

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA O CÁLCULO DA ÁREA FENDILHADA COM BASE NA RECOLHA AUTOMÁTICA DO FENDILHAMENTO EM PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

João Morgado, Direção de Asset Management



11 crp

sustentabilidade e
resiliência

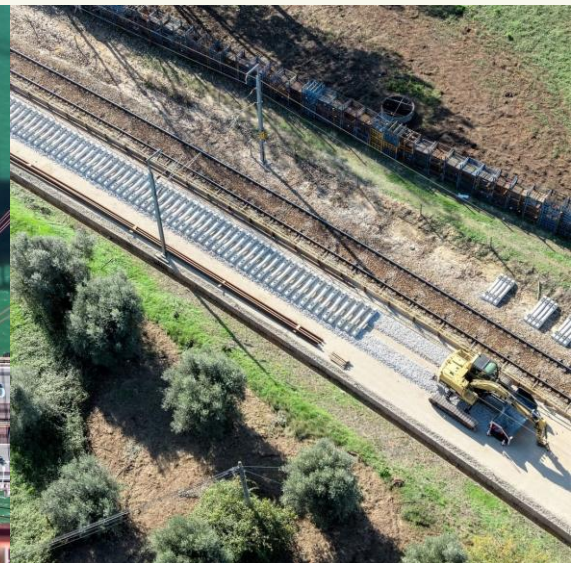
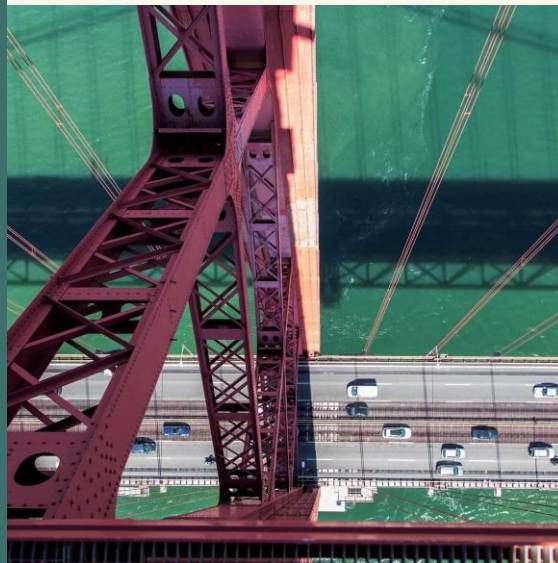
A IP é responsável pela gestão de infraestruturas rodoviárias, nos termos do Contrato de Concessão Geral da RRN, e exerce a prestação de serviço público de gestão da infraestrutura integrante da RFN

2 527 km 

13 833 km 

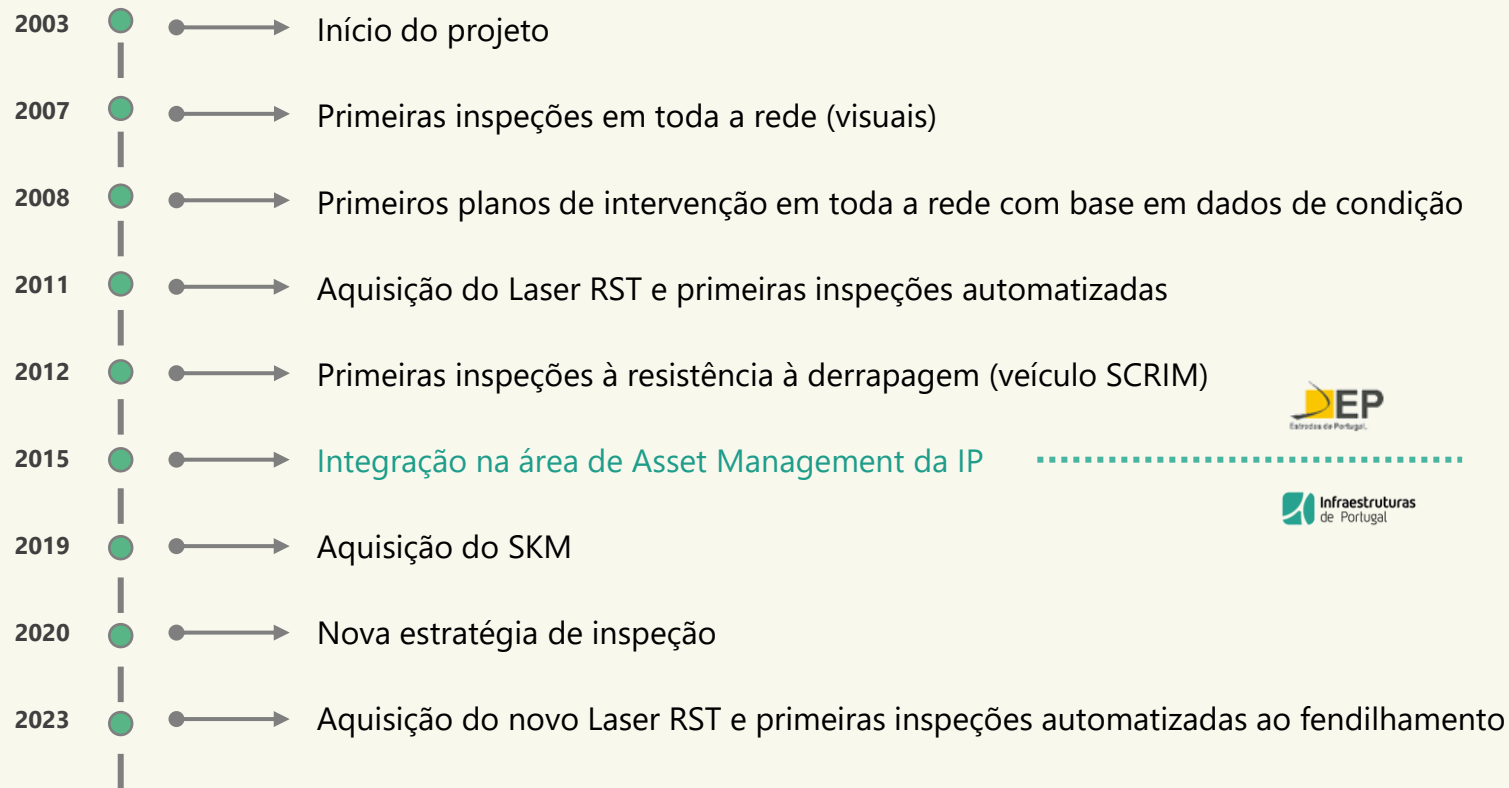
3 600 

certificada na ISO55001
em 2019



ABORDAGEM SISTEMATIZADA À GESTÃO DO ATIVO PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

SGPav | PRINCIPAIS MARCOS DO DESENVOLVIMENTO



ABORDAGEM SISTEMATIZADA À GESTÃO DO ATIVO PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

SGPav | MEIOS DE INSPEÇÃO

Laser RST35 (2011-...)



Veículo para recolha de irregularidade (longitudinal e transversal), macrotextura, geometria e imagens (frontal/traseira)

SKM (2019-...)



Veículo para recolha do coeficiente de atrito transversal, macrotextura e imagens frontais

Laser RST66 (2023-...)



Veículo para recolha de irregularidade e macrotextura com **recolha automática de fendas (LCMS)**, geometria, imagens (frontal/traseira) e imagens 360°

Laser RST66

COMPONENTES DO SISTEMA

LCMS-2 | lasers de varrimento
(rodeiras e imagens de pavimento para
fendilhamento, etc.)

câmaras 360°, frontal e traseira

sistema inercial
(coord. geográficas e geometria)

termómetros
(ar e pavimento)

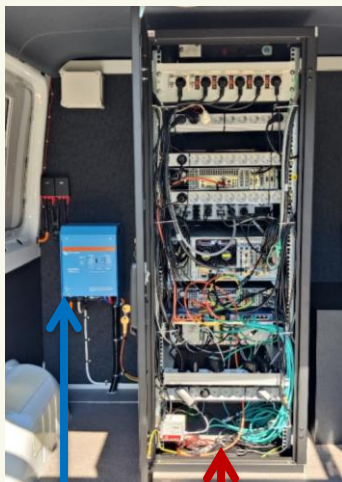
odómetro
(distância)

laser pontual com
acelerómetro
determinação do IRI e
macrotextura



Laser RST66

COMPONENTES DO SISTEMA



energia
(inversor
24/220v)

gestão de sensores
e armazenamento
de informação



gestão de plano de
inspeção, navegação
e aviso de nós e
marcos

teclado eventos
controlo de recolha
dados

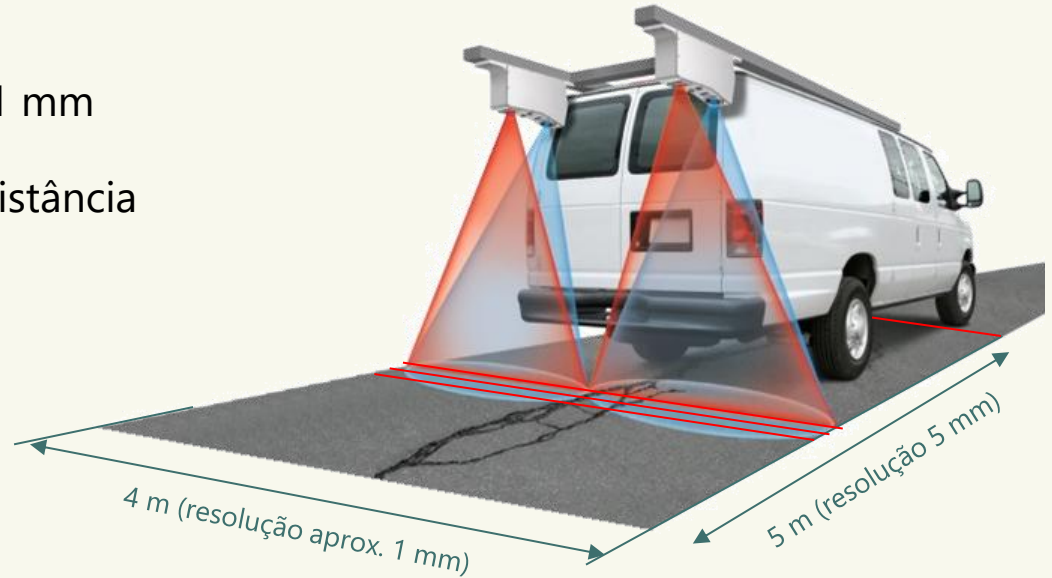
hardware de processamento de
gabinete



LASER CRACK MEASUREMENT SYSTEM (LCMS)

TECNOLOGIA DE VARRIMENTO 3D

- Perfis transversais de 4120 pontos (4 m com resolução aprox. 1 mm)
- Frequência longitudinal a partir de 1 mm
- Ficheiros individuais gerados com distância configurável (opção por 5 m)



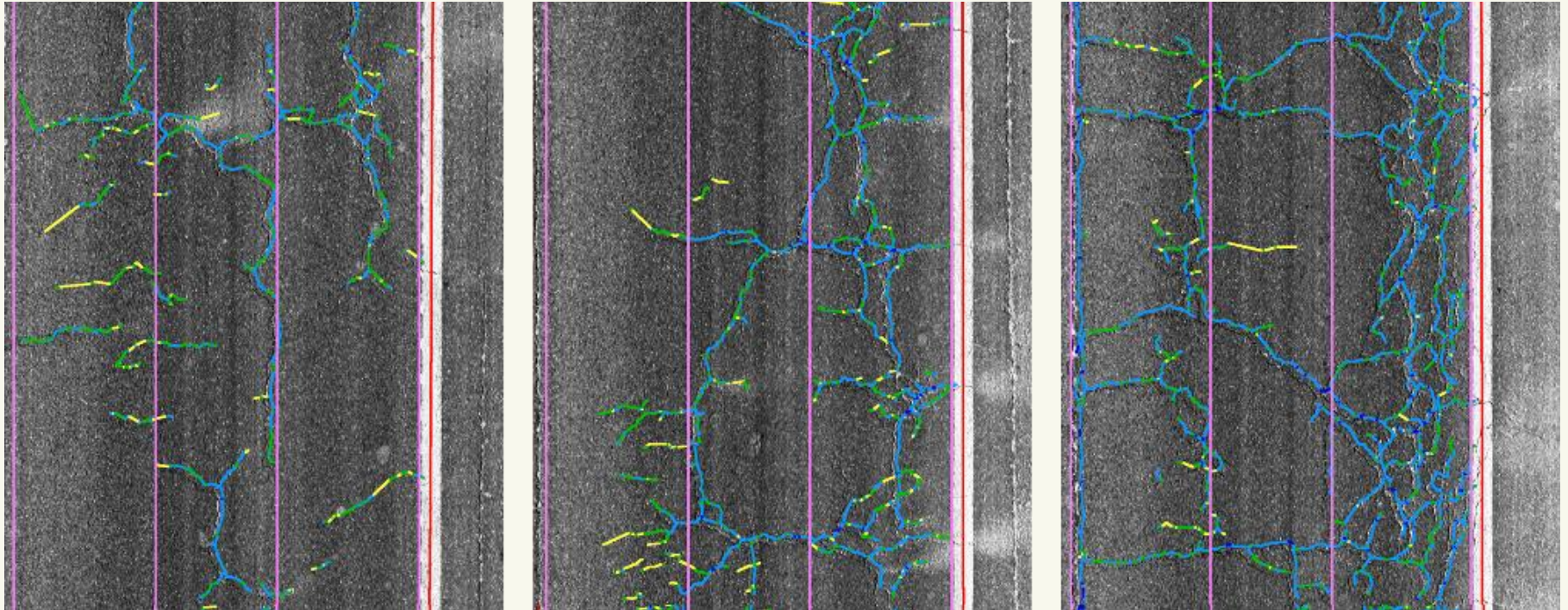
LASER CRACK MEASUREMENT SYSTEM (LCMS)

APLICAÇÕES

- **Fendilhamento (cracking)**
- Classificação de fendilhamento (MTQ crack classification)
- Macrotextura por área (macro-texture)
- Covas (potholes)
- Desagregação (raveling)
- Fendas seladas (sealed crack)
- Perda de agregado (pickout)
- Exsudação (bleeding)
- Reparações (patch)
- Subida de finos (pumping)
- Juntas de pavimento rígido (concrete pavement joints)
- Marcas rodoviárias (lane marking)
- Passeios e limite de pavimento rebaixado (curbs and dropoff)
- Tampas, grelhas de saneamento e outros objetos (manhole - man-made objects)

FENDILHAMENTO | OUTPUT DO LCMS

GEOMETRIA DAS FENDAS IDENTIFICADAS E A AVALIAÇÃO DA RESPECTIVA ABERTURA
(ASSOCIADA UM CÓDIGO DE CORES)



ENQUADRAMENTO AUTOMÁTICA DO FENDILHAMENTO

ENQUADRAMENTO NORMATIVO

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: E3303 – 21

Standard Practice for Generating Pavement Surface Cracking Indices from Digital Images¹

This standard is issued under the fixed designation E3303; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last revision. A superscripted epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This practice covers the quantification of pavement surface cracking from digital 2D images or 3D data (or both) of the pavement surface.

1.2 The objectives of this standard are to eliminate human subjectivity and intervention in the process of generating cracking indices, to define cracking metrics and other required parameters objectively, and to enable all users of the standard to produce the same cracking indices given the same cracking data.

1.3 The cracking indices are unitless and are calculated in a straightforward manner from fundamental measurements of length, width, and area as defined in this standard.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety, health, and environmental practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. Specific precautionary statements are given in Section 7.*

1.5 *This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²
E1656/E1656M Guide for Classification of Automated Pavement Condition Survey Equipment

3. Terminology

3.1 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

¹This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee B17 on Vehicle-Pavement Systems and is the direct responsibility of Subcommittee B17.42 on Pavement Management and Data Needs.
Current edition approved Aug. 1, 2021. Published August 2021. DOI: 10.1520/E3303-21.

²For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

AASHTO R 85-18 (Standard Practice for Quantifying Cracks in Asphalt Pavement Surfaces from Collected Pavement Images Utilizing Automated Methods) (AASHTO, 2022)

Standard Practice for

Quantifying Cracks in Asphalt Pavement Surfaces from Collected Pavement Images Utilizing Automated Methods

AASHTO Designation: R 85-18 (2022)¹

Technically Revised: 2018 Reviewed but Not Updated: 2022

Technical Subcommittee: 5a, Pavement Measurement

AASHTO

American Association of State Highway and Transportation Officials
555 12th Street NW, Suite 1000
Washington, DC 20004

ASTM E3303-21 (Standard Practice for Generating Pavement Surface Cracking Indices from Digital Images) (ASTM, 2021)

ENQUADRAMENTO NORMATIVO

PSCM E PSCI

O PSCM baseia-se na **abertura e extensão das fendas** na superfície do pavimento como dados de base, traduzindo assim a integridade da superfície em relação à presença de fendas.

$$PSCM = 100 \frac{L \cdot w}{A} = 100 \cdot \rho \cdot w$$

onde:

$PSCM$ = *Pavement Surface Cracking Metric*,

A = área de cálculo,

L = extensão de fendas na área de cálculo A ,

w = média ponderada da abertura das fendas existentes na área de cálculo A ,

ρ = densidade de fendas (L/A).

Calculado a partir do PSCM, o PSCI fornece uma **medida quantitativa** das fendas observadas na superfície do pavimento (varia de 0 a 100).

$$PSCI = 100 \times e^{-0,45 \cdot PSCM}$$

onde:

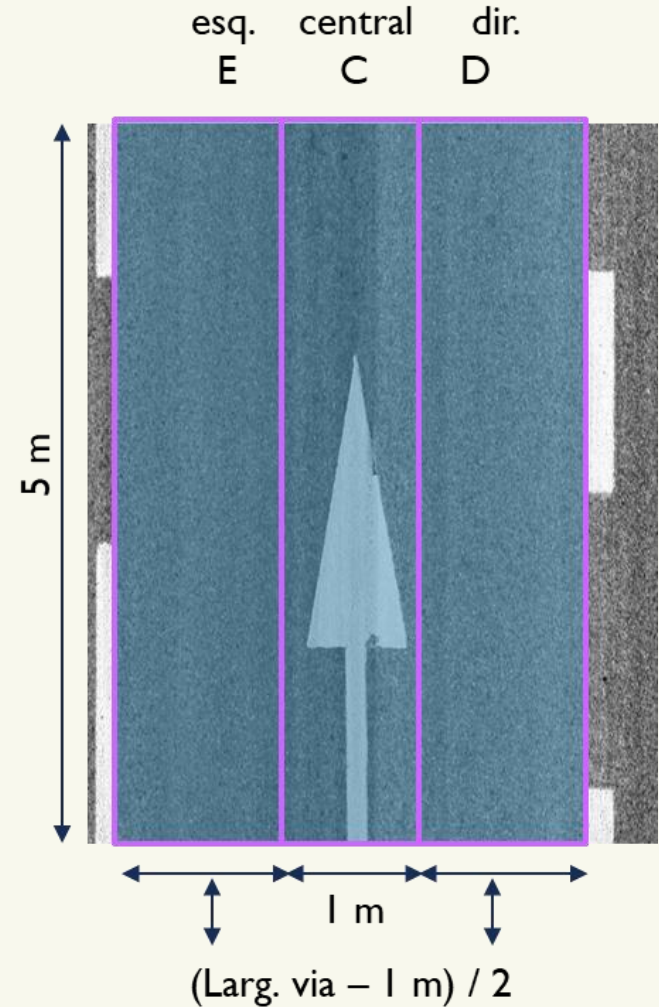
$PSCM$ = PSCM para uma secção de cálculo,

$PSCI$ = *Pavement Surface Cracking Index*.

CÁLCULO DA ÁREA FENDILHADA

METODOLOGIA

1. Definição de bandas em cada imagem de 5 m



CÁLCULO DA ÁREA FENDILHADA

METODOLOGIA

2. Definição de níveis de gravidade

Gravidade	Intervalo PSCI	Descrição da gravidade
0	$\text{PSCI} \geq 95$	Sem gravidade
1	$95 > \text{PSCI} \geq 75$	Gravidade baixa
2	$75 > \text{PSCI} > 50$	Gravidade média
3	$\text{PSCI} \leq 50$	Gravidade alta

3. Atribuição de área afetada

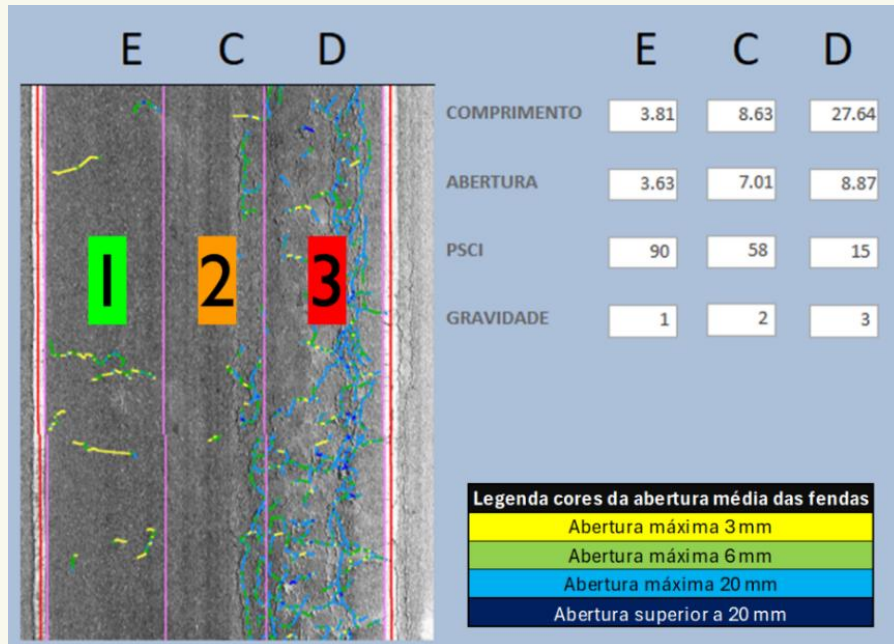
Gravidade máxima em cada imagem	Percentagem afetada por fendilhamento	Extensão (m) afetada por fendilhamento
0	0 %	0,00
1	25 %	1,25
2	50 %	2,50
3	100 %	5,00

Adaptado de Nguyen et al. (2023)

CÁLCULO DA ÁREA FENDILHADA

VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA

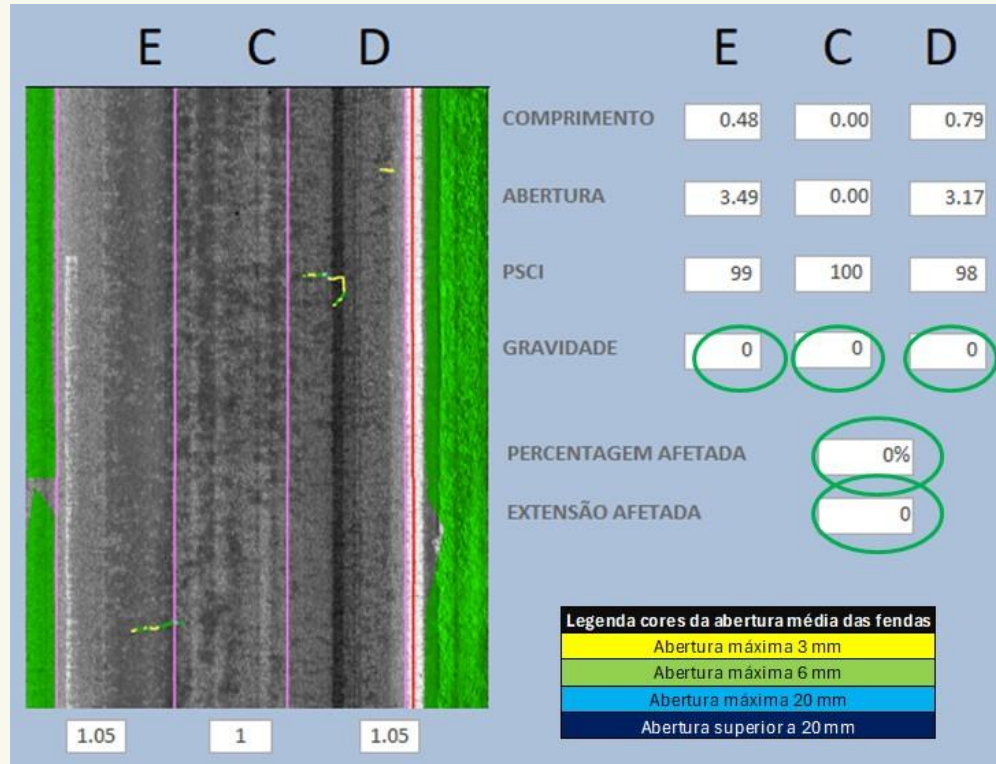
Os dados de inspeção que serviram de base a este exercício foram recolhidos em 2023 e totalizam 721,915 km de extensão, os quais se traduzem em mais de 144 000 imagens disponíveis para **análise e validação** das gravidades atribuídas.



Sistema de análise das imagens de 5 metros de pavimento, dados, índices e respetivas gravidades resultantes

CÁLCULO DA ÁREA FENDILHADA

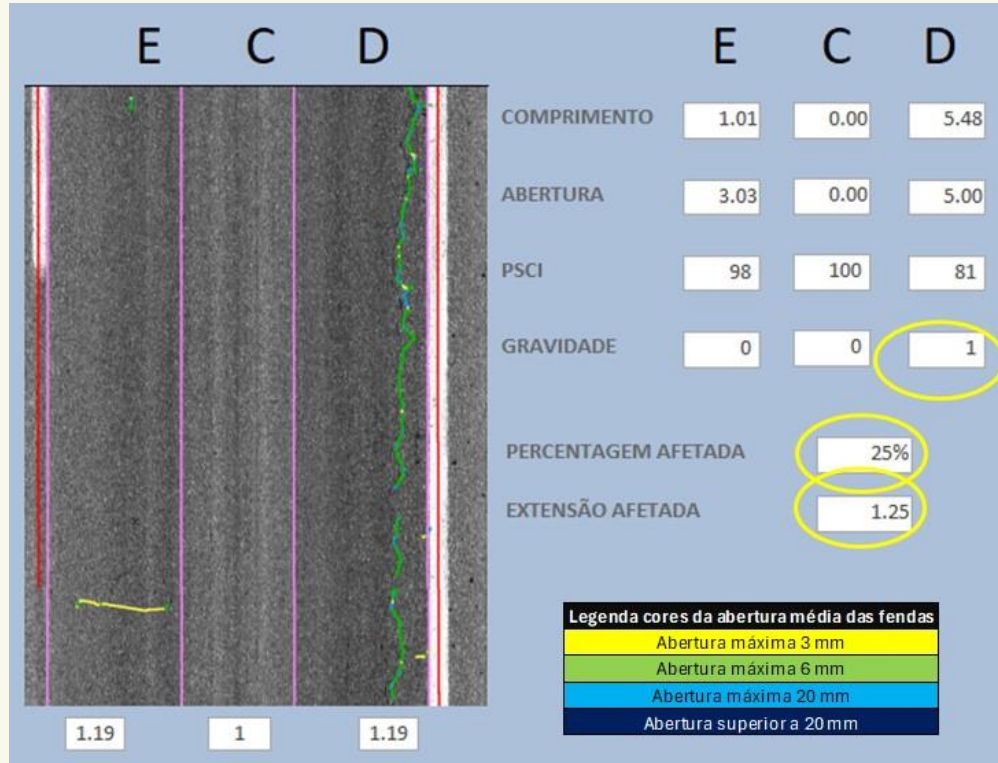
EXEMPLOS



via em que todas as bandas têm
gravidade 0
↓
a via não é afetada por fendilhamento
↓
**não existe extensão afetada por
fendilhamento**

CÁLCULO DA ÁREA FENDILHADA

EXEMPLOS



via em que a gravidade máxima de uma
banda é 1



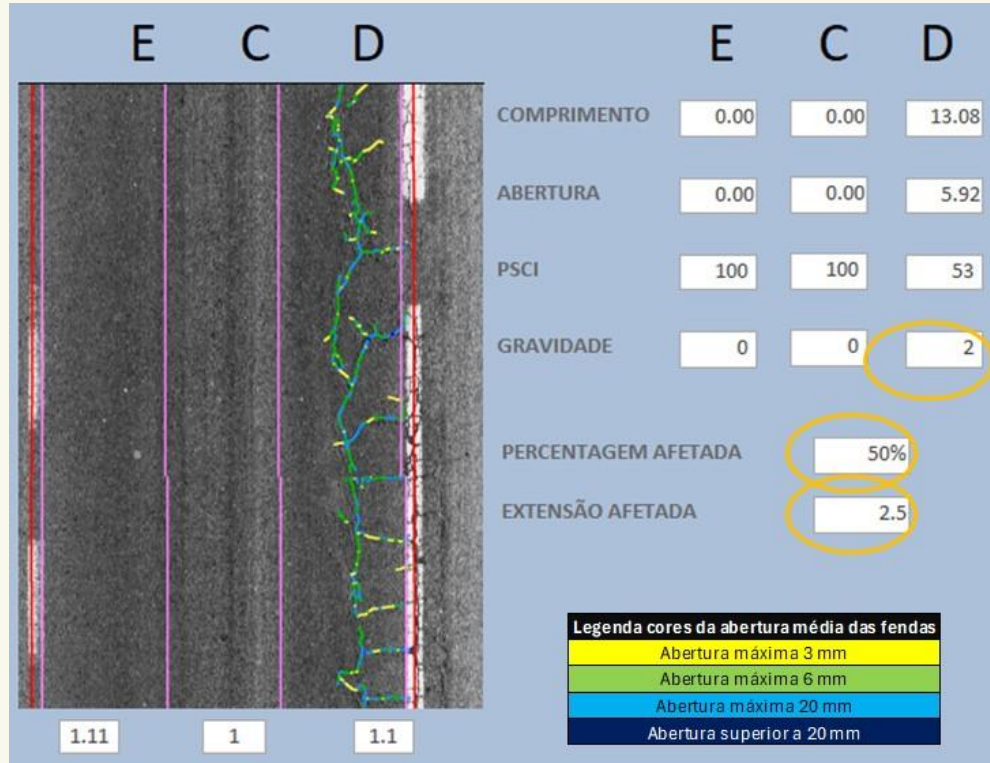
a via é em 25 % afetada por
fendilhamento



**a extensão afetada por fendilhamento é
de 1,25 m**

CÁLCULO DA ÁREA FENDILHADA

EXEMPLOS



via em que a gravidade máxima de uma

banda é 2



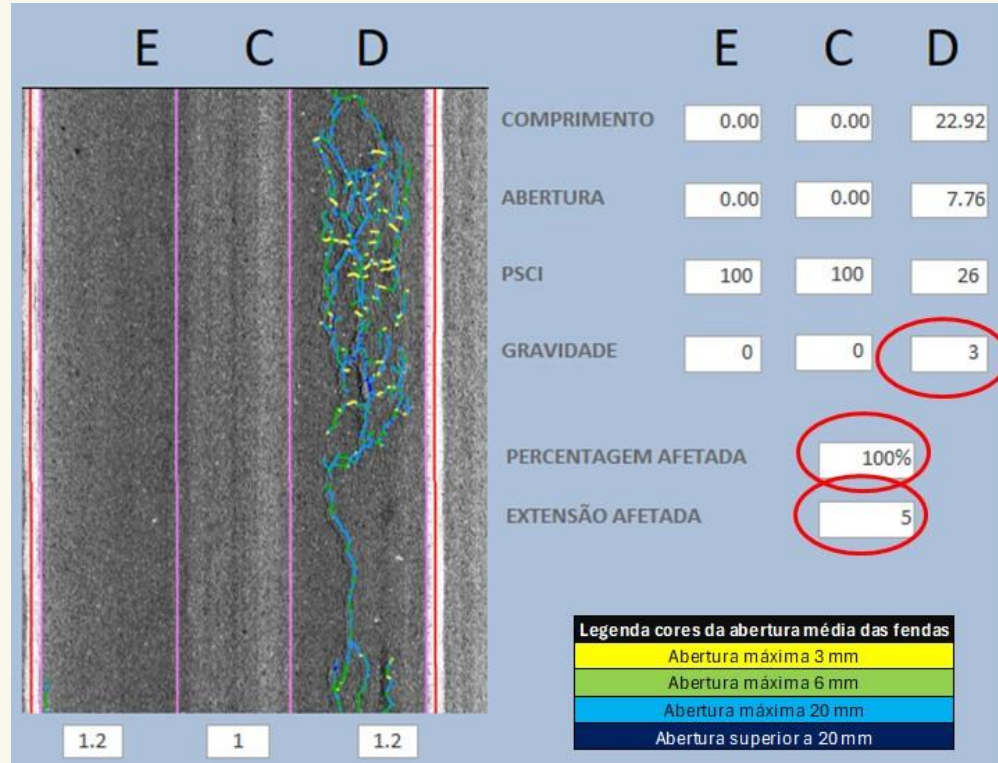
a via é em 50 % afetada por
fendilhamento



**a extensão afetada por fendilhamento é
de 2,50 m**

CÁLCULO DA ÁREA FENDILHADA

EXEMPLOS



via em que a gravidade máxima de uma
banda é 3



a via é em 100 % afetada por
fendilhamento



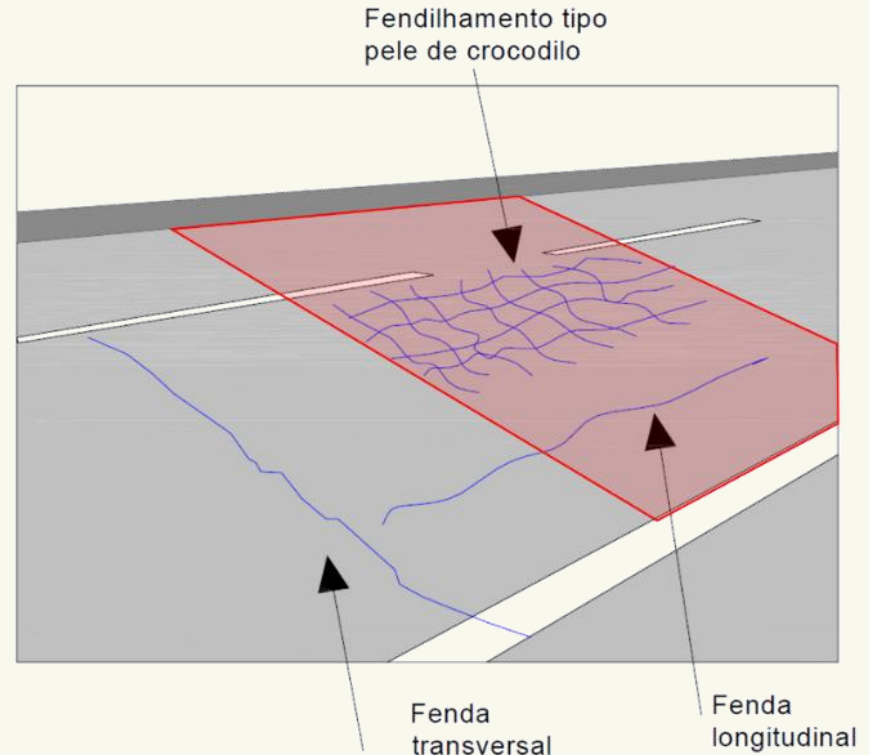
**a extensão afetada por fendilhamento é
de 5,00 m**

CÁLCULO DA ÁREA FENDILHADA

COMPARAÇÃO COM A ABORDAGEM ANTERIOR (VISUAL)

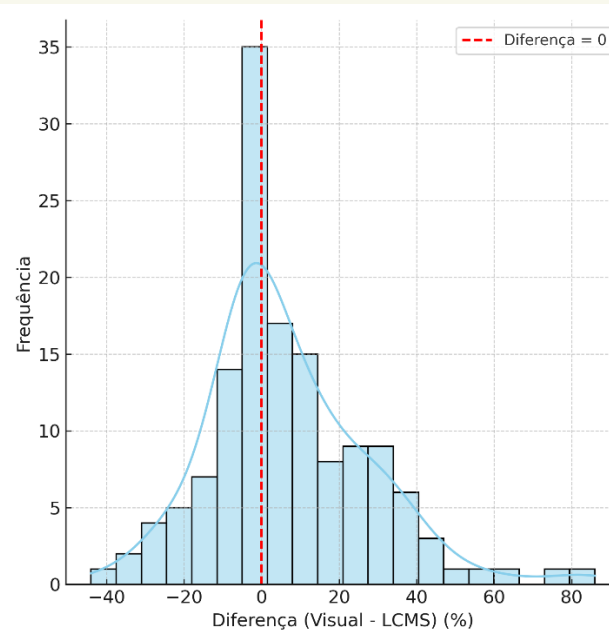
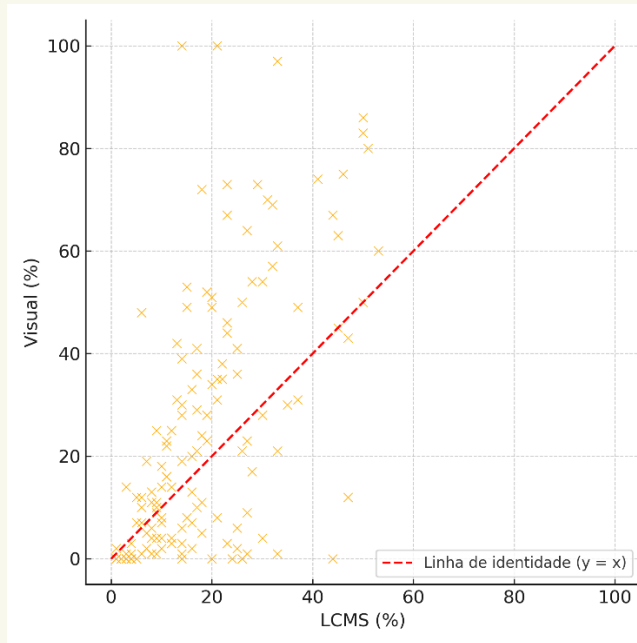
- Inspeccionadas 140 secções da rede IP (721,915 km) em 2023.
- Efetuada igualmente a **avaliação visual tradicional**, através da intervenção do operador no teclado de eventos.

Área afetada por fendilhamento do tipo pele de crocodilo
de acordo com a metodologia de avaliação visual do fendilhamento (adaptado de EP, 2008)



CÁLCULO DA ÁREA FENDILHADA

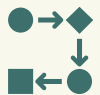
COMPARAÇÃO COM A ABORDAGEM ANTERIOR (VISUAL)



Média da área fendilhada obtidas foi 20,1% com base no sistema LCMS e 26,9% para a avaliação visual, com uma **diferença de + 6,72%** (Visual – LCMS).

Existe uma **considerável dispersão** nas diferenças individuais, o que está em linha com a **subjectividade** associada ao processo e à influência decisiva das **condições de visibilidade** do pavimento, na identificação visual de fendas.

CONCLUSÕES



processo robusto e sustentado na deteção e quantificação do fendilhamento em pavimentos



elevada **repetibilidade**, padronização e significativa redução da variabilidade associada à interpretação subjetiva do operador



maior rendimento diário de inspeção e **menor fadiga** do operador



novas oportunidades de uso dos dados provenientes do sistema

OBRIGADO

João Morgado
Gonçalo Mendes
Sandra Lopes
Emanuel Duarte
João Fonseca
Teresa Martins
Teresa Gariso
André Paiva
Diogo Araújo
João Silva

joao.gmorgado@infraestruturasdeportugal.pt



www.linkedin.com/in/jgmorgado

