações possibilitam categorizar e interpretar problemas e demandas dessas bacias e de seus respectivos portos, traçando cenários com base nas previsões oficiais de safra e de exportações nacionais de milho e soja.

3. AVALIAÇÃO DA TECNOLOGIA QUANTO AOS GANHOS EM EFICIÊNCIA DE GESTORES PÚBLICOS E PRIVADOS

O Site-MLog está sendo utilizado por equipes de trabalho do Ministério da Infraestrutura, suas empresas e secretarias, e do MAPA, que possui acesso direto ao sistema por meio do Painel da Agropecuária Brasileira. Entre os gestores privados, as entidades de classe,

empresas do ramo logístico e empreendimentos agrícolas fazem uso do sistema. O uso da plataforma facilitou a obtenção dos dados e gerou economia de tempo de trabalho na elaboração de mapas e estatísticas das equipes de trabalho do setor público e privado.

3.1. ECONOMIA DE TEMPO DE TRABALHO

O fato da plataforma oferecer os dados agrupados em um mesmo ambiente e a possibilidade de cruzamento a partir de vários parâmetros de busca evitou que os gestores tivessem que acessar as informações em diversos locais e em diferentes formatos, o que ofereceu, desta forma, uma grande economia de tempo de trabalho.

Segundo informação de gestores do setor público houve uma economia de três meses de trabalho com o uso da plataforma. Considerou-se as equipes da Secretaria de Fomento, Planejamento e Parcerias, da Câmara Temática de Infraestrutura e Logística do Agronegócio (CTLog) do MAPA e de suas secretarias, com um total de 30 funcionários. Para os cálculos de economia do tempo de trabalho do gestor público foi considerado um valor salarial base de R\$ 8 mil (Catho, 2019).

As entidades do setor privado usuárias do Site-MLog consideradas nesta avaliação foram a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil -CNA, o Serviço Nacional de Aprendizagem Rural - Senar e a Associação Brasileira dos Produtores de Soja - Aprosoja. Essas entidades contam com uma equipe de 150 pessoas. Foi considerado um valor salarial base de R\$ 5 mil para o gestor privado, e de R\$ 3 mil para um especialista que faz uso da plataforma on-line (Catho, 2019). O cálculo da economia de tempo para o gestor privado considerou o estudo produzido pela consultoria McKinsey & Company (Bughin *et al.*, 2011) que estima uma economia média de 15 minutos do

tempo de trabalho dos usuários que utilizam ferramentas de tecnologias de informação.

A partir desses dados, foi estimado um valor para a economia de trabalho proporcionada pelo uso do Site-MLog desde seu lançamento, em março de 2018, até novembro de 2019 (Tabela 1). O total economizado pelos agentes públicos e privados desde o lançamento da tecnologia Site-M-Log, considerando a economia de tempo, ultrapassou R\$ 3,1 milhões (Tabela 1).

3.2. VALOR DO SERVIÇO ESPECIALIZADO

A utilização do Site-MLog também aumentou a eficiência na obtenção de resultados pelo setor de logística. Empresas do setor logístico utilizam a plataforma para subsidiar seu planejamento na execução de obras. Essa eficiência pode ser traduzida pelo valor de contratação de serviço especializado em logística agrícola, o qual seria necessário para fornecer os dados contidos no Site-MLog. Com base nessa premissa, foi estimado o valor do serviço de consultoria oferecido pela plataforma. Em 2018, o Site-MLog recebeu um total de 22.885 usuários e, em 2019, os usuários chegaram a 30.177, segundo o relatório de dados obtidos pelo Google Analytics (2020).

Considerando o valor médio de uma consultoria especializada em logística agropecuária como R\$ 150,00/hora (Catho, 2019) e que cada usuário acessa a plataforma por 15 minutos em média (Bughin *et al.*, 2011), a economia gerada pelo uso do Site-MLog é superior a R\$ 1,3 milhão (Tabela 2).

TABELA 1 | Economia de tempo oferecida pela plataforma.

Ano	Usuário	Número de usuários	Tempo médio economizado (h)	Participação da Embrapa (%)	Economia (R\$)
2018	Gestor público	30	600	70	473.760
	Gestor privado	150	200	70	1.480.500
	Plataforma	22.885	0,25	70	56.469
Parcial/2018					2.010.729
2019	Gestor público	30	600	70	504.000
	Gestor privado	150	200	70	525.000
	Plataforma	30.177	0,25	70	79.215
Parcial/2019					1.108.215
Total					3.118.943,00

Fonte: Catho (2019).

TABELA 2 | Valor do serviço especializado prestado pela plataforma.

Ano	Número de usuários	Tempo (hora)	Valor (hora)	Participação da Embrapa (%)	Valor do serviço (R\$)
2018	22.885	0,25	141	70	564.687
2019	30.177	0,25	150	70	792.146
Total					1.356.834,00

Fonte: Catho (2019), Google Analytics (2020).

4. PROJEÇÃO DE BENEFÍCIOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS

Especialistas em logística agropecuária afirmam que o agronegócio brasileiro é extremamente competitivo da porteira para dentro, que o grande gargalo está da porteira para fora e que há necessidade de ampliação do modal ferroviário (Fayet, 2018).

O Site-MLog tem auxiliado os gestores públicos do Ministério da Infraestrutura nos estudos de obras prioritárias para a formulação de planos estratégicos governamentais destinados à melhoria da infraestrutura logística do País.

A partir de pressupostos assumidos quanto aos benefícios econômicos e ambientais oferecidos pela melhoria logística e mudança de modais a curto, médio e longo prazo foram realizados cálculos dos benefícios econômicos e ambientais.

4.1. BENEFÍCIOS ECONÔMICOS

Uma rodovia em péssimo estado aumenta o custo em 30%, e a produtividade do caminhoneiro diminui (CNA, 2019; CNT, 2009). Com melhorias logísticas, há aumento do rendimento do trabalho dos caminhoneiros, decorrente do aumento do número de viagens propiciado e, conseqüentemente, aumento da geração de empregos e de recursos financeiros. O serviço prestado pelo Site-MLog foi considerado fundamental neste critério, pelas informações sobre produção e capacidade de demanda nas bacias logísti-

cas que podem ser disponibilizadas pelo sistema. Uma ferrovia pode gerar economia de 40% a 50% e uma hidrovia, economia de 80% a 95% no custo final de transporte em comparação ao modal rodoviário (Empresa de Planejamento e Logística S.A., 2019).

É apresentada aqui uma simulação dos ganhos econômicos obtidos por três obras indicadas pelo Site-MLog quanto à substituição de modais (Tabela 3). A análise considerou a substituição do modal rodoviário pelas ferrovias e pela hidrovia. O cálculo foi feito a partir da distância percorrida em quilômetros pela carga utilizando-se o simulador de custo de transporte da Empresa de Planejamento e Logística S.A. (2019) e as projeções de transporte de carga foram retiradas de estudos de impacto ambiental e estudos governamentais dos empreendimentos Ferrogrão (EDLP, 2016) e Pedral do Lourenço (MT, 2013).

Os impactos foram calculados em curto, médio e longo prazo (2022, 2025 e 2031) (Tabela 4). O custo estimado de transporte das cargas de grãos foi considerado para os modais rodoviários e para os modais substitutos, ferroviário e hidroviário. A diferença entre eles representou a economia obtida com a obra.

A projeção de economia bruta obtida com a execução das obras indicadas pelo Site-MLog é de R\$ 4,7 bilhões para o setor produtivo agropecuário até 2031.

TABELA 3 | Projeção dos benefícios econômicos por substituição de modais das obras indicadas.

	Obra	Distância (km)	Custo de transporte por tonelada (R\$)	Toneladas (106)	Custo (R\$ em 106)	Economia (R\$ em 106)
Substituição do modal rodoviário pelo ferroviário	Rodovia BR-163	993	163,29	29 (2022)	4.735	2.491
	Ferrogrão	912	77,39		2.244	
Substituição do modal rodoviário pelo ferroviário	Rodovia BR-153	1400	223,96	7,2 (2025)	1.613	981
	Ferrovia de Integração Oeste-Leste (Fiol)	1100	87,67		631	
Substituição do modal rodoviário pelo hidroviário	Rodovias BR-010, BR-153, BR-226	916	151,81	8,6 (2031)	1.306	1.246
	Hidrovia do Tocantins via Pedral do Lourenço	43	6,98		60	
Total						4.718

Fonte: Empresa de Planejamento e Logística S.A. (2019), VALEC (2019), EDLP, 2016, MT, 2013.

4.2. BENEFÍCIOS AMBIENTAIS

Mudanças em logística no País ocorrem em prazo de médio a longo, portanto os efeitos de impactos ambientais aqui avaliados são projeções do futuro. Entende-

-se que o investimento em logística, em modais mais eficientes do ponto de vista energético, poderá provocar impacto ambiental positivo. O cumprimento das exigências legais quanto aos Estudos de Impacto Ambiental pertinentes e a adequada

aplicação das medidas de mitigação dos impactos das obras são fundamentais para o alcance dos efeitos ambientais positivos. O modal rodoviário é o que mais impacta negativamente o meio ambiente por gerarem maiores emissões atmosféricas e gastos de combustíveis fósseis. Quando o modal rodoviário é substituído ou complementado por modais energeticamente mais eficientes, como o modal ferroviário e o modal hidroviário, há redução dos impactos ambientais, notadamente na emissão de gases de efeito estufa.

A substituição do modal rodoviário pelo ferroviário ou hidroviário retira das rodovias caminhões movidos a diesel. O setor de transportes responde por cerca de 20% das emissões globais de CO₂, que é um dos principais gases causadores do efeito estufa, sem considerar a emissão de outros gases também nocivos ao meio ambiente (Carvalho, 2011). No Brasil, segundo informações do Ministério da Ci-

ência e Tecnologia, o setor de transportes responde por cerca de 9% das emissões totais de CO₂, e as queimadas respondem por mais de 70% (Confederação Nacional do Transporte, 2009). Entre os modelos de transporte existentes, o caminhão pesado usado como graneleiro é o mais poluente. Segundo Carvalho (2011), as emissões quilométricas médias de CO₂ de um veículo pesado, como o caminhão graneleiro, é da ordem de 1,28 KgCO₂/km.

Entre as obras de logística agropecuária apresentadas no PPI do governo federal, foram selecionadas três obras priorizadas pelo Site-MLog para serem avaliadas quanto ao seu impacto nas emissões gasosas (Tabela 4). Partindo-se do pressuposto da retirada dos caminhões graneleiros pela substituição do modal rodoviário pela ferrovia ou hidrovia foram feitos os cálculos de redução de emissões, considerando a extensão em quilômetros da rodovia e a retirada de 1,28 KgCO₂ por quilômetro.

TABELA 4 | Projeção dos benefícios ambientais a serem alcançados na redução de emissões atmosféricas pelas obras priorizadas.

Obra	Tipo	Redução de emissão (milhões de t de CO ₂)
Ferrogrão	Ferrovia	5,3 em 2022
Fiol	Ferrovia	1,8 em 2025
Pedral do Lourenço	Hidrovia	1,4 em 2031
Total		8,5 em 12 anos

Fonte: Carvalho, 2011; VALEC, 2009; EDLP, 2016, MT, 2013.

4.2.1. Obra nº 1: Ferrogrão

A Ferrogrão é uma ferrovia que irá ligar o norte de Mato Grosso ao Porto de Miritituba, em Itaituba, no Pará, e irá a leilão em 2020, com prazo de dois anos para conclusão. A ferrovia será construída ao longo da rodovia BR-163. A safra de soja de Mato Grosso foi de 29 milhões de toneladas na média dos últimos três anos (IBGE, 2019). Para transportar essa safra pela rodovia, serão necessários 2 milhões de caminhões em circulação, o que representa emissões de 5,3 bilhões de kg de CO₂ (EDLP, 2016). Com a instalação da ferrovia, esses poluentes deixarão de ser emitidos para a atmosfera (Carvalho, 2011).

4.2.2. Obra nº 2: Ferrovia de Integração Oeste–Leste - FIOL – EF-334

Com a FIOL, pretende-se integrar áreas produtivas das regiões Norte, Centro-Oeste e Nordeste e com conexão com a Ferrovia Norte-Sul. Será uma opção ferroviária para o escoamento da safra atualmente feito pela Rodovia BR-153. A finalização da ferrovia é prevista para 2023. A previsão de transporte de cargas agrícolas em 2025 é de

7,2 milhões de toneladas (VALEC, 2009), volume que demandaria quase 520 mil caminhões em circulação. A implantação da obra representará uma redução de 1,8 bilhão de kg de CO₂ na atmosfera.

4.2.3. Obra nº 3: Pedral do Lourenço

A obra consiste na dragagem e derrocagem do Pedral do Lourenço e na viabilização da navegação pela Hidrovia do Tocantins durante todas as estações do ano. O processo de licenciamento ambiental do Pedral do Lourenço teve início em 2016 e receberá apoio governamental para a sua conclusão pelo PPI. A previsão é que as obras tenham início em 2021. A produção agrícola do Matopiba pode utilizar esta rota para escoamento e obter altos ganhos competitivos em relação a outros modais. A previsão para transporte de grãos é da ordem de 8,6 milhões de toneladas em 2031 (MT, 2013). A hidrovia retiraria mais de 600 mil caminhões das estradas e 1,4 milhão de toneladas de CO₂ da atmosfera.

A redução total de emissões gasosas prevista com a implantação das três obras chega a 8,5 milhões de toneladas de CO₂ retirados da atmosfera até 2031.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existem muitas variáveis para o cálculo dos cenários apresentados. Por exemplo, o melhor modal para uma determinada região

produtora agrícola, se ferroviário, rodoviário ou hidroviário, dependerá de quanto o transporte conseguirá cobrir os gastos

de implantação e manutenção a cada ano, pois à medida que se eleva o volume total da carga, o custo por tonelada transportada diminui. O fato das substituições de modais apresentadas integrarem o planejamento estratégico governamental há muitos anos e as obras estarem em vias de execução demonstra que as variáveis foram ponderadas e avaliadas como positivas a curto, médio e longo prazo.

O Site-MLog possui algumas limitações que lhe são impostas. Exemplificamos pela dificuldade de acesso de informações referentes ao transporte ferroviário de cargas, especialmente quanto ao fornecimento de dados pelas concessionárias operantes, destacadamente trechos operantes, capacidade e movimentação atual. O mesmo se repete com a dificuldade de contabilização da movimentação de cargas pelo modal rodoviário, este ainda mais complexo pelo número de players envolvidos. Por fim, as incertezas dos cenários, haja vista não só a dinâmica espaço-temporal da agropecuária brasileira, mas também sua susceptibilidade a variações climáticas, fitossanitárias, cambiais, acordos comerciais internacionais e de consumo. Tudo isso, aliado à execução de obras prioritárias, impacta os cenários e as constantes atualizações do sistema, tornando-o dinâmico e atualizável de forma a transformar estas limitações em oportunidades.

A tecnologia Site-MLog é um sistema novo, com dois anos de implementação. Apesar disso, por ter sido desenvolvida para oferecer apoio direto ao planejamem-

to governamental, os indicadores diretamente relacionados à sua abrangência mostram grau elevado de impactos positivos na eficiência do trabalho dos gestores públicos e privados e no apoio à implantação de políticas públicas. O número de acessos, de usuários e sua capilaridade no Brasil e exterior demonstram que as ferramentas estão sendo utilizadas de forma regular pelos públicos-alvo.

O Site-MLog terá atualizações e incrementos em sua base de dados e estudos previstos para os próximos anos. Serão incorporados dados sobre demanda, oferta e importação de fertilizantes e jazidas minerais em apoio a políticas públicas que busquem diminuir o custo de fertilizantes e corretivos e ampliar o uso de remineralizadores regionais contribuindo assim com as principais cadeias logísticas de produtos agrícolas.

Cada vez mais a agricultura 4.0 está presente no setor agropecuário desde o plantio até o armazenamento. Os dados e informações obtidas pelo uso de drones, imagens de satélites, sensores e colheitadeiras automáticas podem fornecer informações para melhorar a logística de toda a cadeia produtiva (Massruhá *et al.*, 2014). Um desafio será utilizar estas informações pelo uso de técnicas de inteligência artificial, modelagem e simulação e otimização de sistemas complexos para agregar o conhecimento de todos os elos das cadeias produtivas e realizar aplicações na predição da produção até o armazenamento, na distribuição otimizada dos produtos e na logística reversa.

REFERÊNCIAS

- 1 UGHIN, J.; CORB, L.; MANYIKA, J.; NOTTEBOHM, O.; CHUI, M.; BARBAT, B. de M.; SAID, R. **The Impact of internet technologies: search**. McKinsey Global Institute, jul. 2011.
- 2 CARVALHO, C. H. R. de. **Emissões relativas de poluentes do transporte urbano**. Boletim regional, urbano e ambiental, IPEA, 05, jun. 2011.
- 3 CATHO. **Guia de profissões e salários**. Disponível em: <<https://www.catho.com.br/profissoes/cargo/>>. Acesso em: 06 nov. 2019.
- 4 CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. CNA. **INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA: Desafios para o escoamento dos produtos agropecuários**. Disponível em: https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/estudos/livrocompleto_infraestrutura_logistica_desafios_para_o_escoamento_dos_produtos_agropecuarios_0.07677600%201515000372.pdf. Acesso em: 06. nov. 2019.
- 5 CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Oficina nacional: transporte e mudança climática**. Brasília, DF: CNT, 2009.
- 6 DALTIO, J.; CARVALHO, C. A. de. **Infraestrutura de Dados Espaciais do MATOPIBA**. Campinas: Embrapa, 2014. 16 p.
- 7 EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA. EPL. Disponível em: <<https://www.epl.gov.br/>>. Acesso em: 06 nov. 2019.
- 8 ESTAÇÃO DA LUZ PARTICIPAÇÕES. **EDLP. EF-170-Trecho Sinop/MT-Itaituba/PA. Relatório VII, Modelagem Econômico-Financeira**. Novembro de 2016.
- 9 FAYET, L. A. **Navegação nacional: buscando o rumo certo**. Revista Marítima Brasileira, v. 138, n. 10-12, out./dez. 2018.
- 10 GOOGLE ANALYTICS. Disponível em: <<https://analytics.google.com/analytics/web/provision/#/provision>>. Acesso: 16 jun. 2020.
- 11 IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. Censo agropecuário. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 17 nov. 2019.
- 12 MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; ROMANI, L. A. S. (Ed.). **Tecnologias da informação e comunicação e suas relações com a agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Cap. 1.
- 13 MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Plano Hidroviário Estratégico – PHE, Relatório de Diagnóstico e Avaliação, 2013**.
- 14 MIRANDA, E. E. de; MAGALHÃES, L. A.; CARVALHO, C. A. de. **Proposta de delimitação territorial do MATOPIBA**. Campinas: Embrapa, 2014. 18 p.
- 15 VALEC: Engenharia, Construções e Ferrovias S. A. **Estudo de impacto ambiental da EEF334**. 2009. Disponível em: <<http://www.valec.gov.br/ferrovias/ferrovia-de-integracao-oeste-leste/estudos-de-viabilidade-evtea>>. Acesso em: 10 de nov. 2019.



CENÁRIOS DE INFRAESTRUTURA SUSTENTÁVEL VIA READEQUAÇÃO DA MATRIZ INTERMODAL DE TRANSPORTES DO BRASIL

RESUMO

No domínio de pesquisas sobre sustentabilidade, um problema alvo potencial de promissores debates se refere ao fato de que um País de dimensões continentais como o Brasil tem sua matriz intermodal desequilibrada, privilegiando o modo rodoviário em detrimento dos transportes ferroviário e aquaviário, reconhecidamente mais eficiente energética, econômica e ambientalmente. O IV Seminário VIA VIVA, tem sua temática em torno do financiamento verde, resiliência e baixo carbono, evidenciando a oportunidade de busca de soluções metodológicas, visando ajustar a trilogia apontada de eficiências com a sustentabilidade dos projetos de infraestrutura, ao se discutir o reequilíbrio da matriz intermodal. Em termos de metodologia de pesquisa, este trabalho apresenta a seguinte sequência lógica de idéias: contextualização da qualidade da infraestrutura, governança e novo arranjo institucional, competitividade, resultados e matriz SWOT, investimentos e considerações finais, fomentando novas pesquisas. Cronologicamente e buscando uma adaptabilidade, podemos conceituar este artigo como um levantamento (“survey”) bibliográfico sobre a temática e não um estudo-de-caso específico. A atual matriz intermodal de transportes brasileira é predominantemente voltada para o modo rodoviário, tendo como consequência um evidente impacto negativo sobre o meio-ambiente, além do aumento dos custos logísticos. As forças, fraquezas, oportunidades e ameaças estabelecem cenários para as estratégias de ação vinculadas às políticas sustentáveis. Ao final desta pesquisa é apresentada simulação de investimentos do mix da infraestrutura, englobando energia elétrica, saneamento, transportes e mobilidade.

Palavras-chaves: Competitividade; Governança; Infraestrutura; Logística Institucional; Projetos Sustentáveis de Transportes.

Maria de Lara Moutta Calado de Oliveira Possui graduação em Engenharia Mecânica, Mestrado em Engenharia de Produção, Doutorado em Administração e pós-graduação em Psicopedagogia Institucional, Projetos, Cadeia de Suprimentos e Metodologia Ativas. Analista de Infraestrutura e atua na área da Indústria Naval, no Ministério da Infraestrutura. Possui diversas publicações em livros, capítulos de livros, periódicos, congressos nacionais e internacionais.

Sergio Iaccarino Doutor e Mestre Engenharia de Produção, COPPE/ UFRJ; Engenheiro Civil PUC-RJ; Admin. Pública EBAP/FGV; INRETS/ França: pesquisador de “Sistemas Complexos em Logística e Transportes”; RFFSA: Assessor e Chefe do Departamento Geral de Programas da Diretoria de Transporte Metropolitano; CBTU: Assessor da Diretoria de Planejamento/ Chefe da Coordenadoria de Apoio à Presidência; Diretor técnico da AENFER; Especialista Infraestrutura Sênior ME, em exercício no Ministério da Infraestrutura.

1. INTRODUÇÃO

O objetivo principal deste estudo é fomentar o conhecimento e a consequente utilização em pesquisas subsequentes sobre a necessária e urgente readequação da matriz de transportes brasileira.

Na distribuição intermodal de transportes brasileira existe uma irracionalidade intrínseca, no âmbito da qual ocorrem deseconomias de escala. Não sendo mero jogo de palavras, devemos fomentar que a economia seja circular - não somente no reaproveitamento - como na racionalidade de Logística com fluxos de transporte

adequados, embasados por uma pertinente distribuição intermodal, com rotas e itinerários ótimos, ou seja, que a economia circule. É urgente a convergência entre técnicos e políticos para que haja mudança desse paradigma. Com um novo desenho orgânico e institucional encarado como fundamental para a infraestrutura brasileira, será possível definir um modelo que contenha as variáveis e restrições para efetiva análise agregada da logística, infraestrutura, competitividade, governança e investimentos necessários.

2. PROBLEMATIZAÇÃO

Quais serão os “*stakeholders*” desse processo de reequilíbrio? O que será exigido para que se alcance o desejável balanceamento entre os modos de transporte de maneira a fomentar a viabilidade de um cenário analítico homogêneo, fidedigno e sobretudo coerente com projetos sustentáveis?

A pesquisa da resiliência de uma infraestrutura de transportes de baixo carbono, conduz à compreensão de que uma matriz verde pode surgir (Donato, 2008), gerando a necessidade de financiamentos e investimentos compatíveis com tal interesse, ou seja “investimentos verdes” (Relatório Infra 19). Qualquer incremento de produtividade exige, no entanto, uma infraestrutura moderna. Os gargalos in-

fraestruturais de mobilidade são notórios quer no transporte de carga quer no transporte urbano.

Cabe observar que neste trabalho é utilizada conscientemente a dicotomia TRANSPORTE DE CARGA x TRANSPORTE URBANO e não de passageiros que é uma terminologia mais abrangente, a qual considera passageiros nas cidades, mas também incluem passageiros de média e longa distância, distâncias que não se aplicam ao objeto deste trabalho, qual seja o de buscar um arranjo institucional e de governança que faça um paralelo realmente entre transporte de carga e transporte urbano, focando inclusive nos Planos de Mobilidade Urbana - PMU, não tendo sen-

tido se falar em passageiros, como já reiteiramos, conceito muito mais amplo.

O próprio conceito de mobilidade surgiu em decorrência da constatação de uma certa imobilidade no transporte. No passado, transportar do ponto A para o ponto B era a condição necessária e suficiente, desde que respeitados os critérios de rapidez, segurança e conforto. Hoje, tais critérios - por si só - não bastam. Outros aspectos devem ser agregados, ao se cogitar do necessário reequilíbrio da distribuição intermodal de transportes, critérios esses que privilegiem os modos de transporte

mais eficientes, sob os aspectos econômico, energético e ambiental.

Este ambiente favorável será enriquecido ao serem analisadas suas forças, fraquezas, oportunidades e ameaças através de uma matriz S.W.O.T., a qual apresenta um interessante referencial para ser estabelecida uma listagem de cenários possíveis para a infraestrutura brasileira de transportes, caso sejam tomadas as decisões corretas. Investimentos correspondentes a esse desafio são simulados para um período de quatro anos, em conformidade com um período governamental de governo presidencial no Brasil.

3. CONTEXTUALIZAÇÃO – O DESEQUILÍBRIO DA MATRIZ INTERMODAL E A INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

Urge um novo desenho organo-institucional para a infraestrutura em especial para o transporte e a consequente logística. Em tal contexto, a multimodalidade passa a ser uma exigência de modernidade. A busca incessante do protagonismo para os modos de transporte mais eficientes e os enfoques associados de produtividade, competitividade e qualificação potencializam uma “matriz equilibrada”, com integração, logística e sustentabilidade.

Nessa matriz equilibrada de transporte, seja de carga ou urbana deve ser evidenciada a necessária revitalização dos modos de Transporte sobre trilhos - TST e do modo

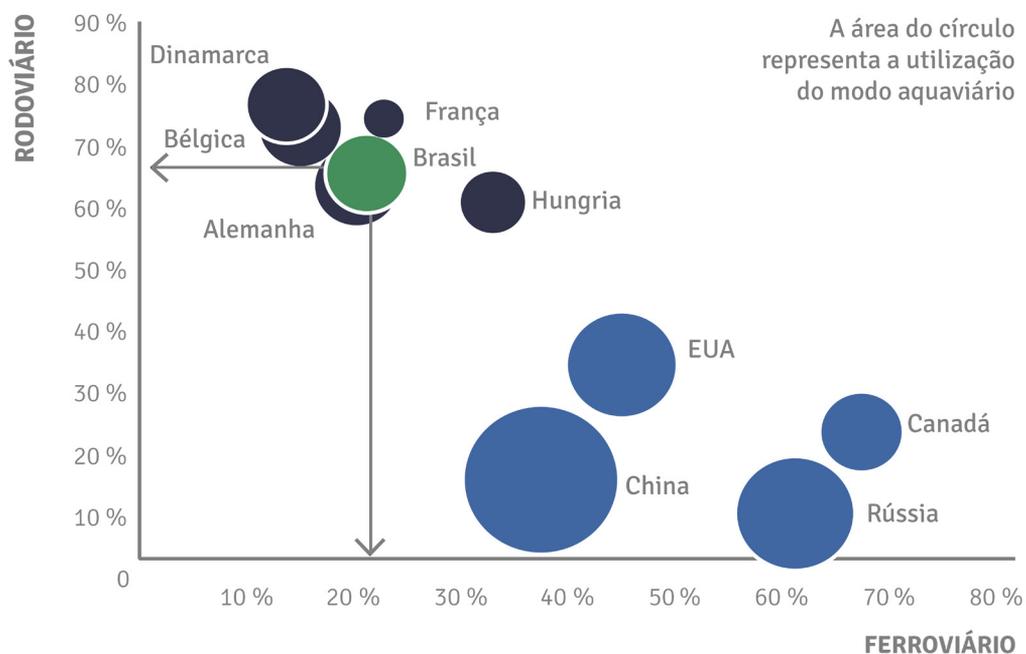
aquaviário (marítimo, cabotagem, fluvial) em relação aos demais modos de transporte. Caracterizada a importância dos modos de transporte sustentáveis, é formatado um arranjo institucional com este objetivo. Esta temática envolve esforço conjunto dos políticos (poder legislativo), academia/ universidades, empresas de transporte e gestores do poder executivo. A partir deste conhecimento é insustentável manter a prevalência do transporte rodoviário e uma atenção especial deve ser atribuída ao fato de que - mesmo com 63 % sendo transportados por esse modo de transporte - é baixa a qualidade de sua infraestrutura. O estoque de ativos de infraes-

trutura tem declínio comprovado em relação ao PIB nacional, indicador que evidencia tal fato, ameaçando a própria manutenção dessa precária infraestrutura existente.

A posição do Brasil no Gráfico 1 é surpreendente – associados a países de baixa extensão territorial - em priorização do modo rodoviário, de menor eficiência energética, econômica e ambiental. Conforme

estudo de transporte de cargas da COPPEAD-CNT (2013), nos países de extensão geográfica semelhante à do Brasil - localizados na parte inferior à direita do Gráfico 1 - o modo ferroviário é o preponderante. O desbalanceamento da matriz brasileira de transportes é notório, conforme constatado na participação dos modos de transporte no Mundo (em tonelada x quilômetro útil).

GRÁFICO 1 | O desequilíbrio da Matriz Intermodal de Transportes



Fonte: (COPPEAD - CNT) - Estudo de transporte de cargas no Brasil

No Brasil, a infraestrutura é deficiente e isso é fato constatado. Nos anos 60 e 70, o Brasil tinha boa infraestrutura, através

dos setores público e privado. Atualmente, a crise provocada pelo desaquecimento das grandes construtoras nacionais, ampliou o

espaço dos investimentos estrangeiros que alcança 70 % do total de investimentos. Tal gradiente precisa ser acompanhado de investimentos públicos. Necessária formatação de adequados sistemas de financiamento. Existem duas formas de consolidar uma infraestrutura: **No setor público:** através de um sistema único de impostos, sendo um para cada modalidade, pago apenas pelo usuário (além do desvinculo tributário, semelhante a um pedágio, ou seja, pagamento somente pelo serviço prestado). **No setor privado:** Um sistema de concessões – que se mostre atrativo para a iniciativa privada - sem sobrecarregar a sociedade.

As características dos setores de infraestrutura, segundo Turolla e Gabrielli (2013), Quadro 1, podem ser delineadas pelo(a):

- a. Elevado peso da operação pelo setor público, que vem sendo substituída por formas de participação privada, identificadas, principalmente, pelos contratos da lei das concessões (lei 8.987 de 1995)

e da lei das parcerias público-privadas (lei 11.079 de 2004);

- b. Implantação de mecanismos que possibilitem reduzir o risco via regulação independente e pelo planejamento de longo prazo;
- c. A setorização de marcos regulatórios definidos com entidades reguladoras autônomas, que - certamente - terão o duplo desafio: (1) estarem posicionadas na primeira fase da curva de aprendizagem institucional e (2) estarem submetidas a uma constante pressão de interesses políticos à busca de decisões de alto valor econômico e eleitoral;
- d. Desequilíbrio de informações na concessão de financiamentos, advindo da exigência de garantias. Garantia combinada é fator de inibição da competitividade em vários setores e dos investimentos em direção à universalização em setores de infraestrutura.

QUADRO 1 | Características dos setores de Infraestrutura

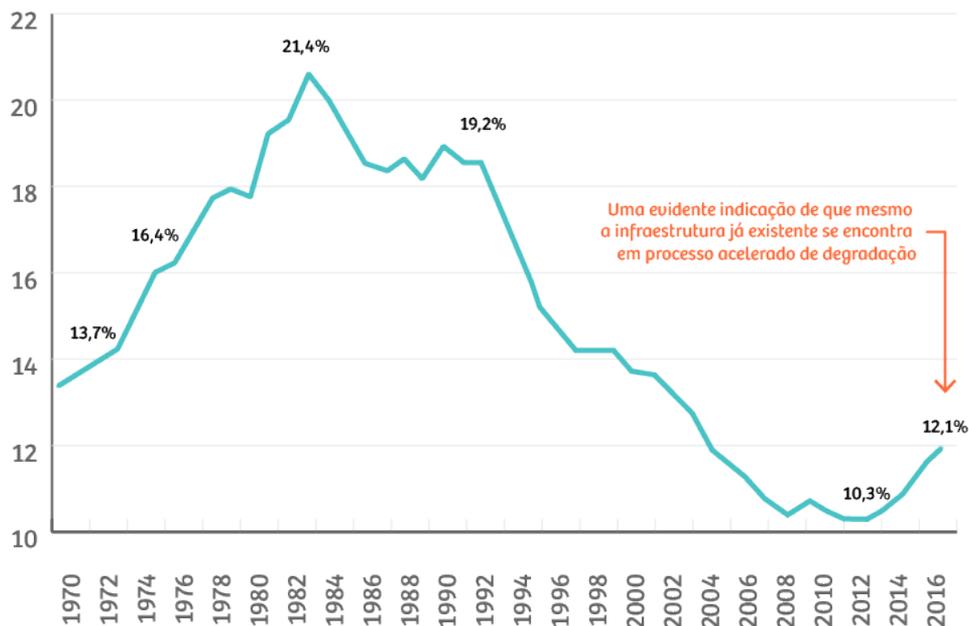
	CONSEQUÊNCIA	RESPOSTA TÍPICA
ALTO CUSTO FIXO	Problemas de monopólio natural	Operação pública ou concessões; regulação.
ATIVOS ESPECÍFICOS	Desincentivo ao investimento	Contratos longos
EXTERNALIDADES	Características de política pública	Políticas de acesso e universalização
LONGA VIDA	Questões na troca de operadores	Processos de escolha, renovação e substituição de operadores
DEMANDA ESTÁVEL	Ativos defensivos	-

Fonte: Financiamento à Infraestrutura no Brasil - F. A. Turolla, M. F. Gabrielli, I. J. C. Gondim

A predominância do modo rodoviário é insustentável. Contudo, o Brasil ainda será dependente das rodovias para viagens de longa distância e transporte de produtos de baixo valor agregado e de alta tonelagem bruta. A oferta de modos de transporte nas áreas de expansão das “*commodities*” agrícolas permanece incipiente, situação que exige maior densidade de ferrovias e hidrovias para a consequente redução dos custos logísticos. A rentabilidade do setor rodoviário, em especial a remuneração dos motoristas pelo frete, continuará bastante referenciada pelo granel agrícola. A degradação das rodovias continuará em ritmo acelerado pela incidência do alto volume de caminhões pesados,

estimulados que são pela ineficiência e/ ou inexistência de balanças ao longo das rodovias, degradando mais ainda os valores dos ativos de infraestrutura. Segundo Frischtak (2014), em 1984 o estoque de infraestrutura de transportes, índice que representa o valor financeiro de todos os ativos físicos em relação ao PIB era 21,4 %. Em 2016, tal estoque teve redução drástica para 12,1 %, conforme Gráfico 2. Assim, é evidente a deterioração do atual nível de serviço das rodovias, ou seja, mesmo considerando o quadro de 63 % da carga transportada utilizar o modo rodoviário, é válido se argumentar que a operação está comprometida pelo processo de degradação dessa infraestrutura.

GRÁFICO 2 | A degradação da Infraestrutura no Brasil

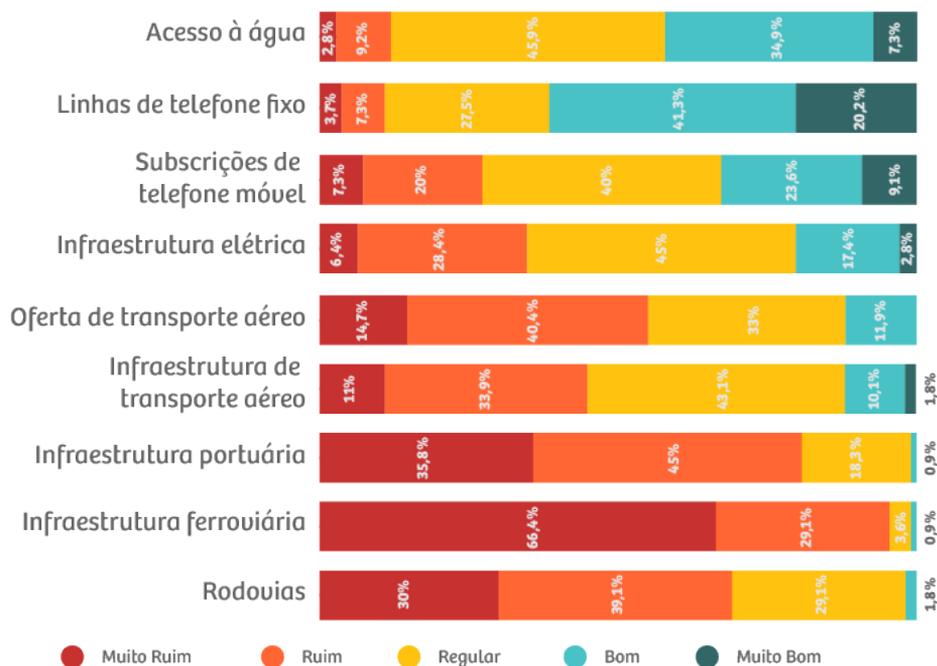


Fonte: Fonte: FRISCHTAK (2017) / Rezende, P. – PILT/ FDC, *Jornal Valor Economico* de 05/ 10/ 2018

Outros dados reiteram o estado da qualidade da infraestrutura brasileira conforme diagnóstico da Fundação Dom Cabral (2014) em pesquisa com 111 empresas foi evidenciado um estado geral desolador e longe do ideal. Os dados referentes às infraestruturas portuária,

ferroviária e rodoviária, conforme Gráfico 3, tem o status muito bom de 0,9% para os portos, 0,9% para as ferrovias e 1,8% para as rodovias. O status muito ruim em 35,8%, 66,4% e 30% - respectivamente - sinalizando o quanto é obrigatória uma melhoria.

GRÁFICO 3 | A qualidade da infraestrutura brasileira



Fonte: FDC - Fundação Dom Cabral

A infraestrutura até aqui tratada se refere ao transporte de carga. No entanto, também para a infraestrutura do transporte urbano existem problemas de toda ordem relacionados a projetos sustentáveis no que concerne à redução de emissão de gases do efeito estufa - GEE, bem como re-

ferentes à mobilidade propriamente dita. No sentido de mitigar tal situação, foram instituídas pela Lei Federal 12.587/ 2012 as diretrizes de uma Política Nacional de Mobilidade Urbana e a exigência de que municípios com mais de 20 mil habitantes elaborassem planos de mobilidade. O Pla-

no de Mobilidade Urbana - PMU é um instrumento de planejamento de ações de curto, médio e longo prazo.

Os pressupostos e conteúdos mínimos de um PMU são: Transporte Coletivo; Circulação Viária; Infraestrutura de Mobilidade; Acessibilidade Universal; Integração dos Modos de Transporte; Transporte de Carga; Pólos Geradores de Viagens; Estacionamentos; Controles de Acesso e Circulação; Financiamento da Mobilidade Urbana e Avaliação e Atualização do PMU a cada 10 anos.

O potencial brasileiro de investimentos em infraestrutura de transporte urbano é estimado em USD 209 bilhões, ou seja, cerca de R\$ 1 trilhão. O setor de transportes deve reduzir a pegada de carbono, dado que associado à manufatura se alinha como um dos principais responsáveis pelas emissões de GEE. O setor também precisa se adaptar aos desafios impostos pelo rápido crescimento populacional e pela urbanização, que acarretarão problemas significativos de mobilidade urbana no futuro.

O governo precisa expandir e melhorar seus sistemas públicos de transporte de passageiros e transporte ferroviário de carga para reduzir as emissões de GEE, uma vez em que rodovias ainda são a infraestrutura de transporte predominante no Brasil. Atualmente, o transporte rodoviário responde por 63% do tráfego nacional de cargas. Apesar da proporção excepcionalmente alta no país de carros e caminhões que usam biocombustíveis (cerca de 20% em 2016 - maior que em

qualquer outro país membro da Agência Internacional de Energia), os veículos automotores continuam sendo uma fonte significativa de emissões de GEE.

As oportunidades de transporte de baixo carbono no Brasil incluem sistemas ferroviários (passageiros e cargas) e sistemas de transporte público (incluindo metrô, VLT e BRT), bem como a atualização dos sistemas de iluminação rodoviária e a adoção de veículos elétricos (VEs).

Atualmente, o governo federal está promovendo um dos maiores portfólios de concessões de infraestrutura, que prevê mais de R\$ 64 bilhões em investimentos ferroviários, o que levará a uma transformação modal na logística do país. O Brasil já havia iniciado um processo inovador para responder aos desafios de mobilidade em 2012, ao aprovar a Política Nacional de Mobilidade Urbana, que prioriza os meios não motorizados sobre o transporte motorizado, e o transporte coletivo sobre o transporte individual. Essa política, que abriu caminho para uma maior participação do setor privado, oferece uma série de oportunidades de investimento para os próximos anos no Brasil.

A eletrificação dos sistemas de transporte terá um aumento particularmente acentuado de demanda no Brasil nos próximos anos. A Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel publicou uma regulamentação sobre a prestação de serviços de recarga de veículos elétricos. Além disso, foi determinado 2025 como o prazo para que veículos elétricos ultrapassem os motores de combustão

interna em termos de competitividade econômica, conforme estimativas de associações e fabricantes do setor. Com o aumento da produção de biocombustíveis, a expan-

são de veículos híbridos elétricos/movidos a biocombustíveis também é uma realidade. A Figura 1 exibe os 7 passos para elaboração de um Plano de Mobilidade Urbana.

FIGURA 1 | Plano de Mobilidade Urbana – Passo a Passo



4. GOVERNANÇA

Em um momento em que é exigida maior racionalidade na aplicação das políticas públicas no Brasil, o legado de Keynes, registrado em seu célebre artigo “O fim do *Laissez-Faire*”, se evidencia como bastante atual: “O importante para o governo não é fazer coisas que já estão sendo feitas - seja de uma forma melhor ou pior - e sim fazer aquelas coisas que não são feitas de forma alguma”. Mazzucato, em seu instigante “O Estado empreendedor”, ressalta a necessária visão e o compromisso de fazer as coisas acontecerem, tendo como requisitos, além das habilidades burocráticas, o conhecimento específico da tecnologia e do setor. É necessária uma política integrada para hoje, aqui e agora, sem mais postergação, para levar o Brasil - com tal papel proativo - a um cenário de entorno institucional, e não reativo como se constata, não sendo desejável que tal conhecimento implícito seja negligenciado, quando o assunto é transporte, logística, infraestrutura, suas inter-relações, *stakeholders* e características institucionais.

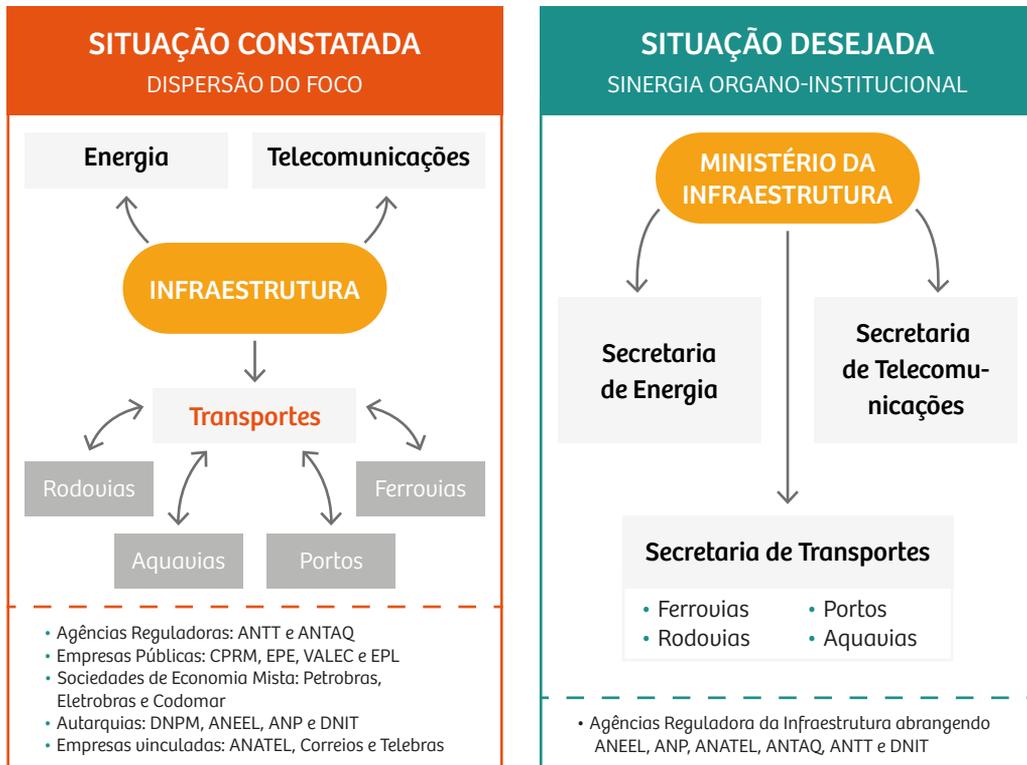
Sendo assim uma das motivações desta pesquisa é sugerir um novo arranjo para a configuração organo-institucional da infraestrutura, conforme Figura 2, expandindo inclusive o espectro do atual Ministério da Infraestrutura, recriado

em 01 de janeiro de 2019. Em conformidade com uma política de integração de áreas com o mesmo propósito é sugerida a criação de uma Agência Reguladora da Infraestrutura (englobando a Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP, a Agência Nacional de Telecomunicações - Anatel, a Agência Nacional de Transportes Aquaviários - Antaq, a Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT e o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, atribuindo o status de Secretaria Nacional para as áreas de Energia, Telecomunicações e Transportes.

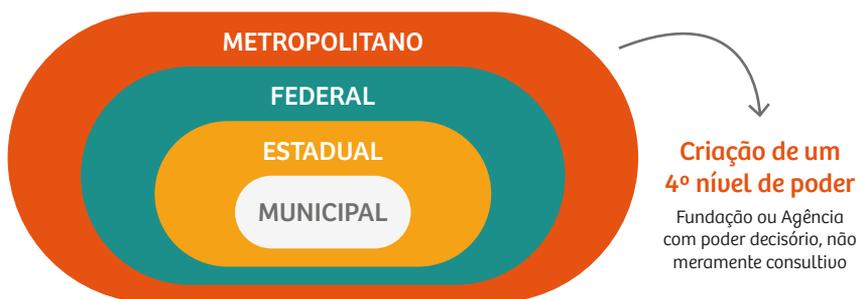
Já - no caso do transporte urbano - é sugerida a criação de um quarto nível de poder, conforme Figura 2, o metropolitano, com poder decisório e não meramente consultivo, institucionalizando a autoridade metropolitana nos níveis federal, estadual e municipal, quando as questões tiverem a abrangência das metrópoles. Algumas experiências tentadas no Brasil, em Porto Alegre (AGRGS) e no Rio de Janeiro (FUNDREM E AGETRANS) se limitavam justamente à atuação meramente consultiva, daí o seu insucesso no que concerne à execução de decisões hegemônicas de caráter metropolitano.

FIGURA 2 | Governança

ARRANJO ORGANO-INSTITUCIONAL PARA A INFRAESTRUTURA



GOVERNANÇA NAS REGIÕES METROPOLITANAS



Fonte: Fonte: Elaborado pelos autores

5. COMPETITIVIDADE

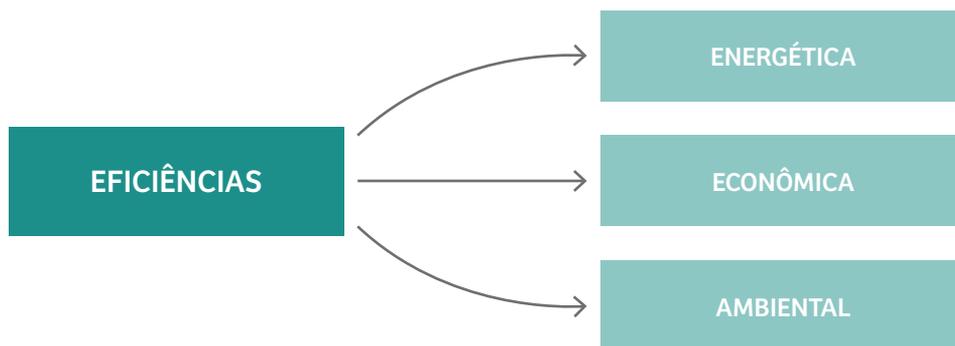
A integração dos projetos se faz necessária como exigência da modernidade, visando a uma logística e infraestrutura condizentes com a dimensão do Brasil. Além disso, a multimodalidade tem importante cunho estratégico. A competitividade na origem, submetida à “mão invisível” da logística, desemboca em competitividade no destino. O embasamento das plataformas logísticas para a multimodalidade se potencializa, de forma mais evidente, pela transferência de cargas da rodovia para outros modos de transporte.

No transporte de cargas, ocorre um fenômeno similar ao da logística do transporte urbano, onde o trem metropolitano - que deveria ter uma função troncal (atávica, como no resto do Mundo) - é substituído nessa função precípua pelo ônibus urbano, quando este deveria se restringir à sua função alimentadora, inerente à sua capaci-

dade de transporte. No transporte de carga, o transporte rodoviário é o protagonista, quando (a exemplo do ônibus urbano) deveria ser coadjuvante. A raiz de tal logística anárquica é o cerne desta questão.

Na Figura 3 são apresentadas – na parte superior da figura as características de custos comparativos dos modos de transporte e o custo médio por quilômetro. Conforme consolidação dos dados pelos autores deste trabalho, na parte inferior da Figura 3 (transporte urbano) são tabuladas as capacidades x custos de implantação de diversos tipos de transportes em regiões metropolitanas (BRT, VLT, metrô leve, monorail, metrô urbano e trem metropolitano). Assim, é recomendável e se deve ter sempre em mente que as decisões políticas sejam norteadas pela observância da trilogia de eficiências: energética, econômica e ambiental.

FIGURA 3 | Competitividade entre os modos de transporte



MODOS MAIS EFICIENTES NO TRANSPORTE DE CARGA

CUSTOS COMPARATIVOS DOS MODOS DE TRANSPORTE		
Modo	US\$ centavos/ton.km	Custo em R\$ 1000 TKU
Aéreo	14.0	1.762
Rodoviário	4.0 - 5.0	213
Ferroviário	0.3 - 1.0	36
Dutoviário	0.1 - 0.3	54
Aquaviário		70
Balsa e Rebocador	0.12 - 0.18	
Cargueiro	0.06 - 0.24	
Navio Graneleiro	0.02 - 0.04	

MODOS MAIS EFICIENTES NO TRANSPORTE URBANO

CUSTOS COMPARATIVOS DOS MODOS DE TRANSPORTE		
Modo	Capacidade (milhares de passageiros/ hora/por sentido)	Custo de Implantação (milhões de US\$ por Km)
BRT	15 - 30	10 - 15
VLT	15 - 35	20 - 30
Metrô Leve	25 - 45	30 - 40
Monotrilho	15 - 35	40 - 100
Metrô Urbano	40 - 80	120 - 200
Trem Metropolitano	40 - 120	80 - 150

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de COPPEAD – UFRJ - Eficiência Econômica: Custos Logísticos na economia brasileira e Alouche, P. - CAPACIDADE x CUSTO DE IMPLANTAÇÃO: Sistemas Estruturais de Transporte de alta e média capacidade, METRÔ – SP, São Paulo, 2014

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS - A MATRIZ SWOT E OS CENÁRIOS FOMENTADORES DE NOVAS PESQUISAS

O termo SWOT é um acrônimo na língua inglesa que significa S-strengths, W-weakness, O-opportunities e T-threats são as forças x fraquezas x oportunidades x ameaças delineadas nos quadrantes desenhados, no caso deste trabalho para um exercício prospectivo para a infraestrutura brasileira. Na língua portuguesa, a matriz SWOT também é apresentada como a junção das palavras forças, oportunidades, fraquezas e ameaças, originando a abreviatura FOFA.

A análise proporcionada pela matriz SWOT (forças, fraquezas, oportunidades e ameaças) é uma metodologia utilizada para elaboração de cenários (ou análise do ambiente), sendo uma ferramenta base para gestão e planejamento estratégico de uma empresa ou de uma situação - no caso - cenários futuros para a infraestrutura brasileira, com foco nos transportes mais eficientes sob os aspectos ambiental, energético e econômico. Esta técnica foi criada por Kenneth Andrews e Roland Christensen nas décadas 1960-1970 e desenvolvida nos trabalhos de Michael Porter.

O desenho dos quatro quadrantes da matriz, nos Quadros 2 e 3, está vinculado às estratégias e políticas de ação A, B, C e D, respectivamente. Os cenários a seguir apresentados estão vinculados às políticas de ação A, B, C e D, respectivamente: DESENVOLVIMENTO, MANUTENÇÃO, CRESCI-

MENTO e SOBREVIVÊNCIA, associadas aos ambientes interno (forças e fraquezas) e externo (oportunidades e ameaças).

Decidindo - de forma consciente e realista - se concentrar o foco nos quadrantes A e C, foi construído um cenário otimista para uma infraestrutura sustentável, associado aos ambientes interno (forças e fraquezas) e externo (oportunidades e ameaças). É perceptível, no âmbito desse enfoque otimista, que o desenho dos quadrantes referentes às estratégias de desenvolvimento (A) e crescimento (C) conduza a uma ampliação das características detalhadas nas estratégias, com as forças e as oportunidades tendo uma prevalência em relação às estratégias de manutenção (B) e sobrevivência (C).

A matriz das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças é desagregada nas estratégias a seguir:

- a. **Desenvolvimento** > política de ação ofensiva (de mercado, de produtos, financeiro, de capacidade, de estabilidade, diversificação)
- b. **Manutenção** > política de ação defensiva (estabilidade, nicho, especialização)
- c. **Crescimento** > pesquisa de potencialidades (inovação, internacionalização, parceria, expansão)
- d. **Sobrevivência** > área de risco (redução de custos, desativação, liquidação do negócio)

QUADRO 2 | Estratégias desenvolvimento (A), manutenção (B), crescimento (C) sobrevivência (D)

		AMBIENTE EXTERNO	
		OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
AMBIENTE EXTERNO	FORÇAS	A - DESENVOLVIMENTO (Política de ação ofensiva) <ul style="list-style-type: none"> • De mercado • De produto • Financeiro • De capacidade • De estabilidade • Diversificação 	B - MANUTENÇÃO (Política de ação defensiva) <ul style="list-style-type: none"> • Estabilidade • Nicho • Especialização
	FRAQUEZAS	C - CRESCIMENTO (Pesquisar - Potencialidades) <ul style="list-style-type: none"> • Inovação • Internacionalização • Parceria • Expansão 	D - SOBREVIVÊNCIA (Área de risco) <ul style="list-style-type: none"> • Redução de custos • Desativação • Liquidação do negócio

Fonte: OLIVEIRA, M.L.M.C.; IACCARINO, S.- *Mundo Logística* n° 74, Ano XIII, jan-fev 2020

QUADRO 3 | A matriz S.W.O.T. e a análise dos resultados (F-O-F-A)

		AMBIENTE EXTERNO	
		OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
AMBIENTE EXTERNO	FRAQUEZAS	<ul style="list-style-type: none"> • Definir e institucionalizar as distâncias de eficiência de cada modo de transporte; • Realocar os recursos disponíveis, visando a um reequilíbrio da matriz de transportes; • Aumento da produtividade, competitividade e qualificação dos estaleiros e dos portos como fator de fortalecimento da infraestrutura de transporte; • Baixa confiabilidade das rotas de cabotagem e alto custo do frete; • Incremento de fiscalização de cargas/eixo e revitalização das balanças nas rodovias, como fator regulatório; • Implantação do conhecimento único de transportes como fator de aceleração dos despachos aduaneiros e da redução da burocracia inerente; • Caracterizar um esforço de marketing para promover a difusão da cabotagem e da navegação interior como efetivas alternativas de transporte – recém-instituída a br do mar; • Eliminar gargalos de infraestrutura redutores da produtividade da navegação (custo e produtividade da mão-de-obra); • Viabilizar o otm – operador de transporte multimodal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte multimodal - quando existente - bastante desordenado, o que afeta a imagem de sua característica principal, qual seja a sinergia; • Portos e seus gargalos ainda não resolvidos – intensificar marco regulatório; • Custo de combustível mais elevado para a cabotagem em comparação às embarcações de longo curso; • Custo elevado de construção do navio em estaleiro nacional, mesmo com os incentivos de juros e prazos existentes, a ser agravado com a eventual queda de exigência de cl – conteúdo local; • Custo de tripulação nacional mais elevado, comparativamente à utilização de bandeira de conveniência; • O tráfego mútuo no transporte ferroviário, por vezes tão ou mais prejudicial do que a não uniformidade de bitolas na infraestrutura.

AMBIENTE EXTERNO		
	OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
AMBIENTE INTERNO FORÇAS	<ul style="list-style-type: none"> • Extensão territorial marítima como fator favorável de competitividade; • Sinergia positiva para toda a cadeia de suprimentos da indústria de construção naval; • Readequação de espaços físicos entre os parceiros nos navios e portos; • Existência de recursos disponíveis e momento político-econômico voltado para o crescimento ordenado da demanda por multimodalidade; • Com os modernos estaleiros modernos do Brasil atual, emerge um fator atenuante para a queda das exigências de conteúdo local, o que poderá redirecionar encomendas para o exterior; • Evidenciar as economias de escala de cada modo de transporte e implantar projetos segundo tal priorização; • Possibilidade de redução do tráfego rodoviário e de seus impactos sobre os acidentes nas estradas com novos investimentos, com menor emissão de poluentes e menor consumo energético; • Pressão social e de organismos internacionais pela redução da emissão de poluentes bastante evidenciados pelo acordo de Paris (2015); • Número crescente de empresas atuando na precificação do carbono (2020); • Criação de um incentivo tributário/ mecanismo compensatório pela emissão de GEE - gases de efeito estufa (modelagem de créditos de carbono – precificação); • Capacitação de fornecedores nacionais de projetos e equipamentos; • Capacitação institucional relacionada às políticas públicas para a indústria naval e navieças. 	<ul style="list-style-type: none"> • A escolha – de forma recorrente – do transporte rodoviário como solução de transporte totalmente fora de suas faixas de eficiência; • Impacto do mercado internacional de fretes e da economia brasileira no custo de capital da embarcação e da cabotagem; • Baixa utilização de mão-de-obra, se comparada com o modo rodoviário, nas hipóteses de ocorrência de transporte intermodal e/ ou multimodal; • Melhoria dos mecanismos de controle da legislação; • Fomentar a aprovação da reforma tributária; • Maior segurança da carga, com a aplicação dos procedimentos de controle para portos e navios, situação que não ocorre com os outros modos de transporte.

Fonte: IACCARINO, S. – *Impactos da redistribuição da matriz intermodal: cenários e análise de sustentabilidade*. Conferência Internacional na Marintech Naval Shore 2017.

7. INVESTIMENTOS

Como exercício final da pesquisa foi elaborado um quadro de investimentos em infraestrutura condizentes com tal desafio, para um período de 4 (quatro) anos de governo no Brasil. O Projeto INFRA 2038, prevê - em horizonte de 20 anos - a partir de 2018, investimentos da ordem de R\$ 8.831 bilhões. Confrontado com o percentual no estoque de ativos existentes e com a evolução dos investimentos em infraestrutura (duas primeiras

décadas), os valores para um Programa de governo de quatro anos são tabulados. Este trabalho agrega as metas de investimentos necessários em infraestrutura no Quadro 4, englobando as áreas de energia elétrica, telecomunicações, saneamento e no segmento dos transportes, as rodovias, as ferrovias, os portos e os aeroportos, além de - ao tratar do transporte urbano - os investimentos necessários para a mobilidade urbana.

QUADRO 4 | Investimentos em Infraestrutura - metas para períodos de 4 anos.

Investimentos necessários por setor até 2038 em R\$ bilhões (20 Anos) 1 (**)	% No estoque de ativos	Evolução dos investimentos em infraestrutura Década 2000 e 2011 a 2014 (% em relação ao PIB) 2 (**)					Valores por setor para um programa de 4 anos correspondente a um período de governo federal 3 (***)	
		DÉCADA DE 2000	2011	2012	2013	2014		
ENERGIA ELÉTRICA	2.329	31 %	0,64	0,73	0,73	0,75	0,75	465,8
TELECOM	1.447	11 %	0,70	0,50	0,54	0,45	0,37	289,4
SANEAMENTO	952	13 %	0,18	0,17	0,21	0,21	0,21	190,4
TRANSPORTES								TRANSPORTES
RODOVIAS	1.763	18 %	0,64	0,81	0,91	1,04	1,19	352,6
FERROVIAS	990	12 %						198,0
PORTOS	341	4 %						68,2
AEROPORTOS	195	2 %						39,0
MOBILIDADE	814	9 %	2,16	2,24	2,39	2,45	2,52	162,8
TOTAIS	8.831	100 %	4,32	4,45	4,78	4,9	5,04	1.766,2

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de (*) Valor Setorial – Infraestrutura e Projeto INFRA 2038 (site infra2038.org); (**) Evolução do investimento em infraestrutura no Brasil por setor (em % do PIB) – Frischtak e Davies, 2014; (***) Relação entre 20 anos Projeto INFRA 2038 e 4 anos de período de Governo (20% de 1)

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a inclusão de todos os *stakeholders*, de forma tal que nenhum seja negligenciados, se caracteriza a potencialidade de uma metodologia que envolve sociedade, governo, universidades e empresas, visando ao pleno conhecimento do quanto é importante a observância da trilogia de eficiências: energética, ambiental e econômica. A distribuição intermodal brasileira de transportes é evidenciada por uma matriz voltada - de forma predominante - para o modo rodoviário, sendo este desequilíbrio fator de impacto negativo sobre o meio-ambiente, além de um incremento dos custos logísticos.

Uma matriz intermodal equilibrada para o Brasil seria o produto da agregação de todos esses agentes/atores em torno de uma proposição concreta de redefinição do papel de cada modo de transporte, no âmbito de suas faixas de eficiência, eficácia e efetividade, rumando para uma atualização via uma nova tríade de conceitos similares e correspondentes aos citados, com a devida adequação às exigências de modernidade, vinculadas à produtividade, competitividade e qualificação.

Uma ferramenta metodológica como a matriz S.W.O.T. (forças, fraquezas, oportunidades e ameaças), pode fomentar essa listagem de exigências em alternativas de cenários de adequação à modernidade. Para a ocorrência simultânea dos fatores expostos, é desejável a convergência para uma necessária reconfiguração institucional, com os modos de transporte operando

em suas faixas de eficiência, visando à efetividade não somente do sistema como um todo, mas também dos recursos aplicados em conjunturas de escassez.

Desperdiçar recursos ambientais, energéticos ou econômicos não condiz com um Brasil que precisa de projetos sustentáveis, tudo coerente e adequado ao objeto deste IV VIA VIVA, a infraestrutura sustentável, dado que estamos tratando de uma resiliência da infraestrutura sustentável e baseada em uma situação de baixo carbono. Para que o sonho se torne realidade é necessário, suficiente e fundamental um enfoque de sustentabilidade, onde haja espaço somente para execução de uma Política (com P maiúsculo) de Infraestrutura Sustentável.

Os autores ressaltam o caráter de conhecimento tácito deste trabalho, fruto da observação por muitos anos de pesquisa nesta área do conhecimento, qual seja Logística e Transportes. Sendo assim, não se enquadra como um estudo-de-caso, mas pretende sim ser objeto de utilização e conscientização para outras pesquisas decorrentes, representando um estímulo à reafirmação da importância da necessidade de inversão/ readequação da matriz intermodal de transportes no Brasil.

É lógico que este cenário somente será alcançado se os investimentos em infraestrutura forem direcionados para o equilíbrio entre os modos de transporte mais eficientes sob os pontos de vista energético,

econômico e ambiental. A temática deste VIA VIVA no âmbito da trilogia financiamento verde x resiliência e baixo carbono se concilia perfeitamente com esta proposta de readequação da matriz de transportes, via o incremento dos modos ferro e aquaviário, tendo por base um necessário ajustamento do modo rodoviário, que detém irracionais 63 % de participação na intermodalidade.

Sendo assim, se este trabalho servir para fomentar o interesse de pesquisas no campo dessa busca de readequação da matriz intermodal de transportes brasileira, já terá cumprido um papel de relevância, ao voltar o pensamento para investimento “verde”, governança e aspectos institucionais, fomento à competitividade entre os modos mais eficientes.

REFERÊNCIAS

- 1 ALOUCHE, P. - METRÔ/ SP - Sistemas Estruturais de Transporte de alta e média capacidade, São Paulo, 2014.
- 2 COPPEAD-CNT - Estudo de transporte de cargas no Brasil: ameaças e oportunidades para o desenvolvimento do País, 2013.
- 3 CLIMATE BONDS INITIATIVE - Oportunidades de Investimento em Infraestrutura Verde BRASIL 2019, 32 p.
- 4 CNI – O financiamento do investimento em infraestrutura no Brasil: Uma agenda para sua expansão sustentada, julho 2016.
- 5 DONATO, V. – Logística Verde: Uma Abordagem Sócio-Ambiental, Editora Ciência Moderna, 2008, Rio de Janeiro, 276 p.
- 6 FDC (Fundação Dom Cabral) - Custos logísticos no Brasil, Belo Horizonte, 2014.
- 7 FRISCHTAK, C. e DAVIS - Evolução do investimento em infraestrutura no Brasil, 2014.
- 8 IACCARINO, S. Infraestrutura brasileira – forças, fraquezas, oportunidades e ameaças: as dimensões da produtividade, competitividade e qualificação, face ao incremento da demanda. Conferência Internacional na Marintech Naval Shore 2014, Centro de Convenções Sul América, 14 de agosto de 2014, Rio de Janeiro.
- 9 IACCARINO, S. – Logística Institucional e o paradigma da Matriz Intermodal de Transportes. Revista Mundo Logística nº. 50, Ano IX, jan-fev 2016, págs. 54-64, ISSN1982-1832, Curitiba, PR.
- 10 IACCARINO, S. – Impactos da redistribuição da matriz intermodal: cenários à luz de uma análise de sustentabilidade. Conferência Internacional na Marintech Naval Shore 2017, Centro de Convenções Sul América, 15 de agosto de 2017, Rio de Janeiro.
- 11 INFRAESTRUTURA ESPECIAL – Revista Valor Especial, Junho 2018 e edição do jornal Valor Econômico de 05/ 10/ 2018.

- 12 OLIVEIRA, M.L.M.C.; IACCARINO, S. - Transporte Aquaviário: um diagnóstico da realidade brasileira. Revista Mundo Logística no. 74, Ano XIII, jan-fev 2020, págs. 64-74, ISSN1982-1832, Paraná.
- 13 OPPERMAN. N.M. e CACCIA, L.S. - EMBARQ Brasil – Os sete passos para construir um Plano de Mobilidade Urbana - PMU, Porto Alegre, 2015.
- 14 RELATÓRIO INFRA 19 – Acompanhamento do avanço da infraestrutura no Brasil, Projeto INFRA 2038, 2019, 61 p.
- 15 TUROLLA, F. A., GABRIELLI, M.F., GONDIM, I. J. C. – Crédito e Financiamento à Infraestrutura no Brasil - Tecnologia de Crédito (Serasa/ Experian), 2013.



CRITÉRIOS E PARÂMETROS PARA SUPERVISÃO AMBIENTAL DAS OBRAS DE IMPLANTAÇÃO DO CONTORNO DO MESTRE ÁLVARO, SERRA/ES

RESUMO

A atividade de acompanhamento ambiental de uma obra de implantação rodoviária deve ser observada não apenas pela ótica da obrigatoriedade de cumprimento das condicionantes da licença ambiental autorizadora do empreendimento e legislação ambiental, mas também como uma oportunidade de comparação dos impactos ambientais previstos na etapa de planejamento com os eventualmente registrados na etapa de execução da obra. Portanto, caracteriza-se como uma possibilidade de calibração dos métodos de Avaliação de Impactos Ambientais -AIA utilizado na elaboração dos Estudos Ambientais. Para o início das atividades de supervisão ambiental das obras de implantação do Contorno do Mestre Álvaro, Serra/ES, observou-se a necessidade do desenvolvimento de uma sistemática de classificação das eventuais não-conformidades registradas no curso da execução das atividades de modo que fosse minimizado o caráter subjetivo da avaliação da gravidade destes desvios. O presente trabalho tem por objetivo apresentar o método utilizado para a avaliação das não-conformidades e impactos associados nas obras de implantação do Contorno do Mestre Álvaro que apropriou-se da técnica de reunião de especialistas para a ponderação dos critérios e pesos relativos a cada não-conformidade por ventura identificada. Após a implantação da sistemática de classificação, observou-se que a rotina das visitas de campo de supervisão ambiental tornou-se mais assertiva, dada minimização da subjetividade do avaliador. Subsidiariamente, percebeu-se que a emissão dos registros gerou uma melhoria da qualidade ambiental da obra, refletida, sobretudo na mudança de comportamento dos trabalhadores da construtora que ressignificaram sua relação com as modificações no meio ambiente resultantes de suas atividades.

Palavras-chave: Avaliação de Impactos Ambientais; Contorno do Mestre Álvaro; Supervisão Ambiental.

Clezio Ribeiro de Almeida Gestor Ambiental colaborador da Concremat Ambiental desde 2010, atuando como Coordenador. 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 é 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.

Carlos Alberto da Silva Júnior Biólogo (2007) e Mestre em Engenharia Ambiental (2014) pela Universidade Federal do Espírito Santo - UFES. Graduado Saneamento Ambiental (2008), Especialista em Administração Pública (2016) e Especialista em Sustentabilidade em Ambientes Construídos (2020) pelo Instituto Federal do Espírito Santo – IFES. É Analista de Infraestrutura de Transportes do DNIT, lotado na Superintendência Regional do Espírito Santo.

1. INTRODUÇÃO

O conceito de “impacto ambiental” está bem consolidado na legislação brasileira em ao menos duas normas de referência válidas para todo o território nacional. Tratam do assunto a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que estabeleceu a Política Nacional de Meio Ambiente e a Resolução CONAMA nº 01 de 23 de janeiro de 1986. Na primeira é trabalhado como sinônimo de “degradação da qualidade ambiental” enquanto a segunda trata de consolidar em definitivo o termo, estabelecendo as situações reais em que pode ser aplicado.

Em linhas gerais e mantidas as especificidades de cada norma, ambas conceituam o termo como as alterações adversas no meio ambiente e resultantes de atividades humanas que comprometam as relações sociais, econômicas e prejudiquem a biota.

Todavia, em nenhuma destas normas é abordado o aspecto objetivo do grau ou nível do impacto. Disto surge uma questão desde sempre debatida acerca da mensuração do grau da degradação ambiental, no que a ciência trata, hoje, como Avaliação de Impacto Ambiental - AIA.

Para Donaire (1999), o fato do meio ambiente sempre ter sido considerado um recurso abundante e classificado na categoria de bens livres, ou seja, daqueles bens para os quais não há a necessidade de trabalho para sua obtenção, dificultou-se a possibilidade de estabelecimento de certo critério em sua utilização e tornou disseminada a poluição ambiental, passando afe-

tar a totalidade da população, através uma apropriação socialmente indevida do ar, da água ou do solo.

Como subsídios à redução da subjetividade ora discutida, a própria legislação brasileira estabeleceu mecanismos para que sejam estudados os impactos ambientais, por exemplo, na ocorrência de uma intervenção planejada no meio ambiente, quando são desconhecidos os cenários futuros e a ocorrência avaliada é considerada como provável. A Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997 em seu Art. 1º, inciso III definiu o conceito de “estudos ambientais” parte de um processo complexo em que o Estado outorga (ou não) o direito de localização, instalação e operação de uma atividade potencialmente causadora de impactos ambientais. O Estudo de Impacto Ambiental - EIA complementado pelo Relatório de Impacto Ambiental - RIMA é um exemplo de documento técnico que subsidiam a avaliação dos impactos ambientais de determinada atividade.

No rol de atividades potencialmente poluidor, logo dependente de licenciamento ambiental, a mesma Resolução nº 237/1997 do CONAMA incluiu as rodovias, ferrovias e hidrovias. Desta forma, portanto, esta norma estabeleceu a relação de causalidade entre a implantação e operação de rodovias e a probabilidade de ocorrência de impactos ambientais.

Afora os prováveis impactos de uma ro-

dovia, dada sua natureza modificadora do ambiente natural, são inúmeros os benefícios advindos da intervenção, dentre os quais a melhoria da logística local e regional com a possibilidade de redução dos riscos de acidentes de trânsito; a dinamização da economia e da renda local e a oferta de postos de trabalho.

Para Moraes (2004), implantação de uma rodovia atrai mais pessoas, trazendo o desenvolvimento e um maior fluxo de transportes. Ou seja, as rodovias são agentes de mudanças e podem ser responsáveis por ambos os impactos positivos ou negativos devido à interação Homem x Meio Ambiente.

A obra de implantação do Contorno do Mestre Álvaro, no município da Serra, Espírito Santo é um exemplo de um projeto rodoviário que seguiu todos os rigores exigidos no rito de avaliação de impactos ambientais e que, atualmente, encontra-se em fase de implantação. A obra teve início em abril de 2019, tem previsão de conclusão em 15 meses e está na fase intermediária de execução. Trata-se de um projeto de implantação de 19,7 km de rodovia que objetiva, sobretudo, desviar o tráfego pesado e de longa distância do perímetro urbano do município da Serra/ES.

Esta obra conduzida pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT conta com a licença de instalação emitida pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - IEMA. Esta licença fora emitida como resultado do Estudo de Impacto Ambiental elaborado e submetido à avaliação técnica

do órgão ambiental. Neste estudo a avaliação dos impactos ambientais fora realizada por meio do método da *Matriz de Leopold* (LEOPOLD *et al.*, 1971).

Não obstante, há diversos outros métodos de avaliação de impactos ambientais. Cremones *et al.* (2014) apresentou um compilado das metodologias utilizada no Brasil. Segundo o autor, as principais são o método AD HOC, o Método *check-list* (listagem); o Métodos de Matrizes de Interação; as Redes de Interação; Superposição de cartas; Modelos de Simulação e as Metodologias Quantitativas.

No EIA elaborado em 2016, previu-se que a obra poderia gerar impactos sobre os meios físico, biótico e antrópico, materializando-se das mais diferentes formas. No entanto, neste momento e considerado o emprego dos diversos mecanismos de controle e mitigação dos impactos ambientais inerentes à obra, torna-se necessária uma atualização do que àquela época o EIA tratou como de baixa, média ou alta probabilidade, reavaliando o empreendimento com o objetivo de melhorar sua *performance* ambiental, semelhante ao realizado por Costa (2010).

A Licença de Instalação nº 15/2018 que autorizou a implantação do Contorno do Mestre Álvaro vinculou a obra à obrigatoriedade de atendimento de 56 condicionantes dos mais diferentes graus de complexidade e com o objetivo de mitigar os prováveis impactos ambientais levantados na fase de projeto. Dentre estas condicionantes, 21 geraram a obrigação

de acompanhamento sistemático de todas as ações realizadas na obra e em suas áreas de apoio. Por definição, este controle ambiental sistemático das obras propriamente ditas e definidas nos projetos de engenharia e nos programas ambientais é definido como supervisão ambiental. Esta atividade visa assegurar que, durante a execução das obras, sejam observados todos os cuidados ambientais especificados nos projetos, nas licenças ambientais e demais autorizações, nos estudos ambientais e no corpo de normas do DNIT e na legislação ambiental vigente.

As ações de supervisão ambiental compreendem a permanente fiscalização e orientação *in loco*, garantindo, portanto, que as ações de engenharia sejam realizadas de forma adequada e de acordo com as boas técnicas de execução, obedecendo ao previsto nas condicionantes expostas nas licenças ambientais e demais autorizações e embasadas nos normativos do DNIT e as cláusulas contratuais.

No espectro do estudo dos impactos ambientais de empreendimentos rodoviários, há aqueles que se propuseram a avaliar os

potenciais impactos previamente ao início das obras propriamente ditas como o trabalho de Lisboa (2002) e de Silva (2004). Ainda, há aqueles que fizeram a avaliação após o início da execução do empreendimento entre os quais se destaca o estudo de Brito (2013) e o de Omena (2008).

Esta divisão temporal da avaliação dos impactos ambientais é classificada por Spadotto (2002) como avaliação *ex-ante*, quando ocorre anteriormente à obra e *ex-post* quando executada posteriormente à intervenção.

O presente trabalho é uma das etapas que permitirá a avaliação *ex-post* no que definiu Spadotto (2002). Com o emprego dos métodos AD HOC adaptado em conjunto com o método *check-list* em que se ponderaram diferentes critérios, objetivou-se estabelecer critérios objetivos para a devida mensuração e classificação dos eventuais desvios ocorridos na obra no que concerne aos impactos ambientais ao tempo em que o acompanhamento e orientação das estratégias e medidas corretivas foram sendo realizadas pela equipe de supervisão ambiental.

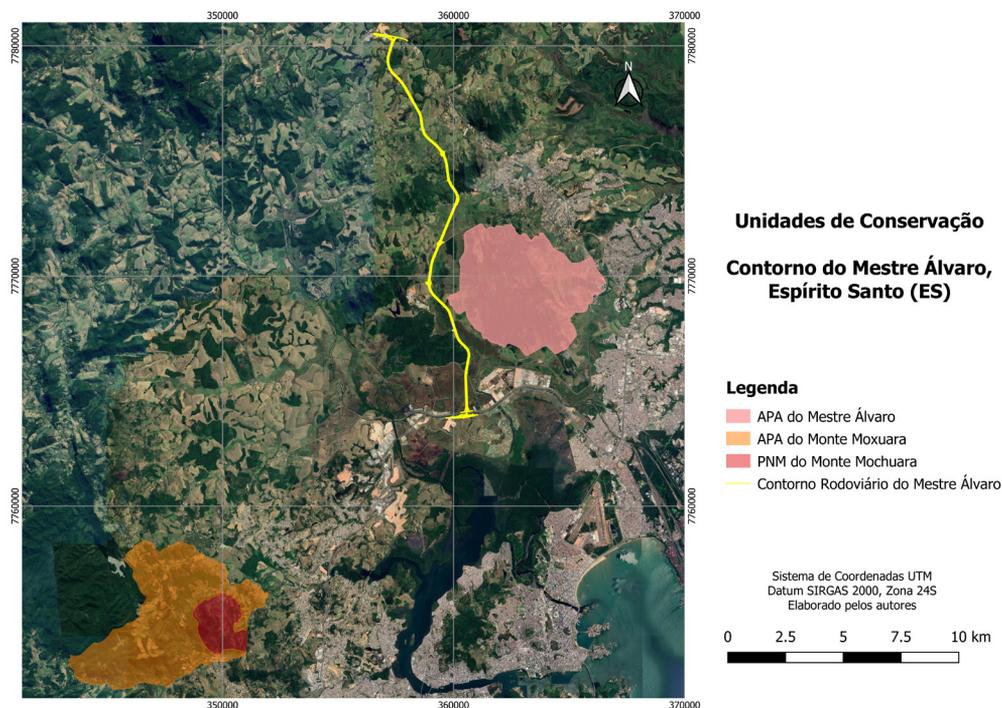
2. DESENVOLVIMENTO

2.1. ESTUDO DE CASO

A obra de implantação do Contorno do Mestre Álvaro insere-se numa região que liga dois fragmentos florestais impor-

tantes protegidos pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Figura 1), quais sejam: O Parque Natural Municipal do Mochuara e a Área de Proteção Ambiental do Mestre Álvaro.

FIGURA 1 | Figura 1. Unidades de Conservação localizadas no entorno da obra do Contorno do Mestre Álvaro



Fonte: *Elaboração própria*

Admitiu-se como hipótese no presente estudo que o estabelecimento de condutas tipificadas como desvios segundo um critério objetivamente definido em que se ponderou diferentes aspectos, contribui para a atividade de acompanhamento ambiental da obra do Contorno do Mestre Álvaro e, por consequência, da gestão ambiental do empreendimento.

Nesta perspectiva e, considerando a escassez de estudos semelhantes que estabeleçam diretrizes para a mensura-

ção dos impactos ambientais de modo a definir as estratégias para a correção do problema, desenvolveu-se, em conjunto com uma equipe multidisciplinar de especialistas em diferentes áreas, uma tabela com classificação dos prováveis desvios - ou impactos ambientais - distinguindo (03) três níveis de gravidade (leve, média e alta), resultante da ponderação de diferentes critérios como, por exemplo, a extensão espacial do desvio ou a eventual afetação de áreas protegidas ou inobservância de instrumentos autorizativos.

Importante destacar que estes critérios não foram utilizados para se avaliar a necessidade da abordagem corrigindo o eventual dano, uma vez que o comando legal é imperativo, mas tão somente a estratégia de correção do desvio uma vez que a Resolução CONAMA n.º 1/1986 que conceituam impacto ambiental é cristalina ao estabelecer que “(...) qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas (...)” sem adentrar no porte ou nível.

Diante deste cenário, a questão-problema levantada foi a elaboração de uma lista situações concretas tipificadas como condutas ambientalmente inadequadas e a definição de critérios que, objetivamente, permitam avaliar sua gravidade e, com isto, as estruturas, recursos e ferramentas necessárias à correção. Em suma, propôs-se definir um mecanismo que permita reduzir a pessoalidade/subjetividade de avaliação de um aspecto da obra do Contorno do Mestre Álvaro que guarda relação com o meio ambiente.

2.2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Dada a natureza modificadora do ambiente de uma obra rodoviária, há que ser mantido em vigilância a implantação e funcionamento de todos os controles ambientais com o objetivo de assegurar a menor perturbação sobre os aspectos físicos, biótico e socioeconômicos do local em que o empreendimento está inserido.

Para Spadotto (2002), a avaliação de impactos ambientais não deve ser considerada apenas como uma técnica, mas como uma dimensão política de gerenciamento, educação da sociedade e coordenação de ações impactantes.

Neste contexto, a atividade de gestão ambiental e, especificamente, da supervisão ambiental, torna-se imprescindível.

Ao aplicar a supervisão ambiental às obras de pavimentação da BR-316/AL, Faria (2017) observou-se uma melhoria da qualidade ambiental. No entanto, a autora fez uma ressalva para a demora em solucionar os problemas identificados. Estratégia semelhante foi utilizada por Besen (2012) nas obras de duplicação da BR-101/SC no trecho entre Florianópolis e Osório.

Como resultado do acompanhamento sistemático da supervisão ambiental, é possível a estimativa da *performance* ambiental de um determinado empreendimento.

Este indicador recebe o nome de desempenho ambiental nos trabalhos de Costa (2010) na Rodovia dos Tamoios (SP-099) e de Índice de Qualidade do Meio Ambiente (IQMA) nos estudos de Muzzolon Jr (2006) no Contorno Rodoviário de Florianópolis.

Conforme descrito por Costa (2010) mesmo com o estabelecimento de critérios para os desvios, verifica que o seu enquadramento apresenta um viés subjetivo, além da aptidão e da experiência do profissional avaliador.

É justamente neste contexto que está inserida a metodologia apresentada neste estudo e aplicado às obras de implantação do Contorno do Mestre Álvaro. Espera-se que,

uma vez consolidado o procedimento de mensuração objetiva ao longo da execução do empreendimento seja possível, num segundo momento, a definição de uma métrica que torne possível não apenas a avaliação objetiva de um determinado desvio, mas, de modo abrangente, a avaliação do desempenho ambiental da obra de forma padronizada independente do avaliador.

2.3. METODOLOGIA

Para o presente estudo utilizou-se como premissa os critérios de mensuração dos impactos ambientais consolidados no Estudo de Impacto Ambiental que subsidiou o licenciamento ambiental da obra. Não obstante, estes critérios foram conjugados com o diagnóstico ambiental do empreendimento na fase de implantação que possibilitou o refinamento dos aspectos ambientais outrora listados no EIA. Tal pressuposto objetivou, sobretudo, a comparação objetiva com os impactos ambientais previstos para o empreendimento na fase de planejamento do empreendimento com as condutas observadas pela equipe de supervisão ambiental na fase de obras.

O método empregado para a avaliação dos impactos ambientais no EIA foi a Matriz de Interações e o modelo escolhido foi o de Leopold *et al.* (1971). Desta forma, na etapa obras manteve-se a avaliação bidimensional relacionando os aspectos aos impactos ambientais do empreendimento.

Para o levantamento e definição da gravidade dos desvios utilizaram-se informa-

ções obtidas nos levantamentos de campo e em diversas reuniões com a equipe de especialistas da gestão ambiental e da construtora responsável pela execução das obras. Foram realizadas 07 (sete) reuniões de trabalho envolvendo profissionais de diferentes áreas do conhecimento (ciências biológicas, geologia, engenharia civil e química, saneamento ambiental e geoprocessamento) ao final das quais foi possível realizar a consolidação da listagem das principais atividades desenvolvidas na obra relacionando-as com condutas tipificadas como desvio.

Foram utilizadas as seguintes métricas: (I) Impacto em áreas sensíveis (cursos d'água, fragmentos florestais, Unidade de Conservação, vestígios arqueológicos, etc.); (II) Descumpra preceito legal ou condicionante da Licença de Instalação; (III) Expõe a riscos à saúde dos trabalhadores e comunidade; e (IV) Abrangência Espacial.

É importante destacar que o objetivo principal da classificação dos desvios foi o de definir e padronizar prazos e os recursos a serem mobilizados para a correção dos problemas de modo a minimizar a perturbação de determinada conduta sobre o meio ambiente e a terceiros.

Como suporte de campo, foram elaboradas fichas de campo classificando os desvios em registro de orientação (ROr); registro de ocorrência (ROc) e Registro de Não-Conformidade (RNC).

Como escopo do serviço de gestão ambiental da obra, a equipe de supervisão ambiental diariamente percorre toda a extensão da obra e as áreas de apoio verificando

FIGURA 2 | Registro de Ocorrência. Documento-padrão

		Implantação e Pavimentação da Variante do Mestre Álvaro REGISTRO DE OCORRÊNCIA Nº XX/20XX			
Supervisão:			Data de Abertura		Prazo para Atendimento
Lote/Construtora:	Gravidade	Reincidência	___/___/___		___/___/___
Este REGISTRO DE OCORRÊNCIA deve ser preenchido em duas vias, sendo uma para o Supervisor Ambiental e uma para anexar no Diário de Obras.					
LOCALIZAÇÃO					
Km	Lado	Estaca	Coordenadas UTM		Fuso
DESCRIÇÃO DA OCORRÊNCIA DEFLAGRADA					
NORMAS E LEGISLAÇÃO DE REFERÊNCIA					
RECOMENDAÇÃO DE AÇÕES AMBIENTAIS PARA CORREÇÃO					
ASSINATURAS					
Supervisão Ambiental	Coordenador Supervisão Ambiental	Supervisão de Obras	DNIT (Fiscal 914/19)	DNIT (Fiscal 461/17)	Construtora

aspectos ambientais das frentes de terraplenagem (Figura 3), da execução de cortes e aterros, da implantação e operação de canteiros de obra (Figura 4), da implantação e operação de jazidas (Figura 5) da construção de Obra de Arte Corrente - OAC e Obra de Arte Especial - OAE (Figura 6), da implantação das drenagens superficial e profunda, da execução dos caminhos de Serviço e dos desmontes de rocha dentro da faixa de domínio.

Uma vez identificada uma ocorrência passível de tipificação como desvio, a equi-

pe de supervisão ambiental avalia em campo, utilizando os critérios objetivos definidos, o grau de severidade da constatação, cabendo a mera orientação, por exemplo, numa situação comportamental individual e isolada ou a formalização da ocorrência utilizando a ficha padrão (Figura 2).

Após a expedição do Registro de Ocorrência, é disparado comando para que as equipes responsáveis para a correção do desvio sejam instadas a promover as ações necessárias à completa eliminação do problema.

FIGURA 3 | Supervisão da terraplenagem



FIGURA 4 | Supervisão do canteiro



FIGURA 5 | Supervisão da operação de jazida



FIGURA 6 | Supervisão da construção de OAE



2.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

O principal e mais significativo resultado do estudo e que permitiu a avaliação objetiva das eventuais não-conformidades na obra, reduzindo a subjetividade da classificação

dos impactos por ventura ocorridos durante a execução da obra, foi a tabela com a classificação dos desvios em diferentes níveis de gravidade, conforme Quadro 1.

QUADRO 1 | Classificação das não-conformidades

DESVIOS	LEVE	MÉDIA	GRAVE
Vestígios Arqueológicos	N/A	N/A	Independentemente de haver sítio arqueológico ou não
Assoreamento de cursos hídricos	N/A	Cursos hídricos intermitentes durante a estiagem (secos)	Cursos hídricos perenes ou intermitentes com água:
			Durante o período chuvoso
			Em áreas sensíveis (brejosas, pantanosas, travessia de rios, com captação a jusante, dentre outros)
Aterro em áreas alagadiças / curso hídrico	N/A	Cursos hídricos intermitentes durante a estiagem (secos)	Cursos hídricos perenes ou intermitentes com água:
			Durante o período chuvoso
			Em áreas sensíveis (brejosas, pantanosas, travessia de rios, com captação a jusante, dentre outros)
Aumento de material particulado (poeira)	Área do canteiro de obras sem residências no entorno	Área do canteiro de obras com residências (área rural) no entorno	Área do canteiro de obras com muitas residências (área rural/urbana) no entorno
		Acessos que interceptam poucas residências em área rural	Acessos que interceptam áreas residenciais e/ou comerciais
		Uso compartilhado da via, porém mais usada pela população do que pela obra)	Uso compartilhado da via cuja circulação dos veículos da obra é relevante em relação ao fluxo de veículos de terceiros
			Proximidade de escolas, hospitais, dentre outras instalações públicas e comunidades tradicionais
Ausência de Profissional capacitado para orientação da supressão de vegetação	N/A	N/A	Independente do motivo, trata-se do descumprimento de um programa ambiental, condicionantes e gera impactos à fauna/flora

DESVIOS	LEVE	MÉDIA	GRAVE
Ausência de caixa separadora de água e óleo	Ausência do sistema, porém sem a geração de efluentes	N/A	Ausência ou ineficiência do sistema com efluentes contaminando o solo
			Ausência ou ineficiência do sistema com efluentes contaminando de cursos hídricos
Ausência de cópia das licenças nas frentes de serviço	Embora não resulte em impactos ambientais, trata-se de procedimento normativo	N/A	N/A
Ausência de documentos	Alvará de funcionamento	Outorgas/dispensas, ART, CTF empresa, LPU Motosserras, LO recebedores de recicláveis	Ausência de LO empresas gestoras de resíduos comuns, recicláveis, perigosos e banheiros químicos
			Utilização de empresas de concreteiras e fornecedoras de agregados sem LO
Ausência de drenagem	Sem resultar em processos erosivos	Com ocorrência de sulcos erosivos	Com ocorrência de ravinas, voçorocas
			Com desestabilização de taludes e áreas íngremes
			Com assoreamento de cursos hídricos, brejos ou aterro de vegetação
Ausência das licenças de áreas de apoio	Embora não resulte em impactos ambientais, trata-se de procedimento normativo	N/A	N/A
Ausência de placas de meio ambiente e sinalização	Embora não resulte em impactos ambientais, trata-se de procedimento normativo	N/A	N/A
Ausência de sinalização de trânsito	N/A	Na entrada dos canteiros de obras em via compartilhada com fluxo de veículos baixo	Na entrada dos canteiros de obras em via compartilhada com fluxo de veículos alto
		Nos vilarejos interceptados por acessos cujo fluxo de veículos da obra é superior em relação ao não pertencentes ao empreendimento	Nos vilarejos interceptados por acessos cujo fluxo de veículos da obra é superior em relação aos não pertencentes ao empreendimento
			Nos locais com infraestrutura pública (escolas, hospitais) onde o fluxo de veículos da obra é superior em relação aos não pertencentes ao empreendimento

DESVIOS	LEVE	MÉDIA	GRAVE
Ausência do kit de mitigação ambiental	Não tendo resultado na contaminação do solo	Tendo resultado na contaminação do solo em pequena quantidade (inferior a 5L) – canteiros	Tendo resultado na contaminação do solo em grande quantidade (superior a 5L) – canteiros
	Não tendo resultado na contaminação do (frentes de serviço)	Tendo resultado na contaminação do solo em pequena quantidade (inferior a 5L) - frentes de serviço	Tendo resultado na contaminação do solo em pequena quantidade (superior a 5L) - frentes de serviço
Área de apoio irregular	N/A	N/A	Instalação/utilização sem licenciamento
Condições de veículos	N/A	Caso resultem em contaminação do ar (fumaça preta)	Caso resultem em contaminação do solo e da água (vazamentos maiores de óleo e combustíveis - acima de 200L)
		Caso resultem em contaminação do solo e da água (pequenos vazamentos - abaixo de 200L)	Caso resultem no descumprimento de programas ambientais
Contaminação de água	N/A	N/A	Produtos perigosos e efluentes domésticos e indústrias
			Impactos sobre a turbidez da água (lançamento de sedimentos/solo)
Contaminação de solo	N/A	Vazamento de lubrificantes/combustível inferior a 200L	Vazamento de produtos perigosos (acima de 200L)
			Efluentes domésticos e indústrias
Deficiência de equipamentos	Pequenos vazamentos de combustível e óleo (gotejamento)	Vazamento de lubrificantes / combustível inferior a 200L	Vazamento de lubrificantes / combustível superior a 200L
		Sistema de tratamento de esgoto com projeto mal dimensionado com eficiência do tratamento comprometida	Vazamento de lubrificantes / combustível em curso hídrico (independente do volume)
	Sistema de tratamento de esgoto com projeto mal dimensionado sem contaminação do solo/água	Tendo resultado na contaminação do solo em pequena quantidade (inferior a 5L) - frentes de serviço/canteiro	Sistema de tratamento de esgoto com projeto mal dimensionado, com contaminação do solo/água
			Tendo resultado na contaminação do solo em pequena quantidade (superior a 5L) - frentes de serviço/canteiro

DESVIOS	LEVE	MÉDIA	GRAVE
Depósito de materiais perigosos inadequado	N/A	Depósito de embalagens/ resíduos vazias ou impregnadas com produtos perigosos	Depósito de embalagens/ resíduos com produtos perigosos (líquidos ou sólidos)
		Ausência de sinalização	Ausência de piso impermeável, sistema de contenção, acesso restrito, parede, cobertura e kit de combate a incêndios
Erosões	Pequenos sulcos erosivos em terrenos com declividade de até 15°	Pequenos sulcos erosivos em terreno com solo composto por arenito	Processos erosivos em terrenos com declividade superior a 30°
		Pequenos sulcos erosivos em terrenos com declividade de até 30°	
		Ravinas independente da declividade	Voçorocas independente da declividade
Gestão de Resíduos	Deposito de pequena quantidade de resíduos inertes (recicláveis) e não perigosos em local inadequado/desorganizados	Ausência de manifestos de lixo comum e recicláveis	Destinação de resíduos não inertes (lixo comum) local não licenciado
	Equipe de gestão de resíduos sem treinamento	Ausência de baias de estocagem de resíduos	
	Ausência de coletores de resíduos por tipologia	Deficiência na baia de lixo comum	Destinação de resíduos perigosos para local não licenciado
	Deficiências na baia de recicláveis	Deficiência na baia de produtos perigosos sem contaminação do solo/água	Destinação de resíduos inertes (recicláveis) para local não licenciado
	Pneus em local inadequado		Ausência de manifestos de resíduos perigosos
Recuperação Ambiental Inadequada	N/A	N/A	Introdução de espécies exóticas da flora em áreas degradadas no interior de floresta nativa

DESVIOS	LEVE	MÉDIA	GRAVE
Supressão Vegetal Irregular	Em floresta em estágio inicial de sucessão	Em floresta em estágio inicial de sucessão	Em floresta em estágio avançado de sucessão/ floresta nativa
	Área de até 200m ²	Área de até 150m ²	Em de APP ou Reserva Legal (independente do estado de regeneração do fragmento)
	Fora de APP ou Reserva Legal	Fora de APP ou Reserva Legal	Equipe de supressão atuando sem treinamento
	Ausência de certificados de treinamento de operadores do motosserra e CTF da empresa executora	SV com trator (floresta primária/em regeneração)	SV com trator (floresta secundária ou nativa)
Tratamento de Efluentes	Falha estrutural/projeto do sistema, porém sem contaminação do solo/água	Falha estrutural/projeto do sistema, porém com contaminação pontual do solo	Falha estrutural/projeto do sistema, porém com contaminação não pontual do solo/água
	Central de concreto sem piso impermeável e drenagem para caixa de decantação, porém sem contaminação de curso hídrico	Central de concreto sem piso impermeável e drenagem para caixa de decantação, porém com contaminação de curso hídrico	
Uso de poço sem outorga	Uso de poço com outorga ou dispensa requerida ao órgão público	Uso de poço sem outorga ou dispensa requerida ao órgão público	Captação sem outorga ou dispensa que resulte no desabastecimento de algum vitarejo
	Captação de água sem outorga para abastecimento de frentes de serviço		
Outros	Monitoramento de Ruídos: Canteiro sem residências no entorno	Monitoramento de Ruídos: Canteiro com residências no entorno	Abastecimento irregular na frente se serviço com contaminação/acidente/incidente
	Pesca em local/ período inadequado por trabalhador da obra	Abastecimento irregular na frente se serviço sem contaminação/acidente/incidente	Caça de animais por trabalhador da obra
	Manutenção de equipamentos fora da oficina - canteiro sem contaminação do solo	Manutenção de equipamentos fora da oficina - canteiro com contaminação do solo	Manutenção de equipamentos fora da oficina - canteiro com contaminação da água

Fonte: Elaboração própria.

A implantação de uma metodologia de classificação dos desvios, assim como os registros e as diretrizes para tratativas

dos mesmos, constituiu-se como elemento fundamental para o acompanhamento da obra do Contorno Rodoviário do Mes-

tre Álvaro, uma vez que norteou as atividades de supervisão ambiental, consolidando uma ferramenta de verificação do atendimento às condicionantes e requisitos legais, tal como gerou evidências para análise da situação da obra, objetivando enfim o controle de eventuais não conformidades ambientais.

Percebeu-se que após a implementação da metodologia para classificação dos desvios anteriormente encontrados de forma padronizada, proporcionou a participação e uma melhor compreensão dos potenciais impactos relacionados, para todos os envolvidos e conseqüentemente uma diminuição do número de desvios, portanto, o conhecimento deste instrumento e seus procedimentos promoveram uma melhora no desempenho ambiental da obra.

Pode-se inferir a partir destes resultados, que a metodologia desenvolvida está

apta para atuar como instrumento de gestão dos desvios, desde sua identificação, classificação e tratativas das eventuais não-conformidades.

Sendo assim, é destacado o importante papel da supervisão ambiental, sobretudo, utilizando uma estratégia de gestão uniformizada que promove a otimização dos recursos e atua na obtenção de resultados satisfatórios.

Considerando, ainda, a natureza dinâmica das modificações que a obra provoca no ambiente, é provável que novas demandas surjam e, com isso, demande a revisão da classificação ora apresentada com o acréscimo de outras ações e novamente seu enquadramento por meio da metodologia aqui discutida. Para isto, previu-se que esta metodologia seja continuamente aprimorada e, ao final de cada semestre, reavaliada e reposicionada.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A supervisão ambiental nas obras de implantação do Contorno do Mestre Álvaro permitiu uma ressignificação da relação dos trabalhadores com as modificações no meio ambiente induzidas em decorrência do avanço das atividades. O método participativo ora apresentado demonstrou aderência às condições e peculiaridades do empreendimento, permitindo uma avaliação objetiva em que se reduziu a subjetividade de classificação do fator

humano. Dada a natureza dinâmica das obras de engenharia, nota-se ser necessário o contínuo aprimoramento da tabela de classificação com a reavaliação sistemática e inclusão de novos desvios no decurso da obra.

Ademais, percebe-se a considerável importância do método aqui apresentado que pode, num segundo momento, ser utilizado, inclusive, para se avaliar o desempenho ambiental do empreendimento.

REFERÊNCIAS

- 1 BESEN, Greicy Clara; HENKES, Jairo Afonso. Supervisão e gerenciamento ambiental em obras rodoviárias: estudo de caso sobre a duplicação da BR-101 Sul. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 180, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v1e22012180-240>
- 2 BRITO, Tiago Silva Alves de; VASCONCELLOS, Fernanda Carla Wasner; OLIVEIRA, Fernando Luís Pereira. Avaliação de impactos ambientais na rodovia MG-010: estudo de caso no vetor norte de Belo Horizonte (MG). *Ciência e Natura*, [S. l.], v. 35, n. 2, p. 206–214, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460X12573>
- 3 COSTA, Roberta Maria. **O papel da supervisão ambiental e proposta de avaliação de desempenho ambiental em obras rodoviárias**. 2010. - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.3.2010.tde-08022010-104633>
- 4 COSTA, Roberta Maria; SÁNCHEZ, Luis Enrique. Avaliação do desempenho ambiental de obras de recuperação de rodovias. **Rem: Revista Escola de Minas**, [S. l.], v. 63, n. 2, p. 247–254, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672010000200007>
- 5 CREMONEZ, Filipe Eliazar *et al.* Avaliação de impacto ambiental: metodologias aplicadas no Brasil. *Revista Monografias Ambientais*, [S. l.], v. 13, n. 5, p. 3821–3830, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2236130814689>
- 6 FARIA, Agnes Caroline Santos; PEREIRA, Luana Cláudia; MARQUES, Eduardo Antonio Gomes. Gestão ambiental aplicada às obras de pavimentação da BR-316/AL. **VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, [S. l.], p. 1–7, 2017.
- 7 LEOPOLD, Luna Bergere *et al.* **A procedure for evaluating environmental impact** Circular. Washington, D.C.: [s. n.], 1971. Disponível em: <https://doi.org/10.3133/cir645>.
- 8 LISBOA, Marcus Vinicius. **Contribuição para tomada de decisão na classificação e seleção de alternativas de traçado para rodovias em trechos urbanizados**. 2002. - Universidade de São Paulo, [s. l.], 2002.
- 9 MORAES, Sévora Suzana Maciel de; SANTOS, Enilson Medeiros dos. Avaliação de Impactos Ambientais: instrumento importante na sustentabilidade dos projetos rodoviários. *Revista da FARN*, [S. l.], v. 3, n. 1/2, p. 45–58, 2004.
- 10 MUZZOLON JR, Renato; BASANE, Ana Carolina; SOUZA, Giuliano. A atividade de supervisão ambiental: execução do contorno rodoviário de Florianópolis. *Revista Técnico-Científica do CREA-PR*, [S. l.], n. 10, p. 1–6, 2018.
- 11 OMENA, Maria Luiza Rodrigues de Albuquerque; SANTOS, Edinaldo Batista dos. Análise da efetividade da avaliação de impactos ambientais - AIA - da rodovia SE 100/Sul-Sergipe. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 221–237, 2008.

- 12 SILVA, Maycon; SILVA, Denise Santos da. Avaliação de impactos ambientais em projeto rodoviário urbano: estudo de caso Americana/SP. **Revista Ciência e Tecnologia**, [S. l.], v. 16, n. 28/29, p. 1–11, 2013.
- 13 SPADOTTO, Claudio Aparecido. Classificação de impacto ambiental. **Comitê de Meio Ambiente, Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas.**, [S. l.], n. 19, p. 4, 2002. Disponível em: www.embrapa.br/meio-ambiente/herbicidas/



IMPACTO DOS LIMITES DE PESO DOS VEÍCULOS NA RESILIÊNCIA DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES SOB A ÓTICA DO PAVIMENTO E DAS OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

RESUMO

O modal rodoviário, em 2018, representou 61,1% do transporte de cargas no Brasil e continua sendo o principal meio de transporte de bens. Quanto maior a carga transportada pelos veículos, maiores os ganhos econômicos em razão da redução do custo de transporte. A capacidade de suportar tais cargas indica o nível de resiliência da infraestrutura de transporte. No entanto, esse aumento de carga também eleva os custos de manutenção do pavimento e das Obras de Arte Especiais - OAE. Por isso, normas brasileiras regulamentam os limites de peso. Este trabalho tem por objetivo avaliar o impacto dos limites de peso na resiliência da infraestrutura de transportes sob a ótica do pavimento e das obras de arte especiais. Avaliaram-se os limites de peso regulamentados pelas normas do DNIT e do Contran em relação aos critérios de dimensionamento de pavimentos e das cargas móveis das OAE. Os limites de peso regulamentares mostram-se suficientes para assegurar a integridade do pavimento, contudo os critérios estabelecidos não consideram as especificidades das estruturas, nem acompanham as evoluções normativas. Assim, faz-se necessária a inclusão de critérios nas normas de limites de peso de forma a resguardar as OAE em especial no que diz respeito aos veículos com peso acima de 74 toneladas. A adoção desses mecanismos resulta em benefícios ambientais e financeiros. O aumento da durabilidade da estrutura reduz a geração de resíduos de construção e dilui ao longo do tempo o investimento necessário para reforço e reabilitação das estruturas, o qual pode superar o montante de 1 bilhão de reais.

Palavras-chave: Limites de Peso; Obras de Arte Especiais; Pavimento; Pontes; Resiliência.

Theonelly Nascimento Teodozio é Engenheiro Civil, Analista em Infraestrutura de Transportes do DNIT desde 2009, Mestre em estruturas e pós-graduado em gestão pública com ênfase em projetos pela FGV. Tem cursos pelas universidades de Harvard e San-Diego na área de desenvolvimento de competências onde atua como instrutor. Coordena na Região Nordeste a ONG Ambiental Internacional Associação Novo Encanto de Desenvolvimento Ecológico.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a importância do modal rodoviário para o desenvolvimento econômico é evidenciada nas estatísticas de transporte. Em 2018, o modal rodoviário representou 61,1% do transporte de cargas no país (CNT, 2018). No ano seguinte, o número total de veículos destinados ao transporte nacional de carga, beirava a marca de dois milhões de unidades (CNT, 2019).

Assim, o aumento do limite de peso dos veículos de carga possui efeitos contrastantes. Enquanto o aumento de peso dos veículos para transporte de cargas é vantajoso economicamente, em razão do aumento da produtividade e redução do custo de transporte de mercadorias, resulta em maiores custos para manutenção do sistema de transportes. Esse incremento de carga eleva os custos de manutenção das rodovias e das Obras de Arte Especiais - OAE, sendo um fator relevante na resiliência da infraestrutura de transportes.

A resiliência do sistema de transportes consiste na capacidade da infraestrutura permanecer operacional sobre diferentes pressões externas (EEA, 2014). Assim, ao transitar nas rodovias, as cargas provenientes dos veículos são suportadas pelo pavimento e pelas OAE, tais como pontes e viadutos. Uma maior resiliência do sistema exige das partes constituintes maior capacidade de suportar adequadamente as cargas móveis.

No pavimento, essas cargas possuem efeitos danosos acumulativos, resultando ao

longo do tempo no surgimento de trincas, panelas e deformações plásticas. Assim, inevitavelmente em algum momento a manutenção do pavimento é necessária para assegurar as condições de fluxo da rodovia.

Do ponto de vista das OAE, cargas excessivas podem resultar no colapso da estrutura com sérios danos ambientais, ao patrimônio - público e privado - e, no caso mais grave, a perda irreparável de vidas humanas. Estas estruturas estão submetidas a cargas cíclicas, resultando em microfissuração do concreto. Este efeito deletério torna os elementos estruturais mais suscetíveis à ruptura por fadiga em razão do aumento das deformações. (Item 16.5 da NBR 6118:2014)

Contudo, o processo de degradação das OAE é lento e pouco perceptível ao usuário da via, exceto nos casos mais extremos de colapso estrutural. Os normativos estabelecem limites para o peso máximo por eixo dos veículos, considerando premissas para assegurar a durabilidade do pavimento.

Alguns dispositivos, como as resoluções n.º 01/2020 do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT e as n.º 210/2006 e n.º 211/2006 do Conselho Nacional de Trânsito - Contran, regulamentam o transporte de cargas indivisíveis de grandes dimensões e peso. Exemplo de tais cargas são as pás eólicas, reatores, turbinas, etc. A magnitude de uma peça indivisível, como o rotor de uma turbina hidrelétrica, pode pesar mais de 290 toneladas. (ITAIPU, 2007)

Nas rodovias federais, a resolução DNIT n.º 01/2020 estabelece critérios para o trânsito de veículos especiais com cargas excessivas e indivisíveis. Assim, no aspecto do peso bruto total, para quaisquer cargas acima de 100 toneladas deverá ser submetida a consulta de viabilidade às Superintendências Regionais para emissão da Autorização Especial de Trânsito - AET. Para cargas acima de 288 toneladas, deve ser apresentado também estudo de viabilidade estrutural. (DNIT, 2016)

As resoluções do DNIT e do Contran no que dizem respeito ao trânsito de cargas especiais nas rodovias, possuem caráter regulamentar considerando, por hipótese, a existência de OAE íntegras, sem quaisquer restrições, em razão de patologias estruturais. Assim, os limites de peso estabelecidos pelo Contran não excluem a competência de outros órgãos para estabelecerem condições mais restritivas em razão de limitações estruturais nas OAE, conforme art. 12-A da resolução n.º 210/2006.

Conforme dados do Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais -SGO, existem nas rodovias federais cerca de 1.800 OAE com notas de avaliação abaixo de 3, ou seja, com danos gerando alguma insuficiência estrutural. (DNIT, 2015 e Norma DNIT 010/2004 - PRO)

A verificação da viabilidade de trânsito de um veículo deve ser aferida com base nos esforços internos solicitantes provocados pela configuração da carga a ser transportada. Caso este esforço seja seguro comparado com o esforço previsto em

projeto, o transporte é viável. Além disso, deve ser considerada a redução da capacidade resistente da estrutura em função do estado de conservação da mesma e limites de abertura de fissuras.

Dessa forma, percebe-se uma estreita relação entre os limites de peso dos veículos e a sustentabilidade das rodovias. O aumento do limite de peso resulta em uma degradação acelerada do revestimento e, por conseguinte, aumento na emissão de gás carbono na produção de concreto betuminoso usinado a quente, bem como uso de recursos naturais pela extração de agregados e utilização de cimento asfáltico.

Nas Obras de Arte Especiais, o excesso de peso dos veículos resulta em aberturas de fissuras nas estruturas de concreto, as quais favorecem a infiltração de umidade e posterior deslocamento do concreto. Logo, a depender do estágio de degradação da estrutura, resultarão em produção de resíduos sólidos pelo apicoamento do concreto, utilização de cimento Portland, de jato de água ou areia, e consequentes efeitos ambientais.

Este trabalho tem por objetivo avaliar o impacto dos limites de peso na resiliência da infraestrutura de transportes, avaliando o efeito dos limites de cargas do ponto de vista do pavimento e das estruturas por meio da análise das normas regulamentadoras. Assim, verifica-se a suficiência dos dispositivos legalmente estabelecidos asseguram a durabilidade do pavimento e das estruturas e, por conseguinte, a resiliência da infraestrutura de transportes.

O item 2 contempla o referencial teórico apresentando os principais dispositivos regulamentadores dos limites de peso nas rodovias federais de forma a compreender as cargas máximas por eixo permitidas pelos normativos do DNIT e do Contran do ponto de vista do pavimento e a evolução normativa das cargas nos projetos de pontes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A configuração e os limites de peso dos veículos são, nas rodovias federais, estabelecidos pelas normas do Contran e do DNIT. A compreensão da intensidade e disposição das cargas rodoviárias são elementos necessários para avaliar o efeito do carregamento móvel na durabilidade dos pavimentos rodoviários e das Obras de Arte Especiais.

O peso bruto total do veículo é transferido ao pavimento e tabuleiro das pontes, sendo considerado de maneira distinta em cada uma dessas estruturas. No revestimento asfáltico, a carga é menos deletéria quanto mais distribuída for, pois as sobreposições das tensões entre os pneumáticos são pouco relevantes. Nas pontes, independente da configuração do carregamento, alguns elementos recebem toda a carga atuante no tabuleiro.

Com base no entendimento dos dispositivos normativos, torna-se possível avaliar os limites estabelecidos, à luz das premissas de dimensionamento, e verificar se os mes-

No item 03, apresenta-se a metodologia utilizada para avaliar os limites de peso dos veículos do ponto de vista do pavimento e das Obras de Arte Especiais, abordando em seguida, no item 04, o resultado desta análise à luz das premissas de dimensionamento dessas estruturas. As considerações finais são apresentadas no item 05.

mos são suficientes para assegurar a resiliência da infraestrutura de transportes.

2.1. DAS CARGAS NO PAVIMENTO RODOVIÁRIO

As resoluções normativas para o transporte de cargas rodoviárias apresentam requisitos em função da magnitude da carga transportada e das dimensões geométricas do veículo. As dimensões geométricas influenciam na viabilidade do trânsito, pois, comprimentos excessivos podem resultar em dificuldades em transpor trechos de curvas, em razão do raio de curvatura da via, além da restrição de gabaritos de altura e largura de pontes e viadutos.

Aborda-se a regulamentação dos limites de peso estabelecidos pelas autoridades de trânsito, sendo estas distribuídas em cargas de menor magnitude, até 57 toneladas, de média magnitude, compreendendo-se aquelas entre 57 e 74 toneladas, e a cargas especiais.

2.1.1. Veículos com cargas até 57 toneladas

A resolução Contran nº 210/2006 (CONTRAN, 2006) estabelece os limites de peso e dimensões de veículos, excetuando-se os veículos especialmente projetados para o transporte de cargas indivisíveis. Nesta resolução, o peso bruto total máximo dos veículos varia entre 29 toneladas, para veículos não articulados, até 57 toneladas para caminhões articulados, enquanto o comprimento limite é de 19,80 metros.

O peso bruto total máximo de um determinado veículo é estabelecido em função do número de pneumáticos, dois ou quatro por eixos, e o tipo de eixo, podendo ser: isolado, conjunto com dois eixos direcionais ou eixos Tandem duplo - ETD ou Tandem triplo - ETT.

Considera-se eixos Tandem um sistema integral de suspensão constituído de dois ou mais eixos. Este conjunto é dotado de sistema de equalização de peso. (GOULART, 2018)

Seguindo-se as prescrições normativas, o peso máximo por roda transmitido ao pavimento é de 3 toneladas. Esta maior solicitação proveniente da carga rodoviária acontece na configuração de eixo isolado com dois pneumáticos. O peso máximo admitido para um conjunto de eixos é de 25,5 toneladas, sendo correspondente ao eixo tandem triplo. Contudo, nesta disposição, há uma maior distribuição da carga transportada em razão da existência de 12 rodas, transmitindo-se ao pavimento 2,125 toneladas por roda. A Tabela 1 apresenta os limites de peso por eixo estabelecida pela Resolução Contran nº 210/2006.

TABELA 1 | Limites de peso bruto total máximo por tipo de eixo para veículos até 57t.

Tipo de eixo	Ilustração	Peso máximo (toneladas)	
		Por eixo	*Por roda
ESRS		6	3
ESRD		10	2,5
2 ESRS		12	3
ETD		17	2,125
ETT		25,5	2,125

Fonte: Resolução Contran nº 210/2006.

* Calculado pelo autor, considerando carga máxima e número de pneus estabelecidos pela Resolução Contran nº 210/2006.

2.1.2. Veículos com cargas até 74 toneladas

Para veículos com peso acima de 57 toneladas, ou comprimento acima de 19,80 metros, a resolução n° 210/2006 do Contran não se aplica. Este tipo de carga é regulamentada pela resolução Contran n° 211 do mesmo ano, a qual estabelece a obrigatoriedade de emissão da Autorização Especial de Trânsito - AET para a circulação da Combinação de Veículos de Carga - CVC com peso e/ou dimensões acima destes valores.

Assim, complementando a resolução anterior (n.º 210/2006) do Conselho de Trânsito, a resolução n° 211/2006 estabele-

ce que veículos excedendo o limite de comprimento de 19,80 metros, mas com carga inferior a 57 toneladas, podem receber AET para comprimentos até 30 metros.

Quando o Peso bruto total combinado - PBTC for superior a 57 toneladas, esta mesma resolução determina o comprimento do veículo em no mínimo 25 metros e no máximo 30 metros. Além disso, o PBTC deve ser inferior a 74 toneladas. Para as combinações possíveis, os limites de peso por eixo estabelecidos na resolução Contran n° 210/2006 permanecem válidos. Na Tabela 2, pode ser consultado um resumo das dimensões e das cargas regulamentadas pela resolução Contran n° 211/2006.

TABELA 2 | Resumo dos limites de Peso Bruto Total (P) e comprimento (L) de veículos estabelecidas pela resolução Contran n° 211/2006.

Peso	P < 57t	57t < P < 74t
Comprimento	19,80m < L < 30m	25m < L < 30m

2.1.3. Veículos com cargas especiais (acima 74 toneladas)

Para veículos com características de peso e dimensões superiores às estabelecidas nas resoluções do Contran, compete ao órgão com circunscrição sobre a via, emitir Autorização Especial de Trânsito, sendo esta válida para cada viagem, conforme art. 101 do Código de Trânsito Brasileiro. No caso de guindastes autopropelidos, a autorização pode ser concedida pelo prazo de 6 meses. (BRASIL, 1997)

Nas rodovias federais, as Autorizações Especiais de Trânsito são emitidas

pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), sendo regulamentada pela resolução n° 01/2020. O normativo do DNIT permite o trânsito de cargas por eixo com valores até 61% acima do limite preconizado pela resolução do Contran. É o caso de guindastes com conjunto de dois eixos tandem com 4 rodas, o qual pela resolução do DNIT pode transitar com peso até 27,5 toneladas por eixo e pela resolução do Contran, no máximo 17 toneladas. Os limites de peso estabelecidos pelo DNIT são apresentados no Quadro 1.

QUADRO 1 | Limites de peso em função da característica do veículo de acordo com a Resolução DNIT nº 01/2020.

Configuração de eixos		Limite de peso, em toneladas, em função da característica do veículo		
		1. Sus. Mecânica, hidr. ou pneum.	2. Susp. hidráulica	3. Guindaste
Eixos isolados				
Qtd. Pneus				
2		7,5	-	10
4		12	-	13,75
8		16	-	-
2 eixos direcionais				
Qtd. Pneus			2 eixos ou mais	
2	1,350 < ee < 1,50	15	11,3	15
	1,5 < ee < 2,4		12	
	ee > 2,4		16	
2 Eixos em Tandem				
Qtd. Pneus				
4	1,350 < ee < 1,50	22	-	27,5
	1,5 < ee < 2,4	24	-	
	ee > 2,4			
8	1,350 < ee < 1,50	24	-	
	1,5 < ee < 2,4	24	-	
3 Eixos em Tandem				
Qtd. Pneus				
4	1,350 < ee < 1,50	28,5	-	36
	1,5 < ee < 2,4	30	-	
8	1,350 < ee < 1,50	34,5	-	-
	1,5 < ee < 2,4	36	-	-
4 ou mais Eixos em Tandem				
Qtd. Pneus		por eixo		
4	1,350 < ee < 1,50	9,3	-	-
	1,5 < ee < 2,4	10	-	-
	ee > 2,4			
8	1,350 < ee < 1,50	11,3	-	-
	1,5 < ee < 2,4	12	-	-
Guindaste até 10 eixos				
Qtd. Pneus				por eixo
2	Pneus Extra-largos	-	-	12

Considerando a carga por roda, a norma do DNIT permite valores até 66% maiores do que os permitidos pela resolução do Contran. Na configuração com 2 eixos direcionais, o limite estabelecido pelo Contran resulta em 3 toneladas por roda, enquanto a resolução do DNIT permite 5 toneladas por roda para guindastes.

Contudo, a resolução do DNIT aplica-se às cargas especiais, ou seja, acima de 74 toneladas. Logo, é de se esperar a definição de valores acima do regulamentado pelo Contran, pois em caso contrário, a normatização seria desnecessária.

2.2. DAS CARGAS NAS OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

Avaliar o impacto dos limites de peso na resiliência da infraestrutura de transporte exige compreender o efeito das cargas no pavimento, como também nas OAE. A negativa de autorização especial de trânsito para o transporte de uma determinada carga, em razão da limitação da capacidade de suporte de uma ponte, demandará a utilização de trajetos mais longos e, por conseguinte, aumento da emissão de gás carbônico.

Os limites de peso impactam também na durabilidade das estruturas e no consumo de recursos naturais. O excesso de peso provoca a degradação das estruturas e resultará, posteriormente, na necessidade de reparos e consumo de recursos naturais. A recuperação de elementos de concreto armado, por exemplo, envolve apicoamento

do concreto deteriorado, com consequente geração de resíduos sólidos, utilização de cimento Portland, resinas poliméricas, agregados e água.

Assim, para compreender o impacto dos limites de peso nas OAE, faz-se necessário compreender a evolução histórica do carregamento móvel de pontes de forma a comparar o nível de solicitação atual das cargas com aqueles previstos à época da concepção da estrutura. A própria evolução normativa é um indicativo da necessidade de conferir às estruturas novas uma condição de suporte mais adequada às características do tráfego atual.

Em relação às OAE, apesar da carga real ser idêntica à aplicada ao pavimento rodoviário, na elaboração do projeto de pontes, as premissas utilizadas são distintas, em especial, quanto ao princípio da sobreposição dos efeitos das cargas atuantes.

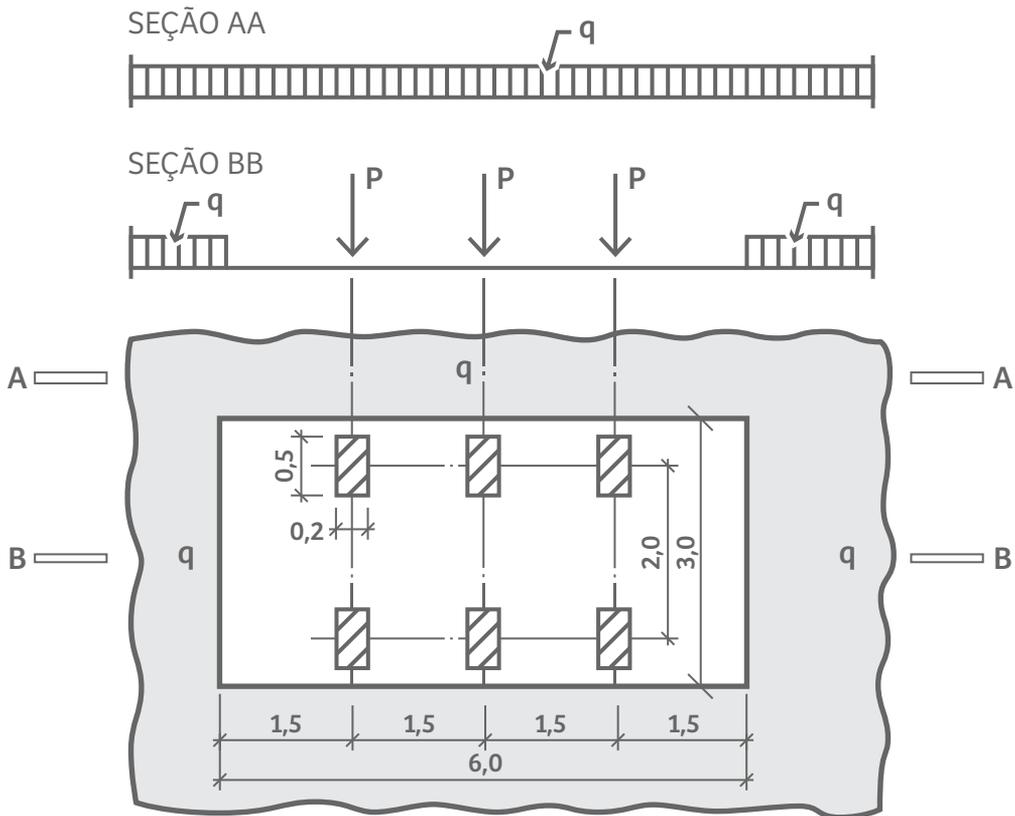
A idade da estrutura é um fator relevante, tanto em razão do tempo de serviço da estrutura, como também para identificar as regulamentações normativas à época. Assim, apresenta-se a evolução histórica do carregamento móvel para projetos de pontes de forma a situar as OAE existentes no Brasil em relação aos normativos técnicos então vigentes.

2.2.1. Evolução histórica do carregamento móvel de pontes

A carga móvel para fins de projetos de pontes e viadutos tem origem na NB-6/60, posteriormente substituída pela NBR 7188/84.

Esta última foi cancelada e substituída pela versão de 2013 com mesmo número. A disposição atual das cargas estáticas é apresentada na Figura 1.

FIGURA 1 | Cargas estáticas do Trem-tipo rodoviário Brasileiro - TB.



Fonte: Adaptado da NBR 7188:2013.

As cargas P , q e q' são provenientes, respectivamente, do trem-tipo, multidão e pedestres, e assumem valores diferentes em função do ano da norma e do tipo de classe da ponte. Percebe-se na evolução normati-

va um zelo em adotar premissas para aumentar a segurança dos projetos de pontes. Conforme se observa na Tabela 3, houve um aumento das cargas de projeto com a atualização das normas.

TABELA 3 | Evolução nas cargas de pontes em função das alterações normativas.

Classe da ponte	Veículo								
	Tipo			P - Carga Eixo (KN)*			Peso Total (KN)		
	Ano			Ano			Ano		
	1960	1984	2013	1960	1984	2013	1960	1984	2013
12	12	12	-	40/80	40/80		120	120	-
24	24	-	24	80	-	80	240	-	240
30	-	30	-	-	100		-	300	-
36	36	-	-	120	-		360	-	-
45	-	45	45	-	150	15	-	450	450

Classe da ponte	Carga uniformemente distribuída						Disposição da carga
	q (KN/m ²)			q' (KN/m ²)			
	Ano			Ano			
	1960	1984	2013	1960	1984	2013	
12	3	4	-	3	3	-	Carga q em toda pista
24	4	-	4	3	-	3	
30	-	5	-	-	3	-	
36	5	-	-	3	-	-	Carga q' nos passeios
45	-	5	5	-	3	3	

* Os veículos padrões são dotados de 3 eixos, com exceção do TB-12, o qual possui apenas 2 eixos.

Assim, a NB-6/60 contemplava três cargas móveis: TB-12, TB-24 e TB-36. A terminologia TB refere-se ao trem-tipo rodoviário Brasileiro e o número subsequente o peso total do veículo em toneladas. Na atualização seguinte de 1984,

o trem tipo de TB-24 foi substituído pelo TB-30, e o TB-36 pelo TB-45. Na norma mais recente, de 2013, apenas manteve-se o TB-24 para pontes em estradas vicinais municipais, prevalecendo o TB-45 para os demais casos.

3. METODOLOGIA

Para avaliar o impacto do limite de peso na resiliência da infraestrutura de transportes, analisaram-se inicialmente os efeitos deletérios das cargas dos veículos em relação ao pavimento rodoviário. Tendo como diretriz a seguinte indagação: do ponto de vista dos critérios adotados para o dimensionamento dos pavimentos rodoviários, esses limites são adequados?

Na continuidade do trabalho, a análise é estendida para as Obras de Arte Especiais avaliando se os dispositivos normativos retrocitados estabeleceram premissas para assegurar a resiliência das estruturas. Ou seja, ao estabelecer os limites de peso dos veículos, o ente normativo incluiu dispositivo considerando as peculiaridades das estruturas?

4. RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISES

Para avaliar o impacto dos limites de peso nos pavimentos rodoviários, faz-se necessário analisar a forma como o tráfego é considerado no momento do dimensionamento do pavimento, ou seja, na obtenção do Número N.

Em relação às Obras de Arte Especiais, considerando a inexistência de critérios adicionais e as características dessas estruturas, abordam-se os atuais contextos em relação à evolução do tráfego e condições das pontes, de forma a evidenciar a importância de inclusão desses critérios, a exemplo da fórmula Bridge Americana (FHWA, 2019).

4.1. REFLEXO DOS LIMITES DE PESO PARA PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

Em 1961, a legislação brasileira já estabelecia limites de peso máximo de veículos conforme decreto nº 50.903, de 3 de julho de

1961, o qual definiu o limite de peso por eixo e a necessidade de autorização especial para tráfego excepcional de cargas acima dos valores estipulados.

Atualmente, a resolução DNIT nº 01/2020 regulamenta o trânsito de cargas acima de 74 toneladas, fundamentando-se nas resoluções nº 210 e nº 211 do CONTRAN, as quais, não se aplicam às cargas especiais.

Percebe-se em diversos documentos técnicos do DNIT a influência da escola norte-americana de transportes, conforme se observa, por exemplo, no método de Murillo de Souza de dimensionamento de pavimento onde se utiliza o eixo padrão de 18.000 lb (8,2 tf) (SOUZA, 1981). Esse valor tem origem nos idos de 1913 na Pensilvânia/Estados Unidos, quando o estado americano adotou o valor para limite de carga por eixo. Posteriormente, este valor passou

a ser amplamente adotado em dimensionamento de pavimentos. (TRB, 225)

Um pavimento rodoviário é submetido a cargas de configurações, frequências e intensidades variadas, em função do tipo de eixo do caminhão, peso bruto total e tráfego da via. Assim, para permitir uma análise desses diversos carregamentos, definiu-se como padrão um eixo simples de rodas duplas de 8,2 tf na AASHTO Road Test em 1975. (BALBO, 2007)

Após estabelecer o Eixo simples de rodas duplas - ESRD com carga de 8,2 tf como eixo padrão, passou-se a utilizar no dimensionamento de pavimentos o conceito de Fator de equivalência de carga - FC. Dessa forma, o dano causado ao pavimento por um dado carregamento é convertido em quantidades de passagens do eixo padrão necessárias para produzir o mesmo dano. Por exemplo, a passagem de um eixo simples de rodas duplas com 12 tf de carga, utilizando a metodologia da AASHTO, produz o dano equivalente à 5,26 passagens do eixo padrão.

A formulação para obter o fator de equivalência de carga depende do modelo de ruptura adotado. Existem diversas metodologias para obtenção da correlação entre o dano provocado pelas diversas configurações de carga. A obtenção de equações de regressão com base em pistas de testes foi a metodologia utilizada pela AASHTO. (HUANG, 2004)

A relação entre a carga e o dano ao pavimento obedece a uma lei de quarta potência, logo, incrementos na carga resultam

em elevado dano ao pavimento. Um eixo tandem duplo, por exemplo, trafegando com 33 toneladas, 50% a mais do que o limite regulamentar, resulta, pela metodologia da AASHTO, em um fator de equivalência de carga de 25,80, ou seja, produz um dano mais do que cinco vezes o considerado no dimensionamento do projeto.

No dimensionamento a configuração de eixo de um determinado veículo é convertida em um fator veículo obtida pela soma dos fatores de equivalência de carga para cada um dos eixos conforme eq. 3.1

$$3.1 \quad FV_i = \sum_{j=1}^m FC_j$$

onde j é tipo de eixo, variando de 1 a m ; m é o número de eixos do veículo e FC_j é o fator de equivalência de carga correspondentes ao eixo j do veículo i .

Após a contagem volumétrica do tráfego de uma determinada rodovia e a conversão dos respectivos eixos dos veículos em correspondentes eixos-padrões, obtém-se o número N , o qual representa a quantidade de eixos-padrões esperados para o horizonte de projeto do pavimento. Considerando o crescimento geométrico do tráfego, o número N pode ser obtido por meio da eq. (3.2).

$$3.2 \quad N = 365 VDM \frac{(1 + P \cdot t)^2 - 1}{2t} Fv \cdot Ff \cdot Fs \cdot Fd$$

onde VDM é o volume diário médio ao longo de um ano, Fv é o fator veículo, Ff

é o fator frota representando a porcentagem de veículos comerciais, F_s o fator sentido e F_d fator de distribuição da frota por faixa.

Assim, valores maiores para o número N indica uma maior exigência do pavimento, seja pelo tráfego mais numeroso ou pela passagem de veículos com cargas mais elevadas, exigindo assim um pavimento mais robusto. O número N é utilizado para dimensionar a espessura das camadas do pa-

vimento, sendo, em alguns casos, na ordem de centena de milhões (10^8).

Para os estudos de tráfego para projetos de rodovias federais brasileiras, conforme manual de elaboração de estudos e projetos rodoviários do DNIT (DNIT, 2006), o cálculo do número N deve ser realizado pelas metodologias da AASHTO e USACE, sendo expressas pelas equações apresentadas na Tabela 4.

TABELA 4 | Fator de Equivalência de carga pelas metodologias da AASHTO e USACE.

Equações (P peso bruto total sobre o eixo em tf)		
Tipos de eixo	AASHTO	USACE
ESRS	$FC = \left(\frac{P}{7,77}\right)^{4,32}$	$FC = (2,0782 \cdot 10^{-4})P^{4,0175}$, $P < 8$ tf
		$FC = (1,8320 \cdot 10^{-6})P^{6,2542}$, $P \geq 8$ tf
ESRD	$FC = \left(\frac{P}{8,17}\right)^{4,32}$	-
		-
ETD	$FC = \left(\frac{P}{15,08}\right)^{4,14}$	$FC = (1,5920 \cdot 10^{-4})P^{3,472}$, $P < 11$ tf
		$FC = (1,5280 \cdot 10^{-6})P^{5,484}$, $P \geq 11$ tf
ETT	$FC = \left(\frac{P}{22,95}\right)^{4,22}$	$FC = (8,0359 \cdot 10^{-5})P^{3,3549}$, $P < 18$ tf
		$FC = (1,3229 \cdot 10^{-7})P^{5,5789}$, $P \geq 18$ tf

Fonte: Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006).

Assim, comparando-se o dano causado pelos diversos limites de peso estabelecidos na resolução DNIT nº 01/2020, observa-se um

fator de equivalência de carga variando entre 0,85 e 5,26. Conforme se observa na Tabela 5 utilizando a metodologia da AASHTO.

TABELA 5 | Fator de Equivalência de carga para os limites da resolução DNIT nº 01/2020, pela metodologia da AASHTO.

Equações (P peso bruto total sobre o eixo em tf)			
Tipos de eixo	AASHTO	P (tf)	FC
ESRS	$FC = \left(\frac{P}{7,77}\right)^{4,32}$	7,5	0,8583
ESRD	$FC = \left(\frac{P}{8,17}\right)^{4,32}$	12	5,2633
ETD	$FC = \left(\frac{P}{15,08}\right)^{4,14}$	22	4,7758
ETT	$FC = \left(\frac{P}{22,95}\right)^{4,22}$	28,5	2,4942

Fonte: Calculado pelo autor.

À medida que se aumenta a quantidade de eixos do veículo, há uma maior distribuição da carga no pavimento, resultando em menores esforços de tração na base do revestimento e, por conseguinte, menor degradação.

Assim, enquanto o limite de peso para cada um dos eixos de um tandem triplo é de 9,5 toneladas, para veículos com quatro ou mais eixos tandem, a carga será de 9,3 toneladas por eixo, assegurando um menor dano ao pavimento, pois, pelo distanciamento dos eixos, não se verifica sobreposição sig-

nificativa de tensões entre os pneumáticos. Utilizando-se o fator de equivalente de carga do *Asphalt Institute* é possível comparar o dano provocado pelos limites de peso para os eixos ESRD, ETD e ETT. Esses valores são apresentados na Tabela 6, obedecendo-se os limites de peso estabelecidos na norma do DNIT para os respectivos eixos.

Assim, os limites estabelecidos asseguram um dano ao pavimento no máximo equivalente à passagem de 3,22 a 4,86 eixos padrões. Neste intervalo, o menor valor o correspondente ao Eixo Tandem Triplo com 28,5 tf.

TABELA 6 | Fator de Equivalência de carga para os limites da resolução DNIT n 01/2020, pela metodologia da *Asphalt Institute*.

Carregamento no eixo (tf)	Fator de Equivalente de Roda		
	ESRD	ETD	ETT
7,5	0,7700	0,0587	0,0135
12,0	4,71*	0,426	0,093
15,1	11,18	1,095	0,246
22,00	48,54	4,51*	1,12
24,0	-	6,47	1,66
28,5	-	12,22	3,22*

Fonte: HUANG, 2004.

* Limites de peso por eixo estabelecido pela norma do DNIT.

Portanto, o volume de tráfego e o peso por eixo são fatores relevantes para a manutenção das premissas de projeto e assegurar a durabilidade do pavimento pelo tempo previsto em projeto. Um pavimento rodoviário é dimensionado para suportar a uma quantidade total de passagens do eixo padrão, o denominado número N.

Utilizando uma metáfora, o número N é como o saldo bancário. Quanto mais robusto o pavimento previsto em projeto, maior o saldo em conta, mais saques são suportados. Quando o saldo zera, o pavimento entra em colapso, fissura. Cada passagem de um eixo padrão é um saque na conta equivalente a uma unidade monetária. A passagem de um eixo tandem duplo de 22,00tf retira 4,51 unidades.

A precisão da taxa de crescimento do tráfego pode ser avaliada por meio de uma contagem de tráfego posterior, confirman-

do, ou não, o valor estimado em projeto com o aumento real do tráfego. No que diz respeito ao peso por eixo, equipamentos de pesagem são necessários.

Logo, do ponto de vista do pavimento, os limites de peso por eixo é medida suficiente para assegurar a durabilidade do revestimento pelo tempo de vida do projeto. No entanto, as premissas expostas acima não são válidas para as Obras de Arte Especiais, pois nestas estruturas, diferente do pavimento, não se pode considerar o efeito isolado das cargas por eixo.

4.2. A RESILIÊNCIA DAS OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

Nas resoluções do Contran e DNIT não está explicitamente definido procedimento para avaliar a viabilidade de trânsito de uma determinada carga em função de aspectos es-

pecíficos das Obras de Arte Especiais. Em alguns casos, a depender do valor da carga, exige-se estudo de viabilidade estrutural, contudo, também não se regulamenta a forma como este será avaliado.

Enquanto no pavimento, o efeito da passagem de um eixo Tandem triplo de 25,5 tf é menos danoso do que o de um eixo Tandem duplo de 22 tf, nas OAEs situação inversa acontece, pois nas estruturas prevalece a superposição dos efeitos das cargas. Assim, apesar de haver a distribuição da carga de 25,5 tf, a estrutura será submetida à totalidade da carga.

A evolução normativa é resultado da necessidade de aperfeiçoar a capacidade de suporte dos projetos das OAE. Enquanto entre 1960 e 1984, o trem-tipo máximo era de 36 tf, após essa data, passou-se a utilizar o trem-tipo de 45 tf, esse aumento de 25% na carga móvel é uma clara sinalização da insuficiência das premissas anteriores em garantir as condições de segurança frente às cargas atuais.

Considerando os dados apresentados por Mendes (2009), estima-se a existência de 70% das OAE no Brasil com mais de 40 anos de existência. Logo, parte expressiva das pontes foi dimensionada considerando a NB-6/60, onde o trem-tipo máximo à época era de 36 tf.

O estudo realizado por Luchi (2006), o qual serviu de referência para a NBR 7188:2013, simulou passagens de veículos e congestionamento em OAE concluindo pela compatibilidade do Trem-tipo brasileiro de 45tf com o trem-tipo utilizado na *Eurocode*.

O citado autor realizou verificações no Estado Limite Último utilizando dados estatísticos de pesagens sendo os veículos dotados de Peso Bruto Total de até 74 tf, ou seja, para veículos regulamentados pela Resolução Contran nº 211/2006.

Apesar da elevação do valor das cargas para fins de concepção de projeto em razão da atualização normativa, nem todas as obras de arte especiais foram reforçadas para o trem-tipo de 45 tf em razão do elevado custo necessário para isso.

Para fins de ordem de grandeza, tomando por base o orçamento de recuperação e reforço de 11 pontes na BR-222 no Pará (edital 278/2008, disponível no site do DNIT), tem-se um preço médio de 1 milhão e 200 mil reais por ponte. Se estimarmos uma necessidade de reforço e reabilitação de 900 estruturas, 50% das pontes com nota abaixo de 3, tem-se uma demanda de um investimento superior a 1 bilhão de reais.

O custo ambiental também é elevado. Com base na média dos quantitativos do edital supracitado, estima-se, para a recuperação e reforço de 900 pontes, uma geração de 31 mil e 300 m³ de resíduos sólidos apenas provenientes da demolição do concreto. Esse volume de resíduos de construção civil é suficiente para encher um prédio de 17 andares com 6 unidades de 100m² por andar. Para reforço das estruturas, o orçamento prevê a produção de 215 mil m³ de concreto, aproximadamente 7 prédios de 17 andares com características idênticas.

Assim, no aspecto da resiliência da infraestrutura de transportes, objetivando o

prolongamento da vida útil das estruturas, é necessário incluir dispositivos para limitar o efeito das cargas nas estruturas considerando o Estado Limite Último de Fadiga. A característica de carregamentos cíclicos das OAE torna relevante a ne-

cessidade de estabelecer mecanismos para minimizar a ruptura por fadiga, considerando ainda os efeitos deletérios das cargas especiais no que diz respeito à abertura de fissuras e, por conseguinte, os efeitos de corrosão de armadura.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modal rodoviário ocupa um lugar de destaque no transporte de carga brasileiro. Apesar dos investimentos no sentido de diversificar a matriz de transporte, atualmente, as rodovias continuam sendo o principal meio de escoamento de bens e quaisquer obstáculos a este transporte resultam em elevados prejuízos econômicos à nação, tanto no âmbito público quanto privado.

Apesar do transporte de cargas de elevada magnitude resultarem em menores custos de transportes, o dano ao pavimento e às OAE podem ser elevadíssimos, em especial considerando a lei de quarta potência entre a carga e o dano no pavimento. Logo, é imprescindível a regulamentação do limite de peso para assegurar a resiliência da infraestrutura.

Nas rodovias federais, as resoluções do DNIT e do Contran limitam o peso por eixo e as dimensões dos veículos. Entretanto, recomenda-se a inclusão de critérios adicionais para garantir a integridade das OAE.

Para fins de projeto, a evolução normativa referente ao carregamento móvel para

pontes evidencia um aumento da severidade das cargas de trem-tipo, multidão e pedestres; além do aumento do coeficiente de impacto. Tais pontos denotam uma clara preocupação dos normativos técnicos de ampliar as condições estruturais das futuras OAE.

A limitação de peso máximo por eixo é um procedimento adequado para prolongar a vida útil do pavimento, em razão da inexistência de sobreposição de tensões. Contudo, esse critério não garante a durabilidade e segurança das OAE, sendo necessários critérios adicionais, especialmente quando da passagem de cargas acima de 74 toneladas.

A *Bridge Formula* é um exemplo de dispositivo normativo estabelecido pela *Federal Highway Administration* -FHWA para limitar o esforço solicitante na ponte e, com isso, prolongar a vida útil da estrutura, vincula-se o peso permitido com o número e espaçamento entre os eixos. (FHWA, 2019)

Ademais, o tempo de vida útil das estruturas pode ser modificado em razão de

alterações dos constituintes do cimento. O exemplo disso tem-se a proposta de resolução do CONAMA para coprocessamento de resíduos para produção de clínquer, o qual, conforme estudos indicam, resulta na incorporação de cloretos no produto final. A presença de cloretos no concreto é responsável pela despassivação da armadura, acelerando a corrosão e deslocamento do concreto. (CONAMA, 2020; ROCHA, 2011)

Assim, as OAE podem assumir o papel de elo frágil da infraestrutura de transportes nos anos vindouros caso não sejam adotadas as providências necessárias. A definição de critérios para limitar a degradação das pontes, além de assegurar a resiliência da infraestrutura de transportes para as próximas décadas, possibilita a diluição do investimento necessário para reforço das pontes existentes, o qual pode superar 1 bilhão de reais.

REFERÊNCIAS

- 1 Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NB-6: Cargas móveis em pontes rodoviárias**. Rio de Janeiro, 1960.
- 2 Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR7188: Carga móvel em ponte rodoviária e Passarela de Pedestres**. Rio de Janeiro, 1984.
- 3 Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR7188: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas**. Rio de Janeiro, 2013.
- 4 Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- 5 BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 343, 2007.
- 6 BRASIL. Lei n. 9.503, de 23 de setembro de 1997. **Institui o Código de Trânsito Brasileiro**. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9503Compilado.htm >. Acesso em 01/07/2020.
- 7 BRASIL. Lei n. 50.903, de 3 de julho de 1961. **Dispõe sobre o peso máximo permissível dos veículos para o tráfego nas vias públicas**. Disponível em: < <http://legis.senado.leg.br/norma/473470/publicacao/15771612> >. Acesso em 06/07/2020.
- 8 CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Anuário CNT do transporte: estatísticas consolidadas 2019**. Disponível em: <<https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2019/>>. Acesso em 30/05/2020.
- 9 CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Proposta de resolução: Disciplina o licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de coprocessamento de resíduos**. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/processo.cfm?processo=02000.002783/2020-43>>. Acesso em 11/09/2020.

- 10 CONTRAN. Conselho Nacional de Trânsito. **RESOLUÇÃO Nº 210, DE 13 DE NOVEMBRO DE 2006**. Estabelece os limites de peso e dimensões de veículos que transitem por vias terrestres e dá outras providências. Disponível em: < https://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviarias/sistema-de-gestao-de-autorizacao-especial-de-transito-siaet/copy_of_RESOLUCAO2102006CONTRANCONSOLIDADA.pdf >. Acesso em 02/06/2020.
- 11 CONTRAN. Conselho Nacional de Trânsito. **RESOLUÇÃO Nº 210, DE 13 DE NOVEMBRO DE 2006**. Estabelece os limites de peso e dimensões de veículos que transitem por vias terrestres e dá outras providências. Disponível em: < https://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviarias/sistema-de-gestao-de-autorizacao-especial-de-transito-siaet/copy_of_RESOLUCAO2102006CONTRANCONSOLIDADA.pdf >. Acesso em 02/06/2020.
- 12 CONTRAN. Conselho Nacional de Trânsito. **RESOLUÇÃO Nº 211, DE 13 DE NOVEMBRO DE 2006**. Requisitos necessários à circulação de Combinações de Veículos de Carga – CVC, a que se referem os arts. 97, 99 e 314 do Código de Trânsito Brasileiro – CTB. Disponível em: < <https://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviarias/sistema-de-gestao-de-autorizacao-especial-de-transito-siaet/RESOLUCAO2112006CONTRANCONSOLIDADA.pdf> >. Acesso em 02/06/2020.
- 13 DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **RESOLUÇÃO Nº 1, DE 6 DE JANEIRO DE 2020**. Regulamenta o uso de rodovias federais por veículos ou combinações de veículos e equipamentos, destinados ao transporte de cargas indivisíveis e excedentes em peso ou dimensões ao limite estabelecido nas legislações vigentes, para o conjunto de veículo e carga transportada, assim como por veículos especiais, fundamentado nos art. 21 e 101 da Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997, conhecido como Código de Trânsito Brasileiro - CTB e dá outras providências. Disponível em: < <http://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-1-de-6-de-janeiro-de-2020-237206893> >. Acesso em 30/05/2020.
- 14 DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Pontes e viadutos das rodovias federais estão em boas condições**. Brasília, 2015. Disponível em: < <https://189.9.128.64/noticias/pontes-e-viadutos-das-rodovias-federais-estao-em-boas-condicoes> >. Acesso em 03/06/2020.
- 15 DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários - Instruções para acompanhamento e análise**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: < <https://189.9.128.64/noticias/pontes-e-viadutos-das-rodovias-federais-estao-em-boas-condicoes> >. Acesso em 07/07/2020.
- 16 DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Estudos de Tráfego**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: < <https://189.9.128.64/noticias/pontes-e-viadutos-das-rodovias-federais-estao-em-boas-condicoes> >. Acesso em 07/07/2020.
- 17 DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Norma DNIT nº 010/2004 – PRO. Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - procedimento**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/procedimento-pro/procedimento-pro>>. Acesso em 03/07/2020.

- 18 EEA. European Environment Agency. **Adaptation of transport to climate change in Europe – Challenges and options across transport modes and stakeholders**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014. Disponível em: < <https://www.eea.europa.eu/publications/adaptation-of-transport-to-climate> >. Acesso em 02/06/2020.
- 19 FEITOSA, A. B. **Excesso de confiança, otimismo e ancoragem em gestores da construção civil no Brasil: estudo de caso da Camargo Correa**. ISCTE Business School. Lisboa, 2010. (Dissertação de Mestrado). Disponível em: < <https://repositorio.iscte-iul.pt/handle/10071/3777> >. Acesso em 01/06/2020.
- 20 FHWA. Federal Highway Administration. **Bridge Formula Weights**. New Jersey, 2019. Disponível em: < <https://ops.fhwa.dot.gov/freight/sw/index.htm> >.
- 21 GOULART, V. D. G.; CAMPOS, A. de. **Logística de transporte: gestão estratégica no transporte de cargas**. São Paulo: Érica, 2018.
- 22 HUANG, Y. H. **Paviment analysis and design**. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2004.
- 23 ITAIPU. ITAIPU BINACIONAL. **Unidades geradoras**. [S.L.], [2007?]. Disponível em: < <https://www.itaipu.gov.br/energia/unidades-geradoras> >. Acesso em 01/06/2020.
- 24 LUCHI, L. A. R. e. **Reavaliação do trem-tipo à luz das cargas reais nas rodovias brasileiras**. 2006. 257 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- 25 MANHÃ, CORREIO DA. **Ponte de 500 m**. Rio de Janeiro, 04 de dezembro 1966, v. 22597. Disponível em: < http://memoria.bn.br/DocReader/Hotpage/HotpageBN.aspx?bib=089842_07&pagfis=77007 >. Acesso em 02/06/2020.
- 26 MENDES, P. T. C. **Contribuições para um modelo de gestão de pontes de concreto aplicado à rede de rodovias brasileiras**. 2009. 234 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- 27 ROCHA, S. D. F., LINS, V. de F. C., SANTO, B. C. do E. **Aspectos do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer**. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v.16, n. 1, p. 1-10, Mar. 2011. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522011000100003&lng=en&nrm=iso >. Acesso em 11/09/2020.
- 28 SOUZA, M. L. de. **Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis**. 3. Ed. Ver. E atual. Rio de Janeiro, IPR, 1981 (IPR. Publ. 667). Disponível em: < <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/publicacoes> >. Acesso em 03/07/2020.
- 29 TRB. Transportation Research Board. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. **Truck Weight Limits: Issues and Options – Special Report 225**. Washington, DC: The National Academies Press, 1990. Disponível em: < <https://doi.org/10.17226/11349> >. Acesso em 02/06/2020.



ELABORAÇÃO DE BANCO DE DADOS COM FINS DE MODELAGEM GEOTÉCNICA PARA PAVIMENTAÇÃO DE RODOVIAS NO ESTADO DO CEARÁ

RESUMO

A existência de um banco de dados geotécnico para obras rodoviárias, consolidado para determinada região, pode ser uma ferramenta sustentável, de modo a reduzir os custos e acelerar a elaboração e a viabilidade de projetos de pavimentação. Logo, o objetivo deste trabalho é propor a construção de um banco de dados geotécnico para o estado do Ceará com fins de pavimentação. Para tanto, foi realizado um levantamento de dados em projetos viários no Ceará contratados pelo Departamento de Estradas de Rodagem - DER e Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. O banco de dados compõe um total de 1790 amostras, contemplando informações referentes a subleito, empréstimos e jazidas de solos. Com isso, é possível construir diversos modelos e análises para os mais variados usos na engenharia rodoviária. Neste trabalho, desenvolveram-se dois modelos do tipo linear geral - MLG da variação do *California Bearing Ratio* - CBR por classe da *American Association of State Highway and Transportation Officials* - AASHTO para as energias Normal e Intermediária do Proctor. A partir do modelo estatístico gerado é possível inferir, utilizando a classificação da AASHTO, o valor típico e uma faixa de valores para o CBR com confiança de 95%.

Palavras-chave: Infraestrutura Sustentável; Modelagem Geotécnica; Pavimentação; Solos.

Wana Maria de Souza Engenheira Ambiental pelo Instituto Federal do Ceará e mestranda em Desenvolvimento Regional Sustentável pela Universidade Federal do Cariri.

Antonio Júnior Alves Ribeiro Doutor em Engenharia de Transportes pela Universidade Federal do Ceará e Professor Associado do Instituto Federal do Ceará – Campus Juazeiro do Norte.

1. INTRODUÇÃO

A obtenção de parâmetros geotécnicos necessários à pavimentação pode ser um processo caro, principalmente pela necessidade de realização de trabalhos de prospecção em campo e testes de laboratório, além do tempo necessário para essas atividades (GUILHERME, 2016; TENPE & PATEL 2018; SOUZA *et al.*, 2020).

Este problema pode ser atenuado através da organização das informações em uma base de dados. Verifica-se, cada vez mais, o avanço da tecnologia de armazenamento de dados e o aumento da troca de informações absolutamente digitais entre organizações e pessoas (FILHO, 2015).

Segundo Ribeiro (2016), os dados provenientes de estudos geotécnicos voltados à pavimentação são geralmente armazenados em relatórios internos dos órgãos rodoviários. Tais informações são de suma importância, pois estas podem compor um banco de dados geotécnico, proporcionando o reconhecimento prévio dos solos de uma dada área, bem como subsidiar a predição de parâmetros complexos através de análises mais simples, e assim auxiliar os projetos rodoviários em determinadas regiões de interesse.

A criação de um banco de dados com informações geotécnicas dos solos é uma ferramenta sustentável e muito útil em projetos de infraestrutura rodoviária, além de facilitar a modelagem de parâmetros de interesse, acarreta economia de tempo e de recursos financeiros, pois evita o retraba-

lho e atenuam os impactos ambientais, isso somado a facilidade no que diz respeito à avaliação do meio físico (solo) nos aspectos de utilização de material na construção de pavimentos rodoviários e da exploração de jazidas e de caixas de empréstimo, facilitando até, inclusive, a proposta da recuperação de áreas degradadas.

De acordo com Parvini (2002), os modelos preditivos podem ser utilizados no planejamento, construção, manutenção e até mesmo na avaliação de pavimentos. Ribeiro *et al.* (2018) corroboram com tal afirmação, e argumentam que o desenvolvimento de modelos de predição geotécnica pode contribuir para o planejamento da construção rodoviária, ao disponibilizar informações e parâmetros sobre as características geotécnicas dos solos de uma determinada área.

Diversas pesquisas demonstram sucesso nas estimativas de parâmetros geotécnicos, através da utilização de bancos de dados de determinados locais, bem como através do uso de inúmeras ferramentas de modelagem, tendo como variáveis de entrada diversas propriedades de índice de solo e / ou testes *in-situ* ou de laboratório. Tais estimativas foram relacionadas às características mecânicas de solos de determinados locais, conforme mostram Zeghal & Khogali (2005), Ferreira (2008), Park *et al.* (2009), Gunaydin *et al.* (2010), Johari *et al.* (2011), Nazzal & Tattari (2013), Zhang & Yu (2016), e textu-

ral, como mostram os trabalhos de Pavini (2002), Mollahasani *et al.* (2010).

Portanto busca-se a elaboração de um banco de dados do estado do Ceará com fins de modelagem geotécnica voltada à pavimentação de rodovias, e a partir disso desenvolver um modelo linear geral para classificar o CBR (Energia Normal e Intermediária)

através da classificação AASHTO. Busca-se, desse modo, auxiliar na modelagem de parâmetros geotécnicos mais complexos através de ensaios básicos, e, por conseguinte, no processo da tomada de decisão quanto à utilização de materiais em projetos rodoviários, diminuindo os custos, os impactos ambientais, bem como a demanda de tempo.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. PROBLEMATIZAÇÃO

Sabe-se que a aquisição de informações e parâmetros geotécnicos inerentes à pavimentação são obtidos através de sondagens, bem como de ensaios de laboratório que demandam recursos financeiros e tempo em decorrência da coleta e da análise. A disponibilidade de tais informações pode ajudar a reduzir custos inerentes a sua obtenção bem como aumentar a qualidade na elaboração e execução dos projetos rodoviários, conforme destaca Ribeiro (2013).

Na área rodoviária, o conhecimento das características do subleito, das jazidas e de empréstimos de solos são condicionantes que influenciam diretamente no projeto e nos custos de qualquer obra. Esse fato leva os projetistas a buscarem, preferencialmente, explorar os materiais que estiverem localizados o mais próximo possível da obra a que estes se destinam (RIBEIRO *et al.*, 2012).

Os resultados oriundos dos ensaios e sondagens ficam geralmente armazenados em relatórios internos dos órgãos rodoviários e empresas de geotecnia. De acordo com Ribeiro *et al.* (2015) e Guilherme *et al.* (2016), considera-se que tais informações são de suma importância e que se fossem reunidas e organizadas poderiam compor um banco de dados geotécnico que conferisse a realidade dos tipos de materiais ocorrentes em uma dada região.

Um banco de dados geotécnico proporciona, portanto, uma série de ganhos operacionais aos órgãos rodoviários e/ou empresas de geotecnia, a exemplo da economia de recursos financeiros, do planejamento mais assertivo e ágil, da redução do retrabalho e da mitigação dos possíveis impactos ambientais, caracterizando-se como uma ferramenta útil no que diz respeito à infraestrutura sustentável.

Diante do exposto, questiona-se: qual a importância da elaboração dos bancos de dados aplicáveis à pavimentação ro-

doviária no estado do Ceará e na construção de modelos de predição de parâmetros geotécnicos?

Neste contexto, objetiva-se com este trabalho, propor a elaboração de um banco de dados geotécnico, que contemple os parâmetros voltados à pavimentação, com o intuito de facilitar o armazenamento dessas informações, a visualização, a consulta, bem como a realização da modelagem dos solos do Ceará, e secundariamente desenvolver dois modelos do tipo linear geral, MLG, da variação do CBR por classe AASHTO, para as energias Normal e Intermediária do Proctor.

2.2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLOGIA

O crescimento das cidades brasileiras tem exigido uma grande expansão da malha viária, tornando-se indispensável o conhecimento dos materiais com potencial emprego nas obras de infraestrutura e principalmente no âmbito da pavimentação (RIBEIRO *et al.*, 2012). Diante dessas novas demandas, os dados e informações de solos disponíveis precisam ser organizados em bancos de dados, a fim de facilitar sua manipulação e uso, servindo inclusive para a tomada de decisão em relação à necessidade de novas amostragens (TEN CATEN *et al.*, 2011).

Para Guilherme (2016), tanto o dimensionamento empírico quanto o empírico-mecânico de pavimentos requerem informações acerca do comportamento dos solos que serão aplicados em suas cama-

das. Na engenharia rodoviária é comum a adoção de um sistema de classificação de solos para prever suas propriedades.

A classificação geralmente utilizada no reconhecimento de solos voltados a construção de pavimentos rodoviários no Brasil e no mundo é a AASHTO. Esta é obtida através da análise granulométrica por peneiramento, bem como a determinação dos limites de liquidez e de plasticidade. De modo geral, nesta classificação, os solos são divididos em materiais granulares (% passante na peneira n° 200 \leq 35%) e materiais silto-argilosos (% passante na peneira n° 200 $>$ 35%).

No que diz respeito ao dimensionamento empírico, cita-se o CBR, que é definido como a relação entre a pressão necessária para produzir a penetração de um pistão num corpo-de-prova de solo ou material granular e a pressão necessária para produzir a mesma penetração no material padrão referencial (BERNUCCI *et. al.*, 2006). Tem-se ainda o Módulo de Resiliência - MR que é o parâmetro mais importante para o desenvolvimento do método de dimensionamento mecânico-empírico em curso no Brasil, mesmo enfrentando grandes desafios no que diz respeito à realização de ensaios.

De modo a obter a classificação AASHTO, bem como os valores de CBR e MR se faz necessário à realização de sondagens e ensaios de laboratório, que têm custos econômicos bastante elevados. Suas determinações em laboratório requerem alto investimento financeiro,

treinamento especial, bem como demanda de tempo e um número de amostras considerável para obter resultados confiáveis (Rahim & George, 2005; Williams & Nazarian, 2007; Park *et al.*, 2009; Nazzal & Tatari, 2013).

Logo, utilizam-se informações oriundas de ensaios básicos, como por exemplo, a granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade e compactação, com o intuito de estimar parâmetros de obtenção mais complexa, em sua maioria, onerosa e que requerem equipamentos sofisticados para sua realização, conforme descrevem os trabalhos de Taskiran (2010), Yildirim & Gunaydin (2011), Alawi & Rajab (2013) e Nguyen & Mohajerani (2017).

Barroso (2002) consolidou um banco de dados através da caracterização de 60 amostras de solos da Região Metropolitana de Fortaleza. Tais amostras foram georreferenciadas com o auxílio do *Global Positioning System - GPS*, possibilitando possíveis usos desses dados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas - SIG. Viana (2006), através de um banco de dados de 70 amostras de solos tropicais do interior de estado de São Paulo e de técnicas de modelagem, utilizou variáveis inerentes a composição granulométrica, LL, IP, umidade ótima e de compressão simples para a predição do Módulo de Resiliência - MR.

Ferreira (2008) utilizou um banco de dados geotécnico oriundo do laboratório de pavimentação da COPPE-UFRJ para a

predição do Módulo de Resiliência de solos estabilizados e britas, a partir de análises simples e das técnicas de *Data Mining* e redes neurais artificiais. Guilherme (2016), baseado em projetos geotécnicos do Rio Grande do Norte realizou a predição da classificação AASHTO e do CBR a partir de variáveis biofísicas, geomorfométricas, de localização e de técnicas de modelagem como Regressão Múltipla e Redes Neurais Artificiais - RNA. Souza *et al.* (2020), elaboraram um banco de dados de amostras de solos oriundos do Ceará e realizou a predição de modelos de Classificação AASHTO e CBR, utilizando a classificação tátil-visual como variáveis predictoras e RNA como técnica de modelagem.

No que concerne à metodologia, para a realização deste trabalho, foi estruturado um banco de dados geotécnico composto de amostras oriundas da investigação do subleito, das áreas de empréstimos e jazidas, com base em informações de projetos rodoviários no Ceará, de competência do Departamento de Estradas de Rodagem do Ceará - DER/CE e do DNIT.

Para a construção da referida base de dados buscou-se parâmetros considerados importantes para o proposto fim, sendo esta constituída de 17 variáveis e um total de 1790 amostras. A Tabela 1 apresenta os parâmetros geotécnicos e suas respectivas variáveis julgadas importantes à pavimentação.

Tais dados foram obtidos através de procedimentos normatizados no Brasil, tais como: análise granulométrica de solos

granulometria (NBR-7181/1984), compactação (NBR 7182/2016), limite de plasticidade (NBR-7180/2016), limite de liquidez (NBR-6459/2016), CBR e expansão (NBR-9895/2016), classificação da AASHTO, classificação tátil-visual (ASTM D2488).

Sabe-se que na área de pavimentação é comum se relacionar os resultados dos ensaios geotécnicos com a Classificação AASHTO de solos. Logo, criou-se um mo-

delo linear geral para uma variável única, com valores extremos para cada valor típico e um intervalo de confiança de 95%, sendo possível classificar o CBR na energia normal e intermediária em valores para cada classe de solo destacada na AASHTO. O banco de dados foi estruturado utilizando o programa *Microsoft Excel*; já o modelo de regressão geral utilizado foi gerado através do *software IBM SPSS*.

TABELA 1 | Parâmetros geotécnicos e suas respectivas variáveis que compõem a base de dados.

Parâmetros	Variáveis
Granulometria	Percentual passante nas peneiras de 50mm, 25,4mm, 9,5 mm, 4,76mm, 2mm, 0,42 mm e 0,074mm
Limites de Consistência	Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP)
Classificação tátil-visual	Frações granulométricas e cor
Classificação dos Solos	AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) e SUCS (Sistema Unificado de Classificação dos Solos)
Compactação	Energia (Normal e Intermediária), umidade ótima e massa específica seca máxima
CBR (California Bearing Ratio)	Expansão e CBR (%)

2.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Explorando-se o banco de dados geotécnico, em relação à quantidade de amostras dos solos percebe-se que este tem uma boa representatividade, uma vez que contempla um número maior de amostras quando comparado aos trabalhos de Chaves (2000), Barroso (2002), Viana (2006), Ribeiro (2016).

Sabe-se que embora existam outros métodos, como mencionado anteriormente, na Engenharia Rodoviária comumente se adota a AASHTO como um sistema de classificação de solos para prever as suas propriedades. Dessa forma, os solos que compõem o banco de dados podem ser classificados quanto à AASHTO, sendo estes agrupados de acordo com os materiais

predominantes, podendo ser A-1-a e A-1-b (Pedra britada, pedregulho e areia), A-2-4 e A-2-6 (areia e areia siltosa ou argilosa), A-3 (areia fina), A-4 (solos siltosos), e A-6 e A-7-6 (solos argilosos).

Ressalta-se que, dentre as amostras que o compõe, 1505 (84%) são de solos considerados granulares e apenas 285 (16%) são de solos considerados silto-argilosos (finos). Os solos do Ceará são predominantemente do tipo A-2-4, representando mais de 60% do total de amostras, seguidos pelos solos do grupo A-1-b, com cerca de 11,3% de existência. Em relação aos demais grupos, estes se mostram com menor incidência no estado.

No que concerne ao provável comportamento dos solos como subleito, a partir da análise do banco e do modelo de predição obtido, pode-se inferir que o Ceará possui solos com bom comportamento como subleito. Logo, facilita-se a identificação prévia de trechos homogêneos nos projetos rodoviários, uma vez que cerca de 80% do estado é coberto de materiais do

tipo granular, e, por conseguinte, conferindo um comportamento de bom a excelente no que se refere ao seu uso em pavimentação.

Em relação aos valores de CBR-N presentes no banco de dados, estes representam entre 6% e 20%, sendo menos frequentes os valores entre 21% e 50%. No caso do CBR-I, a maioria dos valores ficou entre 20% e 35%. De acordo com o DNIT (2006) os materiais são classificados em termos de seu uso potencial nas diferentes camadas de projeto de pavimentação. No caso de materiais usados para reforçar o subleito, o CBR deve ser maior que o do subleito e pelo menos 20% para a sub-base. Para a camada de base, o CBR deve ser de pelo menos 80% para rodovias com alto volume de tráfego e de pelo menos 60% para rodovias de baixo volume.

Quanto à análise estatística, as tabelas 2 e 3 demonstram os resultados obtidos através dos modelos de regressão linear geral, para energia normal e intermediária respectivamente.

TABELA 2 | Valores típicos da Classificação AASHTO para CBR (Energia Normal)

Classificação da AASHTO	Valor típico de CBR (%)	Intervalo de valores de CBR (%)
A-1-a	23	10-37
A-1-b	23	21-26
A-2-4	18	17-19
A-2-6	10	8-14
A-3	13	12-15
A-4	11	10-13
A-6	8	7-9

TABELA 3 | Valores típicos da Classificação AASHTO para CBR (Energia Intermediária)

Classificação da AASHTO	Valor típico de CBR (%)	Intervalo de valores de CBR (%)
A-1-a	61	53-71
A-1-b	51	47-55
A-2-4	36	34-38
A-2-6	33	26-41
A-3	25	21-30
A-4	27	20-31
A-6	10	6-14
A-7	7	2-12

Os resultados oriundos do modelo linear geral demonstram resultados satisfatórios, em que para cada classe de solo, há uma faixa de valores para cada valor típico de CBR, a considerar um intervalo de confiança de 95%. Segundo Ribeiro (2016) esse modelo também surge como uma alternativa viável a ser utilizada em estudos de uma dada região, demandando apenas ensaios de simples execução, a exemplo da Granulometria, LL e LP, que são necessários à Classificação da AASHTO.

Ressalta-se que o modelo proposto é apenas um método indicativo do comportamento dos solos do Ceará, porém pode auxiliar em uma estimativa prévia no que diz respeito às etapas de concepção de um projeto rodoviário. No entanto, a existência do modelo não elimina a necessidade da realização de ensaios mecânicos comumente realizados e de suma importância para o dimensionamento de pavimentos, a exemplo do MR, do CBR, bem como da deformação permanente.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do banco de dados auxiliará no reconhecimento prévio de informações e parâmetros geotécnicos, na avaliação do meio físico (solo) no que concerne a utilização de material na construção de pavimentos rodoviários e da exploração de jazidas e de caixas de empréstimo, bem como em

propostas de recuperação de áreas degradadas e modelagem de solos, apoiando projetos de infraestrutura viária no estado do Ceará. Notadamente, a predição de parâmetros geotécnicos mais complexos, através de propriedades índices dos solos, tem se mostrado necessário e viável.

Adicionalmente, o estudo aqui desenvolvido pode servir para organizar e sistematizar os tipos materiais ocorrentes em uma determinada região, facilitando assim, a elaboração de estimativas de parâmetros exigidos no dimensionamento de pavimentos.

Em relação à análise estatística, o modelo linear geral é uma alternativa viável em projetos de pavimentação, necessitando apenas de ensaios básicos. Sua utilização acarretará na minimização de custos econômicos e ambientais, porém este não anula a necessidade de realizar os ensaios requeridos, uma vez que este modelo se mostra como um indicativo no que concerne ao comportamento dos solos do Ceará.

Em suma, espera-se que esta pesquisa possa vir a contribuir para elaboração de um futuro catálogo geotécnico voltado ao estado do Ceará para apoio de projetos e obras rodoviárias, bem como facilitar o desenvolvimento de modelos preditivos voltados ao dimensionamento de pavimentos, incentivando a infraestrutura sustentável. De modo complementar, sugere-se o georreferenciamento dos pontos que compõem o banco de dados para um futuro mapeamento geotécnico regionalizado, e assim possibilitar o reconhecimento prévio dos solos, suas características geotécnicas e respectivas localizações, podendo-se ainda utilizar ou criar programas que facilitem a busca dessas informações de forma rápida e precisa.

REFERÊNCIAS

- 1 ALAWI, M. RAJAB, M. Prediction of California Bearing Ratio of Subbase Layer Using Multiple Linear Regression Models. *Road Materials and Pavement Design*. v. 14, n. 1, p. 211- 219. 2013.
- 2 AASHTO (2004) *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: Of New and Rehabilitated Pavement Structures – Final Report*. NCHRP. American Association of State Highway and Transportation Officials. United States of America.
- 3 AASHTO (2008) *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide-A Manual of Practice*. American Association of State Highway and Transportation Officials. USA.
- 4 ABNT (1984) *NBR 7181- Solo – Análise Granulométrica*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- 5 ABNT (2016) *NBR 7182- Solo – Ensaio de compactação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- 6 ABNT (2016) *NBR 7180- Solo – Determinação do Limite de Plasticidade*. Associação Brasileira de Normas Técnicas Rio de Janeiro.
- 7 ABNT (2016) *NBR 6459- Solo –Determinação do Limite de Liquidez*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

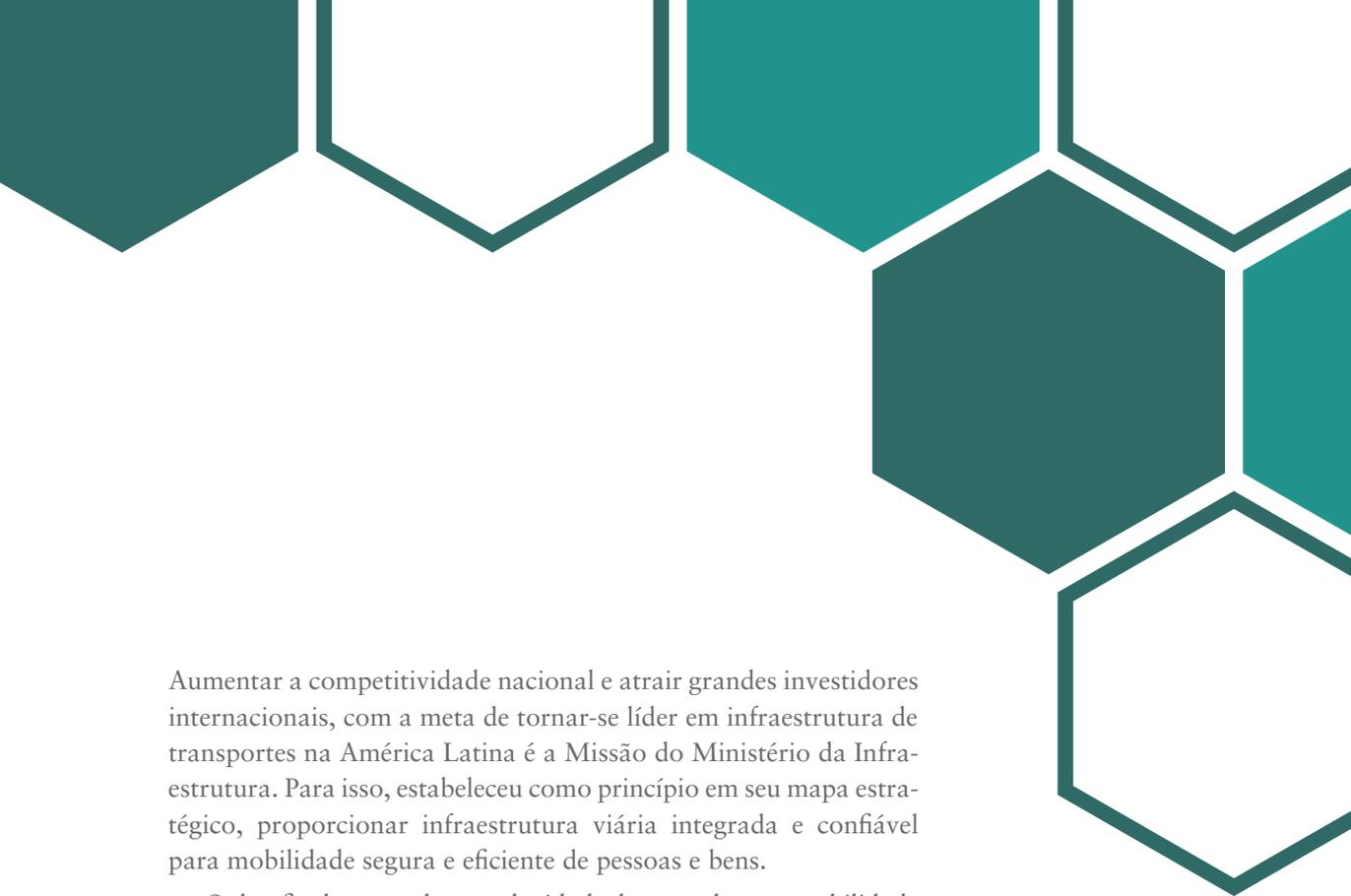
- 8 ABNT (2016) NBR 9895- Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- 9 ASTM D2488-00 (2000) Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure), American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- 10 BARROSO, S. H. A. Estudo dos solos da região metropolitana de Fortaleza para aplicação na Engenharia Rodoviária. 2002. 253f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes), EESC-USP, São Paulo. 2002.
- 11 BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. PETROBRAS: ABEDA, 2006.
- 12 CHAVES, F. J. Caracterização Geotécnica de Solos da Formação Barreiras da Região Metropolitana de Fortaleza para Aplicação em Obras Rodoviárias. 2000. 244f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.
- 13 DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de pavimentação. 3.ed. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias.– Rio de Janeiro. 2006.
- 14 FILHO, E. P. C. Construção de Taxonomias Sobre Informações Compostas por Descrições Ambíguas com Enriquecimento por Meio de Utilização de Dicionários On-Line. 2015. 173f. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas de Computação). COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2015.
- 15 FERREIRA, J. G. H. M. Tratamento de Dados Geotécnicos Para Predição de Módulos de Resiliência de Solos e Britas Utilizando Ferramentas de Data Mining. 2008. 264p. Tese de Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.
- 16 GUILHERME, A. T. P. Análise Comparativa De Modelos Para Previsão e Mapeamento de Propriedades Geotécnicas dos Solos da Microrregião de Mossoró-RN. 2016. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes)–Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- 17 GUILHERME, A. T. P.; RIBEIRO, A. J. A.; CABRAL, W. S.; SILVA, C. A. U. BARROSO, S. H. A.; CASTRO, I. W. Um Método para Construção de um Banco de Dados com fins de Modelagem Geotécnica para Pavimentação dos Solos da Microrregião de Mossoró-RN. In: XXX CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA EM TRANSPORTE DA ANPET, 2016, Rio de Janeiro. Anais, 2016. p. 85-96.
- 18 GUNAYDIN, O.; GOKOGLU, A.; FENER M. Prediction of Artificial Soil's Unconfined Compression Strength Test Using Statistical Analyses And Artificial Neural Networks. Advances in Engineering Software, v. 41, p. 1115-1123, 2010.
- 19 JOHARI A.; JAVADI A. A.; HABIBAGAHI G. Modelling the Mechanical Behaviour of Unsaturated Soils Using a Genetic Algorithm-Based Neural Network. Computers and Geotechnics. v.38, p. 2-13, 2011.

- 20 MOLLAHASANI, A.; ALAVI, A. H.; GANDOMI, A. H.; RASHED, A. **Nonlinear Neural-Based Modeling of Soil Cohesion Intercept.** *KSCE Journal of Civil Engineering.* v.15, n.5, p. 831-840. 2010.
- 21 NAZZAL, M. D.; TATARI, O. **Evaluating the Use Of Neural Networks and Genetic Algorithms for Prediction of Subgrade Resilient Modulus.** *International Journal of Pavement Engineering.* v.14, n. 4. p. 364–373.2013.
- 22 NGUYEN, B. T.; MOHAJERANI, A. **Possible estimation of resilient modulus of finegrained soils using a dynamic lightweight cone penetrometer.** *International Journal of Pavement Engineering.*v. 18, n.6. p.473–484.2017.
- 23 PARK, H. I. ; KWEON, G. C.; LEE, S. R. **Prediction of Resilient Modulus of Granular Subgrade Soils and Subbase Materials using Artificial Neural Network.** *Road Materials and Pavement Design.* v.10, n. 3. p. 647- 665. 2009.
- 24 PAVINI, M. **Artificial Neural Network Modeling of Pavement Performance using Expert Judgment.** *Road Materials and Pavement Design,* v.3, n.4, p.373-384. 2002.
- 25 RAHIM, A.M.; GEORGE, K. P. **Models to Estimate Subgrade Resilient Modulus for Pavement Design,** *International Journal of Pavement Engineering,* v. 6 n. 2, p. 89-96. 2005.
- 26 RIBEIRO, A. J. A. **Um Método Para Localização E Estimação Das Características Geotécnicas Dos Solos Da Região Metropolitana De Fortaleza-Ce Para Fins De Pavimentação.** 2013. 158f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.
- 27 RIBEIRO, A. J. A. **Um Modelo de Previsão do Módulo de Resiliência dos Solos no Estado do Ceará para Fins de Pavimentação.** 2016. 151f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, 2016.
- 28 RIBEIRO, A. J. A.; DA SILVA, C. A. U.; BARROSO, S. H. A. **Neural Estimation of Localization and Classification of Soils for Use in Low-Traffic-Volume Roads.** *Transportation Research Record* , v. 2473, p. 98-106, 2015.
- 29 RIBEIRO, A.J.A.; DA SILVA, C.A.U.; BARROSO, S. H. A. **Metodologia de Baixo Custo para Mapeamento Geotécnico Aplicado à Pavimentação.** *TRANSPORTES (RIO DE JANEIRO)*, v. 6, p. 84-10, 2018.
- 30 RIBEIRO, A. J. A.; DA SILVA, C. A. U.; BARROSO, S. H. A. **Metodologia para Criação de um Banco de Dados Georeferenciado a Partir de Dados Geotécnicos Obtidos em -As Built- e Projetos Rodoviários.** *REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil,* v. 12, p. 1-13, 2012.
- 31 SOUZA, W. M.; RIBEIRO, A.J.A. ; DA SILVA, C. A. U. **Use of ANN and visual-manual classification for prediction of soil properties for paving purposes.** *International Journal of Pavement Engineering,* v. 21, p. 1-9, 2020.
- 32 TASKIRAN, T. **Prediction of California bearing ratio (CBR) of fine grained soils by AI methods.** *Advances in Engineering Software.* v. 41, p. 886–892. 2010.

- 33 TEN CATEN, A.; DINIZ, R. S. D.; ARAÚJO, F. P.; MENDONÇA, M. L. S. **Regressões Logísticas Múltiplas: fatores que influenciam sua aplicação na predição de classes de solos.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. v.35, n.1, p. 53-62. 2011.
- 34 TENPE, A,R.; PATEL, A. **Application of Genetic Expression Programming and Artificial Neural Network for Prediction of CBR.** Road Materials and Pavement Design. p.1183-1200. 2018.
- 35 VIANA, H. M. F. **Estudo do Comportamento Resiliente dos Solos Tropicais Grossos do Interior do Estado de São Paulo.** 2006. 351f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – EESC da Universidade de São Paulo, 2006.
- 36 WILLIAMS, R.; NAZARIAN, SOHEIL. **Correlation of Resilient and Seismic Modulus Test Results.** Journal of Materials in Civil Engineering. v.19, n.12. 2007.
- 37 YILDIRIM, B.; GUNAYDIN. O. **Estimation of California bearing ratio by using soft computing systems.** Expert Systems with Applications, v.38, p. 6381–6391. 2011.
- 38 ZEGHAL, M.; KHOGALI, W. **Predicting the resilient modulus of unbound granular materials by neural networks.** National Research Council Canada (NRCC-47704). BCRA 2005, Trondheim, Norway, June 27-29, 2005, pp. 1-9. 2005.
- 39 ZHANG, H.; YU, T. **Prediction of subgrade elastic moduli in different seasons based on BP neural network technology.** Road Materials and Pavement Design. v.19, n.2, p. 271-288. 2016.

A fonte de texto é a Sabon LT Pro, projetada por Jan Tschichold. Sua versão Romana é baseada na tipografia utilizada nos impressos de Claude Garamond e sua versão itálica é inspirada em tipografias de Robert Granjon. Ela foi lançada conjuntamente pela Linotype, Monotype e Stempel em 1967.

Os títulos foram compostos em Bree, uma fonte sem serifa em itálico vertical. Ela foi projetada por Veronika Burian and José Scaglione e lançada pela TypeTogether em 2008.



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

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

A realização do IV Seminário Socioambiental em Infraestrutura de Transportes - Via Viva 2020: Financiamento Verde, Infraestrutura Resiliente e de Baixo Carbono, representa o cumprimento de um compromisso da Agenda de Sustentabilidade 2010-2022 estabelecida pela Portaria nº 4, de 31 de janeiro de 2020, no âmbito das Diretrizes de Sustentabilidade do MInfra.

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