



Revista

PAVIMENTAÇÃO

Ano XX - nº 55 - 2026 - www.abpv.org.br - www.revistapavimentacao.org.br - ISSN 1809-1865

**Método de quantificação de
impacto de nevoeiros densos
no custo direto de obras
rodoviárias**

Com 25 anos de experiência, a Pavesys Engenharia investe de forma significativa em tecnologias próprias e inovação constante, focando na criação de sistemas gerenciais de pavimentos, segurança viária e na elaboração de projetos que envolvem estudos de viabilidade técnica e econômica para o setor de infraestrutura de transportes.

Sistemas de Gerência de Pavimentos (SGP)

O SGP Pavesys utiliza modelos de previsão de desempenho próprios com auto calibração por IA. É capaz de avaliar o melhor benefício/custo de um conjunto de alternativas de intervenções, calculando o desempenho dos pavimentos (vida de serviço) em todos os cenários gerados. Responde a administração de uma rede viária: sob certas restrições orçamentárias, quais as medidas de conservação e de restauração devem ser priorizadas, bem como, quando e onde? com geração de planos plurianuais de investimentos (quantitativos e orçamento).

Estudos de Viabilidade Técnico-Econômica de Empreendimentos Rodoviários

Permitem determinar qual o melhor conjunto de soluções técnicas a médio ou longo prazo para empreendimentos envolvendo infraestrutura rodoviária, ferroviária e aeroportuária.

Segurança Viária – Empresa acreditada para aplicação da Metodologia iRap

Inspecção Sistematizada da Infraestrutura da rodovia por vídeo registro. Classificação por estrelas por tipo de usuários (veículos, ciclistas, motociclistas e pedestres). Geração de Mapas de Risco e Planos de Investimentos para Rodovias mais seguras.



Avaliação e Diagnóstico de Pavimentos

Avaliação estrutural deflectométrica com equipamentos Traffic Speed Deflectometer (TSD) e Falling Weight Deflectometer (FWD), Levantamento de Irregularidade Longitudinal (IRI) e Transversal (ATR) com equipamento a Laser (5 sensores) e ScanLaser 3D, Vídeo Registro com uso de câmeras de alta resolução, Avaliação de defeitos de superfície por IA, Pavement Condition Index (PCI), MacroTextura a Laser, Atrito por Grip Tester, definição de estrutura de pavimento por GeoRadar (GPR) e ensaios de aderência.

Elaboração de Projetos

Projetos básicos e executivos de pavimentos novos e de projetos de restauração de pavimentos, avaliando o desempenho de cada solução indicada.

Verificador Independente (VI)

Atuação com imparcialidade, rigor técnico, fiscalização, aferição de indicadores de desempenho: cumprimento das metas de desempenho - nível de serviço, conservação do pavimento e tempo de atendimento ao usuário, equilíbrio contratual e subsídio decisório.

TSD PAVESYS

Desenvolvido para avaliar a resposta estrutural de um pavimento sob carga de forma contínua, o TSD (Traffic Speed Deflectometer) é um equipamento que realiza a leitura a laser de forma precisa e na velocidade operacional da via.



O TSD possui a tecnologia mais avançada no mundo para calcular as propriedades estruturais de uma rede viária, aeroportuária ou via urbana. Utilizando sensores de alta precisão com lasers Doppler, o sistema mede a velocidade de deflexão. Os lasers Doppler emitem um sinal bem definido que, ao ser refletido pelo pavimento em movimento, tem seu comprimento de onda alterado dependendo da velocidade do pavimento.

Scan Laser 3D

Sistema de inspeção automatizada da superfície do pavimento, que utiliza lasers de alta resolução e câmeras RGB para captar imagens e modelos 3D da pista em velocidade de tráfego, permitindo identificar defeitos com precisão.

Perfilômetro Inercial

Equipamento de alta precisão usado para medir o perfil longitudinal do pavimento em velocidade de tráfego, avaliando irregularidade, afundamento de trilha de roda e macrotextura.

Mapeamento Móvel 360°

Sistema de levantamento com câmeras panorâmicas 360° e posicionamento geográfico, que gera imagens georreferenciadas de alta resolução para visualização, medição e inventário de ativos rodoviários e urbanos.

GPR – Ground Penetrating Radar (Georadar)

Tecnologia de inspeção não destrutiva que analisa a estrutura do pavimento e as camadas abaixo da superfície, identificando espessuras e interferências no subsolo.





ABPv ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO

SEDE

Rua Miguel Couto, nº 105,
Sobrelojas 4 e 5 - Centro
Rio de Janeiro - RJ
CEP: 20070-030
(21) 2233-2020

Site: www.abpv.org.br
E-mail: abpv@abpv.org.br

Redes sociais:

Instagram@abpv_br
Facebook.ABPv1959
Linkedin:
AssocBrasPavimentacao

Conselho Editorial

Diretoria da ABPv

Editora-Chefe

Arqta. Georgina Libório
Azevedo Braga
georgina@abpv.org.br
MTb 31365-RJ

Editor Técnico

Lélío Antônio Teixeira Brito

Arte e Edição

Jornalista Ivan da Costa
ivandac@gmail.com
MTb RH 10819

37ª DIRETORIA

Triênio 2026-2028

Diretor-Presidente

Eng. Valmir Bonfim

Diretor Vice-Presidente

Eng.^a Luciana Nogueira Dantas

Diretora Administrativa

Arqt^a. Georgina Libório Azevedo Braga

Diretor Financeiro

Eng. João Vicente Falabella Fabrício

Diretora Técnica

Eng.^a Thaís Radünz Kleinert

Diretora de Divulgação

Pedag. Emp. Márcia Mello

CONSELHO FISCAL

Sócio Coletivo

Betunel Indústria e Comércio

Huesker Brasil

Sócio Individual

Eng. Cássio Alberto Teoro do Carmo

Eng.^a Juliana Almeida e Silva

COMITÊ TÉCNICO CIENTÍFICO

Acbal Rucas Andrade Achy - UFRB
Agmar Bento Teodoro - CEFET-MG
Alexandre Simas de Medeiros - UFRJ
Alexis Jair Enriquez Leon - UFRJ
Ana Carolinã da Cruz Reis - CEFET-MG
Ana Luiza Rocha de Souza - IFNMG
Anelise Schmitz - UFPR
Anna Luiza Amaral - DER-MG
Beatriz Chagas Gouveia - DNIT
Bethania Machado Correa - UFRGS
Bibiana Cardoso Fogaça - DAER-RS
Bónis Casanova Sokolovicz - URI
Breno Salgado Barra - UFSC
Bruna Calábria Diniz - Autônomo
Bruno Cavalcante Mota - UFRJ
Bruno Gonzales Nóbrega - UCLouvain
Caio Mascarenhas Raul - Roadrunner
Camila Kern - CCR
Carine Moltz - Arteris
Carla Borjaile - IFES
Cássio Alberto Teoro do Carmo - Huesker
Cassio Horta Oliveira - UFRGS
Chan Kou Wha - CEFET-MG
Claudeny Santana Alves Santana - UFRJ
Cleber Faccin - UFSM
Danielle Bruxel - UNISINOS
Deise Elise Guerra Favero - Ecorodovias
Deividi Pereira - UFSM
Denis Biolkino de S. Pereira - IFG
Diego Menegusso Pires - Università

Federico Il
Douglas Martins Mocelin - Ecorodovias
Elianne Auxiliadora Moreira Borges Mundurica - GOINFRA
Elisa Quint de Souza de Oliveira - Autônomo
Emanuel Bandeira de Melo - GOINFRA
Erica Francisca de Paula Araújo - DER-MG
Fabio Campos Macedo - IFG
Felipe Cipriani Luzzi - UFSM
Felipe Hernandez Cava - FEI
Fernando Dekeper Boeira - UFRGS
Fernando Silva Albuquerque - UFS
Filipe Almeida Corrêa do Nascimento - IME
Francisco Garcon - INPROTRAN
Francisco Heber Lacerda de Oliveira - UFC
Gabriel Jose da Silva - CEFET-MG
Gerald Luciano de Oliveira Marques - UFJF
Gilson de F. N. Gitirana Jr. - UFG
Glauber Fernandes Jacinto - GOINFRA
Glicério Trichês - UFSC
Gracieli Bordin Colpo - PUCRS
Guilherme Venson - UNIOESTE
Gustavo dos Santos Pinheiro - USP
Halan Faria Lima - IFG
Heliana Barbosa Fontenele - UEL
Henrique Falck Grimm - UFRGS
Iuri Bessa - UFC
Iuri Lara - UFRJ
Jelson Budny - UNIPAMPA
Jennifer Ilha Vendruscolo - UFSM

Jeovanesa Régis Carvalho - UFS
Jesner Sereni Ildefonso - UEM
Jéssica da Silva Vieira - DAER-RS
João Rodrigo Guerreiro Mattos - UFSM
Jorge Augusto Pereira Ceratti - UFRGS
Josani Carbonera Pereira - DAER-RS
José Wilson dos Santos Ferreira - UNB
Juceline Batista dos Santos - IFCE
Kamilla Vasconcellos - USP
Katlin Modesto - UFRGS
Kethelin Eloisa Klagenberg Beckert - UFRGS
Klaus Machado Theisen - UFPEL
Larissa Montagner de Barros - UFRJ
Larissa Vieira - DER-PR
Laura Mazzoni - USP
Lêda Lucena - UFCG
Leidy Vanessa Espinosa Ruiz - USP
Lélío Antônio Teixeira Brito - UFRGS
Leni Figueiredo Mathias Leite - UFRJ
Leomar Ruffino Alves Júnior - IFG
Leonardo Lunken Wagner - URI
Liamara Paglia Sestrem - UFRP
Liseane Padilha Thives - UFSC
Livia Fortes Merighi - CCR
Lucas Dotto Bueno - UFSM
Lucas Eduardo Dornelles - UFSM
Lucas Heller - UFRGS
Luciana Araújo Azevedo de Oliveira - IFG
Luciana Nogueira Dantas - DNIT
Luciano Pivoto Specht - UFSM

Luis Miguel Gutierrez Klinsky - CCR
Luiz Heleno Albuquerque Filho - DNIT
Mara Regina Biachini - DAER-RS
Marcelo Tuler de Oliveira - CEFET-MG
Marcos Jabor - DER-MG
Mariana de Paiva - IFG
Marina Frederich de Oliveira - Ecorodovias
Mario Sérgio de Souza Almeida - UFRB
Marlova Grazziotin Johnston - UFRGS
Matheus Zampetrik Gomes Caetano -
GOINFRA
Megid Jamil Junior - INPROTRAN
Mônica Garcez - UFRGS
Mônica Sayoco Nishibe Moraes - Ecorodovias
Monica Velloso - Autônomo
Nancy Tiemi Isewaki - DER-MG
Natália Guterres Mensch - Autônomo
Patrícia Vilela Margon - IFG
Paula Taiane Pascoal - UFSM
Paulo César Pinto - UNIVINTE
Pedro Orlando Borges de Almeida Júnior - UFSM
Rafael Cerqueira Silva - UNB
Rafael Martins - Kraton
Raimi Costa da Silva - Arteris
Raphael Lucio Reis dos Santos - CEFET-MG
Reuber Freire - UFPE
Rita Moura Fortes - IFSP
Riumar Santos - GOINFRA

Rodrigo Cardoso Paranhos - GOINFRA
Rodrigo Malysz - Ecoplan
Rodrigo Silveira Lovato - Nova Rota do Oeste
Rodrigo Weber - UNIVATES
Rogério Faria D'Ávila - UFMG
Ronderson Queiroz Hilário - UFMG
Rosângela dos Santos Motta - USP
Rui Corrêa Vieira - ABDER
Silvio Lisboa Schuster - UFSM
Thaís Radünz Kleinert - UFRGS
Vanessa Honorato Domingos - PUC GOIÁS
Victor Emmanuel dos Reis - GOINFRA
Vinicius Kuchinski - UFSM
Monica Sayoco Nishibe Moraes - Ecorodovias
Vinicius Quintilano Pereira - GOINFRA
Vinicius Vieira Sousa - DER-MG
Wagner Danton de Bittencourt Bilhalva - UFSM
Walter Manoel Mendes Filho - UFG
Washington Gutenberg de Moura Luke - STE
William Fedrigo - UFRGS
Willian Potz - DER-PR
Zila Maria Mascarenhas - UFMA



Sumário

- 7 ENTREVISTA DO ENG. VALMIR BONFIM, DIRETOR-PRESIDENTE DA ABPv
- 10 POSSE DA DIRETORIA DA ABPv PARA O TRIÊNIO 2026-2028
- 14 VINTE ANOS DA REVISTA PAVIMENTAÇÃO
- 16 51ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO E 28º ENACOR
- 19 INFRAQUIZ: CONHECIMENTO QUE APROXIMA E INSPIRA
- 24 4º SIREMA IMPULSIONA A ECONOMIA CIRCULAR E REÚNE MAIS DE 240 ESPECIALISTAS
- 26 EVENTOS
- 28 MINICURSOS ONLINE
- 31 INFLUÊNCIA DO MÉTODO ESTATÍSTICO DE PÓS-PROCESSAMENTO DOS MÓDULOS DE RESILIÊNCIA RETROANALISADOS DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS
- João Vitor Benevides de Castro
Mariana de Araújo Leite
Lucas Cavalcante de Almeida
Francisco Heber Lacerda de Oliveira
- 41 METODOLOGIA DE MONITORAMENTO DE DEFENSAS METÁLICAS EM RODOVIAS UTILIZANDO VISÃO COMPUTACIONAL
- Wesley Miranda de Carvalho
Tiago Augusto Pianezzer
Felipe Dias Lopes
Jorge Destri Júnior
Carlos Augusto Calage Silveira Júnior
Vinicius Conti da Costa
Daniel Vieira Machado
Camila Belleza Maciel Barreto
Valter Zanela Tani
Wellington Longuini Repette
- 51 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA EM RODOVIA CEARENSE UTILIZANDO O PALATE 2.0
- Arthur Veras Moreira
Maria Thereza Rocha Chaves
Kaylane Pimentel Correia
Juceline Batista dos Santos
Antônio Alves Ferreira Júnior
Jorge Barbosa Soares
- 59 MÉTODO DE QUANTIFICAÇÃO DE IMPACTO DE NEVOEIROS DENSOS NO CUSTO DIRETO DE OBRAS RODOVIÁRIAS
- Maria Luisa C. Duran
Wilson F. O. Evaristo
Igo Guarino de M. Sá
Sandra P. E. Fernandez
Caio S. Cardoso
Daniel Benckce
Hiratan P. da Silva
Pedro C. dos Santos
- 67 A ANÁLISE PARAMÉTRICA DE BACIAS DE DEFLEXÃO E SLOPES PARA INTERPRETAÇÃO E VALIDAÇÃO DE DADOS DE TSDD
- R Caio M. Raul
Felipe F. Camargo
André F. Vale



NOSSA CAPA

A imagem que ilustra a capa desta edição é do Eng. Valmir Bonfim. Envie sua foto para abpv@abpv.org.br

É com grande orgulho que a Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv) apresenta a 55ª edição da **REVISTA PAVIMENTAÇÃO**, uma edição especial que celebra duas décadas de sua trajetória editorial.

Ao longo desses 20 anos, a revista consolidou-se como uma importante referência editorial, científica e tecnológica do setor viário brasileiro, fortalecendo o diálogo e a integração entre a academia, os órgãos gestores, as empresas e os demais segmentos da indústria da construção.

Nesta edição comemorativa, reunimos cinco artigos técnico-científicos selecionados por seu elevado rigor metodológico e pela relevância de suas contribuições para o desenvolvimento e o aprimoramento da engenharia de pavimentação. A produção científica, que constitui um dos pilares da revista, reafirma o compromisso da ABPv com a disseminação do conhecimento e com a promoção de soluções inovadoras para os desafios da infraestrutura viária nacional.

Também destacamos as iniciativas e ações promovidas pela Associação em sua missão de estimular a atualização e a capacitação continuada dos profissionais do setor. Entre elas, estão a realização do InfraQuiz 2026, inserido na programação da 51ª RAPv / 28º ENACOR / 7ª ExpoEnacorRAPv, os Minicursos da ABPv e os diversos eventos e encontros técnicos realizados ao longo do período.

Celebrar os 20 anos da Revista Pavimentação é, sobretudo, reconhecer uma história construída coletivamente, marcada pela disseminação do conhecimento, pelo intercâmbio de experiências e pelo compromisso permanente com o avanço da pavimentação e da infraestrutura viária no Brasil.

Convidamos toda a comunidade técnica a prestigiar esta edição comemorativa e a continuar participando ativamente dessa trajetória, contribuindo para o fortalecimento da engenharia nacional e para a construção de uma infraestrutura viária cada vez mais eficiente, segura e sustentável.

Boa leitura!

Diretor-Presidente – Eng. Valmir Bonfim

Diretora Vice-Presidente – Eng.ª Luciana Nogueira Dantas

Diretora Administrativa – Arq.ª Georgina Libório Azevedo Braga

Diretor Financeiro – Eng. João Vicente Falabella Fabrício

Diretora Técnica – Eng.ª Thaís Radünz Kleinert

Diretora de Divulgação – Pedag. Emp. Márcia Mello

0 futuro da pavimentação

Entrevista com o Eng. Valmir Bonfim, sócio fundador da FREMIX, autor dos livros “Fresagem de Pavimentos Asfálticos” e “Pavimento Sustentável” e Diretor-Presidente da ABPv - Associação Brasileira de Pavimentação

Ao longo de sua trajetória profissional, quais foram os principais momentos e experiências que contribuíram para sua formação e atuação como uma referência no setor de pavimentação no Brasil?

No início de minha trajetória profissional, logo no meu primeiro contrato executando pavimentação, precisei contratar uma fresadora de asfalto. Aceitei o desafio sem nem saber do que se tratava. Acabei descobrindo entrando em contato com meus amigos de faculdade e não tive dúvidas. Fresadora de asfalto era uma novidade no Brasil e vi tanto potencial a explorar que tive a certeza de que aquela tecnologia seria o meu futuro. A partir daí comecei a trabalhar na Unifresa, a primeira empresa de fresagem de pavimentos do Brasil.

Anos depois fundei a FREMIX com meu sócio Nelson Sampaio Pereira, e depois a transformamos em uma empresa de pavimentação e desta forma conseguimos escalar e hoje podemos nos orgulhar da empresa que criamos.

Devo destacar também o mestrado na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, que abriu literalmente meus horizontes. Creio que a partir daí, unindo a prática com a teoria, pude realmente crescer profissionalmente.

Nas últimas duas décadas, o setor brasileiro de pavimentação passou por importantes transformações técnicas, tecnológicas e institucionais. Na sua avaliação, quais foram os avanços mais significativos nesse período?

Com a advento das Concessões Rodoviárias no Brasil tivemos um grande salto de qualidade na pavimentação brasileira. Nesse período chegaram novos tipos de revestimentos asfálticos como SMA, Asfalto Borracha, Gap Graded, Microrrevestimento Asfáltico etc. A FREMIX sempre foi uma empresa preocupada com a inovação tecnológica e trouxemos ao Brasil a microfresagem de pavimentos, a Usina KMA para reciclagem de RAP



com espuma de asfalto, a fresadora cônica, para nivelamento de tampões, entre outras.

Considerando os desafios relacionados à infraestrutura rodoviária, à sustentabilidade, às mudanças climáticas, à disponibilidade de recursos e à necessidade de maior eficiência nos investimentos, quais devem ser as principais prioridades da pavimentação brasileira nos próximos anos?

Precisamos focar em novas tecnologias e na pavimentação sustentável. Os organismos de fomento devem priorizar reutilizar os resíduos sólidos gerados na restauração de pavimentos, como o RAP (material resultante da fresagem de pavimentos), além do RCD (Resíduos da



Construção e Demolição). Esse grande passivo ambiental pode e deve ser utilizado como matéria-prima na pavimentação, quer seja em camadas de base ou mesmo no revestimento, com a reciclagem a quente do RAP.

Em janeiro deste ano você assumiu a Presidência da Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv). Quais são as novidades da Associação?

A ABPv é uma associação com 67 anos, onde atuaram os mais renomados profissionais de engenharia, com a responsabilidade de transmitir conhecimento, atualização profissional e novas tecnologias e sinto que tenho um grande compromisso com isso, em continuar esse legado, através da realização das Reuniões Anuais de Pavimentação e com a Revista Pavimentação, nossa revista técnica que apresenta trabalhos científicos, muito importantes na formação e atualização dos nossos profissionais.

Oferecemos mensalmente cursos abordando os mais variados temas, além de convênio com diversas instituições de ensino superior, onde os associados da ABPv terão desconto nos cursos de pós-graduação.

Neste ano em que a Revista de Pavimentação celebra 20 anos de contribuição à disseminação do conhecimento e ao desenvolvimento do setor, qual mensagem o senhor gostaria de deixar para as novas gerações de profissionais e pesquisadores que atuarão na pavimentação brasileira nas próximas décadas?

Eu sempre digo que nós engenheiros, devemos sempre estar conectados ao setor, participando das reuniões de pavimentação, participando dos Seminários, Congressos, Simpósios etc. Desta forma temos a oportunidade de nos atualizarmos profissionalmente, além de fazer Network nesses encontros. Uma forma de conhecer tudo o que está acontecendo é através da ABPv. Temos um calendário com os mais importantes eventos nacionais e internacionais. Entre em contato conosco. Seja um associado da ABPv!

Gostaria de antemão agradecer aos meus pares, que estarão comigo nesta nova empreitada, a Luciana Nogueira Dantas, Georgina Libório Azevedo Braga, João Vicente Falabella Fabrício, Thaís Radünz Kleinert, Márcia Regina José Mello, o nosso Conselho Fiscal individual e coletivo, nossa Secretária Elizabeth Pascoal e a funcionária Mônica de Mesquita Furtado.



EVENTOS

FALE CONOSCO E TRANSFORME SUA CARREIRA!

O IPOS oferece **Pós-Graduações e MBAs** que impulsionam sua carreira e ajudam você a se destacar no mercado.



Pós-Graduação
ENGENHARIA DE PAVIMENTAÇÃO
Curso On-line



Escaneie e saiba mais



Pós-Graduação
ENGENHARIA RODOVIÁRIA:
Concessões de Rodovias e Vias Urbanas
Curso On-line



Escaneie e saiba mais

 comercial@iposespecializacao.com.br

 62 99852-2379  41 3010-6427



Acesse iposespecializacao.com.br

REVISTA PAVIMENTAÇÃO nº 54 • 2025 CURSOS

IPOS



ABPv celebra passado e projeta o futuro em Solenidade de Posse da Diretoria para o triênio 2026-2028

Em tarde marcada por homenagens emocionantes, palestras de alto nível técnico e o anúncio de Goiânia como sede da próxima RAPv, o Engenheiro Valmir Bonfim assume a Presidência da Associação Brasileira de Pavimentação.

A Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv) iniciou oficialmente um novo capítulo em sua história. Em cerimônia realizada com grande prestígio, ocorreu a transição de liderança e a posse dos novos membros da Diretoria Executiva e do Conselho Fiscal para o triênio 2026-2028. Sob a condução inicial da Eng.^a Luciana Nogueira Dantas, que encerrou seu ciclo presidencial, o evento foi pautado pela celebração do capital humano, pela difusão do conhecimento e pelo compromisso com o desenvolvimento da infraestrutura nacional.

Valorização das pessoas e o legado das Bodas de Ouro

A abertura dos trabalhos foi conduzida pela então presidente, Eng.^a Luciana Nogueira Dantas, que em seu pronunciamento destacou o papel fundamental dos associados diante das mudanças tecnológicas e desafios econômicos do País. "A motivação de hoje é celebrar as pessoas, aquelas que fizeram a ABPv crescer, transformar-se e reinventar-se enquanto associação", pontuou Luciana, prestando um agradecimento especial à diretoria do triênio 2023-2025, ao corpo de funcionários, conselheiros e parceiros, como a ABDER - Associação Brasileira dos Departamentos Estaduais de Estradas de Rodagem.

O encerramento do ciclo foi coroado com a exibição de um vídeo comemorativo da marcante 50^a edição da Reunião Anual de Pavimentação (RAPv) e do 27^o Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR), realizados em Belo Horizonte. De olho no futuro, a associação aproveitou o momento para anunciar que as engrenagens para a 51^a RAPv e 28^o ENACOR já estão a pleno vapor: o grande encontro do setor em 2026 acontecerá em Goiânia/GO, entre os dias 22 e 25 de junho.

Inovação técnica em pauta

Fiel à sua missão de disseminar as boas práticas de engenharia, a solenidade abriu espaço para o conhecimento de vanguarda com uma Palestra Técnica Comemorativa. Mediada pela Eng.^a Thais Radünz Kleinert, a sessão trouxe como tema central a "Visão Petrobras para o segmento de asfaltos e Linha CAP Pro", proferida pelo



Eng. Marcelo Thumé, Consultor de Comércio Interno de Asfaltos da Petrobras e representante da companhia na Comissão de Asfaltos do IBP. Thumé apresentou um panorama estratégico e as novas soluções em ligantes que prometem elevar os padrões de desempenho e sustentabilidade das vias brasileiras.

Gratidão e Memória: Homenagens Pós-tumas

Um dos momentos mais tocantes da tarde foi a sessão de homenagens dedicadas à memória de três grandes nomes da pavimentação nacional que nos deixaram recentemente, deixando um legado indelével de amizade e competência:

Rômulo Keller Rodrigues: Mestre pelo IME e profissional histórico do DER-RJ (onde atuou na implantação da Linha Vermelha e alcançou a Diretoria de Obras e



A nova Diretoria: João Fabrício (Financeiro, à esq.), Márcia Mello (Divulgação), Luciana Dantas (Vice-Presidente), Georgina Braga (Administrativo), Saul Birman, Valmir Bonfim (Presidente), Thais Kleinert (Técnico) e Juliana Silva (Conselheira Fiscal)

Conservação). Teve papel crucial nas pesquisas de asfaltos modificados por polímeros no IPR/DNIT, gerando normas técnicas vigentes até hoje. Deixou saudades pelo seu espírito perspicaz e bom humor contumaz. A homenagem foi entregue pela Eng.^a Luciana Dantas aos seus familiares.

Breno Pascoal: Técnico em química com atuação marcante em grandes distribuidoras e petroleiras (como Ipiranga, INA, CBAA e RAMM). Considerado um "técnico com T maiúsculo" pelo capricho e entusiasmo com que gerenciava laboratórios e desenvolvia materiais asfálticos, teve sua homenagem entregue pelo Eng. João Vicente Falabella Fabrício e recebida pela amiga Márcia Mello.



Éder Viana: Fundador do Grupo Betunel e presidente da ABEDA por uma década, foi um líder visionário que defendia o asfalto como "o derivado mais nobre do petróleo" por seu impacto social. Conhecido por humanizar o ambiente empresarial e por sua sólida conduta ética e filantrópica à frente do Instituto "Eu Sou", teve sua memória reverenciada na entrega feita pela Arq.^a Georgina Libório Braga aos seus familiares.

A Nova Gestão (Triênio 2026-2028)

Conduzida pela Prof.^a Laura Maria Goretti da Motta, Coordenadora da Comissão Eleitoral, foi assinada a ata que empossou o novo corpo diretivo da ABPv. A nova gestão destaca-se pelo alto gabarito acadêmico e forte inserção no mercado de seus integrantes:

Diretor-Presidente – Eng. Valmir Bonfim: Mestre (USP) e Doutorando (UFRGS), CEO da Fremix, diretor da Abrecon e autor de livros referenciais como *Fresagem de Pavimentos Asfálticos* e *Pavimento Sustentável*, acumulando mais de 35 anos de experiência técnica e acadêmica.

Diretora Vice-Presidente – Eng.^a Luciana Nogueira Dantas: Mestre e Doutora (COPPE/UFRJ), engenheira de carreira do DNIT e atual Chefe do Serviço de Planejamento e Pesquisa da autarquia no RJ.

Diretora Administrativa – Arq.^a Georgina Libório Azevedo Braga: Com pós-graduação no CAEPE



O Engenheiro Valmir Bonfim faz o seu discurso de posse durante a reunião da ABPv

pela ESG e especializações pelo IME, IPOG, CREA, é arquiteta do DNIT e cofundadora da Revista Pavimentação sendo reconduzida ao cargo administrativo.

Diretor Financeiro – Eng. João Vicente Falabella Fabrício: Mestre em Geotecnia (PUC-Rio), engenheiro da Secretaria de Conservação da Prefeitura do Rio de Janeiro, sendo reconduzido ao cargo financeiro.

Diretora Técnica – Eng.ª Thaís Radünz Kleinert: Doutora em Infraestrutura (UFRGS), gerente operacional e pesquisadora do LAPAV/UFRGS.

Diretora de Divulgação – Márcia Mello: Especialista em Pedagogia Empresarial e Consultora Técnica de Vendas (Iterchimica/Itália), com 15 anos de atuação internacional em aditivos asfálticos e tecnologias de reciclagem (RAP).

Conselho Fiscal: Empossou ainda, nas categorias de sócios individuais e coletivos, os conselheiros Juliana Almeida e Silva, Cássio Teoro do Carmo, Betunel Indústria e Comércio e Huesker Brasil.

A solenidade foi encerrada com o discurso do novo presidente empossado, Eng. Valmir Bonfim, que renovou as metas de manter a ABPv na vanguarda das tecnologias de pavimentação sustentável e reciclagem, seguido por um coquetel de confraternização onde a comunidade pôde celebrar as novas metas para o triênio.

Discurso do novo diretor-presidente da ABPv, Valmir Bonfim:

“Boa tarde! Gostaria de saudar a todos os presentes, senhoras, senhores, autoridades, colegas engenheiros, parceiros institucionais e associados da ABPv.

É com grande honra e alegria que recebo hoje a função de presidir a Associação Brasileira de Pavimentação para o Triênio 2026-2028.

Gostaria de antemão agradecer aos meus pares, que estarão comigo nesta nova empreitada, a Luciana Nogueira

Dantas, Georgina Libório Azevedo Braga, João Vicente Falabella Fabrício, Thaís Radünz Kleinert, Márcia Regina José Mello, o nosso Conselho Fiscal individual e coletivo e nossa Secretária Elizabeth Pascoal.

Venho do setor privado, onde somente uma gestão eficaz poderá lhe proporcionar resultados satisfatórios, e pretendo aqui, seguir uma gestão responsável e de muito sucesso, onde as decisões estratégicas serão tomadas em colegiado.

Assumir esta função é, antes de tudo, assumir um compromisso com a engenharia, com a infraestrutura nacional e com o desenvolvimento sustentável do nosso País.

A ABPv tem uma trajetória marcada pela excelência técnica, pela defesa do conhecimento científico e pela contribuição efetiva para a melhoria da malha viária brasileira, quer seja rodoviária, ferroviária ou aeroportuária.

É uma história construída pelos mais renomados profissionais, dos quais alguns aqui se fazem presentes nesta cerimônia, o que muito nos honra. Registro aqui meu respeito a todas as Diretorias que nos antecederam, pelo trabalho sério e pela dedicação!

Trabalharemos para ampliar a integração entre academia, setor produtivo e poder público, estimular a inovação, promover a capacitação contínua dos profissionais e fortalecer ainda mais o papel da Associação como referência técnica nacional.

Queremos uma ABPv cada vez mais participativa e próxima dos associados – uma entidade que escuta, dialoga e propõe soluções concretas para os desafios do setor.

Nenhuma gestão se faz sozinha, por isso contamos com cada um de vocês, que direta ou indiretamente possam vir a contribuir na construção de uma associação cada vez mais forte!

Muito obrigado!”

BORRACHA, POLÍMERO E HIMA: A NOVA RÉGUA DE PERFORMANCE DO PAVIMENTO ASFÁLTICO.

Nas últimas duas décadas, os ligantes modificados por borracha, polímero e HiMA elevaram o desempenho do pavimento asfáltico a um patamar sem precedentes. Cada tecnologia reorganiza a matriz do ligante de um jeito diferente — e essa diferença de mecanismo sustenta o asfalto como material dominante da pavimentação: cerca de 94% das rodovias pavimentadas dos EUA têm revestimento asfáltico (FHWA/NAPA); no Brasil, o flexível responde pela ampla maioria da malha pavimentada.

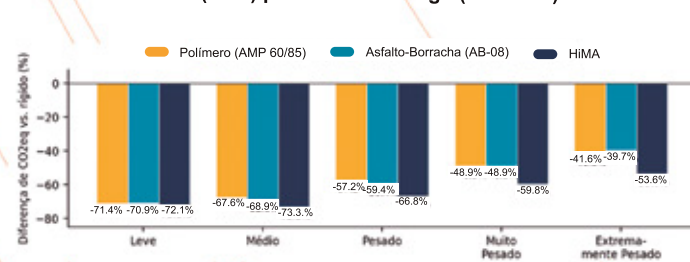
Três mecanismos. Na borracha (AB), a borracha moída absorve óleos do CAP e eleva retorno elástico e resistência ao envelhecimento. No polímero convencional (AMP 60/85), a rede parcialmente contínua equilibra fadiga e deformação permanente. No HiMA, a rede polimérica vira a matriz dominante, elevando módulo e resistência à deformação em tráfego pesado.

Carbono: vantagem em qualquer ligante e tráfego. Segundo o Relatório Técnico UFSM/GEPPASV nº 01/2025, o pavimento asfáltico emite sempre menos CO₂eq que o rígido. Mesmo no cenário mais desfavorável, o HiMA emite 53,6% menos carbono que o Concreto de Cimento Portland (CCP); nos tráfegos leves, a diferença ultrapassa 70%.

Custo: vantagem sustentada até no tráfego mais extremo. Os três ligantes modificados custam menos que o rígido até tráfego pesado. No tráfego mais extremo — único em que os demais ligantes ficam mais caros que o Concreto de Cimento Portland (CCP) —, duas configurações com HiMA (SR-HiMA e SR-INV-HiMA) seguem mais econômicas, 20% e 11% abaixo do rígido.

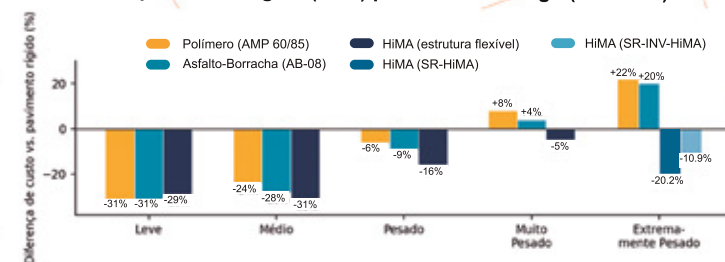
Validação em ensaio e em obra. Em ensaio da Escola Politécnica da USP, o asfalto-borracha reduziu a deformação em trilha de roda a menos da metade do CAP convencional (3,15% x 6,4%, após 30.000 ciclos). Em campo, sustenta a melhor rodovia do Brasil (Raposo Tavares, 30ª Pesquisa CNT) e a Ponte de Guaratuba (PR, 2026, 600 t de ECOFLEX). Em 25 anos, o ECOFLEX da GRECA reciclou quase 31 milhões de pneus, aproximadamente 31 mil km pavimentados e evitou mais de 600 mil toneladas de CO₂eq — quase 3 milhões de árvores.

Emissão de CO₂eq por ligante, em relação ao pavimento rígido (CCP) por nível de tráfego (NUSACE)



Todos os valores são negativos (o pavimento asfáltico sempre emite menos que o rígido) | Fonte: Relatório UFSM/GEPPASV nº 01/2025 (ABEDA/GRECA)

Custo de implantação por ligante, em relação ao pavimento rígido (CCP) por nível de tráfego (NUSACE)



Negativo = pavimento asfáltico mais barato. Positivo = pavimento rígido mais barato. Em tráfego extremamente pesado, HiMA é mostrado nas duas configurações semirrígidas mais vantajosas do estudo (SR-HiMA e SR-INV-HiMA) | Fonte: Relatório Técnico UFSM/GEPPASV nº 01/2025 (ABEDA/GRECA)

O que isso significa na prática. Asfaltos modificados para pavimentação flexível proporcionam avanço técnico significativo que tem tradução direta em custo, em redução de emissão de Carbono e em resultado de campo. Especificar o ligante certo para o tráfego certo é o que separa uma decisão de engenharia bem fundamentada de uma preferência genérica por material.

“Acreditamos que competitividade e sustentabilidade caminham juntas. Investir em tecnologia significa desenvolver soluções que atendam às necessidades do mercado e, ao mesmo tempo, contribuam para uma infraestrutura mais eficiente e preparada para os desafios do futuro. É essa combinação entre inovação, conhecimento técnico e visão de longo prazo que impulsiona a evolução da pavimentação, complementa Edenilson Dalbosco, CEO da GRECA Asfaltos.

Fontes: NAPA / FHWA; CNT, 30ª Pesquisa CNT Rodovias; Governo do Estado de São Paulo; Blog Grupo GRECA; Relatório Técnico UFSM/GEPPASV nº 01/2025 (ABEDA/GRECA); Escola Politécnica da USP; Relatório de Sustentabilidade ECOFLEX (GRECA Asfaltos).



VINTE ANOS DE CONHECIMENTO, ENGENHARIA E compromisso com a pavimentação brasileira



Arqta GEORGINA Libório Azevedo Braga
Diretora Administrativa da ABPv

É com grande orgulho e satisfação que a Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv) apresenta a 55ª edição da Revista Pavimentação, uma edição especialmente dedicada à celebração de uma trajetória que se estende por duas décadas.

Em 2006, nascia a REVISTA PAVIMENTAÇÃO com um propósito claro: contribuir para a disseminação do conhecimento e para o debate dos temas mais relevantes da engenharia de pavimentação no Brasil. Desde sua primeira edição, a publicação buscou aproximar profissionais, pesquisadores, empresas, instituições acadêmicas e órgãos públicos, criando um espaço permanente para a troca de experiências, a divulgação de pesquisas e a reflexão sobre os caminhos da infraestrutura de transportes.

Ao longo desses 20 anos, a revista acompanhou as transformações pelas quais passou o setor. Registrou avanços tecnológicos, novas metodologias, mudanças nos processos construtivos, desafios relacionados à conservação e à gestão da infraestrutura e a evolução das pesquisas desenvolvidas nas universidades e centros de pesquisa brasileiros. Ao mesmo tempo, manteve-se atenta aos grandes acontecimentos e às questões que mobilizaram a comunidade técnica e a sociedade.

Essa trajetória pode ser percebida desde os primeiros números. Ainda em seu primeiro ano, a Revista Pa-

vimentação abordava temas como a conservação das rodovias, a segurança viária, os programas emergenciais de recuperação da malha rodoviária e o modelo de concessão de rodovias, ao lado de artigos técnicos, discussões acadêmicas e registros históricos da engenharia brasileira. A publicação nasceu, portanto, com uma característica que permanece atual: olhar para a pavimentação tanto pela perspectiva da ciência e da tecnologia quanto pela realidade concreta da infraestrutura nacional.

Ao revisitar essas duas décadas, é impossível não reconhecer o papel desempenhado pela revista na construção e preservação da memória técnica do setor. Cada edição representa uma parcela dessa história: são pesquisas, experiências profissionais, estudos, debates, entrevistas, registros de eventos e reflexões que, reunidos, formam um importante acervo da engenharia de pavimentação brasileira.

Mais do que acompanhar a evolução do setor, a Revista Pavimentação também participou dela.

Ao oferecer espaço para a divulgação de pesquisas e experiências, o periódico contribuiu para aproximar o conhecimento produzido na academia das necessidades encontradas no cotidiano da engenharia. Essa integração entre teoria e prática está profundamente alinhada à própria missão histórica da ABPv, que, desde sua fundação em 1959, atua na divulgação, no ensino e no debate da engenharia de pavimentação no país.

A trajetória da revista também foi marcada por transformações em sua própria forma de produzir e disseminar conhecimento. A publicação passou por diferentes momentos editoriais, aprimorou seus processos de avaliação e incorporou novas ferramentas para ampliar a visibilidade e o alcance de seus conteúdos. Atualmente, como periódico técnico-científico, conta com ISSN, DOI e processo de avaliação por especialistas, reafirmando o compromisso com a qualidade e a credibilidade da produção publicada.

Chegar aos 20 anos significa, portanto, muito mais do que contabilizar edições. Significa reconhecer uma história construída por muitas mãos.

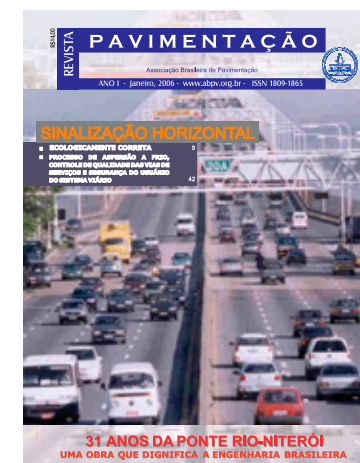
Autores que compartilharam seus conhecimentos; pesquisadores que transformaram resultados de estudos em contribuição para o setor; avaliadores que dedicaram tempo e experiência à análise dos trabalhos; profissionais que trouxeram para as páginas da revista suas vivências de campo; instituições que apoiaram sua continuidade; equipes editoriais que trabalharam para cada edição chegar aos leitores; e, sobretudo, leitores que acompanharam, questionaram, sugeriram e deram sentido à existência da publicação.

A primeira edição já nascia com essa perspectiva de diálogo com a comunidade técnica. Ao longo do tempo, esse compromisso se consolidou e permanece como um dos principais valores da Revista Pavimentação.

Celebrar duas décadas é também olhar para o futuro.

Os desafios da infraestrutura brasileira continuam enormes. A busca por pavimentos mais duráveis, seguros, eficientes e sustentáveis, a incorporação de novas tecnologias, a necessidade de melhor gestão dos recursos públicos e a formação contínua de profissionais qualificados exigem conhecimento, pesquisa, cooperação e capacidade de inovação.

É nesse cenário que a Revista Pavimentação reafirma sua missão. Se, nos primeiros anos, seu desafio era consolidar um novo espaço de divulgação e discussão técnica, hoje o compromisso é ainda maior: continuar sendo um elo entre gerações, entre a pesquisa e a prática, entre a experiência acumulada e as novas ideias que irão orientar a pavimentação brasileira nas próximas décadas.



Esta 55ª edição representa, assim, um momento de celebração, mas também de renovação.

Celebramos o caminho percorrido, os conhecimentos compartilhados e as conquistas alcançadas. E renovamos o compromisso de continuar contribuindo para o desenvolvimento da engenharia brasileira.

A todos que fizeram e fazem parte dessa história, nosso mais sincero agradecimento.

Que os próximos anos sejam igualmente marcados pelo conhecimento, pela inovação, pela cooperação e pelo compromisso com uma infraestrutura de transportes cada vez mais eficiente, segura, resiliente e sustentável.

A história da Revista Pavimentação começou há 20 anos.

Em 2006 a pedido dos então diretor presidente Eduardo Alberto Ricci fui convidada para criar e coordenar um periódico que seria conhecido como “Revista PAVIMENTAÇÃO”, para me auxiliar havia apenas o jornalista Jean Pierre Santiago e o Eng. João Virgílio Merighi, que nos indicou os melhores profissionais para fazer parte do nosso CTC, foi um grande aprendizado mas acredito que cumprimos bem essa missão inicial e o maior reconhecimento desse fato e uma honra para mim foi receber o agradecimento formal de um dos fundadores da Associação Eng. Jacques de Medina por ter realizado o seu maior sonho dentre os grandes objetivos da ABPv.

20 anos não representam uma conclusão, mas a consolidação de uma história que continua sendo escrita por todos nós.

Goiânia reúne conhecimento, inovação e integração na 51ª RAPv e 28º ENACOR



- Entre os dias 22 e 25 de junho, Goiânia/GO foi palco de um dos mais importantes encontros do setor de infraestrutura de transportes do Brasil. A capital goiana recebeu a **51ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)**, em parceria com o **28º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR)** e com a **Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes (GOINFRA)**.

Durante quatro dias, profissionais, pesquisadores, estudantes, empresas e representantes de instituições públicas e privadas de diferentes regiões do país estiveram reunidos para compartilhar conhecimentos, apresentar novas tecnologias, discutir os desafios do setor e, principalmente, construir caminhos para o futuro da infraestrutura de transportes brasileira.

Uma abertura à altura da grandeza do evento

A cerimônia de abertura aconteceu na noite do dia 22, no **Anfiteatro Rio Vermelho**, reunindo autoridades

e importantes representantes do setor. Estiveram presentes:

- Daniel Vilela – Governador do Estado de Goiás;
- Helder Valin Barbosa – Tribunal de Contas do Estado de Goiás (TCE-GO);
- Bruno Peixoto – Presidente da Assembleia Legislativa do Estado de Goiás (ALEGO);
- Tarcísio Abreu – Secretário Municipal de Engenharia de Trânsito de Goiânia (representando o Prefeito de Goiânia, Sandro Mabel)



- José Délio Alves Júnior – Presidente da Associação Goiana de Municípios (AGM);
- Paulo Vitor Avelar – Presidente da Federação Goiana de Municípios (FGM);
- Ricardo de Oliveira Silva – Secretário de Estado da Infraestrutura (SEINFRA);
- Eliane Simonini – Presidente da Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes (GOINFRA);
- Gean Carlo Carvalho – Secretário-Geral de Governo (SGG)
- Valmir Bonfim – Presidente da Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv);
- Fauzi Nacur Júnior – Presidente da Associação Brasileira dos Departamentos Estaduais de Estradas de Rodagem (ABDER);
- Riumar dos Santos – Ex-Presidente da ABDER;
- Guilherme Ramos – Representante da Paving Expo;
- Evânio Ramos Nicoleit – Presidente da Mútua – Caixa De Assistência Dos Profissionais Dos CREAS.
- Carlos Antonio Rocha Barros – Diretor-Executivo do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT);

Após a execução do **Hino Nacional Brasileiro**, as autoridades fizeram uso da palavra, destacando a importância da realização do evento e da união de esforços em favor do desenvolvimento da infraestrutura de transportes.

Na sequência, todos foram convidados a acompanhar o desenlace da fita inaugural na área de exposições, ato que simbolizou oficialmente a abertura da **7ª EXPO ENACOR RAPv**.

O momento foi seguido por um coquetel de confraternização, que proporcionou aos participantes uma agradável oportunidade de integração, reencontros e aproximação profissional, dando início a uma programação que, ao longo dos dias seguintes, seria marcada pelo conhecimento e pela troca de experiências.

Conhecimento, inovação e novas perspectivas

A **ABPv**, a **ABDER** e a **GOINFRA** uniram esforços para realizar um dos maiores eventos nacionais dedica-



dos à discussão de estratégias, projetos e soluções para o aprimoramento da infraestrutura de transportes, dos diferentes modais e da logística brasileira.

A programação foi ampla e diversificada, reunindo **6 minicursos, 26 palestras, 3 mesas-redondas, 2 painéis de infraestrutura, 1 Fórum de Faixa de Domínio, 1 feira de exposições e 4 lançamentos de livros.**

Também foram apresentados **157 trabalhos**, sendo **108 trabalhos técnico-científicos e 49 estudos de caso de obras**, abrangendo temas relacionados à pavimentação, conservação rodoviária, trânsito e mobilidade.

A qualidade da programação foi reforçada pela presença de palestrantes de elevado nível técnico, com reconhecida atuação nacional e internacional. Em suas apresentações, foram abordados temas atuais e estratégicos para o setor, com destaque para novas tecnologias, metodologias e práticas inovadoras.

Paralelamente, a **7ª EXPO ENACOR RAPv** reuniu grandes empresas brasileiras e internacionais do segmento de infraestrutura, que apresentaram produtos, serviços, equipamentos e soluções capazes de contribuir para a evolução e modernização do setor.

Assim, entre palestras, debates, apresentações técnicas e exposições, o evento se consolidou como um grande espaço de conhecimento, diálogo e construção coletiva.

Uma noite para celebrar e torcer juntos

Na noite do dia 24, a programação ganhou um tom

ainda mais especial. Todos os participantes se reuniram para um jantar realizado na **Villa Cavalcare**, em uma noite marcada pela confraternização e pela alegria. Em clima de torcida, os presentes se uniram para acompanhar e torcer pelo Brasil, celebrando cada momento e comemorando a vitória ao som do show da cantora **Lui-za Martins**.

Foi uma noite de muita animação, descontração e integração, que reforçou um dos grandes valores do encontro: a capacidade de reunir pessoas que compartilham não apenas uma profissão, mas também sonhos, desafios e o compromisso com o desenvolvimento do País.



InfraQuiz: conhecimento que aproxima e inspira

Entre os momentos mais aguardados e vibrantes do evento esteve a segunda edição do **InfraQuiz**, competição criada pela ABPv com uma missão especial: aproximar os universitários do conhecimento e do universo da infraestrutura de transportes.

A iniciativa reuniu alunos de graduação e pós-graduação em Engenharia, selecionados por suas universidades, formando oito equipes representantes de seis instituições de ensino de três estados: **UFPE, UFPel (duas equipes), UFRGS, UEG, PUC-GO (duas equipes) e IFG – Campus Goiânia.**



As cores das medalhas identificam os ganhadores



Equipe vencedora (1º lugar) do 2º InfraQuiz: Universidade Federal de Pelotas (UFPel), integrada por **Klaus Machado Theisen (tutor), Lauren Vasques Holz, Rodolfo Paz Oliveira dos Santos, Laura Adamoli Barbosa e Luis Fernando da Silva Martinez**

A disputa foi realizada no sistema de eliminatórias simples, com as quartas de final na terça-feira, as semifinais na quarta e, na quinta-feira, a grande final.

Cada equipe podia reunir até quatro integrantes, sob a orientação de um professor tutor, com três jogadores participando de cada partida. Um sistema de botões (*buzzers*) registrava quem acionava primeiro e, a partir daí, o competidor tinha apenas dez segundos para responder.

As perguntas foram conduzidas por um moderador e acompanhadas por três juízes, garantindo a organização e a lisura da competição.

Os desafios percorreram quatro grandes áreas: **Planejamento e Projeto; Construção e Materiais; Manutenção e Sustentabilidade; e Segurança Viária e Operação.** A competição contou ainda com o **Super Desafio**, reservado às questões de maior complexidade e à maior pontuação da partida.

E havia mais: quem acertava a pergunta principal conquistava o direito de responder à “**Turbo V/F**”, uma questão de verdadeiro ou falso que poderia garantir pontos extras sem colocar em risco a pontuação já conquistada.

A cada resposta correta, a cada virada e a cada disputa acirrada, a torcida tomava conta do espaço, transformando o InfraQuiz em um dos momentos mais animados de todo o evento.

Mas o verdadeiro significado da competição vai muito além da disputa.

O InfraQuiz aproxima estudantes de diferentes universidades, coloca jovens talentos em contato direto com profissionais experientes e com empresas do setor e cria oportunidades para que conheçam, de perto, as possibilidades de atuação profissional na infraestrutura de transportes.



2º lugar: Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás), equipe formada por Victor Emanuel dos Reis (Tutor), Rian Douglas Pires Vieira, Sarah Dourado Borges e Kamylla Maria Ferreira Silva
3º lugar: Universidade Estadual de Goiás (UEG), integrada por Emílio Farias Vaz (Tutor), Marcos Guilherme Souza da Costa Freire, Amine Teixeira Jreige, Letícia Eduarda Sousa Lins e Murilo Eterno de Jesus Faria
Melhor Jogador (empate técnico): Laura Adamole Barbosa e Rodolfo Paz Oliveira dos Santos (ambos da UFPel)

É uma iniciativa que ajuda a despertar vocações, incentivar o conhecimento e, sobretudo, contribuir para a formação da nova geração que terá a responsabilidade de conduzir o setor nos próximos anos.

O pódio e os grandes vencedores

O título desta edição ficou com a equipe da Universidade Federal de Pelotas, representante da região Sul do país, que demonstrou grande regularidade durante todas as fases da competição.

O pódio foi completado pelas equipes PUC-GO e UEG, que conquistaram, respectivamente, o segundo e o terceiro lugares, confirmando também a força das instituições anfitriãs.

A equipe campeã recebeu inscrições e hospedagem para o próximo evento, além de troféu e medalhas. As equipes classificadas em segundo e terceiro lugares receberam inscrições e medalhas.

A competição contou ainda com uma premiação individual para o competidor de maior pontuação, considerando as perguntas principais e o Super Desafio.

Nesta edição, a distinção foi dividida entre dois integrantes da equipe campeã, Laura e Rodolfo, que encerraram a competição empatados em desempenho. Cada um recebeu um Kindle como prêmio de **Melhor Jogador**.

Encerramento e homenagem aos profissionais

No dia 25, o encerramento do evento aconteceu no **Anfiteatro Rio Vermelho**, reunindo novamente as autoridades, que estiveram presentes na cerimônia de abertura, profissionais, pesquisadores, estudantes e representantes das instituições.



Prêmio Engenheiro Mario Kabalem Restom

Um dos momentos mais especiais da solenidade foi a entrega do prestigiado **Prêmio Engenheiro Mario Kabalem Restom**. Nesta edição da 51ª Reunião Anual de Pavimentação, a homenagem reconheceu a valiosa contribuição de profissionais que se destacaram por sua atuação e por sua contribuição para o avanço da engenharia.

Foram homenageados:

- **Eng. Cel. Álvaro Vieira**, prêmio entregue pela Diretora Administrativa, Arqt.^a Georgina Libório Azevedo Braga,
- **Eng. Fauzi Nacfur Junior**, representado pelo Eng. Rui Correa Vieira, prêmio entregue pela Diretora de Divulgação, Pedag. Emp. Márcia Mello e,
- **Eng.^a Lilian Ribeiro de Rezende** prêmio entregue pela Diretora Técnica, Eng.^a Thais Radunz Kleinert.

O Presidente Valmir Bonfim também fez questão de prestigiar as diretorias anteriores da ABPv e a secretária Elizabeth Pascoal. Em um momento de grande significado para a Associação, os homenageados foram parabenizados pela condução de seus respectivos cargos e pela dedicação demonstrada diante dos desafios enfrentados ao longo dos anos para manter e fortalecer a entidade.



ABPv: 67 anos contribuindo para o desenvolvimento da engenharia e da infraestrutura de transportes do Brasil

A homenagem ganhou ainda mais significado pelo fato de a **ABPv completar, em 2026, 67 anos de existência**, reafirmando sua trajetória e sua contribuição para o desenvolvimento da engenharia e da infraestrutura de transportes no Brasil.

União e novos horizontes para o setor

A realização da 51ª RAPv e do 28º ENACOR propiciou a criação de um ambiente favorável ao diálogo, à troca de experiências e aos debates sobre inovações técnicas, novas tecnologias e soluções para os desafios enfrentados pelo setor de infraestrutura e conservação rodoviária.

O evento demonstrou, mais uma vez, que **o melhor caminho para superar obstáculos e avançar é a união de esforços, o compartilhamento de experiências e a construção conjunta de soluções.**

Apoio de instituições, empresas e entidades que participaram da 51ª RAPv

A força e a relevância desta iniciativa também podem ser percebidas pelo amplo apoio recebido de instituições, empresas e entidades que acreditaram no projeto e contribuíram para sua realização.

O apoio institucional contou com a participação das seguintes entidades:

CATEGORIA SUPER DIAMANTE:

- SINALES SINALIZAÇÃO ESPÍRITO SANTO LTDA

CATEGORIA DIAMANTE:

- DYNATEST ENGENHARIA LTDA
- LISYSOLUÇÕES EM METALURGIA LTDA.
- RTA ENGENHEIROS CONSULTORES LTDA.
- SINASC SINALIZAÇÃO E CONSTRUÇÃO DE RODOVIAS LTDA.
- STRATA ENGENHARIA LTDA.
- TRAÇADO CONSTRUÇÕES E SERVIÇOS LTDA.

CATEGORIA PLATINA:

- EQUIPAMENTOS VERDETEC LTDA.
- SINICON – SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA
- DA CONSTRUÇÃO PESADA INFRAESTRUTURA



CATEGORIA OURO:

- ALTA NOROESTE SINALIZAÇÃO VIÁRIA LTDA
- ARRB SYSTEMS LTDA
- ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND
- ANETRAMS - ASSOCIACAO DAS EMPRESAS DE ENGENHARIA DE CONSULTORIA EM
- INFRAESTRUTURA, TRANSPORTE E MEIO AMBIENTE
- DAMAINFRA COMÉRCIO E LOCAÇÃO DE EQUIPAMENTOS LTDA.
- DISTRIBUIDORA BRASILEIRA DE ASFALTO LTDA.(DISBRAL ASFALTOS)
- ESTRATÉGICA ENGENHARIA LTDA.
- ETEL ESTUDOS TÉCNICOS LTDA.
- LABOR ENGENHARIA E TECNOLOGIA S.A
- LOJAS 360 INDÚSTRIA, COMÉRCIO, IMPORTAÇÃO, EXPORTAÇÃO LTDA.
- MÚTUA – Caixa de Assistência dos Profissionais do CREA
- RENOVAURB COMÉRCIO DE PRODUTOS E SERVIÇOS DE SINALIZAÇÃO VIÁRIA LTDA.
- SIMEMP SERVIÇOS TÉCNICOS E OBRAS LTDA.
- SOFTPLAN PLANEJAMENTO E SISTEMAS S.A.
- TALENTECH TECNOLOGIA LTDA.

- VIAENCOSTA ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA.

CATEGORIA PRATA:

- BRASQUIMICA PRODUTOS ASFÁLTICOS LTDA.
- FGV - FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS
- HUESKER LTDA.
- GRECA ASFALTOS
- INFRACONSULT ENGENHARIA LTDA.
- PAVESYS ENGENHARIA S/S LTDA.
- ROMANELLI EXPORTAÇÃO E IMPORTAÇÃO LTDA.
- STE – SERVIÇOS TÉCNICOS DE ENGENHARIA S.A

CATEGORIA BRONZE:

- ACO SOLUÇÕES EM DRENAGEM LTDA.
- ALLKAZ EQUIPAMENTOS LTDA
- BETAR CONSULTORES, LTDA DO BRASIL
- BRAVIA ENGENHARIA E ARQUITETURA LTDA
- EBPÓS - ESCOLA DE POS-GRADUAÇÃO E CURSOS LTDA
- ENGEPLUS ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA
- FIORI DO BRASIL LTDA.
- HOLLUS SERVICOS TECNICOS ESPECIALIZADOS LTDA

- INFRATEST PRÜFTECHNICK GMBH
- ITERCHIMICA S.P.A.
- MACCAFERRI DO BRASIL LTDA
- MODERA ENGENHARIA LTDA
- MTS SISTEMAS DO BRASIL LTDA.
- SAINT GOBAIN/ADFORS
- PTV do Brasil - Importação, Licenças e Suporte de Software LTDA
- TRACTORGYN EQUIPAMENTOS E PEÇAS LTDA

INSTITUIÇÕES E EMPRESAS APOIADORAS:

- TECPAV ENGENHARIA LTDA
- ASTEP ENGENHARIA LTDA
- CONSORCIO ENGEVIA
- IMB - INDUSTRIA METALURGICA LTDA
- FREMIX PAVIMENTAÇÃO E CONSTRUÇÕES LTDA.
- INSTITUTO PAVIMENTAR
- SERPRO – SERVIÇO FEDERAL DE PROCESSAMENTO DE DADOS
- SHEMPO INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.
- STRATURA ASFALTOS LTDA.

Mais do que um grande encontro técnico, a 51ª RAPv e o 28º ENACOR foram momentos de integração, troca de experiências e celebração da engenharia brasileira.



CREDIBILIDADE, CONFIABILIDADE E RASTREABILIDADE EM SOLUÇÕES GEOTÉCNICAS

EXEMPLOS DE EXPERIÊNCIAS E CULTURA GEOTÉCNICA COMO SUGESTÕES PARA REVISÕES DE NORMAS

» ENERGIAS DE COMPACTAÇÃO DO SOLO

Relações entre densidades secas, umidades e energias de compactações por impacto, considerando somente as energias normal, intermediária e modificada, conforme ABNT NBR 7182:2025 - Item 4, traduções pelo DNER em 1947, procedentes da AASHTO criadas em 1930 nos EUA.

» ESTABILIZAÇÃO DO SOLO

Foco principal subleito, podendo ser para sub-base e base. Experiência de laboratório e obras de 1972 a 2026, com visões em Mineralogia • Cristalografia • Geoquímica (pH e ionidade) • Granulometria. Caracterização e avaliação do solo, sob as visões acima e comportamento da adição de aditivos estabilizantes de módulo de resiliente, deformações e desempenho à fadiga.

» REATERRO DE VALAS DE REDES SUBTERRÂNEAS

Conflitos, processos e controle tecnológico frente às normas atuais dos órgãos rodoviários. Avaliação de materiais, umidade, camadas e condições operacionais do processo de compactação, visa a adequada estrutura e prevenção de recalques e deformações. Sugere revisão NBR-12891 - item 5,6, DNIT 023/2024 ES - Item 5,3.

» CONCEITO, PRÁTICA E DEFINIÇÃO DO TEOR ÓTIMO DE ASFALTO: MÉTODO MARSHALL

Em condições semelhantes ao ensaio de compactação, em que a umidade ótima refere-se ao menor VAM (Vazios do Agregado Mineral), devemos corrigir na NBR 12891 - item 5.6, publicado desde 1995 - 1996 - 2009 criada em 1939 nos EUA, divulgada para aeroportos em 1940.

Av. dos Açudes, 99, Alto dos Pinheiros, BH/ MG | (31) 3047-7460 | (31) 98577-1368 | cristiano@solocap.com.br | www.solocap.com.br

4º SIREMA impulsiona a economia circular e reúne mais de 240 especialistas na EESC-USP em São Carlos



Entre os dias 1º e 3 de setembro de 2026, o Auditório Jorge Caron, no Campus 1 da Universidade de São Paulo em São Carlos (SP), sediou o **4º Simpósio de Reciclagem de Misturas Asfálticas - SIREMA**. Fruto de uma parceria estratégica entre a Associação Brasileira de Pavimentação - ABPv, a Escola de Engenharia de São Carlos - EESC-USP e a Escola Politécnica - POLI-USP, a conferência congregou **241 inscritos**, consagrando-se como o principal fórum nacional em sustentabilidade para o setor de transportes.

Partindo do princípio de que o reaproveitamento do pavimento degradado é imperativo tanto sob a ótica ecológica quanto pela viabilidade orçamentária, o simpósio mobilizou pesquisadores nacionais e estrangeiros a fim de aprofundar conhecimentos e alavancar o emprego do material fresado (RAP) nas malhas rodoviárias e urbanas do país.

Destaques e Estrutura Técnica

A grade contemplou **20 palestras** e a apresentação de **6 trabalhos acadêmicos**, proporcionando painéis orientados a solucionar lacunas normativas e operacionais:

Circularidade e Desempenho: Abordagens sobre

metodologias a frio e a quente, agentes rejuvenescedores e o comportamento mecânico das camadas sob diferentes classes de tráfego.

Marcos Regulatórios: Diretrizes para controle de qualidade, parâmetros de dosagem e a necessária evolução dos cadernos de encargos no Brasil.

Sinergia Institucional: A comissão organizadora contou com a liderança da Dra. Eng^a Luciana Nogueira Dantas (DNIT / ABPv), da Profa. Dra. Kamilla Vasconcelos Savasini (POLI-USP), da Profa. Dra. Patrícia Hennig Osmari (EESC-USP) e do Prof. Dr. Adalberto Leandro Faxina (EESC-USP), refletindo a integração entre academia, órgãos executores e o mercado.

Conexão Setorial: Além das plenárias, o jantar de confraternização no dia 1º de setembro estimulou o diálogo qualificado entre concessionárias, fornecedores de insumos, projetistas e a comunidade científica.

A expressiva adesão de público e a excelência dos debates cancelam o 4º SIREMA como o grande encontro de referência na área, ratificando que o avanço da infraestrutura viária sustentável decorre do ganho de escala dessas soluções.



INFRAESTRUTURA | SANEAMENTO | EDIFICAÇÕES



Qualidade e Durabilidade

Aplicação de processos técnicos que garantem maior resistência e desempenho do pavimento.

Estrutura Operacional

Equipamentos modernos e frota preparada para atender obras de diferentes escalas com eficiência e produtividade.

Gestão Técnica

Acompanhamento operacional contínuo e controle rigoroso da execução dos serviços.

1º PaveSym – Simpósio Baiano de Pavimentação

Data: 8 e 9 de abril de 2026.

Local: Cruz das Almas (BA) — Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Campus CETEC.

Organizado pelo Laboratório de Pavimentação (PaveLab/CETEC) da UFRB, o evento buscou integrar o conhecimento acadêmico às demandas práticas do setor público e do mercado. A programação técnica contou com minicursos e mesas-redondas focados nas inovações do método mecanístico-empírico **MeDiNa 2.0**, em técnicas de reciclagem de misturas asfálticas e na conservação estrutural de rodovias não pavimentadas. O simpósio também promoveu homenagens e discussões sobre a infraestrutura no estado da Bahia. A ABPv estava presente e representada por sua diretora vice-presidente Luciana Dantas.



III Simpósio de Pavimentação da AEAARP



Data: 14 e 15 de abril de 2026.

Local: Ribeirão Preto (SP) — Sede da Associação de Engenharia, Arquitetura e Agronomia de Ribeirão Preto (AEAARP).

Realizado pela AEAARP em parceria com a ABPv e apoio do Sistema Confea/Crea e Mútua, reuniu cerca de 500 profissionais e promoveu uma ação social de arrecadação de alimentos. O conteúdo dividiu-se em dois eixos:

Primeiro Dia: Abordou práticas sustentáveis, análise do custo do ciclo de vida em misturas SMA, gestão eficiente de equipamentos e o papel da inteligência artificial no futuro dos projetos de engenharia.

Segundo Dia: Focado em métodos de reciclagem (asfalto espuma/BSM, a frio, a quente e micro RAP), além de estabilização geotécnica de solos, concessões rodoviárias e diagnóstico de pavimentos. Contando com apoio da ABPv que estava representada por seu diretor-presidente Eng. Valmir Bonfim.

12º Seminário Nacional de Modernas Técnicas Rodoviárias

Data: 17 a 20 de maio de 2026.

Local: Florianópolis (SC) — Hotel Castelmarr.

Organizado com a participação ativa da Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv), o seminário reuniu especialistas, universidades, concessionárias e órgãos públicos para discutir a modernização da infraestrutura viária nacional. Os principais temas abrangeram sustentabilidade, aplicação de aditivos e materiais de alta performance, reciclagem de pavimentos, novas metodologias executivas, segurança viária e avanços tecnológicos voltados ao desenvolvimento da engenharia rodoviária. Com a presença das diretoras técnica Thaís Kleinert e divulgação Márcia Melo, teve o apoio da ABPv.



1º INFRA ROAD Brasil

Data: 21 e 22 de maio de 2026.

Local: Curitiba (PR) — Auditório do Instituto de Engenharia do Paraná (IEP).

Organizado pelo Instituto IPOS Especialização e com o apoio da ABPv, o congresso abordou soluções técnicas, inovações e aspectos regulatórios para o setor. A programação estruturou-se em quatro pilares principais:

Tecnologia de Materiais: Desempenho do asfalto de alta modificação (HIMA), dosagem pela norma ES-031 e reciclagem com emulsão.

Pavimentos Rígidos: Diretrizes sobre pavimentos perpétuos e o uso de concreto em restaurações.

Gestão de Ativos e OAE: Metodologias de inspeção e avaliação visual de pontes e viadutos.

Inovação e Digitalização: Aplicação de BIM, inteligência artificial, drenagem superficial e sistemas de contenção viária.

O evento contou ainda com uma Feira de Negócios paralela para a exposição de equipamentos, ligantes e softwares.

O evento teve o apoio institucional da ABPv que teve como representante sua diretora administrativa a arq. Georgina L. Azevedo.



DRENAGEM PROFUNDA E DE PAVIMENTO: IMPORTÂNCIA E CRITÉRIOS DE PROJETO

MINICURSO ONLINE

DRENAGEM PROFUNDA E DE PAVIMENTO: IMPORTÂNCIA E CRITÉRIOS DE PROJETO

Data: 27/04/2026
 Horário: 19h
 Duração: 3h

MARCOS JABOR

Engenheiro Civil especializado em transportes e engenharia Rodoviária, com mais de 25 anos de atuação no CBR/Ms. Consultor independente e professor de pós-graduação em infraestrutura rodoviária e ferroviária.

ABPv
abpv@abpv.org.br



CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DE LIGANTES ASFÁLTICOS

MINICURSO ONLINE

CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DE LIGANTES ASFÁLTICOS

Data: 13 e 14/07/2026
 Horário: 19h
 Duração: 3h total, 1:30h por aula

ADALBERTO LEANDRO FAXINA

Engenheiro Civil pelo ITA/USP, doutor em Engenharia de Transportes pela USP, pesquisador na University of Texas, Australia, no University of Nottingham, Inglaterra, no Departamento de Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da USP, orientador do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes da USP.

ABPv
abpv@abpv.org.br



CAP, CAP-E E CAP-AB: UMA ABORDAGEM APLICADA DA RESOLUÇÃO ANP Nº 897/2022

MINICURSO ONLINE

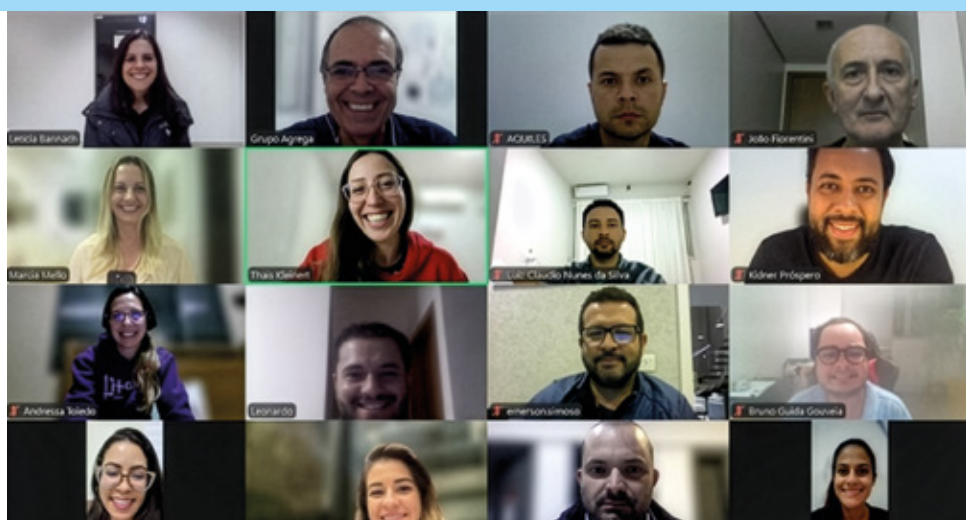
CAP, CAP-E E CAP-AB: UMA ABORDAGEM APLICADA DA RESOLUÇÃO ANP Nº 897/2022

Data: 27/05/2026
 Horário: 19h
 Duração: 3h

LETICIA BANNACH

Engenheira Química formada pela Universidade Federal do Paraná. Possui mais de 10 anos de experiência no setor de pavimentação asfáltica. Atualmente Responsável Técnica pela filial de Paulínia da Cbb Asfalto.

ABPv
abpv@abpv.org.br



IMPLEMENTAÇÃO E MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE

MINICURSO ONLINE

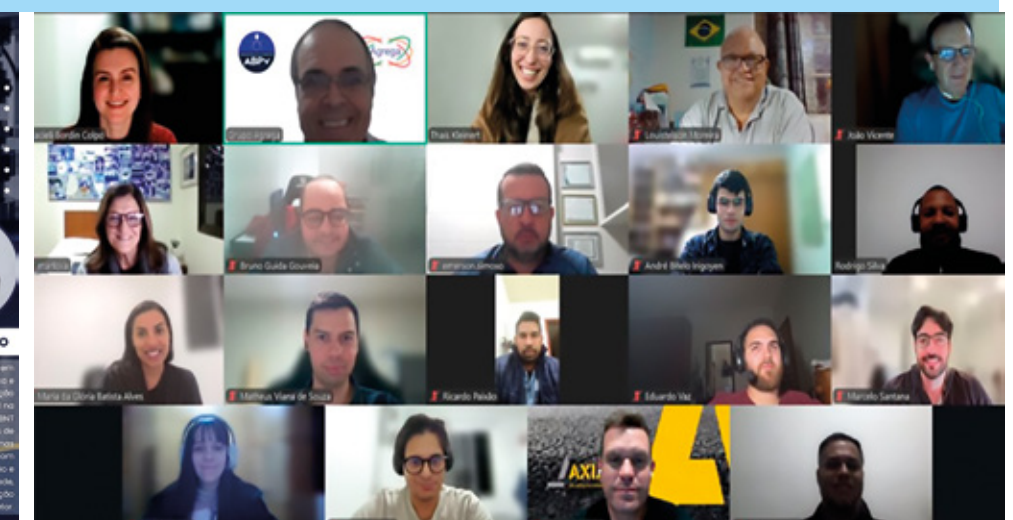
IMPLEMENTAÇÃO E MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE CONFORME A ABNT NBR ISO/IEC 17025 PARA LABORATÓRIOS DE PAVIMENTAÇÃO

Data: 25/08/2026
 Horário: 19h
 Duração: 3h

GRACIELI BORDIN COLPO

Doutora em Engenharia com ênfase em infraestrutura pelo UFPA. É Gerente Técnica e Pesquisadora do Laboratório de Pavimentação (LAPAV/UFPA), docente de Engenharia Civil no PPG-Engenharia de Transportes da UFPA. É pesquisadora na implementação da ABNT NBR ISO/IEC 17025 em laboratórios de pavimentação. Atua em pesquisas e projetos de obras de infraestrutura e pavimentação, com ênfase em infraestrutura portuária, gestão e monitoramento de pavimentos, sistemas de qualidade, implementação de laboratórios e capacitação técnica de profissionais do setor.

ABPv
abpv@abpv.org.br



UTILIZAÇÃO DE RAP EM MISTURAS ASFÁLTICAS

MINICURSO ONLINE

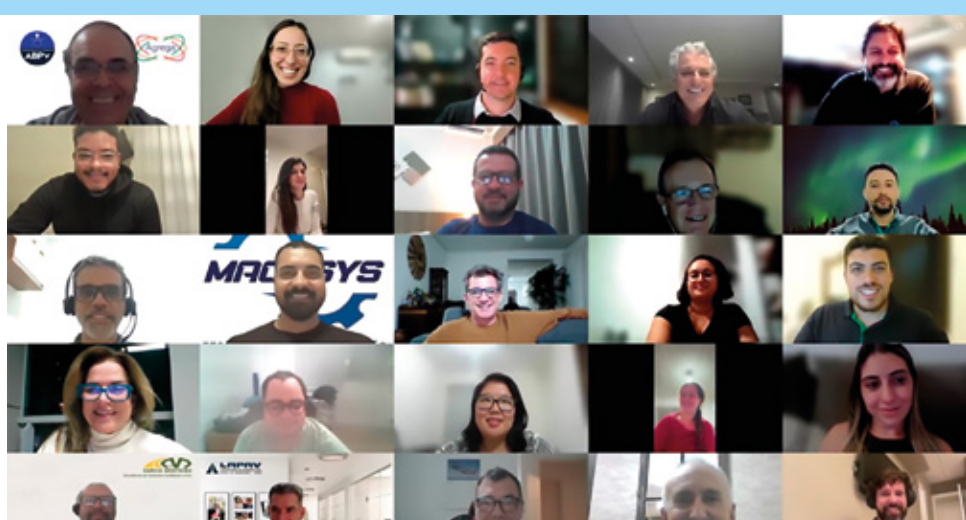
UTILIZAÇÃO DE RAP EM MISTURAS ASFÁLTICAS

Data: 08/06/2026
 Horário: 19h
 Duração: 3h

DOUGLAS MOCELIN

PhD em Engenharia Civil pela North Carolina State University, com atuação em pesquisas sobre pavimentação e misturas asfálticas. Membro internacionalmente pela Association of Asphalt Paving Technologists. Em 2022, atualmente coordena a área de Qualidade de Pavimentos e o laboratório de pesquisas da EcoRodovias.

ABPv
abpv@abpv.org.br



PRÓXIMOS EVENTOS

- 22/09/2026 a 24/09/2026 — Paving Expo — São Paulo, SP — <https://paving.com.br/>
- 24/09/2026 a 25/09/2026 — 5º RODO Simpósio de Rodovias — São Paulo, SP — <https://abge.org.br/eventos/5o-simposio-de-rodovias/>
- 30/09/2026 a 01/10/2026 — 15º Congresso Ibero-Americano de Pavimentos de Concreto — Natal, RN — <https://concreto.org.br/67cbc/15o-congresso-ibero-americano-de-pavimentos-de-concreto/>
- 30/09/2026 a 02/10/2026 — 7th International Symposium on Life-Cycle Assessment for Pavements and Bridges (RoadLCA) — Palermo, Itália — <https://www.reteitalianalca.it/news/roadlca-2026-30-09-02-10-2026-palermo/>
- 26/10/2026 a 30/10/2026 — 40º Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes (ANPET) — Armação dos Búzios, RJ — <https://congresso.anpet.org.br/>
- 23/11/2026 a 24/11/2026 — GeoRS 2026 - XIII Seminário de Engenharia Geotécnica do Rio Grande do Sul — Porto Alegre, RS — <https://eventos.softaliza.com.br/geors2026>

O QUE A ABPv OFERECE AOS ASSOCIADOS



Entidade técnico-cultural sem fins lucrativos fundada em 1959 no Rio de Janeiro, a ABPv tem por missão promover a preservação, a manutenção, o aprimoramento cultural e o desenvolvimento da técnica de pavimentação no Brasil.

- Divulgação da cultura e técnica da pavimentação através do ensino (treinamentos e cursos), publicações periódicas, seminários, eventos e palestras.
- Promoção da melhoria do ensino da pavimentação.
- Promoção de ações, estudos, convênios técnicos-científicos e projetos para solução de problemas que dificultem o aperfeiçoamento das técnicas de pavimentação.
- Intercâmbio de conhecimentos entre técnicos e entidades nacionais e estrangeiras no que se refere às normas, pesquisas, projetos, convênios e literatura especializada.
- Apoio às organizações congêneres que tenham os mesmos objetivos que a ABPv.
- Realização de eventos periódicos para divulgação e discussão de trabalhos técnicos-científicos, workshops e minicursos.
- Estimulo à participação dos seus sócios nos trabalhos de pavimentação.
- Preservação do registro da memória da pavimentação do País.
- Realização de eventos periódicos para a divulgação e discussão de trabalhos técnicos-científicos.

Entre as atividades educacionais e atividades culturais da ABPv destacam-se, além dos cursos de capacitação profissional, dois grandes eventos de nível nacional: a RAPv – REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO; e a RPU – REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA. Realiza também a EXPOPAVIMENTAÇÃO, uma exposição de produtos e serviços da área de engenharia de pavimentação.



INFLUÊNCIA DO MÉTODO ESTATÍSTICO DE PÓS-PROCESSAMENTO DOS MÓDULOS DE RESILIÊNCIA RETROANALISADOS DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

INFLUENCE OF THE STATISTICAL POST-PROCESSING METHOD ON BACK-CALCULATED RESILIENT MODULI OF AIRPORT PAVEMENTS

*João Vitor Benevides de Castro¹,
Mariana de Araújo Leite¹,
Lucas Cavalcante de Almeida¹ e
Francisco Heber Lacerda de Oliveira¹*

¹ Universidade Federal do Ceará, joavitor@det.ufc.br; mariana.leite@det.ufc.br; lucascavalcante@det.ufc.br; heber@det.ufc.br

DOI: 10.21526/abpv.v55.1

RESUMO

A definição do módulo de resiliência (MR) representativo a partir de resultados de retroanálise é uma etapa para o cálculo do Pavement Classification Rating (PCR), do Cumulative Damage Factor (CDF) e da vida útil remanescente de pavimentos aeroportuários, parâmetros que fundamentam as decisões de operação, manutenção e reabilitação (M&R). Embora a variabilidade espacial dos MRs retroanalizados seja reconhecida, não há procedimento padronizado para o pós-processamento estatístico desses dados, e a escolha do método pode alterar o diagnóstico estrutural e operacional da pista. A distribuição dos MRs raramente segue uma distribuição normal, o que limita a aplicabilidade do critério paramétrico clássico baseado na média menos um desvio padrão. Como alternativa, o Kernel Density Estimation (KDE) ponderado pelo erro quadrático médio (RMSE) estima a distribuição sem pressuposto de forma funcional, incorporando a qualidade do ajuste como critério de ponderação. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a influência do método de determinação do MR representativo, paramétrico clássico ($\mu - \sigma$) e KDE ponderado pelo RMSE, no diagnóstico estrutural e operacional de pavimentos aeroportuários, expresso pelo PCR, pelo CDF e pela vida útil remanescente. O KDE foi aplicado a duas pistas de pouso e decolagem no Brasil, com os MRs representativos extraídos pelo percentil 15 e inseridos no FAARFIELD 2.1.1. Ambos os métodos convergiram na identificação dos segmentos críticos, porém divergiram nos valores de PCR e CDF em segmentos com distribuições assimétricas. Essa divergência foi suficiente para produzir diagnósticos estruturais e operacionais distintos.

Palavras-chave: Kernel Density Estimation; Retroanálise; Operacional; Estrutural.

INTRODUÇÃO

A avaliação estrutural de pavimentos aeroportuários, por meio do *Falling Weight Deflectometer* (FWD) ou *Heavy Weight Deflectometer* (HWD), constitui uma das principais ferramentas não destrutivas para a determinação dos módulos de resiliência (MR) das camadas e do subleito do pavimento. A partir das bacias deflectométricas medidas em campo, a retroanálise estima os parâmetros de deformabilidade da estrutura por meio de um processo iterativo de ajuste entre a bacia medida e a calculada por programas de multicamadas elásticas (Chaves et

ABSTRACT

The definition of the representative resilient modulus (MR) from backcalculation results is a key step in computing the Pavement Classification Rating (PCR), the Cumulative Damage Factor (CDF), and the remaining service life of airfield pavements, parameters that directly underpin operation, maintenance, and rehabilitation (M&R) decisions. Although the spatial variability of backcalculated MRs is widely recognized, there is no standardized procedure for the statistical post-processing of these data, and the choice of method may alter the structural and operational diagnosis of the pavement. The distribution of MRs rarely follows a normal distribution, which limits the applicability of the classical parametric criterion based on the mean minus one standard deviation. As an alternative, Kernel Density Estimation (KDE) weighted by the root mean square error (RMSE) of the backcalculation estimates the distribution without assuming a functional form, incorporating the goodness of fit as a weighting criterion. In this context, the present study aims to evaluate the influence of the representative MR determination method, classical parametric ($\mu - \sigma$) and RMSE-weighted KDE, on the structural and operational diagnosis of airfield pavements, as expressed by PCR, CDF, and remaining service life. The KDE was applied to two runways in Brazil, with representative MRs extracted at the 15th percentile and entered into FAARFIELD 2.1.1. Both methods converged in identifying the critical segments, but diverged in PCR and CDF values for segments with asymmetric distributions. This divergence was sufficient to produce distinct structural and operational diagnoses.

Key words: Kernel Density Estimation; Backcalculation; Structural; Operational.

al., 2022). O resultado desse processo é um conjunto de MRs retroanalizados, cuja interpretação estatística é determinante para a classificação estrutural dos elementos do aeródromo por meio do *Pavement Classification Rating* (PCR) (FAA, 2021).

O sistema ACR/PCR (*Aircraft Classification Rating/Pavement Classification Rating*) representa o padrão atual para o reporte da capacidade estrutural de pavimentos aeroportuários. O PCR, o *Cumulative Damage Factor* (CDF) e a vida útil são determinados a partir de bacias de deflexão obtidas por ensaios não destrutivos, que ali-

mentam o processo de retroanálise para estimativa dos MR (Tarefder e Ahmed, 2013) e a confiabilidade é avaliada pelo RMSE (*Root Mean Square Error*) entre a bacia medida e a calculada. Por natureza, a retroanálise é um problema mal-posto, pois múltiplas combinações de MR podem reproduzir a mesma bacia deflectométrica, condição agravada pela não-linearidade dos materiais geotécnicos e pelo ruído inerente às medições (Garbowski e Pożarycki, 2017). Além disso, a sensibilidade dos algoritmos iterativos aos valores de semente do MR pode introduzir incertezas associadas ao processo de estimação e não às propriedades reais do pavimento (Chaves e Oliveira, 2025).

A variabilidade espacial dos MRs retroanalizados é uma característica inerente às estruturas aeroportuárias, podendo resultar em coeficientes de variação superiores a 100% em camadas betuminosas e granulares (Chaves, 2024). Essa dispersão pode não seguir uma distribuição normal, sendo frequente a ocorrência de assimetria e de subpopulações estruturais distintas ao longo da pista (Gopalakrishnan e Manik, 2010). Os *softwares* de retroanálise não incorporam ferramentas estatísticas para o tratamento dessa variabilidade, cabendo ao analista definir o MR representativo de cada camada para o cálculo do PCR (Santos Júnior et al., 2025). A adoção de estatística descritiva simples pode não refletir a condição estrutural crítica da seção podendo conduzir a escolha de MRs que subestimam ou superestimam a capacidade de suporte real (Appea, 2003; Santos Júnior et al., 2025). Esse impacto é amplificado pelo fato de que o PCR e o CDF são sensíveis ao conjunto de MRs inseridos no *software* FAARFIELD, e variações nos MRs do subleito afetam diretamente a vida útil estimada (Chaves e Oliveira, 2025).

Diante dessa lacuna, este trabalho possui como objetivo avaliar a influência do método de determinação do MR representativo no diagnóstico estrutural e operacional de pavimentos aeroportuários, expresso pelo PCR, pelo CDF e pela vida útil remanescente. Para tanto, foi

comparado o *Kernel Density Estimation* (KDE) ponderado pelo RMSE com o critério paramétrico clássico $\mu - \sigma$, analisando suas implicações no valor final do PCR e na coerência do diagnóstico resultante.

METODOLOGIA

A metodologia adotada para a determinação do PCR foi fundamentada em uma abordagem probabilística e computacional, visando mitigar a subjetividade na seleção dos MR das camadas e do subleito do pavimento. O estudo de caso compreende a análise de duas pistas de pouso e decolagem (PPD) situadas no Brasil, estruturada em três etapas: (i) aquisição e tratamento de dados de deflexão; (ii) modelagem estatística dos MRs por meio do *Kernel Density Estimation* (KDE) ponderado pelo *Root Mean Square Error* (RMSE) e o critério $\mu - \sigma$; (iii) análise estrutural via FAARFIELD 2.1.1 para determinação do PCR, CDF e vida útil.

Foram analisados dados de deflexão provenientes dessas duas PPDs (I e II), caracterizadas por pavimento flexível. A análise considerou a variabilidade longitudinal da rigidez, segmentando os dados nas faixas de tráfego onde ocorre a maior concentração de passagens das aeronaves, nos *offsets* de +3m, -3m, +6m e -6m em relação ao eixo das PPDs. Os dados brutos de bacias de deflexão foram submetidos a retroanálise elástica linear no *software* BACKFAA 3.4.3, gerando um banco de dados inicial de MR para as camadas de revestimento, base e subleito.

Precedendo o cálculo do PCR, as PPDs foram divididas em segmentos homogêneos (SH) que caracterizam trechos com condição estrutural similar (AASHTO, 1993). O coeficiente de Poisson adotado foi 0,35 para todas as camadas, com consideração de total aderência entre elas. Na Tabela 1 estão apresentados os mixes de aeronaves juntamente com ACR considerado e sem projeção de crescimento de tráfego para cada PPD, e na Tabela 2 os MRs adotados e as espessuras das camadas.

Tabela 1. Mix de tráfego de cada PPD

PPD I		
Aeronave	Operações anuais	ACR
ATR42-500	8	74
ATR72-500	522	95
B737-700	12	321
B737-800	5	377
Cessna 208B	25	25
PPD II		
ATR72-500	191	135
B727-200 Advanced	3	484

Tabela 2. Características das PPDs e dados para a retroanálise

Camadas e Subleito	Espessuras (mm) / MR utilizado na retroanálise (MPa)	
	RWY I	RWY II
Revestimento: Concreto Asfáltico	51 / 2500	90 / 2500
Base: Granular	450 / 500	200 / 1000
Subleito	- / 200	- / 100

Realizou-se a modelagem estatística dos MRs retroanalizados pelo KDE ponderado pelo RMSE e pelo critério paramétrico clássico $\mu-\sigma$. Por definição, o KDE é um método não paramétrico de estimação de densidade que, ao contrário de abordagens paramétricas, não pressupõe uma forma funcional específica para a distribuição dos dados (Silverman, 1986).

Neste estudo, cada ponto de medição recebeu peso inversamente proporcional ao RMSE da retroanálise correspondente, de forma que retroanálises de menor qualidade exercem influência reduzida sobre a distribuição estimada. É importante destacar que a ponderação pelo RMSE não constitui exclusão de *outliers* estruturais, pois um ponto com RMSE elevado pode representar uma condição estrutural real, sendo sua influência reduzida, mas não eliminada. Trata-se de um critério de ponderação da qualidade do ajuste numérico entre a bacia deflectométrica medida e a calculada pelo modelo elástico, não devendo ser interpretado como indicador de aderência física da solução retroanalizada ao comportamento real dos materiais. Um RMSE baixo indica consistência numérica da solução iterativa, mas não garante que os módulos estimados representem as propriedades mecânicas reais das camadas do pavimento.

O procedimento do KDE compreendeu três etapas. Na primeira, atribuiu-se a cada ponto de medição um peso inversamente proporcional ao RMSE, normalizado de forma que a soma dos pesos seja unitária, utilizando

todos os pontos disponíveis após o filtro de limites físicos admissíveis por camada. Na segunda etapa, ajusta-se a curva KDE ponderada sobre os dados de cada camada, com largura de banda determinada automaticamente pelo método de Silverman (1986). Na terceira etapa, realiza-se uma reamostragem estocástica da distribuição estimada, gerando $N = 10.000$ pontos sintéticos. Os pontos sintéticos gerados fora do intervalo $0,5x_{min}$ a $1,5x_{max}$ são descartados, restringindo a reamostragem à região dos dados observados e evitando valores fisicamente inaceitáveis nas caudas da distribuição. O MR representativo de cada camada e do subleito é definido como o percentil 15 (P15) calculado sobre os pontos sintéticos retidos.

O critério $\mu-\sigma$ é um método paramétrico clássico utilizado na engenharia de pavimentos para a definição do módulo representativo de projeto (Chaves e Oliveira, 2025). O procedimento consiste em calcular a média aritmética (μ) e o desvio padrão amostral (σ) dos MRs de cada camada sobre todos os pontos do segmento homogêneo, sem ponderação pelo RMSE, adotando como MR representativo de cada camada a $\mu-\sigma$. Em segmentos com coeficiente de variação elevado, o resultado pode ser nulo ou negativo, evidenciando a limitação do método em condições de alta variabilidade estrutural. Em ambos os métodos, os MRs resultantes foram os valores de entrada para o *software* FAARFIELD 2.1.1 e serve como base para a comparação entre KDE e $\mu-\sigma$.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Tabela 3 apresenta os MRs obtidos pelos métodos KDE e $\mu-\sigma$ para os cinco segmentos homogêneos da PPD I. Previamente à análise comparativa, foram aplicados os testes de Shapiro-Wilk e Anderson-Darling aos MRs retroanalizados de cada camada, com nível de significância de 5%. Os resultados indicaram que a hi-

pótese de normalidade foi rejeitada na camada de revestimento em todos os segmentos, o que justifica a adoção de abordagens não paramétricas para essa camada. A análise comparativa indicou comportamentos distintos entre as camadas, com convergência entre os valores no subleito e divergências no revestimento.

Tabela 3. Comparativo entre procedimentos PPD I

Segmento	Revestimento (MPa)		Normal	Base (MPa)		Normal	Subleito (MPa)		Normal
	KDE	$\mu-\sigma$		KDE	$\mu-\sigma$		KDE	$\mu-\sigma$	
+3SH1	3225,7	697	Não	187,6	243,9	Sim	209,4	2146	Sim
+3SH2	3348,2	3316,9	Não	134,4	142,5	Sim	184,8	186,2	Não
-3SH1	2400,4	1594,8	Não	202,8	197,9	Não	201,3	226,3	Sim
-3SH2	5384,9	4884,7	Não	151,1	148,2	Sim	178,8	178,5	Sim
-3SH3	3474,9	0	Não	133,1	170,1	Sim	152,3	141,9	Sim

Para a camada de revestimento, o $\mu-\sigma$ demonstrou instabilidade em dois segmentos. No segmento +3SH1, diferença de 2.529 MPa foi atribuída à assimetria da distribuição, pois o desvio padrão elevado penaliza o critério paramétrico, subestimando o MR representativo. No segmento -3SH3, o $\mu-\sigma$ resultou em zero, consequência direta do coeficiente de variação elevado, que faz com que o desvio padrão supere a média aritmética. Esse resultado é fisicamente inaceitável e inviabiliza o uso direto do critério paramétrico para esse segmento sem tratamento adicional. O KDE, por operar sobre a distribuição estimada com suporte físico controlado, retornou 3.474,9 MPa.

Para a camada de base, os dois métodos apresentaram maior convergência. A maior simetria e menor variabilidade da distribuição dos MRs da camada de base explicam o melhor desempenho relativo do critério paramétrico nessa camada.

Para o subleito, as diferenças foram inferiores a 25 MPa em todos os segmentos. Em síntese, os resultados da PPD I evidenciam que o KDE ponderado pelo RMSE apresenta maior estabilidade em todas as camadas, particularmente no revestimento, pois o critério $\mu-\sigma$ demonstrou sensibilidade à assimetria da distribuição e ao coeficiente de variação elevado. Vale ressaltar que, na ocorrência da distribuição dos MRs retroanalizados se

aproximarem de uma distribuição normal, condição observada na camada de base e no subleito, o critério $\mu-\sigma$ constitui uma alternativa válida e de aplicação direta, dispensando o ajuste de uma curva de densidade.

A Tabela 4 apresenta os módulos representativos obtidos pelos métodos KDE e $\mu-\sigma$ para os doze segmentos homogêneos da PPD II. Para a camada de revestimento as divergências entre os métodos indicaram a alta variabilidade típica dessa camada. Os casos mais relevantes foram o +3SH3, no qual o KDE retornou 2.976,8 MPa e o $\mu-\sigma$ resultou em apenas 325,6 MPa, e o +6SH2, com KDE de 1.830,9 MPa e $\mu-\sigma$ de 795,6 MPa. Em ambos os casos, o desvio padrão elevado penalizou o critério paramétrico. Em contrapartida, alguns segmentos apresentaram concordância satisfatória, como +3SH2, indicando que nesses trechos a distribuição do revestimento se aproxima da normalidade. O segmento +6SH1 mereceu atenção na camada de base, pois o $\mu-\sigma$ retornou apenas 52 MPa frente a 263,9 MPa pelo KDE, diferença de 212 MPa que evidencia novamente o colapso do critério paramétrico diante de distribuições com assimetria ou variabilidade elevada.

Tabela 4. Comparativo entre procedimentos PPD I

Segmento	Revestimento (MPa)		Normal	Base (MPa)		Normal	Subleito (MPa)		Normal
	KDE	$\mu-\sigma$		KDE	$\mu-\sigma$		KDE	$\mu-\sigma$	
+3SH1	2405,9	1228,3	Não	376,5	354,7	Não	193,3	181,8	Não
+3SH2	1787,3	1882,4	Sim	525,5	528,2	Não	152,2	151,4	Não
+3SH3	2976,8	325,6	Não	488	623,8	Sim	184,2	174,6	Sim
+6SH1	4133,1	3470,4	Não	263,9	52	Não	221,6	2152	Sim
+6SH2	1830,9	795,6	Não	313,9	426	Sim	162,5	1518	Não
+6SH3	1708,1	1981,4	Sim	619,5	547,2	Não	171,4	169	Sim
-3SH1	3137,4	2410,7	Não	323,8	264,2	Não	214,5	1977	Sim
-3SH2	1119,1	1312,6	Sim	557,2	444	Não	143,1	1409	Sim
-3SH3	1641,6	1965,6	Sim	471,6	436,7	Não	148,9	155	Sim
-6SH1	2886,5	2478,1	Não	362,2	112,5	Não	222,5	2183	Sim
-6SH2	1589,6	620,5	Não	415,5	468,6	Sim	144,4	1379	Sim
-6SH3	1865,4	1791,7	Sim	561,2	597	Não	152,4	157,9	Não

Para o subleito, os dois métodos convergiram em todos os segmentos, com diferenças inferiores a 20 MPa. Por fim, os resultados da PPD II confirmam os resultados obtidas para a PPD I. O KDE ponderado pelo RMSE demonstrou maior estabilidade em todas as camadas, especialmente no revestimento e em segmentos de base com distribuições assimétricas. O critério $\mu-\sigma$ apresentou desempenho satisfatório nos segmentos em que a distribuição dos MRs se aproxima da normalidade, como verificado no subleito.

A Tabela 5 apresenta os valores de PCR, CDF e vida útil obtidos a partir dos MR representativos determinados pelos métodos KDE e $\mu-\sigma$ para os cinco segmentos homogêneos da PPD I. Para quatro dos cinco segmentos, os dois métodos produziram PCR equivalentes. Os segmentos +3SH1, +3SH2, -3SH1 e -3SH2 resultaram em CDF nulo e vida útil superior a 20 anos em ambos os métodos, indicando capacidade estrutural satisfatória e sem restrição operacional frente ao ACR de 377.

Tabela 5. PCR, CDF e vida útil para a PPD I.

Segmento	PCR KDE	CDF KDE	Vida útil (anos) KDE	PCR $\mu-\sigma$	CDF $\mu-\sigma$	Vida útil (anos) $\mu-\sigma$
+3SH1	1070	0		1090	0	
+3SH2	790	0		800	0	
-3SH1	1000	0	> 20 anos	1200	0	> 20 anos
-3SH2	810	0		790	0	
-3SH3	580	0.1		-	-	-

O segmento -3SH3 representa o caso metodologicamente mais relevante da PPD I. O KDE retornou PCR de 580, CDF de 0,1 e vida útil superior a 20 anos, com PCR acima do ACR de 377, portanto sem restrição operacional. O critério $\mu-\sigma$, por sua vez, não produziu resultado utilizável para esse segmento, uma vez que o MR do revestimento resultou em zero devido ao coeficiente de variação elevado, inviabilizando a entrada dos dados no FAARFIELD. Esse resultado evidencia de forma objetiva, a principal limitação do critério paramétrico clássico, pois em segmentos com alta variabilidade estrutural, o método pode colapsar e inexistir um valor de projeto de-

finido, situação rejeitável em um contexto de avaliação operacional de pista.

A Tabela 6 apresenta os valores de PCR, CDF e vida útil obtidos a partir dos MRs representativos determinados pelos métodos KDE e $\mu-\sigma$ para os doze segmentos homogêneos da RWY II. De forma geral, a maioria dos segmentos apresentou PCR superior ao ACR de 484 pelo método KDE, com exceção dos segmentos +6SH2 e -6SH2, que indicaram restrição operacional. O método $\mu-\sigma$ produziu restrição operacional em três segmentos, evidenciando divergências relevantes entre os dois critérios.

Tabela 6. PCR, CDF e vida útil para a PPD II

Segmento	PCR KDE	CDF KDE	Vida útil (anos) KDE	PCR $\mu-\sigma$	CDF $\mu-\sigma$	Vida útil $\mu-\sigma$ (anos)
+3SH1	660	0,1		500	0,3	
+3SH2	500	0,27		500	0,27	
+3SH3	720	0,07		490	0,34	
+6SH1	950	0,03		1170	0,01	
+6SH2	430	0,48		380	0,81	
+6SH3	640	0,11		610	0,13	> 20 anos
-3SH1	840	0,05	> 20 anos	620	0,13	
-3SH2	510	0,49		450	0,75	
-3SH3	530	0,41		470	0,33	
-6SH1	950	0,04		750	0,07	
-6SH2	470	0,65		390	1,36	14,7
-6SH3	520	0,23		560	0,17	> 20 anos

As divergências ocorreram nos segmentos em que a distribuição do revestimento ou da base apresentou assimetria elevada. No +3SH3, a diferença de 230 pontos no PCR é decorrente diretamente da anormalidade do $\mu-\sigma$ no revestimento, que retornou apenas 326 MPa frente a 2.977 MPa pelo KDE. Situação semelhante ocorreu no -3SH1, com PCR de 840 (KDE) e 620 ($\mu-\sigma$), e no -6SH1, com PCR de 950 (KDE) e 750 ($\mu-\sigma$). Em todos esses casos, o $\mu-\sigma$ subestimou o revestimento devido à alta variabilidade, penalizando o valor do PCR.

O segmento -6SH2 representa o resultado operacionalmente mais crítico da PPD II e o mais relevante para a discussão metodológica. Pelo KDE, o segmento resultou em PCR de 470 e CDF de 0,65, com PCR abaixo do ACR de 484, indicando restrição operacional. Pelo critério $\mu-\sigma$, o mesmo segmento resultou em PCR de 390, CDF de 1,36 e vida útil de apenas 14,7 anos, também com restrição operacional e com CDF superior a 1,0, in-

dicando que a estrutura já opera além de sua capacidade de projeto para o *mix* de tráfego considerado.

Embora ambos os métodos indiquem restrição operacional para esse segmento, a severidade do diagnóstico difere, pois o KDE aponta uma condição próxima ao limite, com vida útil remanescente ainda disponível, enquanto o $\mu-\sigma$ indica esgotamento da capacidade estrutural de projeto. Essa divergência é decorrente da diferença de 969 MPa no MR representativo do revestimento e mostra como variações no MR representativo podem ser determinantes para a conclusão operacional em segmentos que operam próximos ao limite de capacidade estrutural. Por fim, ambos os métodos convergem na identificação dos segmentos mais críticos da PPD II (+6SH2 e -6SH2), porém divergem na abrangência do diagnóstico de restrição operacional.

CONCLUSÃO

Este trabalho investigou a influência da escolha do método estatístico de pós-processamento dos módulos de resiliência (MRs) retroanalizados sobre o *Pavement Classification Rating* (PCR) de pavimentos flexíveis aeroportuários. A comparação entre o *Kernel Density Estimation* (KDE) ponderado pelo *Root Mean Square Error* (RMSE) e o critério paramétrico clássico $\mu-\sigma$ demonstrou que a etapa de definição do MR representativo é sensível ao critério utilizado e pode ser determinante quanto ao diagnóstico estrutural e operacional da pista.

Os dois métodos convergiram na identificação dos segmentos críticos em ambas as pistas analisadas. Essa convergência, contudo, não se traduziu em equivalência operacional. O critério $\mu - \sigma$ demonstrou incoerência em segmentos com distribuições assimétricas, e as divergências entre os métodos foram mais relevantes, sobretudo nesses casos. Em situações limítrofes, em que a estrutura opera próxima ao limite de capacidade frente ao ACR de referência, diferenças no MR representativo adotado foram suficientes para diagnosticar uma pista dentro da capacidade operacional por um método e, pelo outro, com dano acumulado superior à unidade e vida útil comprometida. Esses resultados evidenciam que a etapa de pós-processamento estatístico dos MRs retroanalizados não é uma escolha neutra, e que a ausência de um procedimento padronizado representa uma lacuna metodológica com consequências diretas para a gestão de pavimentos aeroportuários.

O KDE ponderado pelo RMSE mostrou-se mais robusto para o contexto de avaliação estrutural de pavimentos aeroportuários, por não pressupor forma funcional para a distribuição dos dados, incorporar a qualidade da retroanálise como critério de ponderação e produzir MRs representativos fisicamente coerentes mesmo em segmentos com alta variabilidade. O critério $\mu-\sigma$ permanece uma alternativa válida e de aplicação direta quando a distribuição dos MRs retroanalizados aproxima-se da normalidade, condição que deve ser verificada antes de sua adoção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). Guide for design of pavement structures. AASHTO.

Appea, A. K. (2003). Validation of FWD testing results at the Virginia Smart Road: Theoretically and by instru-

ment responses (Doctoral dissertation). Virginia Polytechnic Institute and State University.

Chaves, J. W. R. (2024). Análise da influência dos módulos de elasticidade retroanalizados por distintos softwares para o Método ACR/PCR (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

Chaves, J. W. R., Araújo, M. J. R., & Oliveira, F. H. L. (2022). Análise comparativa de módulos de elasticidade retroanalizados em pavimento aeroportuário com distintas cargas de impulso. In Anais do 13º Congresso Ibero Latinoamericano del Asfalto.

Chaves, J. W. R., & Oliveira, F. H. L. D. (2025). Impacts of backcalculation software selection on airport flexible pavements using the Aircraft Classification Rating/Pavement Classification Rating method. Transportation Research Record, 2679(3), 127-143.

Federal Aviation Administration. (2021). Advisory Circular AC 150/5335-5D: Standardized method of reporting airport pavement strength — ACR-PCR method. U.S. Department of Transportation.

Garbowski, T., & Pożarycki, A. (2017). Multi-level backcalculation algorithm for robust determination of pavement layers parameters. Inverse Problems in Science and Engineering, 25(5), 674-693.

Gopalakrishnan, K., & Manik, A. (2010). Co-variance matrix adaptation evolution strategy for pavement backcalculation. Construction and Building Materials, 24, 2177-2187.

Santos Júnior, E. J., Herculano, A. T., Marcelino, L. E. M., Silva, R. C. E., & Silva, L. C. (2025). Metodologia automatizada para análise estatística de módulos retroanalizados em pavimentos aeroportuários. In Anais do 27º ENACOR — Encontro Nacional de Conservação Rodoviária & 50ª Reunião Anual de Pavimentação. ABPv. <https://doi.org/10.21526/50rapv.168>

Silverman, B. W. (1986). Density estimation for statistics and data analysis. Chapman and Hall.

Tarefder, R. A., & Ahmed, M. (2013). Consistency and accuracy of selected FWD backcalculation software for computing layer modulus of airport pavements. International Journal of Geotechnical Engineering, 7(1), 128-136.



Da Base ao Revestimento: Soluções Ingevity para Pavimentos de Alta Performance

A Ingevity é referência global no desenvolvimento de especialidades químicas para a indústria de pavimentação asfáltica. Com presença técnica consolidada, experiência internacional e compromisso com inovação, sustentabilidade e desempenho, a empresa oferece ao mercado brasileiro soluções que contribuem para pavimentos mais duráveis, eficientes e alinhados

às demandas atuais de infraestrutura. Por meio de tecnologia aplicada, suporte especializado e acompanhamento de projetos, a Ingevity apoia clientes, construtoras, concessionárias e órgãos públicos na adoção de soluções modernas para conservação, reabilitação e construção de pavimentos, da base ao revestimento.

1. Microrrevestimento Asfáltico a Frio (MRAF)

Reconhecido como uma das principais técnicas de manutenção preventiva de pavimentos, o microrrevestimento asfáltico a frio contribui para ampliar a vida útil das rodovias, melhorar as condições funcionais da superfície e otimizar investimentos em conservação. Com os aditivos Ingevity, a tecnologia pode ser aprimorada para acelerar a cura, viabilizar aplicações noturnas e ampliar a janela de trabalho em períodos frios.

2. Tecnologia de Mistura Asfáltica Morna (WMA - Warm Mix Asphalt)

A tecnologia de Mistura Asfáltica Morna representa um avanço importante para obras mais eficientes e sustentáveis. Ao permitir a redução das temperaturas de usinagem e aplicação, contribui para menor envelhecimento do ligante asfáltico, redução de emissões e melhor trabalhabilidade das misturas. Além disso, favorece o uso de maiores percentuais de material fresado (RAP), promovendo mais circularidade e eficiência no uso de recursos.

3. Reciclagem Profunda com Emulsão Asfáltica (FDR - Full Depth Reclamation)

A reciclagem profunda com emulsão asfáltica é uma solução de reabilitação estrutural que combina desempenho técnico, produtividade e sustentabilidade. A técnica reutiliza 100% dos materiais existentes, reduz significativamente a necessidade de transporte de novos insumos e melhora a capacidade de suporte da estrutura do pavimento, formando uma nova camada intermediária flexível e de alto desempenho.

Pavement Technologies

Ingevity Brasil

Av. Antonio Artoli, 570, BL E (Andermatt), Conj. 207 e 209, Swiss Park Offices.
Campinas, São Paulo, Brasil
CEP 13.049-900

[ingevity.com](https://www.ingevity.com)

Atendimento ao Cliente

+55 19 3514 1600
cliente-grp@ingevity.com

TRACADO

CONSTRUÍMOS A INFRAESTRUTURA DO PAÍS.

NOSSAS FRENTES



Concessões de Saneamento



Obras de Arte Especiais



Concreteira



Distribuidora de Asfalto



METODOLOGIA DE MONITORAMENTO DE DEFENSAS METÁLICAS EM RODOVIAS UTILIZANDO VISÃO COMPUTACIONAL

*METHODOLOGY FOR MONITORING HIGHWAY
METAL GUARDRAILS USING COMPUTER
VISION*

Wesley Miranda de Carvalho¹,
Tiago Augusto Pianezzer¹,
Felipe Dias Lopes¹,
Jorge Destri Júnior¹,
Carlos Augusto Calage Silveira Júnior¹,
Vinicius Conti da Costa¹,
Daniel Vieira Machado¹,
Camila Belleza Maciel Barreto¹,
Valter Zanela Tani¹ e
Wellington Longuini Repette¹

¹ Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans), vinculado à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

DOI: 10.21526/abpv.v55.2

RESUMO

A inspeção de dispositivos de contenção longitudinal constitui uma atividade relevante para a gestão da segurança viária, uma vez que a integridade geométrica das defensas metálicas influencia diretamente seu desempenho na mitigação das consequências de saídas de pista. Métodos tradicionais baseados em inspeções visuais apresentam limitações quanto à frequência, abrangência espacial e padronização dos diagnósticos. Nesse contexto, técnicas de visão computacional e processamento automatizado de imagens ampliam as possibilidades de monitoramento da infraestrutura rodoviária. Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma metodologia de monitoramento dinâmico de defensas metálicas a partir de imagens coletadas por um Equipamento de Coleta de Dados (ECD) de baixo custo, instalado lateralmente em veículo de inspeção. O modelo integra aquisição de imagens, segmentação automatizada por meio do Segment Anything Model (SAM), da extração de atributos geométricos e da classificação do estado de conservação em Conformidade e Não Conformidade, utilizando um classificador Support Vector Machine (SVM). A validação foi realizada com base em 3.739 amostras coletadas em trechos de rodovias concedidas e não concedidas. Os resultados indicaram acurácia sem distinção de classificação de 82,96%. Para a classe “Não Conformidade”, foi observado recall de 68% e precision de 20%, evidenciando uma capacidade moderada de detecção de defeitos, embora a confiabilidade das classificações positivas seja reduzida devido ao elevado índice de falsos positivos. Os resultados indicam potencial de aplicação da metodologia como ferramenta de apoio ao monitoramento, com necessidade de aprimoramentos voltados ao aumento da sensibilidade na identificação de avarias.

Palavras-chave: Segurança Viária; Defensas Metálicas; Visão Computacional; Monitoramento de Infraestrutura.

ABSTRACT

The inspection of roadside safety barriers is a relevant activity in road safety management, as the geometric integrity of guardrails directly affects their performance in mitigating run-of-road crashes. Conventional inspection procedures based on visual surveys present limitations related to frequency, spatial coverage and consistency of evaluations. In this context, computer vision and automated image processing techniques expand the possibilities for road infrastructure monitoring. This study presents the development of a methodology for the dynamic monitoring of guardrails using images collected by a low-cost data acquisition device mounted laterally on an inspection vehicle. The proposed methodology integrates image acquisition, automated segmentation using the Segment Anything Model, extraction of geometric attributes, and classification in Conformity or Non-Conformity using a Support Vector Machine classifier. The validation process was conducted using 3739 samples collected along segments of public and private administration highways. The results indicated an overall accuracy of 82.96%. For the Non-Conformity class, the model achieved a recall of 68% and a precision of 20%, indicating moderate defect detection capability, although the reliability of positive classifications is reduced due to a high rate of false positives. The results demonstrate the potential of the methodology as a support tool for infrastructure monitoring, while highlighting the need for improvements aimed at increasing defect detection sensitivity.

Keywords: Road Safety; Guardrails; Computer Vision; Infrastructure Monitoring.

INTRODUÇÃO

A segurança viária constitui um dos eixos estruturantes da engenharia de transportes, especialmente no que se refere à mitigação da gravidade dos sinistros por meio da adequada implantação e manutenção dos dispositivos de contenção longitudinal. Esses dispositivos desempenham papel relevante na redução de saídas de pista ao redirecionar os veículos e limitar a exposição dos usuários a obstáculos fixos e ao fluxo de tráfego oposto. Nesse contexto, sua integridade geométrica, sua continuidade e seu alinhamento se tornam variáveis críticas para o desempenho funcional do dispositivo. Tradicionalmente, a inspeção dos dispositivos de contenção longitudinal tem sido conduzida por meio de vistorias visuais e de levantamentos manuais, o que implica em restrições operacionais relacionadas à escala, à frequência e à subjetividade da avaliação. A consolidação de técnicas baseadas em sensoriamento remoto, visão computacional e processamento automatizado de dados tem ampliado as possibilidades de monitoramento dinâmico, permitindo a coleta sistemática de informações em condições reais de tráfego e em nível de rede.

Neste aspecto, diferentes abordagens metodológicas vêm sendo propostas. Malehmir et al. (2018) desenvolveram um algoritmo de aprendizado de máquina para extração de ativos laterais a partir de dados LiDAR embarcados, alcançando precision de 98% na identificação de barreiras de concreto. Zhu, Wang e Guo (2018) propuseram um método de detecção de defensas metálicas em segmentos retos e curvos com o uso de câmeras e Mapeamento de Perspectiva Inversa (IPM), obtendo taxa de reconhecimento de 92%. Stefan et al. (2019) apresentaram estratégia de investigação e classificação de sistemas de contenção com base em imagens capturadas por câmeras instaladas lateralmente em veículos de inspeção. A utilização de nuvens de pontos tridimensionais também tem sido explorada na literatura. Vidal et al. (2020) desenvolveram um método automatizado para extração e caracterização de dispositivos de contenção lateral a partir de dados obtidos por Mobile Laser Scanner (MLS). Xu, Cao e Lan (2020) compararam quatro algoritmos de segmentação para delimitação do contorno desses dispositivos em ambientes rurais e urbanos, evidenciando diferenças de desempenho conforme o cenário de aplicação. Justo et al. (2021) propuseram uma abordagem semiautomática para modelagem 3D de defensas metálicas compatível com o padrão Industry Foundation Classes (IFC), integrando nuvens de pontos a

modelos digitais de infraestrutura.

Outras contribuições exploram sensores alternativos e aplicações específicas. Mukherjee et al. (2021) aplicaram técnicas de Inteligência Artificial (IA) e visão computacional para automatizar a inspeção de defensas metálicas, incluindo a verificação de critérios relacionados à segurança de motociclistas. Hou, Ai e Boudreau (2022) apresentaram um modelo automatizado para detecção e rastreamento de defensas metálicas em nível de rede, com base em dados LiDAR móveis, analisando sua continuidade e seu alinhamento.

Apesar dos avanços observados, uma parcela significativa das soluções reportadas depende de equipamentos de alto custo, como sistemas LiDAR móveis e sensores especializados, o que pode limitar sua adoção em contextos com restrições orçamentárias. Adicionalmente, nem todas as abordagens integram de forma sistemática dados visuais e dados inerciais embarcados em dispositivos amplamente disponíveis no mercado. Essa lacuna evidencia a necessidade de modelos que conciliem viabilidade operacional, escalabilidade e potencial de integração com técnicas de visão computacional.

Diante deste panorama, o presente artigo apresenta o desenvolvimento de uma metodologia para o monitoramento dinâmico de dispositivos de contenção longitudinal, especificamente as defensas metálicas, que foi concebida para atuar de forma complementar às inspeções convencionais, oferecendo diagnósticos objetivos, reproduzíveis e fundamentados em evidências quantitativas, com rastreabilidade dos resultados. Sendo assim, a metodologia desenvolvida se estrutura a partir de um fluxo de coleta, de tratamento e de interpretação de dados obtidos a partir de um veículo em movimento, com ênfase na identificação geométrica, na verificação de continuidade e na detecção preliminar de danos.

Para atender ao objetivo proposto, foi empregado um Equipamento de Coleta de Dados (ECD) de baixo custo, constituído por câmera de ação, posicionada na lateral do veículo de inspeção. A configuração adotada permite a captura contínua de imagens ao longo do trecho monitorado, associada aos dados inerciais registrados pelo próprio ECD, como aceleração e orientação espacial. Para validação do método desenvolvido, este artigo irá apresentar sua base teórica, sua aplicação em um contexto real de campo e uma avaliação de seu desempenho.

MODELO DE MONITORAMENTO PROPOSTO

O protótipo desenvolvido se baseia em um modelo teórico de monitoramento estruturado para o acompanhamento das condições das defensas metálicas em rodovias. Esse modelo estabelece um fluxo integrado de aquisição, processamento e consolidação de dados, no qual regis-

tros visuais obtidos em campo são transformados em informações técnicas que subsidiam o diagnóstico do estado de conservação desses dispositivos. A organização conceitual desse fluxo é apresentada na Figura 1, que sintetiza as etapas de entrada de dados, processamento das imagens e geração dos produtos finais de análise.

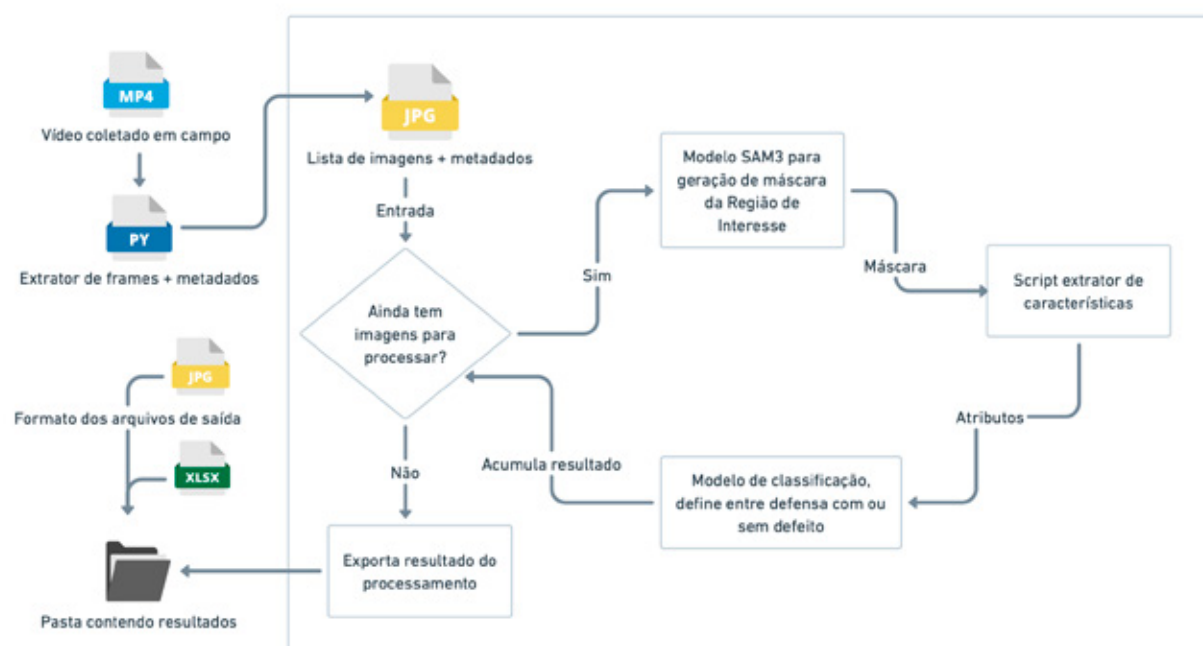


Figura 1. Modelo Teórico de Monitoramento das defensas metálicas (Elaborada pelos autores, 2026)

A etapa inicial do modelo corresponde à aquisição dos dados em campo, realizada por meio de câmeras de ação com alta resolução e *Global Positioning System* (GPS) integrado, instaladas em veículos de inspeção. Para o monitoramento das defensas metálicas, os equipamentos são posicionados lateralmente no veículo, permitindo registrar a face do dispositivo ao longo do deslocamento. As coletas são realizadas no período diurno, condição que favorece a visibilidade da superfície metálica e a identificação de deformações estruturais. A associação entre os registros visuais e as coordenadas geográficas permite vincular cada trecho analisado à sua posição ao longo da rodovia.

Após a coleta, os vídeos são submetidos ao processamento automatizado, no qual é identificada a região correspondente à defesa metálica nas imagens. Esse procedimento é realizado por meio do *Segment Anything Model 3* (SAM 3), que possibilita a geração de máscaras de segmentação capazes de isolar o objeto de interesse do restante da cena (Carion *et al.*, 2025). Durante esse

processo, aplica-se um filtro morfológico para eliminar elementos que não fazem parte da estrutura principal da defesa metálica, como os suportes verticais, que podem interferir na análise geométrica da face metálica.

A partir dessas máscaras, inicia-se a etapa de extração de características geométricas, convertendo a informação visual em métricas quantitativas relacionadas ao comportamento da estrutura. O processamento das características é conduzido a partir da análise da geometria da defesa segmentada. Inicialmente, realiza-se a análise de curvatura da linha média da estrutura, dividida em segmentos de comprimento variável entre 0,1 m e 1,0 m, para os quais se ajusta um polinômio de segundo grau. Esse procedimento permite identificar desvios progressivos em relação ao alinhamento esperado. Em seguida, calcula-se a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) das bordas superior e inferior em relação ao eixo projetado, indicador que expressa a perda de regularidade geométrica ao longo do dispositivo. Complementarmente, o modelo realiza a detecção de variações abruptas asso-

ciadas a discontinuidades locais, como vincos ou amassamentos, distinguindo essas ocorrências de variações decorrentes da geometria da via. A integração dessas métricas resulta em um vetor de atributos que fundamenta o diagnóstico automatizado do estado estrutural da defesa.

A partir do refinamento da segmentação e da extração das métricas geométricas, obtém-se um vetor de atributos que representa quantitativamente o comportamento estrutural da defesa ao longo do trecho analisado. Esses atributos fundamentam a etapa de classificação do estado dos elementos avaliados. A estrutura adotada é binária e orientada à priorização de intervenções de manutenção. Os registros podem ser classificados em classes, sendo o Nível I – Conformidade referente às situações em que a geometria da defesa permanece dentro dos limites de regularidade definidos pelos indicadores calculados e o Nível II – Não Conformidade referente à presença de deformações estruturais relevantes, identificadas pelos desvios significativos nos indicadores calculados. Concluída a etapa de classificação, os resultados são consolidados em base georreferenciada, permitindo

associar cada diagnóstico à sua posição ao longo do trecho monitorado. Os dados são exportados em arquivo no formato .xlsx, contendo os identificadores dos registros e suas respectivas classificações, enquanto as imagens correspondentes são armazenadas em diretório no formato .jpg. Além do diagnóstico final, também são registrados os vetores de características utilizados na tomada de decisão, garantindo rastreabilidade das análises e possibilitando a integração das informações a sistemas de gestão da infraestrutura rodoviária.

VALIDAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

Para aplicação do modelo desenvolvido, foram incorporados trechos de rodovias federais concedidas, em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul, e de rodovias estaduais não concedidas, em Santa Catarina. A amostragem das defensas metálicas foi obtida a partir das imagens do levantamento em campo, da geração da máscara da defesa metálica e da aplicação do filtro morfológico para retirada dos suportes verticais, conforme apresentado na Figura 2.



Figura 2. Resultado da aplicação do filtro morfológico para remoção dos suportes (Elaborada pelos autores, 2026)

A amostra de defensas metálicas foi composta por 18.693 elementos, com distribuição de registros de classes. A divisão entre os conjuntos de treinamento e de teste foi realizada por meio de amostragem estratificada, adotando-se a proporção de 80% para treinamento (14.954 elementos) e de 20% para teste (3.739 elementos). Esse procedimento teve como objetivo preservar a representatividade das classes presentes na base de dados. A adoção dessa estratégia contribui para reduzir vieses estatísticos durante o treinamento do modelo e fortalecer a consistência do processo de validação. Nesta amostra, observa-se forte desbalanceamento entre as classes, com predominância de registros classificados como “Conformidade”, correspondendo a 93,89% das amostras, enquanto apenas 6,11% pertencem à classe

“Não Conformidade”, resultando em uma razão aproximada de 15,37:1. Esse desbalanceamento influencia diretamente as métricas de desempenho e deve ser considerado na interpretação dos resultados e em eventuais ajustes futuros do modelo. Em bases com predominância de classe “Conformidade”, métricas globais podem superestimar a capacidade de detecção da classe minoritária, uma vez que classificadores tendem a favorecer a classe mais frequente. Para mitigar esse efeito, o classificador baseado em *Support Vector Machine* (SVM) foi calibrado com penalização diferenciada entre classes, priorizando a sensibilidade do sistema para a detecção de defeitos. Essa estratégia atribui maior custo à não identificação de avarias do que à geração de alertas indevidos, alinhando o comportamento do modelo a uma lógica conservado-

ra compatível à gestão de riscos em infraestrutura rodoviária. Assim, a parametrização adotada busca reduzir a ocorrência de falsos negativos, ainda que isso implique

no aumento controlado de falsos positivos durante a classificação.

A Figura 3 apresenta um exemplo de defesa metálica classificada como “Não Conformidade”

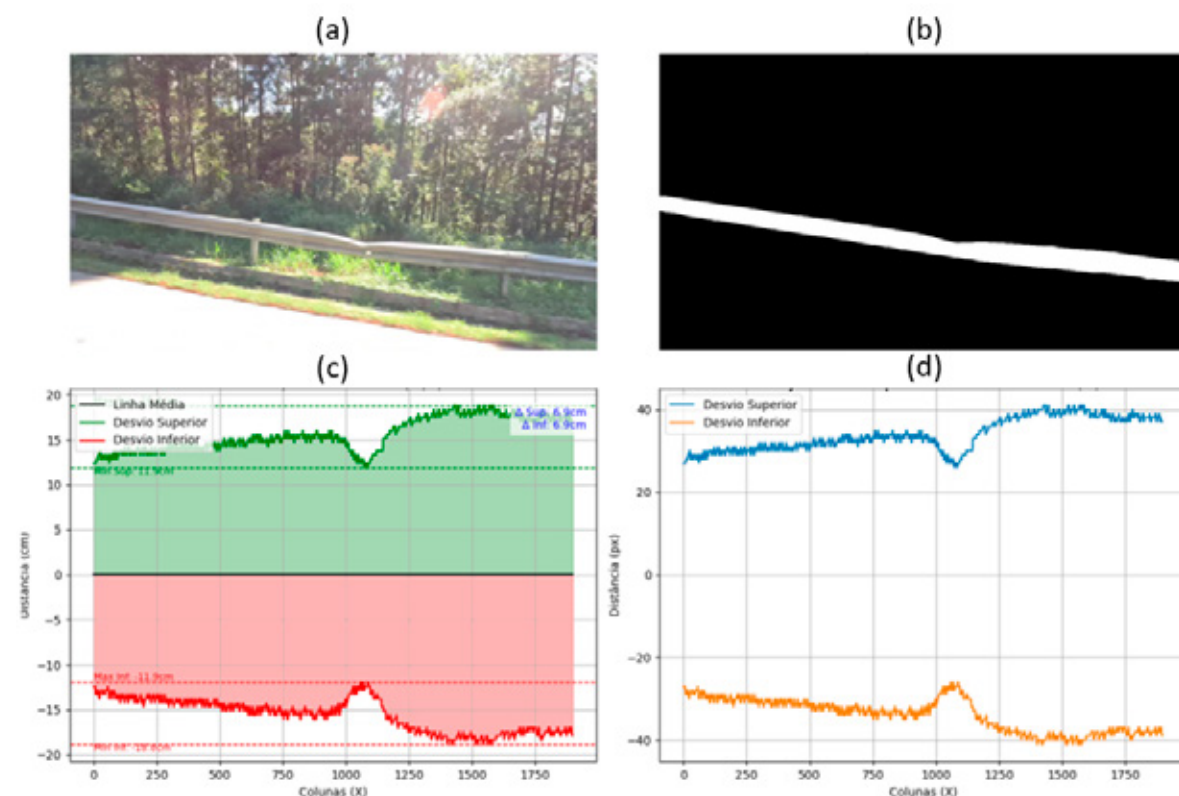


Figura 3. Análise de defesa metálica com defeitos. Legenda: (a) Imagem original, (b) Máscara sem suporte da Defesa Metálica, (c) Desvios (centímetros) e (d) Variações Abruptas – Multi-escala (Elaborada pelos autores, 2026)

A avaliação foi conduzida por meio da construção de matrizes de confusão e do cálculo de métricas de desempenho na amostra de teste, procedimento utilizado na análise de modelos de classificação por permitir a comparação sistemática entre os valores observados e as previsões realizadas pelo modelo (Junker; Dengel; Hoch, 1999). A partir dessa estrutura, foram obtidos indicadores destinados a avaliar diferentes dimensões do desempenho do classificador, entre os quais se destacam: acurácia global, *precision* e *recall*. A acurácia (*accuracy*) corresponde à razão entre o número de previsões corretas e o total de observações avaliadas, constituindo uma medida geral da capacidade do modelo em classificar adequadamente os registros analisados. De forma com-

plementar, a *precision* expressa a proporção de verdadeiros positivos em relação ao total de previsões positivas realizadas pelo modelo, refletindo a confiabilidade das classificações positivas (Kaushik *et al.*, 2023). *Recall*, termo também denominado de “sensibilidade”, representa a proporção de casos positivos corretamente identificados em relação ao total de ocorrências positivas observadas, sendo maximizado quando não há falsos negativos (Junker; Dengel; Hoch, 1999). A avaliação do desempenho do modelo foi conduzida a partir da análise da matriz de confusão, apresentada na Tabela 1, a qual sintetiza a distribuição das classificações corretas e incorretas entre as classes consideradas.

Tabela 1. Matriz de confusão (Elaborada pelos autores, 2026)

	Classe	Amostra	Conformidade Predito	Não Conformidade Predito
Observada	Conformidade	3.511	2.896	615
	Não Conformidade	228	73	155

Da amostra de teste com classe “Conformidade”, contendo 3.511 elementos, a matriz de confusão evidencia a predominância de acertos associados a esta, com 2.896 classificações corretas, frente a 615 registros incorretamente atribuídos à classe “Não Conformidade”. Para a mesma, observa-se um total de 155 acertos e 73 erros

de classificação. De forma geral, foram contabilizados 3.051 acertos de classificação, resultando em uma acurácia sem distinção classificatória de 82,96%, conforme apresentado na Tabela 2. Na sequência, as demais métricas de desempenho, organizadas por classe, também são apresentadas de forma consolidada na mesma tabela.

Tabela 2. Métricas de classificação por classe (Elaborada pelos autores, 2026)

Classe	Acurácia (%)	Recall (%)	Precision (%)
Conformidade	-	75	97
Não Conformidade	-	68	20
Geral	82,96	-	-

Para a classe “Conformidade”, o modelo apresentou recall de 75% e precision de 97%, indicando alta confiabilidade na identificação de ativos íntegros. Já para a classe “Não Conformidade”, houve recall de 68% e precision de 20%, valores que refletem um ajuste que prioriza a sensibilidade na detecção de patologias reais. Isso implica em uma taxa elevada de falsos positivos, o que pode gerar impacto operacional, especialmente ao induzir aumento da demanda por inspeções de campo para verificação de ocorrências não confirmadas. Entretanto, o modelo atua como uma triagem eficaz em auditorias rodoviárias, capturando dois terços das defensas avariadas e minimizando o risco de omissões (falsos negativos).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo objetivou desenvolver e estruturar uma metodologia de monitoramento dinâmico de dispositivos de contenção longitudinal, com foco em defensas metálicas, fundamentado na integração entre aquisição embarcada de imagens e processamento automatizado por técnicas de visão computacional. Para isso, foi proposta uma metodologia composta pelas etapas de coleta de dados em campo, segmentação das imagens, extração de atributos geométricos e classificação automatizada do estado de conservação dos dispositivos, com posterior organização em inventários georreferenciados com destino ao apoio à gestão da infraestrutura rodoviária. A

metodologia desenvolvida permitiu converter registros visuais de campo em métricas geométricas mensuráveis, utilizadas na classificação do estado de conservação das defensas metálicas. A aplicação da metodologia em trechos rodoviários reais demonstrou a capacidade de identificar deformações estruturais relevantes, apresentando desempenho compatível com aplicações de monitoramento e triagem de ativos em nível de rede. Quando comparada aos métodos tradicionais de inspeção visual, a abordagem proposta apresenta potencial de ganhos operacionais associados à ampliação da cobertura espacial e à redução de equipes em campo, ainda que estudos complementares sejam necessários para quantificar, de forma objetiva, os ganhos de eficiência e produtividade. A consolidação dos resultados em base georreferenciada, associada ao armazenamento das imagens correspondentes e dos vetores de atributos utilizados na classificação, contribui para garantir a rastreabilidade das análises e possibilita sua integração a sistemas de gestão da infraestrutura rodoviária.

Do ponto de vista operacional, a utilização de equipamento de coleta de baixo custo e a realização de levantamentos em condição de tráfego normal indicam potencial de aplicação em programas de inspeção contínua. Nesse contexto, a metodologia pode ser incorporada a contratos de concessão rodoviária e programas de manutenção no Brasil como ferramenta de apoio à gestão

de ativos, contribuindo para a priorização de intervenções, definição de níveis de serviço e otimização da alocação de recursos operacionais. Em síntese, os resultados obtidos indicam a viabilidade da abordagem proposta como instrumento de apoio à gestão de dispositivos de segurança viária, especificamente as defensas metálicas, além de reforçar o potencial da abordagem como solução escalável para apoio ao seu monitoramento dinâmico, bem como de outros ativos rodoviários, a partir da adaptação do modelo.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio de Recursos de Desenvolvimento Tecnológico (RDT) da Concessionária do Sistema Rodoviário Rio-São Paulo (CCR Rio-SP), sob regulação da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARION, N. et al. Segment anything with concepts. arXiv preprint, [S.L.], 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2511.16719>.

HOU, Q.; AI, C.; BOUDREAU, N. Network-level guardrail extraction based on 3D local features from mobile LiDAR sensor. Journal of Computing in Civil Engineering, v. 36, n. 6, 2022. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0001049](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0001049).

JUNKER, M.; DENGEL, A.; HOCH, R. On the evaluation of document analysis components by recall, precision, and accuracy. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DOCUMENT ANALYSIS AND RECOGNITION, 5., 1999, Bangalore. Proceedings [...]. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1999. p. 713–717. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICDAR.1999.791711>.

JUSTO, A. et al. Scan-to-BIM for the infrastructure domain: generation of IFC-compliant models of road infrastructure assets using 3D point cloud data. Automation in Construction, v. 127, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103703>.

KAUSHIK, B. et al. Performance evaluation of learning models for intrusion detection system using feature selection. Journal of Computer Virology and Hacking Techniques, v. 19, n. 4, p. 529–548, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11416-022-00460-z>.

MALEHMIR, R. et al. Machine learning powered roadside asset extraction using LiDAR. In: CONFERENCE OF THE TRANSPORTATION ASSOCIATION OF CANADA, 2018, Saskatoon, SK. Anais [...]. Disponível em: https://www.tac-atc.ca/wp-content/uploads/malehmirr-machine_learning.pdf.

MUKHERJEE, Ratnajit; IQBAL, Haris; MARZBAN, Shabbir; BADAR, Ahmed; BROUNS, Terence; GOWDA, Shruthi; ARANI, Elahe; ZONOOZ, Bahram. AI Driven Road Maintenance Inspection. arXiv, [S.L.], out. 2021. ArXiv. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.48550/ARXIV.2106.02567>.

STEFAN, Christian; BELEZNAI, Csaba; ERDELEAN, Isabela; HAHN, Matthias. Image-based identification and GIS-integration of vehicle restraint systems and evaluation of safety effects. International Journal Of Safety And Security Engineering, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 344-355, 30 nov. 2019. International Information and Engineering Technology Association. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2495/safe-v9-n4-344-355>.

VIDAL, M.; DÍAZ-VILARIÑO, L.; ARIAS, P.; BALADO, J. BARRIER AND GUARDRAIL EXTRACTION AND CLASSIFICATION FROM POINT CLOUDS. The International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences, [S.L.], v. -5-2020, n. 1, p. 157-162, 24 ago. 2020. Copernicus GmbH. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-xliii-b5-2020-157-2020>.

XU, Zihao; CAO, Juan; LAN, Zhangli. On Highway Guardrail Segmentation Algorithms Based on Patrol Car Mobile Video in Complex Environments. 2020 IEEE 9Th Data Driven Control And Learning Systems Conference (DDCLS), [S.L.], p. 1158-1164, 20 nov. 2020. IEEE. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/ddcls49620.2020.9275123>.

ZHU, Hao; WANG, Xuhua; GUO, Bin. Camera-Based Guardrail Detection for Intelligent Vehicle. 2018 Chinese Automation Congress (CAC), [S.L.], v. 1, n. 1, p. 777-782, nov. 2018. IEEE. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/cac.2018.8623736>.

PAVING EXPO **22 > 24 SET. 2026**

Conectando pessoas,
Construindo oportunidades.

EDIÇÃO 2027, SEMANA DA INFRAESTRUTURA NO BRASIL

PAVING EXPO **52ª RAPv** **28 > 30 set. 2027**
Reunião Anual de Pavimentação
29ª ENACOR
Encontro Nacional de Conservação Rodoviária

Associações: **ABDER** **ABPv** **DER** **STO.**

ACESSE O SITE: PAVING.COM.BR



**PARTICIPE
COMO EXPOSITOR**
INFRANE.COM.BR

CENTRO DE CONVENÇÕES
SALVADOR
BAHIA - BRASIL



ANÁLISE DO CICLO DE VIDA EM RODOVIA CEARENSE UTILIZANDO O PaLATE 2.0

*LIFE CYCLE ANALYSIS OF A HIGHWAY IN
CEARÁ USING PALATE 2.0*

Arthur Veras Moreira¹,
Maria Thereza Rocha Chaves¹,
Kaylane Pimentel Correia¹,
Juceline Batista dos Santos²,
Antônio Alves Ferreira Júnior³ e
Jorge Barbosa Soares¹

¹ Universidade Federal do Ceará, arthurveras@alu.ufc.br; mtchaves50@gmail.com; kaylanepimentel11@gmail.com; jsoares@det.ufc.br.

² Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, juceline.santos@ifce.edu.br.

³ Tribunal de Contas do Estado do Ceará, antonio.ferreira@tce.ce.gov.br.

DOI: 10.21526/abpv.v55.3

RESUMO

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta estratégica para converter indicadores ambientais em métricas objetivas, auxiliando a governança pública e a tomada de decisão no setor rodoviário, frente aos desafios da escassez dessas análises no contexto nacional. No setor rodoviário, as espessuras das camadas estruturais, determinadas tanto pela disponibilidade dos materiais e as tecnologias construtivas adotadas quanto pelos métodos de dimensionamento, afetam a durabilidade e os impactos ambientais dos pavimentos. Este estudo investigou a influência da conformidade das espessuras das camadas no desempenho ambiental de pavimentos asfálticos, comparando as condições executadas (*as built*) com o projeto do DNIT, dimensionado pelo método mecanístico-empírico, em uma rodovia no Ceará. Utilizou-se a ferramenta PaLATE 2.0 (Pavement Life-cycle Assessment Tool for Environmental and Economic Effects) para quantificar o consumo de recursos, emissões, toxicidade e geração de resíduos. Os resultados indicam que, embora a estrutura projetada tenha apresentado um impacto inicial 31% superior devido à maior espessura, ela proporcionou uma redução na frequência de manutenções ao longo do ciclo de vida. Consequentemente, a configuração de projeto resultou num impacto ambiental 55% inferior à condição de campo nas etapas de conservação, representando uma redução média de 30% no impacto total. Conclui-se que a integração da ACV à fase de projeto é fundamental para fornecer embasamento técnico a gestores e órgãos de controle, fortalecendo a governança de investimentos e alinhando a infraestrutura nacional às diretrizes internacionais de sustentabilidade e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Palavras-chave: Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), pavimento asfáltico, mecânica dos pavimentos, sustentabilidade.

ABSTRACT

Life Cycle Assessment (LCA) is a strategic tool for converting environmental indicators into objectives metrics, assisting public governance and decision-making in the road sector, addressing the challenges of the scarcity of such analyses within the national context. In the road sector, the thickness of structural layers—determined by material availability, adopted construction technologies, and design methods—affects the durability and environmental impacts of pavements. This study investigated the influence of layer thickness compliance on the environmental performance of asphalt pavements, comparing as-built conditions with the DNIT project, designed using the mechanistic-empirical method, on a highway in Ceará. The PaLATE 2.0 (Pavement Life-cycle Assessment Tool for Environmental and Economic Effects) tool was used to quantify resource consumption, emissions, toxicity, and waste generation. Results indicate that, although the designed structure presented a 31% higher initial impact due to greater thickness, it provided a reduction in maintenance frequency throughout the life cycle. Consequently, the project configuration resulted in an environmental impact 55% lower than the field condition during the conservation stages, representing an average reduction of 30% in the total impact. It is concluded that the integration of LCA into the design phase is fundamental to providing technical grounding for managers and control bodies, strengthening investment governance and aligning national infrastructure with international sustainability guidelines and the Sustainable Development Goals.

Keywords: Life Cycle Assessment (LCA), asphalt pavement, pavement mechanics, sustainability.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento nacional está intrinsecamente associado à tríade crescimento econômico, bem-estar social e infraestrutura de qualidade (Agrawal; Dill, 2015) e as rodovias protagonizam esse desenvolvimento pela integração logística. Entretanto, a concepção, execução, e manutenção desses projetos enfrentam desafios crescentes diante das restrições orçamentárias e da necessidade de assegurar resultados mais eficientes e sustentáveis (Babashamsi *et al.*, 2015). Nesse contexto, a seleção e a avaliação de projetos de infraestrutura exigem metodologias que incorporem critérios de sustentabilidade alinhados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A simples consideração de fatores econômicos na análise de alternativas de projeto tornou-se insuficiente, impondo a necessidade de incorporar dimensões ambientais e sociais de forma sistemática (Hamdar; Chehab e Srouf, 2016). Embora indispensáveis ao progresso econômico, projetos rodoviários estão associados a impactos ambientais e sociais relevantes, como altas emissões de gases de efeito estufa, consumo de recursos naturais, geração de resíduos (El-Kholy e Akal, 2020; Wu *et al.*, 2021; Ravichandran *et al.*, 2025), exigindo soluções que conciliem longevidade, desempenho operacional e redução da pegada ambiental (Plati, 2019). Pesquisas recentes indicam que tanto a vida útil do pavimento quanto estratégias de manutenção influem em emissões ao longo do ciclo de vida (Huang, 2021; Labbafi; Alavi e Saadat, 2025).

Para os tribunais de contas, a análise de sustentabilidade no planejamento é estratégica. Essa prática oferece subsídios técnicos para avaliar a eficiência dos investimentos, fortalecendo a governança pública e mitigando riscos de escolhas economicamente subótimas ou ambientalmente prejudiciais (El-Kholy e Akal, 2020; Celauro; Cardella e Guerrieri, 2023). Nesse cenário, ga-

nya destaque a utilização de ferramentas de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) aplicadas à pavimentação, que permitem mensurar os impactos associados à construção e manutenção, considerando desde o consumo energético até as emissões atmosféricas e a geração de resíduos (Oreto *et al.*, 2023).

Assim, o presente estudo tem como objetivo principal realizar uma análise comparativa de ciclo de vida entre as condições reais (*as built*) de uma rodovia no estado do Ceará e os parâmetros técnicos recomendados pelo DNIT, utilizando a ferramenta PaLATE 2.0. Busca-se avançar no conhecimento sobre infraestrutura viária sustentável e fornecer subsídios técnicos para gestores públicos e órgãos de controle, apoiando a adoção de soluções mais duráveis, econômicas e ambientais.

METODOLOGIA

Resumo metodológico

Com o uso do *software* PaLATE 2.0, executou-se uma ACV para um trecho rodoviário de 1 km. A análise realizada comparou os impactos ambientais de um cenário ideal com um cenário real considerando as fases de produção de materiais, transporte, construção e manutenção com foco em categorias de impacto como consumo de energia, consumo de água e emissão de gases.

Dados de campo e estrutura redimensionada

A análise foi conduzida em uma rodovia radial no estado do Ceará, com ênfase na avaliação da conformidade das camadas estruturais do pavimento. As espessuras executadas em campo (*as built*) foram comparadas às espessuras redimensionadas (ideais) pelas especificações do DNIT (2022a; 2022b), conforme metodologicamente proposto por (Oliveira *et al.*, 2024) (Figura 1).

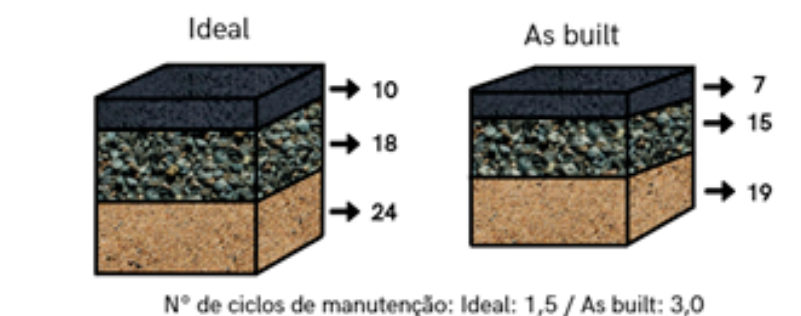


Figura 1. Representação das camadas das estruturas considerando as espessuras (cm) observadas em campo (*as built*) e a ideal recomendada pelo DNIT (Autores, 2026)

O número de intervenções de manutenção ao longo da vida de projeto foi estimado a partir de verificações mecanístico-empíricas (*software* MeDiNa), com foco no trincamento por fadiga, seguindo o procedimento descrito em Oliveira *et al.* (2024). A estrutura analisada é composta por um revestimento asfáltico com 6% de CAP, uma camada de base em brita graduada e uma sub-base constituída por mistura solo-brita na proporção 60/40. Para a avaliação do ciclo de vida, adotou-se como unidade funcional um segmento de 1 km com 7 m de largura, considerando um período de avaliação de 10 anos. Nesse contexto, cada ciclo de manutenção foi definido como a restauração integral da camada de revestimento, mantendo-se inalteradas as camadas subjacentes, em consonância com os procedimentos em Oliveira *et al.* (2024) e Cardoso *et al.* (2024).

Avaliação do ciclo de vida – PaLATE 2.0

O SimaPro, GaBi e OpenLCA, exemplos de ferramenta de ACV que não foram utilizadas neste estudo. Embora robustas e amplamente empregadas para a pavimentação (Gołębiowska, 2025; Labbafi; Alavi e Saadat, 2025), exigem bases de dados extensas, maior tempo de parametrização dos processos e aquisição de licenças. Assim, optou-se pelo PaLATE 2.0, ferramenta de fácil aplicação e capaz de fornecer indicadores ambientais diretamente relacionados ao setor rodoviário. Desenvolvido pela Universidade da Califórnia em Berkeley, o PaLATE trata-se de um software de código aberto, gratuito, capaz de quantificar os impactos ambientais associados as fases do ciclo de vida de pavimentos. Conforme sistematizado por Alhjoui; Almuhamid e Alzoubi (2022), tais fases englobam: (i) produção de materiais, (ii) construção, (iii) manutenção, (iv) reabilitação e (v) fim de vida. Segundo relatado por Hanson; Noland e Cavale (2012): SimaPro, GaBi e OpenLCA analisam mais processos, porém restringem-se a fase de produção. Ademais, o PaLATE quantifica múltiplos indicadores ambientais, incluindo o consumo de energia e água, as emissões atmosféricas de CO₂, NO_x, SO₂, CO e PM₁₀, a lixiviação de metais pesados (Hg e Pb), a geração de resíduos e os potenciais de toxicidade humana (cancerígenas ou não). Seu emprego tem sido amplamente reportado na literatura especializada, em diferentes contextos geográficos e metodológicos (Hanson; Noland e Cavale, 2012; Walubita *et al.*, 2022; Assaf e Abdo, 2024; Barbosa *et al.*, 2025). Essa trajetória consolidada reforça a confiabilidade e a aceitação do PaLATE para ACV de projetos de infraes-

trutura viária.

O PaLATE processa a ACV combinando entradas de volumes de materiais com bases de dados globais (Ecoinvent, US LCI, EPA) de processos unitários que são concatenados. Portanto, o que mudará na análise de um cenário para o outro será o volume de materiais empregados e a frequência de restaurações. O modelo utiliza relações lineares (não considerando ganhos de produção) para calcular o impacto do material, neste caso virgem, com base em fatores de emissão que estão associados a fatores de densidade e consumo de combustível (t/km) fornecidos pela EPA e pelo *Bureau of Transportation Statistics* (BTS). O resultado é a conversão dessas operações em métricas ambientais (energia, CO₂, NO_x, material particulado) e econômicas (valor presente líquido). Os inputs inseridos, bem como as referências dos bancos de dados podem ser consultados neste [link](#). Os fatores de conversão empregados foram por padrão do PALATE 2.0.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Duas configurações foram modeladas no PaLATE 2.0, permitindo a estimativa dos indicadores ambientais associados a cada cenário. As Figuras 2 e 3 sintetizam os resultados das simulações, contemplando tanto o inventário de entradas e saídas de recursos, quanto as categorias de impacto ambiental consideradas na avaliação comparativa. Os resultados evidenciam que, para todos os parâmetros avaliados - emissão de gases, geração de resíduos e toxicidade humana - a produção de materiais superou de forma expressiva os impactos associados ao transporte de materiais e processos construtivos, em consonância com a literatura (Assaf e Abdo, 2024; Celauro; Cardella e Guerrieri, 2023; Labbafi; Alavi e Saadat, 2025) que igualmente identificaram a etapa de produção de materiais como a mais crítica tanto para o meio ambiente quanto para a saúde humana. A única exceção observada refere-se às emissões de óxidos nitrogenados (NO_x), cuja contribuição mais expressiva decorre do transporte. Ainda assim, o valor permaneceu substancialmente inferior ao da produção de materiais, reforçando a necessidade de reduzir a dependência de matérias-primas naturais, por meio do uso de materiais alternativos.

Comparativamente, entre as duas alternativas estruturais, os resultados mostraram a relação entre o impacto inicial e a longo prazo. Verificou-se que a condição ideal (camadas mais espessas), apresentou um impacto

ambiental 31% superior ao *as built* na fase de execução. Esse aumento é diretamente proporcional ao maior volume de insumos (agregados e ligantes asfálticos) e à consequente intensificação dos processos construtivos. Entretanto, o melhor desempenho estrutural ao longo dos 10 anos, limitou intervenções, proporcionando um impacto acumulado 55% inferior. Por sua vez, a condição de campo, embora demandado menor quantidade de recursos inicialmente, revelou-se menos sustentável a longo prazo dado a maior frequência de manutenções, culminando em um impacto ambiental global 30% superior ao idealizado. Assim, é imperativo considerar o equilíbrio entre impactos da construção e os associados à manutenção no dimensionamento de pavimentos, assim como o desenvolvimento de pesquisas futuras a fim de avaliar as diretrizes atuais do DNIT na ótica desse equilíbrio. O impacto ambiental associado ao consumo dos principais insumos utilizados na construção do pavimento (brita, emulsão e ligante asfáltico) está disposto

na Figura 4. Observa-se que, em todos os parâmetros, a brita protagoniza a contribuição para os impactos ambientais, seguida pelo ligante. Nesse contexto, torna-se central o desenvolvimento de estudos que avaliem a viabilidade técnica e ambiental da substituição desses materiais. Alternativamente, reciclagem e a reutilização de resíduos são estratégias para a redução do consumo de recursos naturais, mitigando os impactos associados à extração e ao processamento de matérias-primas. Diversos autores têm investigado o emprego de agregados reciclados de concreto, asfaltos, resíduos plásticos, vidro moído, borracha triturada, escórias siderúrgicas e cinzas de resíduos urbanos (Ponte *et al.*, 2017; Zhao *et al.*, 2022; Gołębiowska, 2025; Barbosa *et al.*, 2025; Sun *et al.*, 2025), incorporando-os às misturas asfálticas com vistas à melhoria do desempenho mecânico e à diminuição dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida (Dong; Li e Tao, 2021).

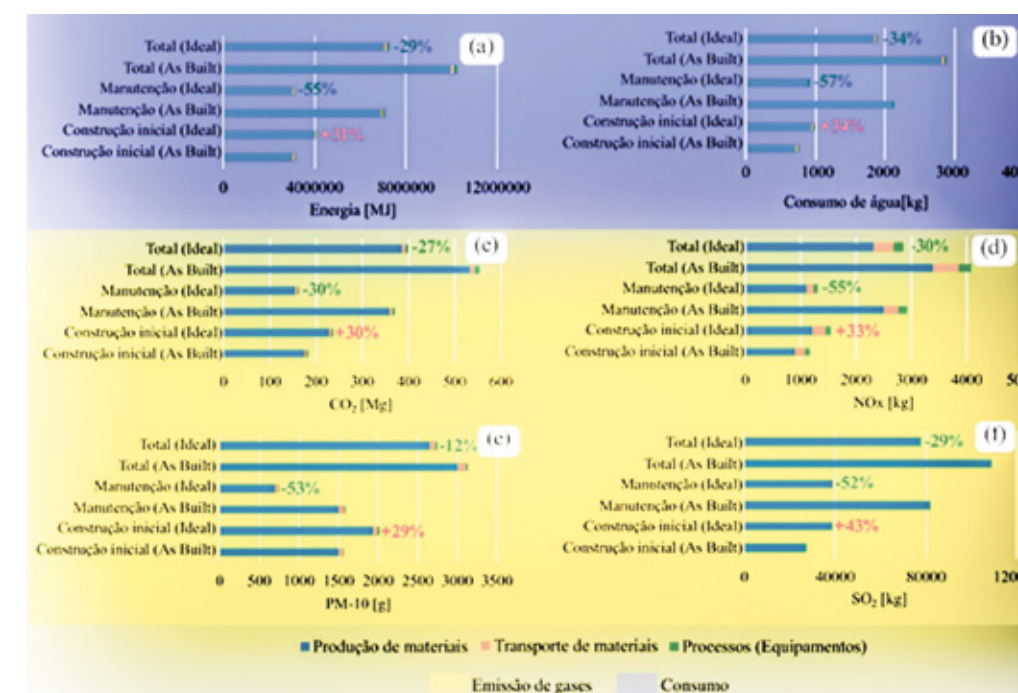


Figura 2. Valores consumo de (a) energia, (b) água, emissão de (c) CO₂, (d) NO_x, (e) material particulado e (f) SO₂ referente as etapas de construção inicial e manutenção da condição ideal e *as built* (Autores, 2026)

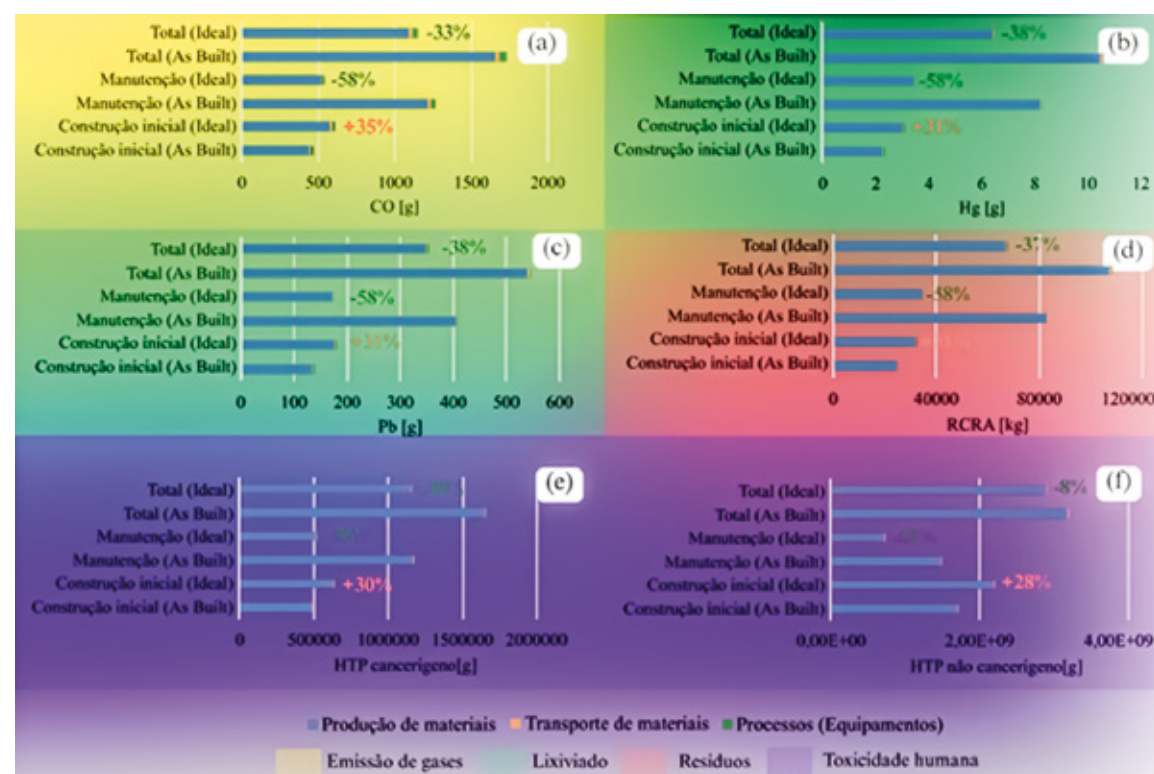


Figura 3. Valores de emissão de (a) CO; (b) mercúrio; (c) chumbo; (d) geração de resíduos perigosos; (e) potenciais de toxicidade humana cancerígena e (f) não cancerígena referente as etapas de construção inicial, manutenção da condição ideal e *as built* (Autores, 2026)

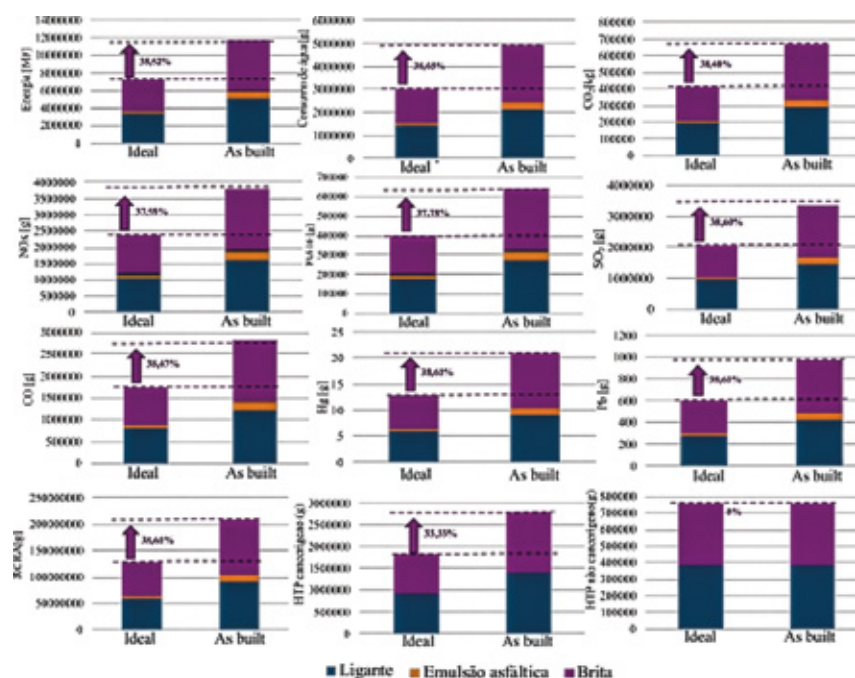


Figura 4. Contribuição dos principais insumos para agravamento do impacto ambiental para a condição ideal e *as built* (Autores, 2026)

Além dos benefícios ambientais, destaca-se a análise econômica. Oliveira et al. (2024) reportaram economia de 13% no custo de ciclo de vida para a condição ideal frente ao cenário *as built*. Essa redução ocorreu mesmo com investimento inicial 37% superior, justificado pela menor necessidade de reabilitações. Em geral, o dimensionamento dita o número de intervenções no ciclo de vida. Sob essa ótica, estratégias de preservação sustentáveis mitigam a deterioração e melhoram a qualidade estrutural, prolongando a vida útil com custos competitivos e manutenibilidade (Plati, 2019). Estudos de ACV são fundamentais para avaliar integradamente impactos que, no Brasil, articulam-se a políticas como a de Mudança do Clima (Brasil, 2009), de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010) e de Eficiência Energética (Brasil, 2001). Ao fornecer dados sobre consumo de recursos e emissões, a ACV torna-se estratégica para que projetos rodoviários atendam ao licenciamento (Brasil, 1981) e identifiquem inovações sustentáveis, alinhando-se aos compromissos nacionais de mitigação.

CONCLUSÕES

Os resultados indicam que a fase de produção de materiais representa a principal fonte de impactos ambientais, reforçando a necessidade de estratégias voltadas à redução do consumo de brita por meio da incorporação de materiais reciclados e alternativas tecnológicas. Embora a condição *as built* apresente menor impacto inicial, a menor durabilidade estrutural prevista resulta em maior frequência de manutenções, culminando em impactos cumulativos 30% superiores em relação à configuração ideal. Isso evidencia a importância de considerar não apenas a etapa de construção, mas toda a vida útil ainda no projeto. A adoção da Avaliação de Ciclo de Vida como ferramenta de apoio ao planejamento e auditoria de obras rodoviárias possibilita decisões mais alinhadas à sustentabilidade, reduzindo riscos de escolhas subótimas do ponto de vista econômico e ambiental. Do ponto de vista prático, os resultados sugerem que políticas de infraestrutura devem avançar no sentido de incorporar metodologias de ACV em processos de licitação, fiscalização e auditoria, garantindo maior transparência e eficiência no uso de recursos públicos. Como agenda de pesquisa futura, recomenda-se: (i) ampliar a análise para diferentes condições de tráfego e contextos geográficos, (ii) avaliar o potencial de mitigação por meio da utilização de resíduos reciclados na pavimentação e (iii) integrar ferramentas como o PaLATE 2.0 a programas

mecânico-empíricos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Tribunal de Contas do Estado do Ceará, à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES – Código de Financiamento 001) pelo apoio financeiro, bolsas e fomento à pesquisa que possibilitaram a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRAWAL, A. W.; DILL, J. The effect of Washington State's land use and transportation policies on commute distances. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, [s. l.], v. 38, p. 116-128, 2015. DOI: 10.1016/j.trd.2015.09.010.
- ALHJOUI, A.; ALMUHAIMID, F.; ALZOUBI, M. Integrating life cycle assessment and economic analysis for sustainable pavement maintenance: A case study in arid regions. *Case Studies in Construction Materials*, [s. l.], v. 17, e01645, 2022.
- ARSHAD, H. et al. Evaluation of road infrastructure projects: A life cycle sustainability-based decision-making approach. *Sustainability*, [s. l.], v. 13, n. 7, 3743, 2021.
- ASSAF, H.; ABDO, A. A. Life cycle assessment of incorporating recycled materials in pavement design. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, [s. l.], v. 36, n. 7, p. 473-484, 2024.
- BABASHAMSI, P. et al. Evaluation of pavement life cycle cost analysis: Review and analysis. *International Journal of Pavement Research and Technology*, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 241-254, 2016.
- BARBOSA, L. H. et al. Avaliação do comportamento de misturas asfálticas com agregado siderúrgico BSSF em substituição ao agregado natural. In: *ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA*, 27; *REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO*, 50., 2025, Minas Gerais. ABDER/ABPY, 2025. DOI: 10.21526/50rapv.119.
- BRASIL. [Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981]. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, p. 16505, 2 set. 1981.
- BRASIL. [Lei n. 10.295, de 17 de outubro de 2001].

Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 18 out. 2001.

BRASIL. [Lei n. 12.187, de 29 de dezembro de 2009]. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 109, 30 dez. 2009.

BRASIL. [Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010]. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 3, 3 ago. 2010.

CARDOSO, A. B. et al. Avaliação de sustentabilidade em pavimentos asfálticos: Integração de ACV e indicadores socioeconômicos. Revista Brasileira de Pavimentação, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 78-95, 2024.

CELAURO, C.; CARDELLA, A.; GUERRIERI, M. LCA of different construction choices for a double-track railway line for sustainability evaluations. Sustainability, [s. l.], v. 15, n. 6, 5066, 2023.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 139/2022 - ES: Pavimentação – sub-base estabilizada granulometricamente – especificação de serviço. Rio de Janeiro: IPR, 2022.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 141/2022 - ES: Pavimentação – base estabilizada granulometricamente – especificação de serviço. Rio de Janeiro: IPR, 2022.

DONG, W.; LI, W.; TAO, Z. A comprehensive review on performance of cementitious and geopolymeric concretes with recycled waste glass as powder, sand or cullet. Resources, Conservation and Recycling, [s. l.], v. 172, 105664, 2021.

EL-KHOLY, A. M.; AKAL, A. Y. Proposed sustainability composite index of highway infrastructure projects and its practical implications. Arabian Journal for Science and Engineering, [s. l.], v. 45, n. 5, p. 3635-3655, 2020.

GOŁĘBIOWSKA, J. A preliminary life cycle assessment - based environmental assessment of asphalt mixtures containing crumb rubber and reclaim asphalt pavement. Journal of Ecological Engineering, [s. l.], v. 26, n. 12, p. 104-113, out. 2025. DOI: 10.12911/22998993/208169.

HAMDAR, Y.; CHEHAB, G. R.; SROUR, I. Life-Cycle Evaluation of Pavements: A Critical Review. Journal of Engineering Science & Technology Review, [s. l.], v. 9, n. 6, p. 37-47, 2016.

HANSON, C. S.; NOLAND, R. B.; CAVALE, K. R. Life-cycle greenhouse gas emissions of materials used in

road construction. Transportation Research Record, [s. l.], v. 2287, n. 1, p. 174-181, 2012.

HUANG, M. et al. LCA and LCCA based multi-objective optimization of pavement maintenance. Journal of Cleaner Production, [s. l.], v. 283, 124583, 2021.

LABBAFI, F.; ALAVI, M. Z.; SAADAT, F. Comparative Analysis of Rubberized Asphalt and Traditional Asphalt: Performance, Economic, and Environmental Impacts in Life Cycle. Infrastructures, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 34, fev. 2025. DOI: 10.3390/infrastructures10020034.

OLIVEIRA, J. A. et al. Análise de custos de implantação e de manutenção de rodovias dimensionadas por métodos empírico e mecanístico-empírico. Transportes, [s. l.], v. 32, n. 2, e2997, 2024.

ORETO, C. et al. Leveraging infrastructure BIM for life-cycle-based sustainable road pavement management. Materials, [s. l.], v. 16, n. 3, 1047, 2023.

PLATI, C. Sustainability factors in pavement materials, design, and preservation strategies: A literature review. Construction and Building Materials, [s. l.], v. 211, p. 539-555, 2019.

PONTE, K. et al. Life-cycle benefits of recycled material in highway construction. Transportation Research Record, [s. l.], v. 2628, n. 1, p. 1-11, 2017.

RAVICHANDRAN, B. et al. Personal Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbon and Inhalation Risk Assessment among Asphalt Hot Mixed Plant and Road Paving Workers. Aerosol Science and Engineering, [s. l.], v. 15, p. 1-10, fev. 2025. DOI: 10.1007/s41810-025-00291-7.

SUN, Y. et al. Life cycle assessment of asphalt pavement containing MSWI bottom ash. Scientific Reports, [s. l.], v. 15, n. 12481, p. 1-25, fev. 2025. DOI: 10.1038/s41598-025-97241-7.

WALUBITA, L. F. et al. Comparative environmental assessment of rigid, flexible, and perpetual pavements: A case study of Texas. Sustainability, [s. l.], v. 14, n. 16, 9983, 2022.

WU, K. J. et al. Opportunity or threat in balancing social, economic and environmental impacts: The appearance of the Polar Silk Road. Environmental Impact Assessment Review, [s. l.], v. 88, 106570, 2021.

ZHAO, Y. et al. Life-cycle sustainability assessment of using rock dust as a partial replacement of fine aggregate and cement in concrete pavements. Sustainability, [s. l.], v. 14, n. 19, 12449, 2022.



MÉTODO DE QUANTIFICAÇÃO DE IMPACTO DE NEVOEIROS DENSOS NO CUSTO DIRETO DE OBRAS RODOVIÁRIAS

METHOD FOR QUANTIFYING THE IMPACT OF DENSE FOG ON THE DIRECT COST OF ROADWORKS

Maria Luisa C. Duran¹,
Wilson F. O. Evaristo¹,
Igo Guarino de M. Sá¹,
Sandra P. E. Fernandez¹,
Caio S. Cardoso²,
Daniel Bencke²,
Hiratan P. da Silva² e
Pedro C. dos Santos²

¹ Fundação Getúlio Vargas-FGV: maria.duran@fgv.br (ORCID: 0009-0009-7437-5693); wilson.evaristo@fgv.br (ORCID: 0000-0002-3087-0037); igo.sa@fgv.br (0009-0005-9574-5578); sandra.fernandez@fgv.br (ORCID: 0009-0004-1793-9062)

² Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT: caio.cardoso@dnit.gov.br (ORCID: 0009-0002-4747-7386); pedro.coutinho@dnit.gov.br (ORCID: 0009-0005-0134-7166); hiratan.silva@dnit.gov.br (ORCID: 0009-0000-6180-5329); daniel.bencke@dnit.gov.br

DOI: 10.21526/abpv.v55.4

RESUMO

Nevoeiros orográficos são fenômenos meteorológicos caracterizados pela condensação adiabática do ar úmido após ascender ao encontrar um relevo inclinado, como encostas de colinas ou montanhas, formando uma camada de gotículas de água próximas a superfície, que reduzem significativamente a visibilidade. Tais fenômenos são comuns em regiões serranas do sul e sudeste do país, como na Serra da Rocinha, localizada na divisa entre os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, onde este tipo de nevoeiro denso é popularmente conhecido como “viração”. A presença de nevoeiros pode comprometer a visibilidade e as condições operacionais das frentes de trabalho, resultando em paralisações nas atividades que, consequentemente, impactam o custo e o prazo de obras localizadas em regiões onde tal fenômeno é frequente. Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo analisar os impactos da ocorrência de nevoeiros densos nos custos de obras rodoviárias. Assim, uma análise da frequência de ocorrência de condições meteorológicas favoráveis à formação de nevoeiros foi realizada, seguida do desenvolvimento de uma metodologia para estimativa dos impactos desse fenômeno no custo de obras em regiões com elevada incidência de nevoeiros. Foi proposto o chamado Fator de Influência de Nevoeiros (FIN), aplicável aos custos de obras rodoviárias. O fator proposto foi, então, aplicado a um exemplo de orçamento rodoviário, incidindo sobre os custos diretos das atividades de construção viária. Os resultados indicam que a incorporação dos efeitos de nevoeiros no orçamento analisado resultou em um acréscimo de aproximadamente 9% nos custos diretos da obra.

Palavras-chave: Nevoeiros, orçamento, improdutividade, Pavimentação, FIC.

INTRODUÇÃO

A elaboração de orçamentos é uma etapa fundamental no planejamento de obras de infraestrutura. Nesse contexto, é importante que o orçamento contemple, além das especificidades técnicas de cada obra, a consideração de tempos improdutivos decorrentes de fatores climáticos. Assim, o Fator de Influência de Chuva (FIC), por exemplo, adotado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), permite incorporar de forma sistemática o impacto de períodos chuvosos que causam paralisações em atividades e serviços.

Entende-se, no entanto, que o FIC pode não ser ca-

ABSTRACT

Orographic fog is a meteorological phenomenon characterized by the adiabatic condensation of humid air after rising when encountering sloped terrain, such as hillsides or mountain slopes, forming a thick layer of water droplets near the surface that significantly reduces visibility. Such phenomena are common in mountainous regions in southern and southeastern Brazil, such as the Serra da Rocinha, located between the states of Rio Grande do Sul and Santa Catarina, where this type of dense fog is popularly known as “viração”. The presence of fog can compromise visibility and operational conditions of construction sites, resulting in interruptions in activities that consequently affect the cost and schedule of projects located in regions where this phenomenon is frequent. In this context, the present study aims to analyze the impacts of the occurrence of dense fog on the costs of road construction projects. In light of this, an analysis of the frequency of meteorological conditions favorable to fog formation was carried out, followed by the development of a methodology to estimate the impacts of this phenomenon on construction costs in regions with a high incidence of fog. A Fog Influence Factor (FIF) was proposed, applicable to the costs of road construction projects. The proposed factor was then applied to an example of a road construction budget, affecting the direct costs of road construction activities. The results indicate that incorporating the effects of fog into the analyzed budget resulted in an approximately 9% increase in the direct costs of the project.

Key words: Fog, budget, productivity loss, pavement construction, Rain Influence Factor.

paz de incluir paralisações causadas por outros efeitos climáticos específicos, característicos de determinadas regiões. É o caso das regiões serranas do sul e sudeste, onde é recorrente a ocorrência de nevoeiros como fenômeno climático relevante (Arcova, 2013; Baratto et al., 2024). O Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2025) define nevoeiros como uma massa de minúsculas, porém visíveis, gotículas de água suspensas na atmosfera, próximas à superfície da Terra, que reduzem a visibilidade horizontal para menos de mil metros. Ademais, estudos clássicos como o de Petterssen (1940), afirmam que os nevoeiros podem ser classificados quanto à intensidade

de acordo com sua visibilidade: fracos (entre 1000 m e 500 m); médios (entre 500 m e 100 m); e fortes (visibilidade inferior a 100 m).

De forma geral, os nevoeiros se formam quando a temperatura do ar e o ponto de condensação se tornam iguais ou muito próximos. Em outras palavras, quando a temperatura do ar (T) e a temperatura do ponto de orvalho (Tc) apresentam valores similares. Segundo diversos estudos, como o de Batista (2022), para a ocorrência de nevoeiros, a diferença entre a temperatura do ar e a temperatura do ponto de orvalho deve ser menor ou igual a 2°C. A ocorrência de nevoeiros também está associada à umidade do ar. Azevedo et al. (2024) indicam que valores de 95% ou mais de umidade relativa do ar (UR) são frequentemente utilizados como parâmetro mínimo para a formação de nevoeiros.

Os nevoeiros podem, além de comprometer significativamente a visibilidade, ocasionar a chamada precipitação oculta (PO). A precipitação oculta é definida como a água coletada a partir dos nevoeiros, segundo Mager et al. (2016) e Baratto et al. (2024). De acordo

com Cunha (1964) apud Prada et al. (2009), as gotas de água suspensas nos nevoeiros se mantêm em suspensão devido ao fato de que a velocidade de queda dessas gotas é inferior à velocidade ascendente das correntes de ar no interior da nuvem. Os nevoeiros podem, por meio de sua precipitação oculta, impedir a realização de serviços devido a alterações de umidade, especialmente no que concerne aos serviços geotécnicos.

De acordo com Varejão-Silva (2006) e Grimm (1999), em consonância com a classificação adotada pelo National Weather Service (NWS), os nevoeiros podem ser classificados em três categorias, dentre elas, os nevoeiros orográficos, cuja formação ocorre quando o ar úmido é forçado a ascender ao encontrar relevos inclinados, como encostas de colinas ou montanhas. No processo de ascensão, o ar se expande e se resfria adiabaticamente. Nesse contexto, se o ponto de orvalho for atingido, é possível formar uma extensa camada de nevoeiro. A Figura 1 ilustra os mecanismos de formação dos nevoeiros orográficos.

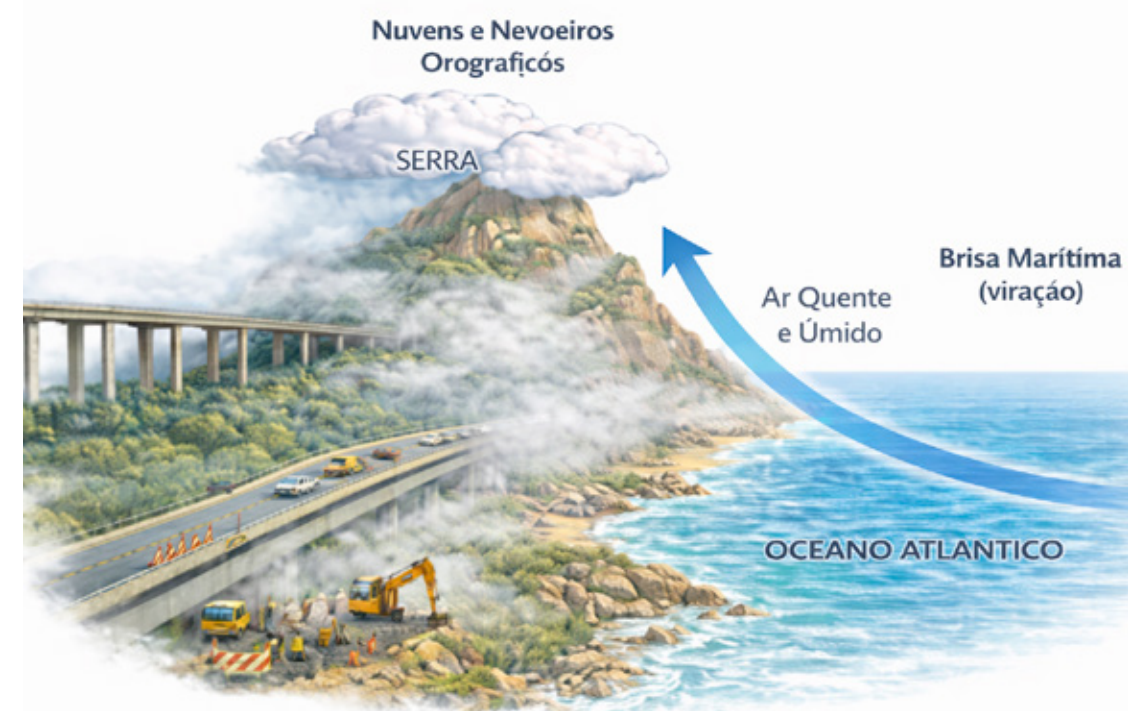


Figura 1. Esquema dos mecanismos de formação de nevoeiros orográficos

Segundo Godoy et al. (2012), na região do Geoparque Mundial UNESCO Caminhos dos Cânions do Sul (GMUCS), o fenômeno da formação de nevoeiros é comumente chamado pelos moradores locais de “viração”, em razão da rapidez com que se forma nas proximidades dos cânions. O parque supracitado localiza-se entre os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, próximo à região litorânea, conforme ilustrado na Figura 2.



Figura 2. Ilustração do relevo do Geoparque Mundial UNESCO Caminhos Cânions do Sul (Adaptado de Godoy, 2012)

Nesse sentido, entende-se que o fenômeno observado na região dos Cânions do Sul, popularmente conhecido como “viração”, pode estar associado, na realidade, aos nevoeiros orográficos. Como objeto de estudo deste artigo, optou-se por analisar a região supracitada, que compreende a Serra da Rocinha, o Parque Nacional de Aparados da Serra, e o Geoparque Mundial UNESCO Caminhos dos Cânions do Sul, onde o fenômeno da “viração”, entendido neste trabalho como nevoeiros orográficos, é recorrente. Os dados utilizados neste estudo são provenientes das estações automáticas de São José dos Ausentes (A829) e de Cambará do Sul (A897).

Assim, este estudo tem como objetivo analisar os potenciais dias de paralisação associados à ocorrência de nevoeiros na região supracitada, bem como os dias paralisados em decorrência da precipitação oculta gerada por esses eventos. A partir dos dados, propõe-se o desenvolvimento de uma metodologia para o cálculo de um fator de influência de nevoeiros (FIN). Por fim, busca-se avaliar o impacto da incorporação desse fator no custo direto de obras rodoviárias.

METODOLOGIA

O presente estudo objetiva apresentar um panorama acerca da ocorrência de nevoeiros na região analisada. Para tanto, foram coletados dados de estações automáticas a partir de 2018. O INMET disponibiliza os dados referentes às estações por meio de medições automáticas realizadas a cada hora, para os anos analisados. Assim, para as estações de Cambará do Sul (A897) e São

José dos Ausentes (A829), foram coletados os seguintes dados disponibilizados pelo INMET: temperatura do ar (T), temperatura do ponto de orvalho (Tc) e umidade relativa do ar (UR). A metodologia do presente estudo baseia-se na verificação das horas anuais em que ocorreram condições meteorológicas favoráveis à formação de nevoeiros. A literatura especializada (Batista, 2022; Azevedo *et al.*, 2024) indica que tal formação está associada à umidade relativa do ar (UR) acima de 95% e à diferença entre a temperatura do ar e a temperatura do ponto de orvalho (T - Tc) menor ou igual a 2 °C. Tais limites foram utilizados no presente estudo para definir as condições de formação de nevoeiros.

A fim de compreender o possível impacto desse fenômeno na execução das atividades de obras de infraestrutura rodoviária, optou-se por restringir a base de dados aos horários em que tais serviços são comumente realizados, ou seja, das 07h00 às 17h00. Ademais, foram eliminados os dias de domingo e feriados, bem como aqueles dias cujo impacto nos custos das obras já é considerado pela metodologia do FIC do DNIT. A Figura 3 apresenta os dias úteis com condições meteorológicas favoráveis à formação de nevoeiros nos horários especificados para as estações analisadas.

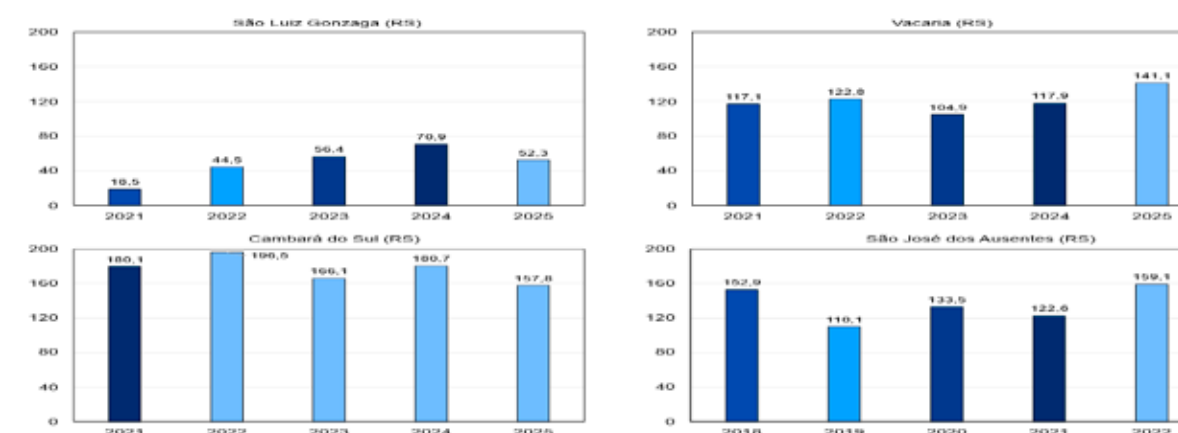


Figura 3. Número de dias úteis com condições meteorológicas favoráveis a formação de nevoeiros

Os gráficos apresentados na Figura 3 comprovam a alta probabilidade de ocorrência de nevoeiros na região analisada. A partir dos dados da estação automática de Cambará do Sul, por exemplo, observa-se uma média de cerca de 176 dias úteis por ano em que se identificaram as condições favoráveis para a ocorrência de nevoeiro, fenômeno este que pode interromper as atividades de construção. Ressalta-se que os dados apresentados não representam necessariamente os dias em que ocorreram nevoeiros, mas sim a frequência de condições meteorológicas favoráveis à sua formação. Ademais, a partir dos dados das estações meteorológicas, não há uma medição direta da ocorrência do fenômeno nem de sua capacidade de obstrução da visibilidade e geração de precipitação oculta. Portanto, não foram quantificados diretamente os dias em que as atividades de construção foram efetivamente paralisadas em razão da ocorrência de nevoeiros.

À face do exposto, e considerando a possibilidade de os nevoeiros impactarem significativamente as obras realizadas em municípios em que esse fenômeno é recorrente, entende-se que os custos diretos relacionados à remuneração de equipamentos e de mão de obra parados devem ser previstos no orçamento.

Nesse contexto, buscou-se compreender como os custos de paralisação devido a eventos climáticos são incorporados ao orçamento de obras rodoviárias. Como descrito anteriormente, nos projetos em que os custos diretos de infraestrutura de transportes são quantificados com a metodologia do SICRO, as paralisações causadas pela chuva são incorporadas por meio da aplicação do FIC, diretamente aos custos horários improdutivos da equipe (*i.e.*, custo de equipamentos e mão de obra paralisados durante ou devido à ocorrência de precipitações).

Outros países, no entanto, adotam diferentes formas de inclusão desse custo. Por exemplo, nos Estados Unidos, o custo de paralisação de equipe devido a fenômenos climáticos é remunerado a partir da compressão da quantidade de horas disponíveis para trabalho por ano, subtraindo-se os períodos de ocorrência desses eventos e outros, resultando no total de horas trabalhadas por ano (*working hours per year*), utilizadas para o cálculo dos custos de equipamentos e de mão de obra, prática também utilizada em outros países da América Latina. Outra metodologia consiste em incorporar os custos de fenômenos meteorológicos diretamente nos riscos.

No contexto brasileiro, entende-se que convém o desenvolvimento de um proxy, a partir de um fator que, quando aplicado diretamente aos custos, permita estimar o custo de períodos improdutivos causados por nevoeiros. Esse fator pode ser aplicado em regiões onde esse fenômeno ocorre, como a região dos Cânions do Sul.

De forma similar ao FIC, optou-se por utilizar como base de cálculo o número de dias paralisados (nd), multiplicado por um fator de natureza da atividade (fa), igual a 1 quando a atividade é impactada e 0 quando a atividade não é paralisada pelo fenômeno. No caso dos nevoeiros, observou-se que a paralisação pode ocorrer de duas maneiras distintas: por meio da redução da visibilidade causada pelos nevoeiros, impossibilitando a execução das atividades, ou por meio da precipitação oculta, atuando de forma semelhante à chuva.

Entende-se, no entanto, que, quando há nevoeiro e a paralisação devido à falta de visibilidade já foi considerada, não se deve contabilizar paralisação adicional devido à precipitação oculta, a fim de evitar sobreposi-

ções. Assim, a precipitação oculta foi considerada apenas como efeito no dia subsequente ao nevoeiro, caso a água não escoada seja capaz de impactar as atividades.

$$FIN = (ndn \times fan) + (ndpo \times fapo \times [(1-C) \times fr]) \quad (1)$$

- Em que:
- ndn : fator de intensidade de nevoeiro
- fan : fator de atividade para nevoeiro
- $ndpo$: fator de intensidade de precipitação oculta
- $fapo$: fator de intensidade de precipitação oculta
- C : coeficiente de *runoff*
- fr : fator de retenção

Conforme apresentado na Equação 1, a formulação que descreve o FIN possui duas parcelas distintas. A primeira relaciona ndn , que representa o número de dias paralisados pela falta de visibilidade ocasionada por esse fenômeno, e fan , que indica se a atividade analisada é afetada ou não por essa redução de visibilidade.

A segunda parcela possui os mesmos fatores, porém aplicados à precipitação oculta, ou seja, o número de dias paralisados devido à precipitação oculta ocorrida no dia anterior, descrito por meio dos fatores $ndpo$ e $fapo$. Ademais, a segunda parcela conta com um terceiro termo, representado entre colchetes, utilizado para calcular a quantidade de água retida no solo, por meio de C e fr , fatores também aplicados na metodologia do FIC.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o fator de intensidade de nevoeiros (ndn), o cálculo dos dias paralisados foi realizado a partir de dados meteorológicos disponibilizados pelo INMET, que possibilitaram a identificação das horas em que ocorreram condições meteorológicas favoráveis à formação de nevoeiros. Ressalta-se que foi realizada a média mensal e anual e, por fim, a média da série histórica, a fim de se obter o valor final de ndn . Os valores da média de horas anuais com possibilidade de ocorrência de nevoeiro foram divididos pelo número de horas trabalháveis por ano, igual a 2.000 horas, de acordo com o Caderno Técnico de Parâmetros de Equipamentos do SICRO (2025). Pela metodologia do FIC, para serviços normais, dias em que há precipitação em um turno de 8 horas (precipitação diária/3) superior a 5 mm — ou seja, 15 mm diá-

Dessa forma, o Fator de Influência de Nevoeiros (FIN) é apresentado na Equação 1.

rios — já são considerados no FIC. De forma semelhante, dias com precipitação diária superior a 5 mm também são contabilizados nesse fator para serviços geotécnicos. Assim, tais dias foram excluídos das análises, evitando duplicidade na consideração dos dias paralisados.

No que concerne ao fator de intensidade de precipitação oculta ($ndpo$), o cálculo foi realizado utilizando os dados coletados por Baratto *et al.* (2024). Pela falta de dados diretos de precipitação oculta para toda a série histórica, optou-se por generalizar os dados obtidos por Baratto *et al.* (2024), coletados no inverno de 2018. Ressalta-se que os dados aqui calculados podem não ser adequados para outros períodos ou estações do ano.

De acordo com os dados de Baratto *et al.* (2024), durante o período de junho a agosto de 2018, ocorreram 146 horas de precipitação oculta. Analisando os dados da estação de Cambará do Sul nesse mesmo período, observou-se um total de 410 horas com condições favoráveis à formação de nevoeiro. Assim, extrapola-se que ocorra uma média de 0,356 horas de precipitação oculta para cada hora de possibilidade de nevoeiro na região analisada.

A partir dos dados de Baratto *et al.* (2024), é possível calcular uma média de precipitação oculta de 1,4 mm para cada hora em que ocorreu nevoeiro. Assim, como se sabe a quantidade de horas em que houve condições meteorológicas para formação de nevoeiro, é possível calcular a quantidade de mm de precipitação oculta para cada hora com possibilidade de nevoeiro, conforme demonstrado na Equação 2.

$$1,4 \times \frac{\text{mm}}{\text{hora de nevoeiro com PO}} \times 0,35 \frac{\text{horas de precipitação oculta}}{\text{horas com possibilidade de nevoeiro}} = 0,49 \text{ mm/h} \quad (2)$$

Portanto, conforme demonstrado na Equação 2, estima-se que, para cada hora com possibilidade de ocorrência de nevoeiro, exista uma precipitação oculta de 0,49 mm. A partir desse dado, constata-se uma informação relevante: considerando que, para haver prejuízos aos serviços padrão no dia seguinte, é necessária uma precipitação de ao menos 15 mm, mesmo em uma situação hipotética extrema, em que haja nevoeiro durante 24 horas consecutivas, o máximo de precipitação oculta seria de 11,76 mm. Assim, é possível concluir que a precipitação oculta não é capaz de impactar os serviços padrão, de modo que o $ndpo$ padrão deve ser considera-

do igual a zero. Assim, o $ndpo$ geotécnico foi calculado por meio da média histórica da quantidade de precipitação oculta, multiplicando o valor de mm de precipitação oculta por hora de possibilidade de nevoeiro pelas horas de possibilidade de nevoeiro calculadas anteriormente. Foram eliminados os dias com precipitação pluvial acima de 5 mm, sendo esses já cobertos pelo FIC para os serviços geotécnicos. A Tabela 1 apresenta os resultados dos fatores de intensidade para as estações meteorológicas avaliadas, de São José dos Ausentes e Cambará do Sul.

Tabela 1. Resultados de ndn e $ndpo$ para as estações analisadas

Estação	ndn padrão	ndn geotécnico	$ndpo$ padrão	$ndpo$ geotécnico
São José dos Ausentes	0,49730	0,45079	0,00000	0,04015
Cambará do Sul	0,55549	0,49481	0,00000	0,04375

Retomando, então, a equação geral desenvolvida para o Fator de Influência de Nevoeiros (FIN), apresentada na Equação 1, é possível calcular um exemplo desse fator para a região analisada. Utilizando como exemplo de aplicação uma obra em São José dos Ausentes. É analisado um serviço geotécnico realizado na Etapa 1, em um terreno com declividade de 3%, para definição do coeficiente de *runoff* (C) e do fator de retenção (fr), conforme o Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes - Volume 04 (DNIT, 2025). Para o serviço utilizado como exemplo, o FIN calculado é igual a 0,47488.

A metodologia apresentada foi, então, aplicada a um orçamento preliminar de uma obra pública na região analisada. Foi calculado o fator de influência de nevoeiros (FIN) de cada serviço do orçamento cujo objeto consiste em construção rodoviária e de obras de arte especiais. Dessa forma, aplicou-se tal fator em 151 composições de custo unitário (CCUs) principais e 36 CCUs auxiliares, sendo o FIN incorporado ao cálculo dos custos improdutivos de equipamentos e de mão de obra. Como premissa para o estudo, dado que não se estimou neste estudo o raio de influência dos nevoeiros, considerou-se que os custos das atividades de transporte (i.e., tempo fixo e de momento de transporte) não teriam impacto do FIN. Logo, para esses serviços, foi estipulado fan nulo. Por outro lado, para demais serviços (i.e., CCUs principais e auxiliares), foi aplicado fan igual a 1. Por fim, para o $fapo$, foram adotados os valores já definidos pelo DNIT para os serviços que sofrem influência

da precipitação pluvial, conforme metodologia do FIC. A análise comparativa do orçamento com inclusão do FIN com relação ao orçamento original resultou em um aumento aproximado de 9% nos custos diretos. O resultado indica que paralisações associadas à ocorrência de nevoeiros, seja pela redução da visibilidade, seja pelos efeitos da precipitação oculta no dia subsequente, podem impactar significativamente os custos diretos.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados, conclui-se que os nevoeiros recorrentes na região serrana entre Santa Catarina e Rio Grande do Sul apresentam potencial significativo de prejudicar a execução de serviços de construção rodoviária. Dessa forma, entende-se que seus efeitos devem ser considerados na orçamentação das obras. Para tanto, foi desenvolvido o Fator de Influência de Nevoeiros (FIN), a fim de que possa ser utilizado como proxy no cálculo dos custos de paralisação de equipamentos e mão de obra devido a esse fenômeno.

A partir de dados meteorológicos e estudos realizados na região, foram estimados os parâmetros do fator, um FIN aproximado para um exemplo de serviço e um valor percentual de aumento para um orçamento fictício de obra de construção rodoviária. Resultados para uma obra na região de análise demonstraram um aumento aproximado de 9% nos custos diretos quando a influência de nevoeiros densos é considerada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCOVA, Francisco Carlos Soriano. Avaliação do potencial hidrológico dos nevoeiros e da precipitação oculta em ambiente de Floresta Ombrófila Densa Montana na Serra do Mar, Cunha, SP. Versão corrigida.– Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

AZEVEDO, Lucas dos Santos; MANICA, Rafael; PUHL, Eduardo. Previsão do risco de nevoeiro com aprendizado profundo: estudo de caso no Cais do Porto de Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2024

BARATTO, Jakeline; GALVANI, Emerson; WOLLMANN, Cássio Arthur. Precipitação oculta no Parque Nacional de Aparados da Serra (RS/SC): sob condição invernal. Revista Humboldt, 2024.

BATISTA, Lourdes Gabriela Vieira. Análise dos processos de formação de nevoeiro nos aeroportos de Manaus-AM. 142 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Caderno Técnico de Parâmetros de Equipamentos do SICRO. Brasília: DNIT, 2025.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes – Volume 04. Brasília: DNIT, 2025.

GODOY, Michel Marques; BINOTTO, Raquel Barros; WILDNER, Wilson. Geoparque Caminhos dos Cânions do Sul (RS/SC): proposta. Geoparques do Brasil: propostas. Rio de Janeiro: CPRM, 2012. Cap. 13.

GRIMM, A. M. Variabilidade climática interanual no sul do Brasil associada ao fenômeno El Niño–Oscilação Sul (ENOS). Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 35–49, 1999

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Glossário INMET. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2025. Disponível em: < <https://portal.inmet.gov.br/glossario/glossario#N> >. Acesso em: 23 Dez. de 2025.

MAGER, S. M.; SMITH, N. J.; BLEGEN, N.; et al. Fog water collection and the role of fog in water resources. Atmospheric Research, v. 178–179, p. 152–160, 2016.

PETTERSEN, Sverre. Weather analysis and forecasting. New York: McGraw-Hill, 1940.

PRADA, Susana; MENEZES, Miguel; FIGUEIRA, Celso; SILVA, Manuel Oliveira da. Fog precipitation and rainfall interception in the natural forests of Madeira Island (Portugal). Agricultural and Forest Meteorology

VAREJÃO-SILVA, Mário Adelmo. Meteorologia e climatologia. Recife: Instituto Nacional de Meteorologia, 2006.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). International Cloud Atlas. Geneva: WMO, 2017.



ANÁLISE PARAMÉTRICA DE BACIAS DE DEFLEXÃO E SLOPES PARA INTERPRETAÇÃO E VALIDAÇÃO DE DADOS DE TSDD

PARAMETRIC ANALYSIS OF DEFLECTION BASINS AND SLOPES FOR THE INTERPRETATION AND VALIDATION OF TSDD DATA

Caio M. Raul¹,
Felipe F. Camargo¹ e
André F. Vale¹

¹ RoadRunner Engenharia, e-mail: caio.raul@rrunner.com.br; felipe.camargo@rrunner.com.br; andre.vale@rrunner.com.br

DOI: W10.21526/abpv.v55.5

RESUMO

A avaliação estrutural de pavimentos por meio de ensaios deflectométricos não destrutivos é amplamente utilizada para apoiar decisões de manutenção e reabilitação, tendo como base a interpretação das bacias de deflexão. Com o avanço de tecnologias e o desenvolvimento do Traffic Speed Deflectometer Device (TSDD), tornou-se possível obter medições contínuas em velocidade de tráfego, ampliando significativamente a cobertura espacial dos levantamentos. No entanto, a interpretação desses dados apresenta um novo contexto, uma vez que o equipamento mede diretamente gradientes da bacia de deflexão (slopes), demandando o desenvolvimento de novas abordagens de modelagem e análise de parâmetros, distintas daquelas tradicionalmente aplicadas a deflexões pontuais. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise paramétrica do comportamento de bacias de deflexão, slopes e parâmetros derivados, a partir da variação das propriedades mecânicas e da configuração estrutural do pavimento, visando apoiar a interpretação e validação de dados obtidos diretamente com TSDD. Para isso, foi conduzida uma análise paramétrica sistemática, por meio da modelagem elástica linear multicamadas, considerando duas estruturas típicas de pavimentos flexíveis e diferentes combinações de módulos resilientes representativas de condições de rigidez distintas. Os resultados evidenciaram a influência da rigidez dos materiais e da configuração estrutural na resposta do pavimento, com variações mais pronunciadas nos slopes nas proximidades da carga e comportamento mais integrado das bacias de deflexão em regiões afastadas. Adicionalmente, foram estabelecidas faixas esperadas de resposta para os parâmetros analisados, com potencial aplicação na verificação de consistência e validação de dados medidos em campo, indicando que a utilização conjunta de slopes, deflexões e parâmetros de bacia permite uma análise estrutural mais abrangente em levantamentos contínuos com TSDD.

Palavras-chave: TSDD; Bacia de deflexão; Gradiente de deflexão; Modelagem elástica; Pavimentos flexíveis.

ABSTRACT

Structural evaluation of pavements using non-destructive deflection-based testing is widely employed to support maintenance and rehabilitation decisions, based on the interpretation of deflection basins. With the advancement of technologies and the development of the Traffic Speed Deflectometer Device (TSDD), it has become possible to obtain continuous measurements at traffic speed, significantly increasing the spatial coverage of surveys. However, the interpretation of these data introduces a new context, as the equipment directly measures deflection gradients (slopes), requiring the development of new modeling approaches and parameter analysis methods, distinct from those traditionally applied to point deflection measurements. In this context, the present study aims to perform a parametric analysis of the behavior of deflection basins, slopes, and derived parameters, based on variations in mechanical properties and pavement structural configuration, in order to support the interpretation and validation of data obtained directly from TSDD. To this end, a systematic parametric analysis was conducted using multilayer linear elastic modeling, considering two typical flexible pavement structures and different combinations of resilient moduli representative of distinct stiffness conditions. The results highlighted the influence of material stiffness and structural configuration on pavement response, with more pronounced variations in slopes near the load application and a more integrated behavior of deflection basins at greater distances. Additionally, expected response ranges were established for the analyzed parameters, with potential application in consistency verification and validation of field-measured data, indicating that the combined use of slopes, deflections, and basin parameters enables a more comprehensive structural analysis in continuous TSDD surveys.

Keywords: TSDD; Deflection basin; Slope; Elastic modeling; Flexible pavements.

INTRODUÇÃO

A avaliação estrutural de pavimentos tem como principal objetivo determinar a capacidade da estrutura em resistir às cargas aplicadas, por meio da caracterização das propriedades de resistência e deformabilidade das camadas constituintes. Essas informações são fundamentais para o diagnóstico da condição estrutural e para a definição de estratégias de manutenção e reabilitação, tanto em nível de rede quanto em nível de projeto, visando garantir desempenho adequado ao longo da vida útil do pavimento. Nesse contexto, os ensaios deflectométricos por métodos não destrutivos desempenham papel central, permitindo a avaliação indireta do comportamento estrutural a partir da medição dos deslocamentos verticais recuperáveis na superfície do pavimento sob carregamento. A medição de deflexões permanece como o método não destrutivo mais confiável para a avaliação da condição estrutural de pavimentos (Xiao et al., 2021).

Entre as tecnologias disponíveis, o *Falling Weight Deflectometer* (FWD) consolidou-se como referência para avaliação estrutural, sendo amplamente utilizado para obtenção de bacias de deflexão e posterior inferência das propriedades mecânicas das camadas. No entanto, sua natureza pontual e estática implica limitações operacionais, especialmente em termos de produtividade, custos e interferência no tráfego. A necessidade de ampliar a cobertura espacial e reduzir impactos operacionais impulsionou o desenvolvimento de tecnologias capazes de realizar medições em velocidade de tráfego. Nesse contexto, destaca-se o *Traffic Speed Deflectometer Device* (TSDD), que permite a obtenção contínua da resposta estrutural do pavimento por meio da medição do gradiente da bacia de deflexão (slope) utilizando lasers Doppler (Hildebrand e Rasmussen, 2002).

Com o avanço das tecnologias de avaliação estrutural de pavimentos, o emprego de equipamentos do tipo TSDD tem se consolidado como uma alternativa para levantamentos contínuos em nível de rede. No Brasil, essa evolução ganhou destaque a partir de 2023, com a realização de um experimento em larga escala conduzido pelo DNIT, a publicação da norma DNIT 440/2023-PRO e a introdução do sistema Falkorr®, primeiro TSDD operado por uma empresa latino-americana. Desde então, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de avaliar o desempenho, a repetibilidade e a sensibilidade do equipamento em condições reais de operação, incluindo aplicações em rodovias concessionadas e análises dos efeitos de variáveis como veloci-

dade, temperatura e características superficiais do pavimento (Camargo et al., 2024; Mota et al., 2024; Raul et al., 2024; Louzane et al., 2025). Nesse contexto, assim como tradicionalmente se realizam modelagens para interpretação de dados obtidos com equipamentos do tipo FWD, observa-se também a possibilidade de aplicação de abordagens de modelagem voltadas diretamente aos dados obtidos com TSDD, contribuindo para a ampliação das ferramentas disponíveis para análise estrutural de pavimentos.

Nesse sentido, a modelagem elástica linear multicamadas constitui uma ferramenta consolidada para simulação das respostas estruturais, permitindo analisar a influência das propriedades dos materiais nas bacias de deflexão e em seus respectivos gradientes. A partir dessa abordagem, é possível estabelecer padrões de resposta mecanicamente consistentes, que podem ser utilizados tanto para apoiar a interpretação dos dados obtidos com TSDD quanto para identificar possíveis inconsistências. Ressalta-se que o comportamento viscoelástico das misturas asfálticas pode influenciar significativamente a resposta estrutural do pavimento, especialmente em função da temperatura e da velocidade de carregamento, aspectos particularmente relevantes em medições dinâmicas (Huang et al., 2022) como as realizadas com TSDD. No entanto, a consideração explícita da viscoelasticidade implica em maior complexidade de modelagem e na necessidade de um conjunto ampliado de parâmetros de entrada, muitas vezes indisponíveis em aplicações de rede. Nesse contexto, a adoção da teoria elástica linear multicamadas neste trabalho tem caráter simplificador e visa estabelecer uma base de referência para análise paramétrica e interpretação dos resultados, permitindo a identificação de tendências estruturais e a construção de faixas esperadas de comportamento mecanicamente consistentes.

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar, de forma paramétrica, o comportamento de bacias de deflexão e seus respectivos slopes para diferentes estruturas de pavimentos flexíveis, utilizando modelagem elástica linear. Adicionalmente, busca-se explorar o potencial dessa abordagem como ferramenta de apoio à interpretação e validação de dados obtidos com TSDD. Ressalta-se que, embora a modelagem adote carregamento estático equivalente, os parâmetros analisados (slopes e parâmetros derivados) correspondem diretamente às grandezas medidas pelo TSDD, permitindo estabelecer uma ponte entre a res-

posta mecanicamente modelada e os dados obtidos em levantamentos contínuos. Dessa forma, a abordagem adotada busca representar, de forma simplificada, a resposta estrutural captada pelo equipamento, com foco na interpretação dos sinais medidos.

METODOLOGIA

As análises realizadas neste trabalho buscaram representar, de forma simplificada, a resposta estrutural medida por equipamentos do tipo TSDD, com base em sua configuração típica de aquisição de dados. Para isto, foram realizadas modelagens de duas estruturas flexíveis, variando os módulos de resiliência de forma a se estabelecer uma faixa de valores esperada para os casos analisados. Foram analisados valores previstos de slope, de flexão e demais parâmetros de bacia sob a ação da carga do equipamento.

Modelagem Estrutural

Foi adotada como referência a configuração do TSDD Falkorr®, composto por sensores a laser Doppler instalados ao longo de uma viga rígida no interior do veículo, com alta taxa de aquisição de dados. Durante o deslocamento em velocidade de tráfego, os sensores registram a velocidade de deslocamento da superfície do pavimento, predominantemente na direção vertical, induzida pela passagem de um eixo padrão de aproximadamente 10 toneladas. A partir dessas medições, combinadas com a velocidade do veículo, são obtidos os gradientes da bacia de deflexão (slopes), que podem ser posteriormente integrados para determinação das deflexões absolutas. O sistema também registra parâmetros operacionais e ambientais, como velocidade, temperatura e georreferenciamento das medições.

A resposta estrutural dos pavimentos foi obtida por meio de modelagem baseada na teoria elástica linear de sistemas multicamadas. Essa abordagem é amplamente utilizada para análise de bacias de deflexão e tem sido aplicada em estudos voltados à interpretação de medições deflectométricas, incluindo análises baseadas em gradientes de deflexão. A modelagem considerou carregamento estático equivalente, sem considerar explicitamente efeitos dinâmicos ou viscoelásticos. Essa simplifi-

cação é consistente com o caráter paramétrico do estudo e com o objetivo de estabelecer relações fundamentais entre propriedades estruturais e respostas mecânicas. Adicionalmente, destaca-se que os cenários analisados não buscam reproduzir condições específicas de campo, mas sim estabelecer faixas de resposta mecanicamente consistentes, permitindo a avaliação isolada da sensibilidade dos parâmetros analisados

Para fins de modelagem, foram considerados pontos discretos ao longo da bacia de deflexão/slope, representativos das posições típicas dos sensores do equipamento. A partir desses valores, foi realizada uma interpolação por meio de funções spline a cada 5 cm, permitindo a obtenção de uma representação contínua da bacia de deflexão/slope. Foram avaliados modelos abrangendo uma extensão total entre -450 mm a 2.000 mm a partir do eixo de carga.

Estruturas Analisadas

Foram analisadas duas estruturas de pavimentos flexíveis representativas, com diferentes espessuras de revestimento e camadas granulares, de forma a avaliar a influência da estrutura na resposta deflectométrica. Os valores de módulos resilientes foram definidos a partir dos limites mínimos e máximos recomendados pela IP-DIN 01 do DER/SP (2025), adotados neste estudo como referência para definição de cenários referenciais de rigidez. As combinações de módulos foram aplicadas de forma independente entre as camadas, de modo a representar cenários extremos e intermediários de rigidez estrutural, sem a imposição de correlação direta entre espessura e módulo resiliente. Essa abordagem tem como objetivo isolar a influência de cada parâmetro na resposta deflectométrica, em linha com o caráter paramétrico do estudo. Ressalta-se que tais valores são tipicamente associados a pavimentos novos, podendo divergir significativamente das condições reais em campo, especialmente em estruturas envelhecidas ou submetidas a condições ambientais adversas. Dessa forma, os resultados obtidos devem ser interpretados como representativos de uma faixa de comportamento estrutural, e não como valores absolutos. A Tabela 1 apresenta os valores considerados para as análises.

Tabela 1. Propriedades Estruturais (Estrutura 1 / Estrutura 2)

Camada	Espessura [cm]	Módulo [MPa]	Poisson
Concreto Asfáltico	5 / 10	2.500 / 4.500	0,35
Brita Graduada Simples	15 / 20	200 / 380	0,35
Macadame Seco	15 / 20	100 / 300	0,40
Subleito	-	100	0,45

Parâmetros de Bacia

A partir das bacias de deflexão obtidas, foram determinados parâmetros amplamente empregados na caracterização estrutural de pavimentos, baseados na forma e na curvatura da bacia. Esses parâmetros permitem decompor a resposta deflectométrica em contribuições associadas às diferentes camadas da estrutura, fornecendo subsídios para a interpretação da distribuição de rigidez ao longo da profundidade.

Foram considerados a deflexão máxima (D_0), representativa da resposta estrutural global; o raio de curvatura da bacia deflectométrica, conforme definido no procedimento DNER PRO-011 (1979), associado à rigidez global do sistema; e os índices diferenciais de bacia, incluindo BLI ($D_0 - D_{30}$), BDI ($D_{30} - D_{60}$) e LLI ($D_{60} - D_{90}$), que fornecem indicativos da contribuição relativa das diferentes camadas estruturais. Adicionalmente, foi avaliada a deflexão em maiores distâncias (D_{120}), relacionada

ao comportamento do subleito e das camadas inferiores. Em conjunto, esses parâmetros permitem interpretar a condição estrutural do pavimento a partir da forma da bacia de deflexão, sendo amplamente utilizados em análises mecanístico-empíricas e em procedimentos de avaliação estrutural (Horak, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos são apresentados a seguir com foco na análise dos perfis de slope, das bacias de deflexão e dos parâmetros derivados, buscando evidenciar o comportamento estrutural das diferentes configurações analisadas. As Figuras 1a e 1b apresentam os perfis de slope para as estruturas analisadas, considerando os cenários de módulos mínimo e máximo, onde E1 é a estrutura com 5/15/15 cm, E2 é a estrutura com 10/20/20 cm e a posição 0 no eixo X corresponde a posição do eixo de aplicação da carga.

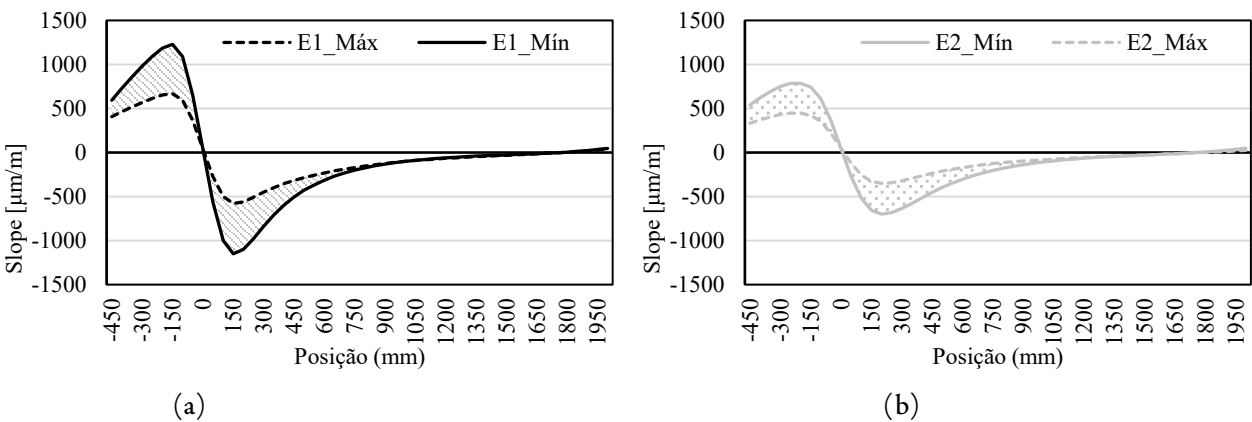


Figura 1. Slope estrutura 1 (a) e estrutura 2 (b)

Observa-se nas Figuras 1a e 1b que, em ambas as estruturas, os perfis apresentam comportamento coerente com a resposta elástica de sistemas multicamadas, com variações mais pronunciadas nas proximidades da carga aplicada. As faixas sombreadas representam a variação associada aos

limites de rigidez adotados, evidenciando a resposta dos slopes às propriedades mecânicas das camadas. De forma geral, verifica-se que a variação entre os cenários de módulo mínimo e máximo resulta em diferenças expressivas na magnitude dos slopes, particularmente na região próxima à carga, onde a

resposta é mais influenciada pelas camadas superiores. Essa variação tende a se reduzir com o aumento da distância em relação ao ponto de carregamento, refletindo a maior influência das camadas inferiores e do subleito. A comparação entre as estruturas indica que o aumento da espessura das camadas resulta em redução global da magnitude dos slopes, evidenciando maior capacidade de distribuição de tensões. No entanto, observa-se que a amplitude relativa entre os cenários mínimo e máximo permanece significativa em ambas as estruturas, indicando que o slope permanece sensível às variações de rigidez nos casos analisados, embora a magnitude e a distribuição da resposta sejam influenciadas pela configuração estrutural adotada. Esta análise sugere que, enquanto a espessura estrutural atua predomina-

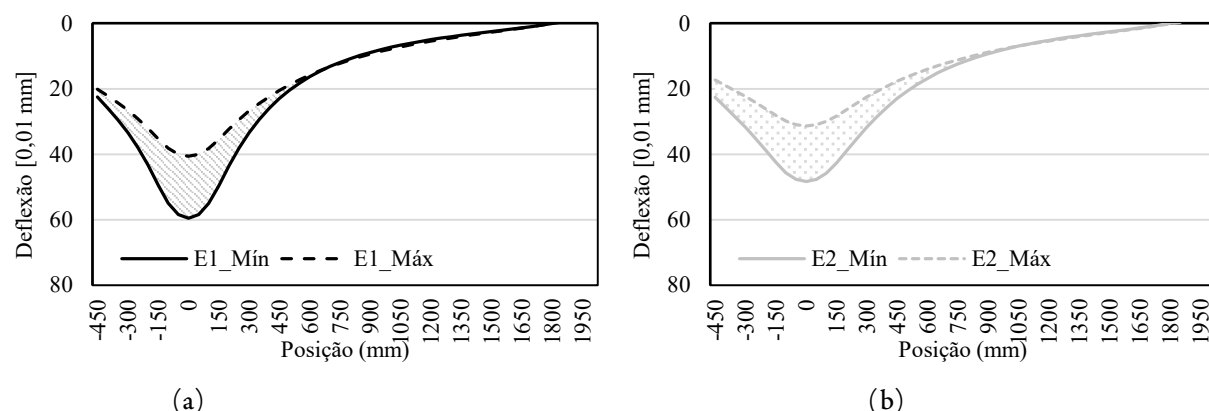


Figura 2. Bacia de deflexão estrutura 1 (a) e estrutura 2 (b)

Verifica-se, a partir das Figuras 2a e 2b, um comportamento típico de pavimentos flexíveis, caracterizado por bacias suaves e contínuas, com redução da deflexão máxima para a estrutura de maior espessura. A forma da bacia reflete a capacidade de redistribuição de tensões ao longo da estrutura, sendo mais evidente na configuração com maior espessura, que apresenta menores valores de deflexão e uma bacia mais aberta. As diferenças entre os cenários de módulos mínimo e máximo se manifestam predominantemente na amplitude da bacia, mantendo-se, em grande medida, sua forma global. À medida que se afasta do ponto de aplicação da carga, observa-se uma convergência entre os cenários, indicando a maior influência das camadas inferiores e do subleito na resposta estrutural. Esse comportamento reforça o papel consolidado das bacias de deflexão como ferramenta para

temente na redução da resposta global do pavimento, as variações de módulo influenciam diretamente a forma e a curvatura da bacia.

Destaca-se que o ponto de slope nulo coincide com a posição de máxima deflexão, localizada exatamente sob o ponto de aplicação da carga. Esse comportamento é decorrente da hipótese de comportamento elástico linear adotada na modelagem. Em condições reais, nas quais o comportamento viscoelástico do revestimento asfáltico pode ser medido, é esperado que ocorra um deslocamento entre o ponto de máxima deflexão e a posição da carga, fenômeno conhecido como lag (Xiao, 2021). A Figura 2 apresenta as bacias de deflexão correspondentes às estruturas analisadas.

avaliação estrutural de pavimentos, sendo amplamente utilizadas na prática para inferência da capacidade de suporte e caracterização das camadas, inclusive por meio de parâmetros derivados da forma da bacia.

A utilização conjunta dessas abordagens permite explorar diferentes aspectos da resposta estrutural do pavimento, combinando a robustez e o conhecimento da análise por deflexões com a sensibilidade dos slopes a variações locais. Adicionalmente, destaca-se que a análise direta dos slopes, sem a necessidade de integração para obtenção das deflexões, pode contribuir para a preservação de características locais do sinal, aspecto relevante em levantamentos contínuos com elevada resolução espacial, como os realizados com TSDD. A Tabela 2 apresenta os parâmetros de bacia calculados para as estruturas analisadas.

Tabela 2. Parâmetros de Bacia

Parâmetro	Estrutura 1		Estrutura 2	
	Mín	Máx	Mín	Máx
D0 [0,01 mm]	60	41	48	31
Raio [m]	146	277	239	450
BLI [0,01 mm]	26	14	17	9
BDI [0,01 mm]	17	11	15	8
LLI [0,01 mm]	7	6	7	5
D120 [0,01 mm]	5	5	5	5

Observa-se, a partir dos resultados apresentados na Tabela 2, uma redução consistente da deflexão máxima (D_0) e um aumento do raio da bacia com o incremento da espessura estrutural, indicando maior capacidade de distribuição de cargas e menor solicitação estrutural na região próxima ao ponto de aplicação. Os índices diferenciais de bacia (BLI, BDI e LLI) apresentaram redução com o aumento da rigidez das camadas, refletindo uma diminuição da curvatura da bacia e uma distribuição mais homogênea das deformações ao longo da estrutura. Esse comportamento está associado à maior capacidade das camadas superiores em dissipar as tensões aplicadas, reduzindo a concentração de esforços nas regiões mais próximas à superfície. Por sua vez, os valores de deflexão em maiores distâncias (D_{120}) apresentaram variações menos expressivas entre os cenários analisados, evidenciando a predominância da resposta do subleito nessas regiões, cuja contribuição tende a ser menos influenciada por alterações nas camadas superiores. De forma geral, os parâmetros analisados apresentaram tendências coerentes com o comportamento esperado de pavimentos flexíveis, reforçando a consistência da modelagem adotada para fins de análise paramétrica.

Os resultados obtidos para as bacias de deflexão e para os parâmetros derivados permitem explorar o potencial da modelagem elástica como ferramenta de apoio à interpretação de dados obtidos com TSDD. A definição de faixas esperadas de resposta, a partir de combinações de módulos mínimos e máximos, possibilita estabelecer limites mecanicamente consistentes para os valores de slope, deflexão e parâmetros de bacia esperados em campo. Nesse contexto, a comparação entre os dados medidos e essas faixas esperadas de resposta permite identificar possíveis inconsistências, como valores fora dos intervalos esperados ou variações incompatíveis com o comportamento estrutural do pavimento, podendo indicar interferências associadas à aquisição, ao processamento dos dados ou às condições operacionais

do levantamento. Adicionalmente, destaca-se que a modelagem adotada permite a análise direta do comportamento do pavimento em termos de slope, em consonância com a grandeza originalmente medida pelo TSDD. Embora a obtenção das bacias de deflexão por integração seja prática consolidada, esse processo pode introduzir suavizações no sinal, especialmente em dados com elevada resolução espacial. Dessa forma, a análise conjunta de slopes, deflexões e parâmetros de bacia, apoiada por modelos mecanicamente consistentes, constitui uma abordagem integrada para interpretação estrutural, permitindo explorar de forma mais consistente e integrada as informações disponíveis em levantamentos contínuos com TSDD.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram avaliar, de forma paramétrica, o comportamento de bacias de deflexão, seus respectivos gradientes (slopes) e parâmetros derivados, evidenciando a influência das propriedades mecânicas e da configuração estrutural na resposta do pavimento. A partir das análises realizadas, destacam-se os seguintes pontos:

- A modelagem elástica multicamadas mostrou potencial para análise das bacias e slopes;
- Os slopes apresentaram maior variação nas proximidades da carga, refletindo a influência das camadas superiores;
- As bacias de deflexão representaram de forma consistente o comportamento estrutural global do pavimento;
- Os parâmetros de bacia (D_0 , raio, BLI, BDI, LLI e D_{120}) apresentaram tendências coerentes com a distribuição de rigidez da estrutura;
- A definição de faixas esperadas de resposta indica potencial como ferramenta para interpretação e verificação de consistência de dados de TSDD;

- A análise direta dos slopes apresenta potencial como complemento à avaliação estrutural tradicional baseada em deflexões.

Por fim, a abordagem baseia-se em modelagem elástica linear, sem considerar explicitamente efeitos viscoelásticos e dinâmicos. Sua incorporação futura tende a refinar os limites propostos. Ainda assim, os resultados fornecem uma base consistente para análise paramétrica e interpretação de dados, servindo como referência inicial para avaliação e validação de levantamentos com TSDD.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEIZAEI, B. Processing and analysis of traffic speed deflectometer data. PhD Thesis, Delft University of Technology, 2023.

CAMARGO, F. F. et al. Use of the Falkorr Traffic Speed Deflectometer Device at Autopista Fernão Dias: A Case History Study. Transportation Research Record, 2025. <https://doi.org/10.1177/03611981251331015>

CHAI, G. et al. Development and application of traffic speed deflectometer for network-level pavement evaluation. Journal of Testing and Evaluation, v. 44, n. 6, 2016. <https://doi.org/10.1520/JTE20140492>

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO (DER/SP). IP-DIN 01 – Procedimentos para avaliação estrutural de pavimentos. Revisão D, 2025. São Paulo.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). DNER PRO-011/79 – Avaliação estrutural de pavimentos flexíveis. Rio de Janeiro, 1979.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). DNIT 440/2023-PRO – Levantamento deflectométrico com TSDD. Brasília, 2023.

HILDEBRAND, G.; RASMUSSEN, S. Non-contact deflection measurements at high speed. In: Proceedings of the 6th International Conference on the Bearing Capacity of Roads, 2002.

HORAK, E. Benchmarking the structural condition of flexible pavements with deflection bowl parameters. Journal of the South African Institution of Civil Engineering, v. 50, n. 2, p. 2–9, 2008.

HUANG, Y. H. Pavement Analysis and Design. 2nd ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2004.

KATICHA, S. et al. Wavelet-based denoising of traffic speed deflectometer measurements. Transportation Research Record, n. 2457, 2014. <https://doi.org/10.3141/2457-03>

LOUZANE, G. et al. Influence of pavement roughness on deflections measured by the Traffic Speed Deflectometer Device. Proceedings of the International Conference on Transportation and Development (ICTD) / International Airfield & Highway Pavements Conference, Glendale, Arizona, EUA, 8–11 jun. 2025.

MOTA, R. V. et al. Estudo comparativo da variabilidade do Traffic Speed Deflectometer (TSD) e do Falling Weight Deflectometer (FWD). Anais do 38º ANPET, Florianópolis, SC, Brasil, 4–8 nov. 2024.

RAUL, C. M. et al. The effect of vehicle speed on deflection data obtained using the Falkorr Traffic Speed Deflectometer Device (TSDD) with a Measure sensor in asphalt pavements. Proceedings of the 11th European Asphalt Technology Association (EATA), Ancona, Itália, 10–12 jun. 2025.

XIAO, F. et al. Utilization of traffic speed deflectometer for pavement evaluation. Measurement, v. 179, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109351>

Engenharia de PAVIMENTAÇÃO

A Revista PAVIMENTAÇÃO é um periódico técnico-científico editado e publicado pela ABPv – Associação Brasileira de Pavimentação, desde 2006. Atualmente, é disponibilizada exclusivamente no formato eletrônico através dos sites:

- www.abpv.org.br
- www.revistapavimentacao.org.br

MISSÃO DA ABPv

A ABPv tem como missão promover e incentivar o estudo, a pesquisa e a divulgação de temas relacionados à área da engenharia rodoviária, aeroportuária e ferroviária.

ARTIGOS TÉCNICOS

Na Revista PAVIMENTAÇÃO são veiculados artigos científicos, ensaios e estudos de caso de caráter exclusivamente técnico, inéditos, com temáticas pertinentes.

Os trabalhos enviados para publicação são encaminhados ao Comitê Técnico Científico da ABPv, onde serão submetidos a rigorosos critérios de avaliação, garantindo segurança e credibilidade aos conteúdos disponibilizados aos leitores.

A WIRTGEN GROUP COMPANY



Produção de asfalto com eficiência e rápida mobilização.



CLOSE TO OUR CUSTOMERS

Seja em obras urbanas ágeis ou em projetos exigentes de infraestrutura rodoviária, a iNOVA 1500 da CIBER entrega valor real onde é mais importante. Com o respaldo de 60 anos de excelência em engenharia, esta usina móvel equilibra com maestria a alta produtividade contínua e o controle térmico preciso. Aproveite seu design avançado de chassi único e o suporte global do WIRTGEN GROUP para elevar a eficiência do seu canteiro de obras e a lucratividade a longo prazo!



➤ wirtgen-group.com/inova1500

A JOHN DEERE COMPANY



Conheça toda nossa



CLOSE TO OUR CUSTOMERS

Seis marcas fortes. Seja na construção de estradas, na terraplenagem ou no tratamento de materiais: O WIRTGEN GROUP combina experiência em aplicações com soluções inteligentes e máquinas/usinas de alto desempenho – para que você possa dominar cada fase do projeto de forma confiável e a mais alta qualidade.



➤ wirtgen-group.com/technologies

WIRTGEN / VÖGELE / HAMM / KLEEMANN / BENNINGHOVEN / CIBER

ART

TECNOLOGIA DE REPARO DE ASFALTO
ART 1000 - GEN II

SIMEX

ART é a tecnologia patenteada pela Simex para a regeneração de conglomerados betuminosos, que reutiliza 100% do material presente no local, sem a necessidade de remover o material fresado ou adicionar outros agregados.

Ela é utilizada na manutenção funcional da superfície da via, com profundidade de até 100 mm. Não interrompe o fluxo de tráfego e garante a liberação imediata da estrada ao tráfego. Além disso, assegura que a manutenção tenha uma durabilidade razoável, permitindo que as autoridades locais planejem a manutenção viária, com benefícios significativos em termos de segurança dos usuários da via.



VEJA O VÍDEO
Leia o código QR com o seu smartphone



ST

SSL Standard Flow
SSL High Flow
SSL High Power
Front Loader

ESPALHADORAS DE ASFALTO
ST 200

VEJA O VÍDEO
Leia o código QR com o seu smartphone



As espalhadoras de asfalto ST foram concebidas para espalhar asfalto ou detritos para enchimento de escavações de secção, para criar passeios ou para ampliar a estrada existente. As corredeiras laterais adotam como referência as superfícies existentes, enquanto a espessura do asfalto pavimentado é regulável. A inclinação transversal flutuante pode ser bloqueada caso uma corredeira não toque no solo.

RS

SSL High Flow

FRESADORAS PARA GUIAS SONORAS
RS 16

VEJA O VÍDEO
Leia o código QR com o seu smartphone



As fresadoras Simex RS foram concebidas para a criação de guias sonoras, ou seja, os avisadores sonoros na superfície da estrada para segurança da circulação. Permitem realizar fresagens de diferentes tamanhos e/ou alterar a distância entre as guias, em função das solicitações do cliente (ou dos regulamentos governamentais).



Técnica inovadora reduz tempo de recuperação de placas de concreto em rodovias, portos e aeroportos



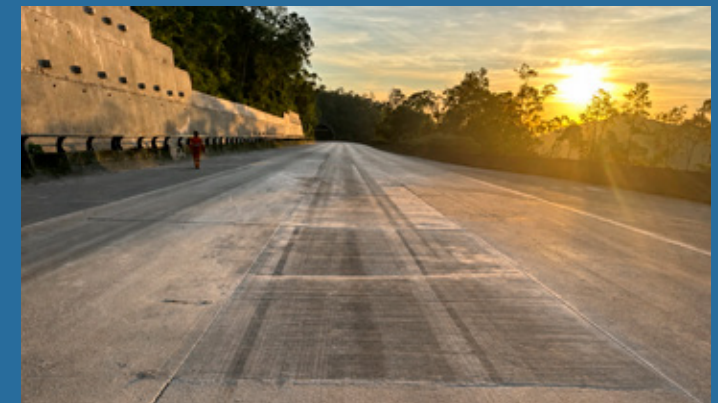
EPR Litoral Pioneiro

Os pavimentos de concreto são reconhecidos pela elevada capacidade de carga e durabilidade, com vida útil entre 20 e 30 anos. Entretanto, os longos períodos de interdição para recuperação de placas sempre representaram um desafio operacional em infraestruturas críticas.

Para solucionar esse problema, foi desenvolvida uma metodologia inspirada em referências internacionais que combina o cimento CEMFAST, da Votorantim Cimentos, com um sistema construtivo otimizado, usinagem móvel e controle tecnológico rigoroso.

A Ecovias adotou a tecnologia na Rodovia dos Imigrantes, ligação estratégica entre São Paulo e o Porto de Santos, onde cerca de 40 placas já foram substituídas. Segundo Fernanda Meireles, gerente de Engenharia da Ecovias, a concessionária passou a utilizar a solução como padrão de manutenção nos trechos de maior movimento. "Essa nova metodologia construtiva, combinada ao rigoroso controle de dosagem in loco, permitiu liberar a via ao tráfego em aproximadamente duas horas após a concretagem. Com isso, reduzimos o tempo total de interdição da pista de cinco dias para cerca de cinco horas", afirma.

O Grupo EPR também obteve resultados relevantes no acesso ao Porto de Paranaguá (PR). Como se trata de uma rodovia de pista simples e intenso fluxo de caminhões, as intervenções ocorreram à noite. "Fechávamos o trecho às 22h e, às 5h, a pista já estava liberada para os caminhões. A manutenção de 50 placas ocorreu de forma praticamente imperceptível para o usuário, trazendo ganhos expressivos de agilidade e segurança", diz Joel Silveira, gerente de



Ecovias Imigrantes

Pavimentos do Grupo EPR. As equipes chegaram a executar de quatro a cinco placas por noite.

A eficiência do processo exige integração entre fabricante, executora e concessionária, além de planejamento detalhado, adaptação do traço aos insumos locais e equipes treinadas para manusear o material de pega rápida — na Ecovias, a capacitação durou apenas três dias.

Para Silveira, o diferencial está na combinação de planejamento rigoroso, materiais de alta performance, equipamentos especializados e mão de obra qualificada. Como exemplo, ele cita a futura intervenção na Ponte da Amizade, que demandará meses de preparação para uma execução concentrada em poucas semanas.

Lidiane Blank, gerente de Desenvolvimento de Novos Negócios de Infraestrutura na Votorantim Cimentos, ressalta que a inovação marca a trajetória da empresa, que chega aos 90 anos em 2026 mantendo o foco no desenvolvimento de soluções que transformem a infraestrutura do Brasil. "O pavimento de concreto sempre apresentou maior durabilidade que o flexível, mas perdia em tempo de manutenção. Com a tecnologia do CEMFAST, reduzimos o tempo de interdição, entregando o melhor dos dois mundos: a elevada durabilidade do concreto aliada a uma manutenção mais ágil, que supera inclusive a rapidez das intervenções em pavimentos asfálticos", conclui.

(Matéria da jornalista Juliana Nakamura)



Joel Silveira — Engenheiro civil com mestrado em pavimentação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), é gerente de pavimento na EPR.



Fernanda Meireles — Engenheira civil, pós-graduada em Infraestrutura pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), é gerente de Engenharia da Ecovias.



Lidiane Oliveira Blank — Engenheira civil com MBA em Gestão Estratégica em Marketing pela Fundação Getúlio Vargas e MBA Executivo pelo Instituto de Ensino e Pesquisa (Insper). É gerente de Desenvolvimento de Novos Negócios de Infraestrutura na Votorantim Cimentos.

Infraestrutura que Avança, **Caminhos** que Conectam.

Cada obra é um compromisso com o presente e com o futuro. Na **Fremix**, unimos experiência, tecnologia e equipamentos de ponta para entregar **soluções eficientes, seguras e duradouras** em infraestrutura viária.

Mais do que executar, transformamos desafios em resultados que impulsionam cidades e pessoas.

**Construímos hoje
para transformar amanhã.**



SOLUÇÕES EM INFRAESTRUTURA VIÁRIA



PAVIMENTAÇÃO
ASFÁLTICA



FRESAGEM E
MICROFRESAGEM



NIVELAMENTO
DE TAMPÕES



RECICLAGEM
DE PAVIMENTOS



DEMOLIÇÃO
E BRITAGEM

**EXPERIÊNCIA,
TECNOLOGIA
E RESULTADOS
QUE CONECTAM.**

 (11) 4196-5533
 (11) 91968-5504
 www.fremix.com.br
 contato@fremix.com.br

FREMIX
30 ANOS