

# GESTÃO DE INFRAESTRUTURAS RODOVIÁRIAS: TOMADA DE DECISÃO BASEADA EM MONITORIZAÇÃO E INDICADORES DE DESEMPENHO

Ricardino Brito<sup>1</sup>, Simona Fontul<sup>1,2</sup> e Paula Couto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, 2829-516 Caparica, Portugal email:[rg.brito@campus.fct.unl.pt](mailto:rg.brito@campus.fct.unl.pt)

<sup>2</sup>Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Avenida do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal email:[simona@lnec.pt](mailto:simona@lnec.pt)

<sup>2</sup>Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Avenida do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal email:[pcouto@lnec](mailto:pcouto@lnec)

---

## Sumário

*A gestão de infraestruturas rodoviárias requer estudos rigorosos do estado real dos pavimentos para uma tomada de decisão eficiente sobre as ações de Manutenção e Reabilitação mais adequadas. Este trabalho contribui para um melhor planeamento e execução destas ações, com base em dados de inspeção e monitorização obtidos no momento da avaliação e em indicadores de desempenho. O processo de apoio à tomada de decisão aplicado permite auxiliar na escolha das melhores opções para minimização do impacto económico, social e ambiental. Os indicadores de desempenho aqui propostos foram validados pela aplicação a um caso de estudo numa estrada nacional.*

---

**Palavras-chave:** Gestão de infraestruturas rodoviárias; Pavimentos; Inspeção e monitorização; Indicadores de desempenho; Apoio à tomada de decisão.

## 1 INTRODUÇÃO

No que diz respeito à gestão de Infraestruturas Rodoviárias (IR), os indicadores devem estar diretamente ligados ao objetivo, possuindo valores próprios e fornecem respostas confiáveis atendendo os critérios de forma clara e sucinta pelos agentes decisores, permitindo a minimização do impacto económico, social e ambiental.

Os indicadores são parâmetros que fornecem informações quantitativas e qualitativas sobre a condição do pavimento, para um planeamento estratégico e eficiente de medidas de manutenção e reabilitação (MR), tendo em atenção o seu estado real. Assim, é possível adotar medidas de intervenção melhores, com menores custos ao longo do ciclo de vida. Salienta-se que numa infraestrutura os custos totais resultam da soma dos custos associados à construção e à sua manutenção ao longo da vida útil.

Os indicadores fornecem informação sobre a condição atual do pavimento, com base nas patologias observadas e medidas. Os indicadores podem ser numéricos, que quantificam e qualificam a condição do pavimento, e, ainda, permitem classificar e prever a evolução da condição de uma dada secção de pavimento, permitindo identificar a necessidade de ações de MR.

O objetivo principal da análise destes indicadores é de contribuir para a definição de um sistema de gestão da manutenção (SGM) de pavimentos. Normalmente este processo inclui as seguintes etapas principais: inspeção/monitorização da condição do pavimento, análise de resultados e tomada de decisão de MR, com melhor relação custo-benefício. Estes sistemas de gestão estabelecem a compressão desde a inspeção e monitorização até à tomada de decisão.

Neste trabalho são propostos indicadores de desempenho do pavimento. Estes contemplam várias vertentes como funcional, estrutural, de sustentabilidade e drenagem. É ainda apresentada uma aplicação destes indicadores num caso de estudo do pavimento de uma estrada nacional, antes e apos a sua reabilitação.

## 2 METODOLOGIA DE APOIO À DECISÃO

O processo de MR engloba a recolha de dados com a respetiva caracterização, sendo a metodologia para a realização de medidas de MR assente em quatro fase distintas: identificação, avaliação, decisão e, por fim, execução [1]. O presente estudo de procedimento de MR foi suportado e fundamentado pela literatura [1, 2], permitindo assim entender e conhecer quais os métodos de Análise Multicritério (AM), assim como quais os critérios habitualmente utilizados neste contexto, e suas quantificações.

Com base na aplicação de diferentes métodos de AM em conjunto com dados e também pelas análises de sensibilidade, o agente decisor pode efetivar a sua decisão com maior conhecimento sobre o problema, seguindo, por exemplo, a metodologia apresentada na Figura 1.

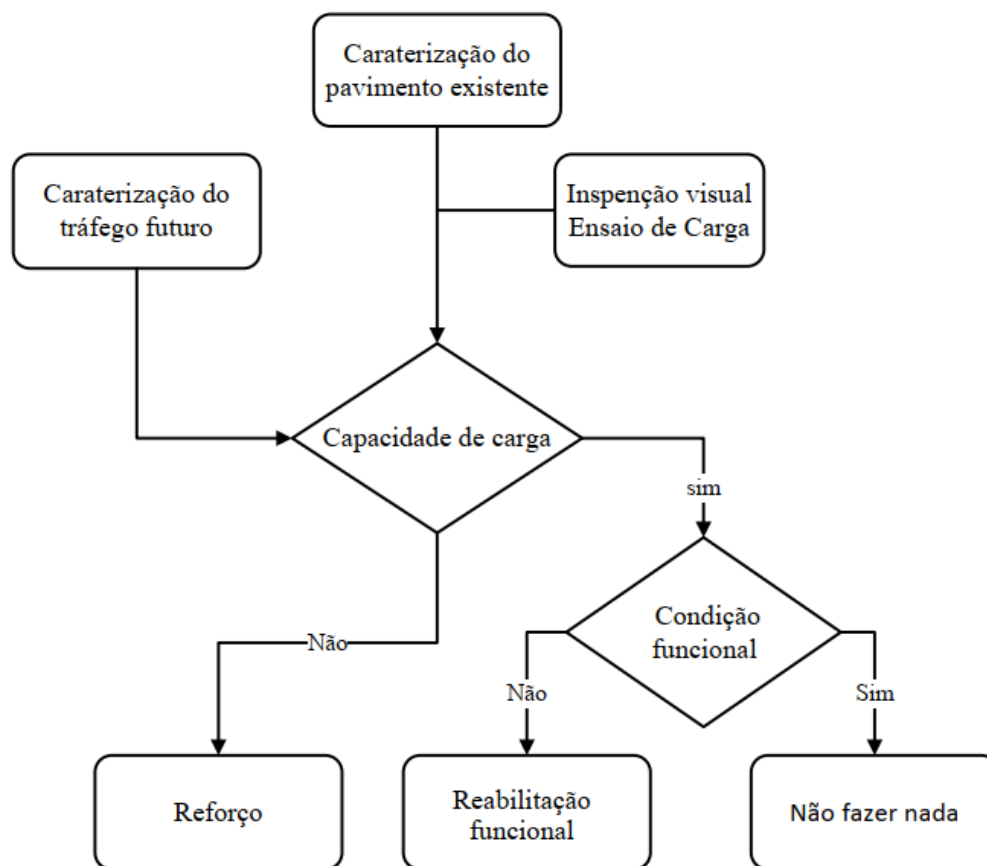


Figura 1. Fluxograma de procedimento de MR do pavimento [1, 2]

A definição dos objetivos e critérios (ver Figura 2) é de extrema importância, pois permite perceber quais os aspetos relevantes a ter em consideração na avaliação de desempenho do pavimento rodoviário. A importância ou o peso atribuído a cada um dos critérios afetam o impacto destes nos resultados. Assim, deverão ser efetuadas análises de sensibilidade aos resultados obtidos, de modo a avaliar a concordância dos resultados, de forma que as ponderações sejam coerentes e consensuais.

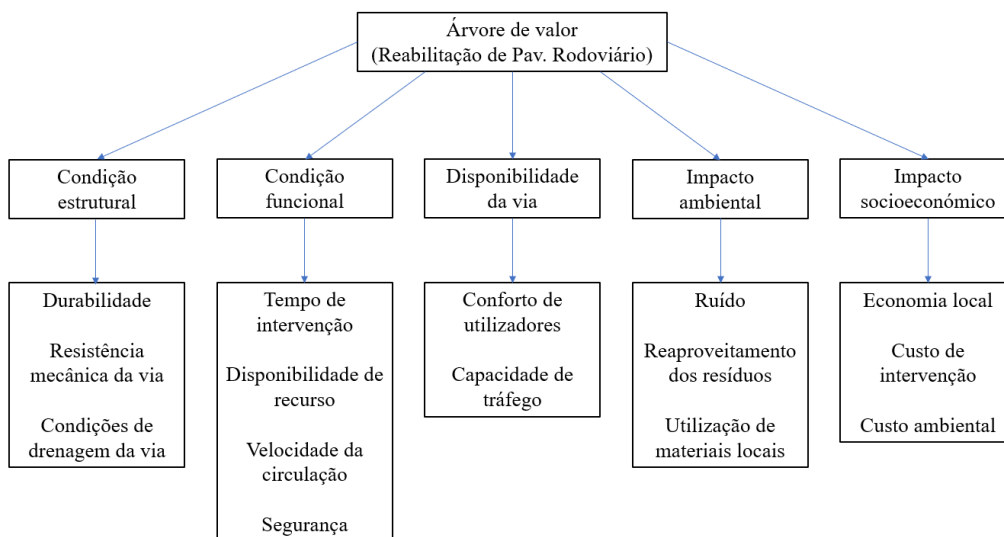


Figura 2. Árvore de valor para a reabilitação de pavimentos rodoviários [3]

A literatura [4, 5], propõe uma metodologia simplificada do índice de qualidade do pavimento numa escala de 0 a 100 e a Estradas de Portugal (EP) [6] partilha a mesma lógica e propõe estratégia e prazos de MR, de acordo com o índice de condição do pavimento, consoante o estado de conservação do pavimento baseado na inspeção visual. Geralmente, quando o índice de condição do pavimento encontra-se no intervalo de 0 a 55 é considerado que existe a necessidade de intervenção. Para a tomada de decisão de classificação e intervenção de MR do pavimento recorre-se à proposta final de Indicador de Desempenho Geral (GPI). Considera-se que valores superiores a 2,25 indicam a necessidade de intervenção.

Quadro 1. Classificação do desempenho e estratégia de MR do pavimento [6]

GPI	Classificação	Estratégia
0,00 - 0,75	Excelente	Não fazer nada
0,75 - 1,50	Muito bom	Conservação corrente
1,50 - 2,25	Bom	Conservação corrente a reparação a médio prazo (até 5 anos)
2,25 - 3,00	Suficiente	Conservação corrente a reparação a curto prazo (até 2 anos)
3,00 - 3,75	Medíocre	Reparação preventiva imediata ou reconstrução a curto prazo
3,75 - 4,50	Mau	Reparação imediata ou reconstrução urgente (até 1 ano)
4,50 - 5,00	Falha estrutural	Reconstrução imediata

### 3 GESTÃO DA CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS

#### 3.1 Indicadores de Desempenho Individuais

O parâmetro técnico de fendilhamento e defeitos superficiais é definido como uma soma ponderada de diferentes tipos e dimensões (as diferentes dimensões são convertidas em áreas, metro linear e número) de fendilhamento e defeitos superficiais em relação à área de referência, o resultado é uma taxa de fendilhamento e defeitos superficiais. As taxas de fendilhamento e defeitos superficiais são obtidas a partir das seguintes equações [7, 8]:

$$TP_i = \text{mín} (100; TP_{i,L} + TP_{i,A} + TP_{i,E}) \quad (1)$$

$$TP_{i,L} = \min \left( 100; \frac{1}{A_{ref}} \times \sum_n \left[ w_n \times I_L \times \sum_i (S_i \times L_i) \right] \times 100 \right) \quad (2)$$

$$TP_{i,A} = \min \left( 100; \frac{1}{A_{ref}} \times \sum_m \left[ w_m \times I_L \times \sum_i (S_i \times A_i) \right] \times 100 \right) \quad (3)$$

$$TP_{i,E} = \min \left( 100; \frac{1}{A_{ref}} \times \sum_0 \left[ w_0 \times I_A \times \sum_i (S_i \times E_i) \right] \times 100 \right) \quad (4)$$

onde  $TP_{i,L}$  é a taxa de comprimento de degradação (%);  $TP_{i,A}$  é a taxa de área de degradação (%);  $TP_{i,E}$  é a taxa de elemento de degradação (%);  $A_{REF}$  é a área de referência;  $W_m$  é o peso da área de degradação;  $S_i$  é o nível de severidade de degradação tipo  $i$ ;  $A_i$  é a área de degradação tipo  $i$ ;  $W_n$  é o peso do comprimento de degradação;  $I_L$  é a largura de influência padrão de fendas lineares (0,5 m);  $L_i$  é o comprimento de degradação tipo  $i$ ;  $W_0$  é o peso de elemento de degradação;  $I_A$  é a área padrão de elementos com degradação;  $E_i$  é o número de elementos com degradação tipo  $i$ .

### 3.2 Indicadores Funcionais

As exigências funcionais da camada de desgaste estão relacionadas com fatores de segurança, conforto, economia e ambiente, que afetam diretamente os utentes da rodovia. As principais exigências funcionais estão apresentadas na Quadro 2, assim como, o seu impacto na segurança, conforto, economia e ambiente. De ponto de vista da segurança, a característica mais influente é sem dúvida a aderência do pavimento, principalmente em época de chuva. O conforto e a economia de circulação estão diretamente relacionados com a irregularidade longitudinal do pavimento. Por fim, o ambiente está ligado ao ruído produzido pelo contacto entre o pneu e o pavimento.

Quadro 2. Exigências funcionais da camada de desgaste

Características superficiais	Segurança	Conforto	Economia	Ambiente
Aderência	****	-	**	*
Regularidade longitudinal	**	****	***	**
Regularidade transversal	***	**	*	-
Resistência ao rolamento	-	-	**	-
Ruído pneu/pavimento	-	***	-	****
Propriedades refletores	**	**	**	-

(- sem impacto ..\*\*\*\* impacto significativo)

As informações obtidas na inspeção e monitorização do pavimento, podem ser usadas para estimar a evolução da degradação do pavimento com base em modelos de desempenho. Assim é possível otimizar as atividades de MR ao longo da vida útil da obra, com base nos critérios selecionados para melhor relação custo-benefício [8]. A Figura 3 apresenta exemplos de degradações do pavimento do caso de estudo antes da beneficiação, e o respetivo nível de severidade.

O principal objetivo da Ação COST 354, foi de definir os índices de desempenho (PI) para pavimentos rodoviários Europeus, tendo em conta as necessidades dos utentes. Estes indicadores tem uma avaliação quantitativa do desempenho que fornece orientação das necessidades de MR presentes e futuras. Para abordagem são definidas três etapas em que, a primeira etapa é descrever as características da condição do pavimento da rodovia a partir de vários Indicadores de Desempenho Individuais (IPI), a segunda etapa é agrupar IPI para obter os Indicadores de Desempenho Combinados (CPI) e, por fim, a terceira etapa, é agrupar os CPI para obter um único PI mais concretamente o índice global de desempenho (GPI) do pavimento rodoviário [7].



**Figura 3. Pele de crocodilo (nível elevado) e reparação mal-executada, respetivamente**

Neste estudo foram propostos os PI para a descrição do estado da rodovia portuguesa, considerando-se os seguintes parâmetros técnicos: irregularidade longitudinal, irregularidade transversal, textura superficial e resistência à derrapagem. Para cada parâmetro técnico é definida uma função de transformação que permite transformar os parâmetros técnicos num único PI adimensional numa escala de 0 (melhor condição) a 5 (pior condição) [9].

**Quadro 3. Síntese de indicadores de desempenho funcional individuais [7, 9]**

Parâmetro técnico	Indicador	Função de transformação Conforto
Irregularidade longitudinal	IRI(mm/m)	$PI_E = \text{máx}(0; \text{mín}(5; 0,1733 \times IRI^2 + 0,7142 \times IRI - 0,0316))$
Irregularidade transversal	RD(mm)	$PI_R = -0,0015 \times RD^2 + 0,2291 \times RD$ (se $RD < 26,4\text{mm}$ ) $PI_E = 5$ (se $RD \geq 26,4\text{mm}$ )
Textura transversal	MPD(mm)	$PI_T = 6,6 - 5,3 \times MPD$
Resistência à derrapagem	SFC(0 a 1) a 60km/h	$PI_F = \text{máx}(0; \text{mín}(5; -17,60 \times SFC + 11,205))$
Fendilhamento	Taxa de fendas (%)	$PI_{CR} = \text{máx}(0; \text{mín}(5; 0,16 \times CR))$
Defeitos superficiais	$PI_{SD}$ (%)	$PI_{SD} = \text{máx}(0; \text{mín}(5; 0,1333 \times SD))$

Na ausência de medição direta do Índice Internacional de Regularidade Longitudinal (IRI) através de equipamento dedicado com recurso aos lasers, para os pavimentos flexíveis o IRI poderá ser calculado com base nos resultados da inspeção visual, a partir da equação 5, e estimado de acordo com os critérios apresentados no Quadro 4 [6].

$$IRI = \frac{\text{nível} \times \text{comprimento afetado}}{\text{comprimento total}} \quad (5)$$

**Quadro 4. Critérios utilizado na estimativa do IRI [10]**

Degradação	Intervalo	Condição	Nível	IRI
Fendilhamento, Rodeiras, Peladas, etc	$\geq 1,25$	$\leq$ $\leq$ $\leq$	1 1 1	Tipo 1 IRI=1500mm/km
Fendilhamento, Rodeiras, Peladas, etc	$\geq 1,25$ e $\leq 2,25$	-	-	Tipo 2 IRI=2500mm/km
Fendilhamento, Rodeiras, Peladas, etc	$\geq 2,25$	= = $\geq$	3 3 2	Tipo 3 IRI=3500mm/km

### 3.3 Indicadores Estruturais

Para a avaliação da condição estrutural do pavimento, foi proposto, no âmbito da Ação COST 354, o Índice da Curvatura Superficial ( $SCI_{300}$ ) [7, 9]. O PI da capacidade de suporte é classificado numa escala adimensional entre 0 (melhor condição) e 5 (pior condição). Onde o valor de  $SCI_{300}$  é dado pela diferença entre  $d_0$  e  $d_{300}$ , normalizado a 65 kN de força de impacto obtido em ensaios de carga realizados com o Defletómetro de Impacto [9].

Quadro 5. Indicador de desempenho estrutural individual [9]

Parâmetro técnico	Indicador	Função de transformação
Condição estrutural	$SCI_{300}$	$PI_B = SCI_{300}/129$

### 3.4 Fatores de Sustentabilidade Rodoviária

As IR tem um grande impacto na emissão de gases de efeito de estufa em todo mundo, por este motivo, em [12], propõe-se indicadores ambientais que contribuem para uma gestão sustentável da rodovia. Os indicadores de sustentabilidade, em geral, são abordados em três dimensões: meio ambiente, bem-estar social e fator económico [13].

Os Fatores de Sustentabilidade Rodoviária (RSF) resultam de um conjunto de medições de índices e tem como desafio a redução das emissões para minimizar as alterações climáticas, aconselhando-se o uso eficiente de recursos [12]. No sentido de minimizar os custos de utentes da rodovia (consumo de combustíveis, reparação e manutenção de veículo) e as emissões de poluentes dos veículos deve-se minimizar a rugosidade da rodovia que, por sua vez, minimiza as vibrações e os ruídos.

Para diminuir estes impactos negativos recorre-se à tecnologia ambiental mais eficiente, nomeadamente monitorização do desempenho ambiental, visto que depende fortemente de recursos não renováveis (petróleo) [14]. Por este motivo propõem-se os RSF (ambientais, económicos e sociais) que se definem a partir dum processo que inclui entrevistas, workshops, pesquisas e estudos de caso, para reunir informação estruturada para a compreensão científica e social [12].

Uma visão geral, sobre os RSF que são definidos como o processo de transformação na exploração de recursos, com o objetivo de assegurar o crescimento económico sem esgotar os recursos, aliado com equidade social e salvaguarda do ambiente.

O desenvolvimento sustentável abrange várias áreas, mais assenta sempre nos três pilares distintos, ambiental, económico e social. Estes três elementos são essenciais para o desenvolvimento sustentável [15]. Uma IR é sustentável quando cumpre as funções pretendidas com impacto otimizado no meio ambiente, na economia e na sociedade.

Os RSF apoiam-se nos três pilares anteriormente citados, em que os indicadores ambientais têm maior influência do que os outros dois indicadores, nomeadamente os económicos e aos sociais. Recorrendo os estudos realizados em [13], a contribuição dos indicadores ambientais, económicos e sociais têm um peso de 50%, 25% e 25%, respetivamente.

$$RSF = 0,50 \times Amb + 0,25 \times Econ + 0,25 \times Soc \quad (6)$$

onde RSF é o fator de sustentabilidade rodoviária; Amb é o indicador ambiental; Econ é o indicador económico; Soc é o indicador social.

Por falta de desenvolvimento de parâmetros não técnicos como ruído, poluição do ar e bem-estar social e económico, faz-se uma abordagem textual sobre os indicadores de sustentabilidade, dado que este indicador depende dos indicadores ambientais, económicos e sociais, para obter a sua classificação seria necessário atribuir a importância de cada IPI.

Quadro 6. Determinação dos RSF [12]

Estratégia de tratamento	Economia		Ambiente		Social		RSF
	(€/m <sup>2</sup> )	Unit.	CO <sub>2,eq</sub>	Unit.	Cust./benif	Unit.	
Reabilitação principal	14,18	5,00	110	1,25	4,54	5,00	1,88
Reabilitação média	10,98	3,87	55	2,50	3,52	3,87	1,81
Reabilitação menor	7,51	2,65	85,5	1,67	2,41	2,65	2,84
Reabilitação não estrutural	1,96	0,69	27,5	5,00	0,63	0,69	2,15
Não fazer nada	0	0	0	0	0	0	5,00

### 3.5 Indicador de sistema de drenagem

O Indicador de Sistema Drenagem (DSI) da rodovia é baseado numa abordagem com fatores derivados de chuvas anuais, da geologia da fundação, do escoamento da faixa de rodagem e da margem. Esta abordagem é baseada na vida restante dos ativos de drenagem, no risco de inundação, na pavimentação e superfície e, por fim, no risco pessoal dos utentes [11]. Os ativos de drenagens têm como objetivo manter a superfície da rodovia livre de acumulação de água e também tem o papel de transporte da água, por forma a garantir a segurança dos utentes e a resiliência do pavimento [11].

A agência de transporte da Nova Zelândia, estabelece a determinação da classificação de risco de suscetibilidade de drenagem de um troço de extensão de 100 m de comprimento para avaliação de drenagem, em alto, médio e baixo risco, em que, o alto risco encontra definido entre 8 e 11, o risco médio entre 4 e 7 e o baixo risco entre 0 e 3, onde estes valores de riscos são somatórios de pontuação dos fatores [11].

Quadro 7. Classificação de risco de drenagem [11]

Fatores	Pontuação			
	0	1	2	3
Precipitação/ano	<2m	2 a 4m	4 a 6m	>6m
Geologia da fundação	Areia	Lodo	Argila	Cascalho
Irrigação ou atividade relacionada à água em terras adjacentes	Não	Sim	-	-
Fluxo de água natural	Excelente escoamento	Escoamento médio (risco de acumulação de água ou erosão)	Acumulação erosão (planos ou inclinação muito íngremes)	-
Terraplanagem (inspeção visual)	Não	-	Sim	-

### 3.6 Indicadores de Desempenho Combinados

Em relação aos CPI, são determinados os indicadores de segurança, conforto e condição estrutural e também podem ser incluídos os indicadores ambientais, a partir da equação 7:

$$CPI = \min \left( 5; I_1 + \frac{p}{100} \times \mu(I_2, I_3, \dots, I_m) \right) \quad (7)$$

onde  $I_1$  é o máximo ponderado de IPI;  $p$  é o fator de influência que controla a influência total dos IPI (%);  $\mu(I_2, I_3, \dots, I_m)$  é o valor médio ponderado dos restantes IPI.

Cada CPI resulta da combinação de IPI em três níveis de aplicação mais concretamente, mínimo, padrão e ótimo. O Quadro 8 ilustra os parâmetros de entrada para cada nível de aplicação. A COST Action 354 [6], propõe um conjunto de pesos utilizados para a determinação de cada CPI ilustrado no Quadro 9, e sugere um fator de influência de 20%.

Quadro 8. Parâmetro de entrada para CPI [9]

Indicadores	Nível		
	Mínimo	Padrão	Ótimo
Conforto	PI <sub>E</sub>	PI <sub>E</sub> , PI <sub>R</sub> , PI <sub>SD</sub>	PI <sub>E</sub> , PI <sub>R</sub> , PI <sub>T</sub> , PI <sub>CR</sub> , PI <sub>SD</sub>
Segurança	PI <sub>F</sub>	PI <sub>F</sub> , PI <sub>R</sub> , PI <sub>T</sub>	PI <sub>F</sub> , PI <sub>R</sub> , PI <sub>T</sub> , PI <sub>SD,cat1</sub> *, PI <sub>SD,cat2</sub> *
Estrutural	PI <sub>B</sub>	PI <sub>B</sub> , PI <sub>CR</sub>	PI <sub>B</sub> , PI <sub>CR</sub> , PI <sub>E</sub> , PI <sub>R</sub>
Ambiental	-	-	PI <sub>E</sub> ou pa, PI <sub>T</sub> ou r PI <sub>SD,cat2</sub>

\* apenas exsudação, pa - poluição do ar, r - ruído

Onde cat1 e cat2 correspondem a categoria 1 e categoria 2, respetivamente, levando em consideração que nem todos os tipos de defeitos podem ser resumidos num único valor, sendo fortemente dependente das características e tipo de construção. Devido a esta situação de pavimentos flexíveis, os diferentes defeitos superficiais são categorizados da seguinte forma. A categoria 1 depende de exsudação, desagregação, reparação e desagregação dos bordos e a categoria 2 depende de ninhos, peladas, assentamentos e ondulações da superfície.

Quadro 9. Pesos dos CPI ao nível ótimo [9]

Parâmetro técnico	Conforto	Segurança	Estrutural	Ambiental
Irregularidade longitudinal, (PI <sub>E</sub> )	1,00	0,00	0,60	0,00
Irregularidade transversal, (PI <sub>R</sub> )	0,70	0,90	0,50	0,00
Textura superficial, (PI <sub>T</sub> )	0,40	0,60	0,00	0,00
Resistência a derrapagem, (PI <sub>F</sub> )	0,00	0,90	0,00	0,00
Condição estrutural, (PI <sub>B</sub> )	0,00	0,00	1,00	0,00
Fendilhamento, (PI <sub>CR</sub> )	0,50	0,00	0,90	0,00

### 3.7 Indicadores de Desempenho Geral

O indicador de desempenho geral (GPI) mede a condição geral dos pavimentos e ser usado como uma ferramenta para avaliar estratégias de MR futuras. O cálculo do GPI é semelhante ao CPI, conforme a equação 5 e o Quadro 10.

$$GPI = \min \left( 5; I_1 + \frac{p}{100} \times \mu(I_2, I_3, \dots, I_m) \right) \quad (8)$$

onde I<sub>1</sub> é o máximo ponderado de CPI; p é o fator de influência que controla a influência total dos CPI;  $\mu(I_2, I_3, \dots, I_m)$  é o valor médio ponderado dos restantes CPI. O Quadro 10 apresenta os pesos de GPI para cada categoria de estrada (autoestrada, estrada principal e estrada secundária e outros), em que estes encontram-se a aplicar os critérios máximos onde o valor é igual a 1,0 onde não será necessário à sua uniformização. Estes valores de ponderação são recomendados pelo COST 354 [8] e devem ser verificados quanto à plausibilidade dependendo do campo de aplicação, seus objetivos e outras condições prévias antes de qualquer aplicação.

Quadro 10. Pesos dos GPI [9]

Indicadores	Peso		
	Autoestrada	Estrada principal	Estrada secundaria e outras
Conforto	1,00	1,00	1,00
Segurança	0,70	0,70	0,65
Estrutural	0,65	0,80	1,00
Ambiental	0,25	0,30	0,35



## 4 PROPOSTA ELABORADA E VALIDAÇÃO

A proposta final deste trabalho recomenda a utilização dos quatro pilares principais para a gestão de IR, nomeadamente indicadores funcionais, estruturais, de drenagem e de sustentabilidade, para a obtenção de  $GPI_{IR}$  de acordo com a equação 9. Estas quatro vertentes estudadas e analisadas acima têm escalas diferentes, pelo que teve de ser feita uma uniformização em termos de escalas. Os modelos de AM não são formas fixas, podendo ser calibrados e adaptados de acordo com a sua aplicação.

$$GPI_{IR} = 0,50 \times GPI + 0,25 \times RSF + 0,25 \times DSI \quad (9)$$

Onde  $GPI_{IR}$  é o índice de desempenho geral de infraestruturas rodoviárias; GPI é o indicador de desempenho geral; RSF é o fator de sustentabilidade rodoviária; DSI é o indicador de sistema de drenagem.

Para efeitos de validação, a metodologia desenvolvida foi aplicada na avaliação de um pavimento de uma estrada nacional em serviço antes da reabilitação e 8 anos após a sua reabilitação. No Quadro 11 apresentam-se os resultados de indicadores calculados em cinco troços da estrada nacional em estudo, tendo sido cada um dos troços sujeito a medidas de reabilitação distintas [16].

Quadro 11. Resultados dos indicadores nos cinco troços

Troços	Extensão	Beneficiação	Indicadores		
			Funcional e estrutural	Sustentabilidade	Sistema de drenagem
Troço 1	1,224 km	Antes	5,00	1,88	1,67
		Após	1,88	2,15	1,67
Troço 2	1,643 km	Antes	5,00	1,88	1,67
		Após	1,44	2,18	1,67
Troço 3	2,157 km	Antes	5,00	1,88	1,67
		Após	1,08	2,19	1,67
Troço 4	1,000 km	Antes	5,00	1,88	1,67
		Após	1,70	2,16	1,67
Troço 5	0,500 km	Antes	5,00	1,88	1,67
		Após	1,05	2,19	1,67

Foi obtido, com base na equação 9, a partir de uma média ponderada dos  $GPI_{IR}$  por extensão de cada troço o valor de 3,39 antes da beneficiação e 1,67 após a beneficiação. Recorrendo o Quadro 1 de classificação do desempenho e estratégia de MR do pavimento, conclui-se que antes da beneficiação o pavimento tinha um desempenho medíocre e requeria uma reparação preventiva imediata ou reconstrução a curto prazo e, 8 anos após a beneficiação, tinha um desempenho bom e requeria conservação corrente a reparação a médio prazo (até 5 anos).

## 5 CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo contribuir para uma melhor utilização dos dados de inspeção e monitorização de pavimentos flexíveis para apoio à tomada de decisão de medidas de manutenção e reabilitação de pavimentos. Para este efeito foram implementados os indicadores de comportamento de pavimentos, com base na AM.

Destaca-se a classificação de degradações de pavimentos e dos seus níveis de severidade, dados importantes para o cálculo do indicador da condição do pavimento. Uma etapa fulcral no desenvolvimento deste estudo foi a pesquisa bibliográfica de indicadores de condição e de comportamento de pavimentos existentes ao nível nacional e internacional. Com base nesta pesquisa foi proposto um indicador de comportamento que contempla a condição funcional, os aspetos estruturais, sistema de drenagem e o critério de sustentabilidade para a classificação do pavimento. O PI desenvolvido foi validado através da sua aplicação num caso de estudo de um pavimento flexível de uma estrada nacional antes e após a sua beneficiação.

Assim, foi possível validar esse indicador e mostrar a sua adequabilidade na avaliação do pavimento, com base na inspeção visual e monitorização. Considera-se que, com o trabalho desenvolvido contribuirá para apoio à tomada de decisão com base na condição real do pavimento.

## 6 REFERÊNCIAS

1. J. Almada, *Composição de custos diretos- caso de estudo: reabilitação de estradas*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil (ISEP), 2016.
2. F. Barreto, *Beneficiação, Reabilitação e Manutenção de Estradas*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 2013.
3. R. Brito, *Gestão de Infraestruturas Rodoviárias, Tomada de Decisão Baseada em Monitorização e Indicadores de Desempenho*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, NOVA School of Science e Technology, (FCT|NOVA), 2022.
4. N. Figueiredo, *Avaliação e Conservação de Pavimentos Rodoviários Municipais com Baixo Tráfego - Contribuição para uma Metodologia de Apoio*, Dissertação de Mestrado em Construção Urbana, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC), 2011.
5. F. Videira, *Manual de Conservação de Pavimentos para Pequenas Redes Rodoviárias Municipais: bases para a sua elaboração*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC), 2013.
6. Estrada de Portugal (EP), *Sistema de Gestão de Pavimentos - Manual de Utilização*, 2004.
7. J. Litzka et al, *The Way Forward for Pavement Performance Indicators Across Europe. COST Action 354: Performance Indicators for Road Pavements*, 2008.
8. S. A. Hosseini e O. Smadi, *How Prediction Accuracy Can Affect the Decision Making Process in Pavement Management System*, Em: Infrastructures 6.2, 2021.
9. P. Marcelino, M. Antunes e E. Fortunato, *Comprehensive performance indicators for road pavement condition assessment*. Em: Structure and Infrastructure Engineering 14.11, 2018.
10. N. Figueiredo e S. Neves, *Avaliação e Conservação de Pavimentos Rodoviários Municipais com Baixo tráfego – Situação Existente e Metodologia de Apoio*.
11. S. Hunt, *Innovative and Cost-Effective Approach to Develop Robust Short-Term and Long-Term Drainage Programmes*, Em: 26th World Road Congress World Road Association (PIARC), 2019.
12. S. Alam, A. Kumar e A. Garvin, *Road operation phase sustainability indicator as a response to the climate change phenomena*. Em: Queensland University of Technology, 2014.
13. S. M. S. Alam e A. Kumar, 'Road use phase' environmental indicator for sustainable pavement management system, 2016.
14. InIR, *Relatório de Sustentabilidade 09*, 2009.
15. M. Almeida, *Desenvolvimento Urbano Sustentável Proposta de Intervenção*, Tese de doutoramento, 2018.
16. M.L Antunes, S. Fontul e A Pinelo *Estudos Relativos a Técnicas de Refuerzo de Firmes Flexíveis Agrietados. CARRETERAS nº 110*, Setembro - Outubro de 2000, pp. 53-68.