

GESTÃO DA CONSERVAÇÃO DE REDES RODOVIÁRIAS: UTILIZAÇÃO DOS MODELOS DE PREVISÃO DO COMPORTAMENTO DOS PAVIMENTOS DO HDM-4

Adelino Ferreira¹, César Queiroz² e Ricardo Souza³

¹Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Rua Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal

email: adelino@dec.uc.pt <http://www.uc.pt/ftuc/dec>

²Universidade de Belgrado, Faculdade de Engenharia Civil, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11000 Belgrado, Sérvia

³Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Rua Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal

Sumário

Este artigo apresenta um novo sistema de programação das intervenções de conservação dos pavimentos, designado por GENPAV-HDM4, o qual foi desenvolvido para integrar o Sistema de Gestão de Pavimentos do município de Viseu. Ao mesmo tempo, foi desenvolvido para uma possível aplicação a outros Sistemas de Gestão de Pavimentos em funcionamento que necessitem de uma atualização devido à recente legislação Portuguesa. Os resultados obtidos pela aplicação do novo sistema de otimização da conservação de pavimentos à rede rodoviária principal do município de Viseu indicam claramente que é uma ferramenta útil e atual para ajudar as instituições rodoviárias na gestão da conservação dos pavimentos.

Palavras-chave: Sistema de gestão de pavimentos; avaliação da qualidade; modelos de comportamento dos pavimentos; otimização; intervenções de conservação.

1 INTRODUÇÃO

Com a aprovação do Decreto-Lei n.º 110/2009 de 18 de Maio [1], no âmbito dos contratos de concessão, as concessionárias passaram a ter que submeter ao Instituto de Infraestruturas Rodoviárias, I.P. (InIR), um Plano de Controlo de Qualidade (PCQ) e um Manual de Operação e Manutenção (MOM). Estes documentos, principalmente o primeiro, vieram impor a revisão de alguns Sistemas de Gestão de Pavimentos (SGP), já que agora é essencial acompanhar a evolução de cada parâmetro de estado das infraestruturas rodoviárias. Por exemplo, os SGP devem considerar um modelo de previsão do comportamento dos pavimentos para cada parâmetro de estado para que permitam definir as intervenções de conservação e reabilitação de modo que a concessionária cumpra os valores definidos no PCQ em cada ano do período da concessão. Os Quadros 1 e 2 constituem um exemplo para autoestradas em termos de irregularidade transversal e irregularidade longitudinal, respetivamente. Existe informação do mesmo tipo para os restantes parâmetros (fendilhamento; macrotextura; atrito transversal; permeabilidade; etc.). Uma determinada concessionária, além das inspeções aos pavimentos a efetuar anualmente para demonstrar o cumprimento do PCQ junto do InIR e do concedente (o Estado; nos contratos de subconcessão a posição jurídica de concedente passou a ser ocupada pela EP - Estradas de Portugal, S. A.), tem todo o interesse em prever o ano em que deixará de o cumprir relativamente a algum parâmetro para intervir atempadamente da forma mais económica de modo a que cumpra efetivamente quando chegar a altura de efetuar a correspondente inspeção. O incumprimento pode levar à aplicação de multas contratuais cujo montante global varia entre €5000 e €100000, em função da gravidade da falta, ou multas diárias que variam entre €500 e €5000 [1]. Sendo assim, será necessário incorporar no Sistema de Programação das Intervenções de Conservação, também designado por Sistema de Avaliação de Estratégias de Conservação, ou, ainda mais genericamente, por Sistema de Apoio à Decisão (SAD), modelos de previsão do comportamento das

infraestruturas rodoviárias para cada parâmetro de estado. Só assim se poderá efetuar uma previsão do valor futuro de cada parâmetro de estado para ser possível avaliar em que ano é que se deixará de cumprir o PCQ relativamente a algum parâmetro por se estar fora do intervalo admissível. Neste artigo é proposto um SAD, designado por GENEPAV-HDM4, que permite efetuar este tipo de gestão da conservação da rede rodoviária.

Quadro 1. Valores admissíveis da irregularidade transversal

Pavimentos novos e sempre que realizados trabalhos de beneficiação e/ou reabilitação funcional		
Parâmetro	Unidade	Valor
Rodeiras	mm	$\leq 5,0$
Pavimentos em exploração		
Parâmetro	Unidade	Valor
Rodeiras	mm	$\leq 15,0$

Quadro 2. Valores admissíveis da irregularidade longitudinal

Pavimentos novos e sempre que realizados trabalhos de beneficiação e/ou reabilitação funcional				
Parâmetro	Unidade	Percentagem de extensão da obra		
		50%	80%	100%
IRI (valor médio dos dois rodados, determinado para troços de 100 m)	m/km	$\leq 1,5$	$\leq 2,5$	$\leq 3,0$
Pavimentos em exploração				
Parâmetro	Unidade	Percentagem de extensão da obra		
		50%	80%	100%
IRI (valor médio dos dois rodados, determinado para troços de 100 m)	m/km	$\leq 2,0$	$\leq 3,0$	$\leq 3,5$

2 SISTEMA GENEPAV-HDM4

2.1 Introdução

As componentes que constituem o SAD designado por GENEPAV-HDM4 são as seguintes: o objetivo da análise; os dados e os modelos; as restrições; e os resultados. Este SAD utiliza os modelos de previsão do comportamento dos pavimentos utilizados no *Highway Development and Management System - HDM-4* [2-4]. Estes modelos foram escolhidos porque são os mais utilizados por consultores, agências internacionais e departamentos governamentais para o estudo das consequências económicas de investimentos em infraestruturas rodoviárias, tendo sido desenvolvidos no âmbito de um estudo internacional envolvendo vários parceiros [5]. Os modelos de comportamento dos pavimentos do HDM-4 foram implementados no GENEPAV-HDM4 utilizando a linguagem de programação do Microsoft Visual Studio [6], adaptando e introduzindo novas funcionalidades a um algoritmo já existente, designado por GENETIPAV-D [7-10] previamente desenvolvido para resolver modelos de otimização determinísticos.

2.2 Formulação do modelo de otimização

O sistema GENEPAV-HDM4 é baseado num modelo de otimização que tem a formulação apresentada de seguida.

a) Função objetivo (minimização dos custos totais)

$$\text{Min} \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+d)^t} \cdot Ca_{rst} \cdot X_{rst} + \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+d)^t} \cdot Cu_{st} - \sum_{s=1}^S \frac{1}{(1+d)^{T+1}} \cdot V_{s,T+1} \quad (1)$$

b) Restrições

Estado dos pavimentos

$$Z_{st} = \Phi(Z_{s0}, X_{1s1}, \dots, X_{1st}, \dots, X_{Rs1}, \dots, X_{Rst}), s = 1, \dots, S; t = 1, \dots, T \quad (2)$$

Níveis mínimos de qualidade

$$Z_{st} \begin{cases} \leq \\ \geq \end{cases} \bar{Z}, s = 1, \dots, S; t = 1, \dots, T \quad (3)$$

Conjunto de possíveis intervenções de conservação ou reabilitação

$$X_{rst} \in \Omega(Z_{st}), r = 1, \dots, R; s = 1, \dots, S; t = 1, \dots, T \quad (4)$$

Número de operações de conservação por ano

$$\sum_{r=1}^R X_{rst} = 1, s = 1, \dots, S; t = 1, \dots, T \quad (5)$$

Custos para a administração rodoviária das intervenções de conservação ou reabilitação

$$Ca_{rst} = \Psi a(Z_{st}, X_{rst}), r = 1, \dots, R; s = 1, \dots, S; t = 1, \dots, T \quad (6)$$

Custos para os utentes que circulam na secção rodoviária

$$Cu_{st} = \Psi u(Z_{st}), s = 1, \dots, S; t = 1, \dots, T \quad (7)$$

Valor residual do pavimento

$$V_{s,T+1} = \Theta(Z_{s,T+1}), s = 1, \dots, S \quad (8)$$

Orçamentos anuais

$$\sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S Ca_{rst} X_{rst} \leq B_t, t = 1, \dots, T \quad (9)$$

Número de operações de conservação durante o período de análise

$$\sum_{r=2}^R \sum_{t=1}^T X_{rst} \leq N \max_s, \forall s = 1, \dots, S \quad (10)$$

c) Modelos de comportamento dos pavimentos

Fendilhamento estrutural (iniciação)

$$T_{ci} = 8.61 \cdot e^{-24.4 \cdot N_{80}^{Dim} / SNC_t^2} \quad (11)$$

Fendilhamento estrutural (progressão)

$$C_t = \left[3330 \cdot SNC_t^{-4.25} \cdot 0.25 \cdot (N_{80}^{Dim} - N_{80}^{ci}) + 0.5^{0.25} \right]^{0.25} \text{ se } Y_t - T_{ci} < \frac{50^{0.25} - 0.5^{0.25}}{3330 \cdot SNC_t^{-4.25} \cdot 0.25} \quad (12)$$

$$C_t = 100 - \left[-1.0 \cdot 3330 \cdot SNC_t^{-4.25} \cdot 0.25 \cdot (N_{80}^{Dim} - N_{80}^{ci}) + 0.5^{0.25} + 2^{0.25} \right]^{0.25} \text{ se } Y_t - T_{ci} > \frac{50^{0.25} - 0.5^{0.25}}{3330 \cdot SNC_t^{-4.25} \cdot 0.25} \quad (13)$$

Rodeiras (densificação inicial e progressão)

$$R_t = R_{D_0} + R_{SD_t} \quad (14)$$

$$R_{D_0} = 1.0 \cdot 51740 \cdot \left(N_{80_0}^{Dim} \cdot 10^6 \right)^{(0.09+0.0384DEF_0+0.0016MMP_0 \cdot C_0)} \cdot SNC_0^{-0.502} \cdot COMP_0^{-2.3} \quad (15)$$

$$R_{SD_t} = R_{SD_{t-1}} + 1.0 \cdot 1.3 \cdot \left[(0.333 + 0.0494 \cdot DEF_t + 0.0021 \cdot MMP_t \cdot C_{t-1}) / Y_t + 0.0285 \cdot MMP_t \cdot \Delta C_t \cdot \ln(\max(1, N_{80_t}^{Dim})) \right] \cdot R_{t-1} \cdot \Delta T \quad (16)$$

Irregularidade longitudinal

$$IRI_t = IRI_{t-1} + 134 \cdot e^{0.065Y_t} \cdot SNCK_t^{-5} \cdot N_{80_t}^{Dim} + 0.0066 \cdot \Delta C_t + 0.088 \cdot \Delta R_{SD_t} + 0.065 \cdot IRI_{t-1} \cdot \Delta T \quad (17)$$

Desintegração superficial (covas e peladas)

$$S_t = 2.29 \cdot \left(e^{2.2677N_{80_t}^{Dim}} - 1 \right) \quad (18)$$

Deflexão

$$DEF_t^{GB} = 6.5 \cdot SNC_t^{-1.6} \quad (19)$$

$$DEF_t^{CB} = 3.5 \cdot SNC_t^{-1.6} \quad (20)$$

Qualidade global (*Present Serviceability Index*)

$$PSI_t = 5 \times e^{-0.000065 \cdot IRI_t} - 0.000535 \times R_t^2 - 0.21 \times (C_t + S_t + P_t)^{0.5} \quad (21)$$

d) Outras equações (tráfego; número estrutural; custos para os utentes; valor residual dos pavimentos)

Número acumulado de eixos padrão

$$N_{80_t}^{Dim} = 365 \cdot AADT_h \cdot \frac{(1+tc)^{Y_t} - 1}{tc} \cdot \alpha \quad (22)$$

Número estrutural e número estrutural corrigido

$$SN_t = \sum_{n=1}^N H_n \cdot C_n^e \cdot C_n^d \quad (23)$$

$$SNC_t = SN_t + 3.51 \cdot \log CBR - 0.85 \cdot (\log CBR)^2 - 1.43 \quad (24)$$

$$SNCK_t = 1.0 + SNC_t - 0.0000785 \cdot HB_t \cdot C_t \quad (25)$$

Custos para os utentes

$$Cu_t = 0.9752 - 0.3414 \cdot PSI_t + 0.0364 \cdot PSI_t^2 \quad (26)$$

Valor residual dos pavimentos

$$V_{T+1} = C_{rehab} \cdot \frac{PSI_{T+1} - 1.5}{PSI_{rehab} - 1.5} \quad (27)$$

Simbologia:

$AADT_h$ é o tráfego médio diário anual de veículos pesados no ano da construção ou da última reabilitação, por via;

B_t é o orçamento no ano t ;

C_t é a área do pavimento com fendilhamento no ano t ($m^2/100m^2$);

C_n^e é o coeficiente estrutural da camada n do pavimento;

C_n^d é o coeficiente de drenagem da camada n do pavimento;

C_{rehab} é o custo da última intervenção de reabilitação aplicada ao pavimento;

Ca_{rst} é o custo para a administração rodoviária da aplicação da intervenção r à secção s no ano t ;

Cu_{st} é o custo para os utentes que circulam na secção s no ano t ;

Cu_t são os custos para os utentes no ano t (€/km/veículo);

CBR é o *California Bearing Ratio* da fundação do pavimento;

$COMP_t$ é a compactação relativa média ponderada pela espessura das camadas granulares no ano t (%);

d é a taxa de atualização do capital;

DEF_t é a deflexão média (viga Benkelman) no ano t (mm);

DEF_t^{GB} é a deflexão média (viga Benkelman) em pavimentos de base granular no ano t (mm);
 DEF_t^{CB} é a deflexão média (viga Benkelman) em pavimentos de base betuminosa no ano t (mm);
 H_n é a espessura da camada n do pavimento (mm);
 HB_t é a espessura das camadas ligadas do pavimento no ano t (mm);
 IRI_t é a irregularidade longitudinal no ano t (mm/km);
 MMP_t é a precipitação média mensal no ano t (m/mês);
 N_{max_s} é o número máximo de intervenções que se podem aplicar na secção s do pavimento durante o período de análise;
 $N_{80_t}^{Dim}$ é o número acumulado de eixos padrão de 80 kN no ano t (milhões eixos de 80 kN/via);
 $N_{80_t}^{ci}$ é o número acumulado de eixos padrão de 80 kN no ano de iniciação do fendilhamento (milhões eixos de 80 kN/via);
 P_t é a área do pavimento com reparações no ano t (m²/100m²);
 PSI_t é o índice de qualidade global (*Present Serviceability Index*) no ano t ;
 PSI_{rehab} é o valor do PSI depois de uma intervenção de reabilitação do pavimento;
 R é o número total de intervenções de conservação ou reabilitação;
 R_t é o valor médio das rodeiras no ano t (mm);
 R_{D_0} é a contribuição da densificação inicial/consolidação para o valor médio das rodeiras no ano 0 (mm);
 R_{SD_t} é a contribuição da degradação estrutural para o valor médio das rodeiras no ano t (mm);
 S é o número total de secções da rede rodoviária;
 S_t é a área com desintegração superficial de materiais (covas e peladas) no ano t (m²/100m²);
 SN_t é o número estrutural do pavimento no ano t ;
 SNC_t é o número estrutural modificado do pavimento no ano t , que tem em consideração a resistência da fundação;
 $SNCK_t$ é o número estrutural modificado do pavimento no ano t , reduzido pelo efeito do fendilhamento das camadas betuminosas;
 T é o número de anos do período de análise;
 T_{ci} é o tempo até se iniciar o fendilhamento do pavimento (anos);
 tc é a taxa média de crescimento anual do tráfego pesado;
 V_{T+1} é o valor residual do pavimento no ano $T+1$ (€);
 $V_{s,T+1}$ é o valor residual do pavimento da secção s no ano $T+1$ (€);
 X_{rst} é igual a 1 se a intervenção r é aplicada à secção s no ano t , e igual a 0 no caso contrário;
 Y_t é o tempo desde a construção ou desde a última reabilitação do pavimento (anos);
 Z_{st} são os parâmetros de estado do pavimento para a secção s no ano t ;
 \bar{Z} são os níveis mínimos de qualidade para cada parâmetro de estado do pavimento;
 ΔC_t é o incremento da área do pavimento com fendilhamento no ano t (m²/100m²);
 ΔR_{SD_t} é o incremento do valor das rodeiras que resulta da degradação estrutural no ano t (mm);
 ΔT é o intervalo de tempo considerado como uma fração do ano (normalmente assume o valor 1);
 α é o fator de agressividade do tráfego;
 Φ representa as equações relativas ao estado do pavimento;
 Θ representa as equações relativas ao valor residual do pavimento;
 Ψ_a representa as equações relativas aos custos para a administração das intervenções de conservação;
 Ψ_u representa as equações relativas aos custos para os utentes;
 Ω representa as equações relativas ao conjunto de possíveis intervenções de conservação ou reabilitação.

3 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO GENEPAV-HDM4

O sistema GENEPAV-HDM4, embora seja mais adequado para aplicação a redes nacionais abrangidas pelo Decreto-Lei n.º 110/2009 de 18 de Maio [1], foi aplicado à rede rodoviária de Viseu de modo a demonstrar as suas potencialidades. Esta rede rodoviária tem um comprimento total de 611 km, os quais se dividem em 137,7 km de estradas nacionais, 127,6 km de estradas municipais, 316,1 km de caminhos municipais e cerca de 30 km de vias urbanas. O município de Viseu é ainda atravessado por 29,0 km de itinerários principais e 45,7 km de autoestradas. Neste trabalho foram apenas consideradas as estradas nacionais que se encontram sob jurisdição da Câmara Municipal de Viseu e as vias urbanas estruturantes, as vias coletoras e as vias distribuidoras principais da cidade de Viseu (Figura 1).

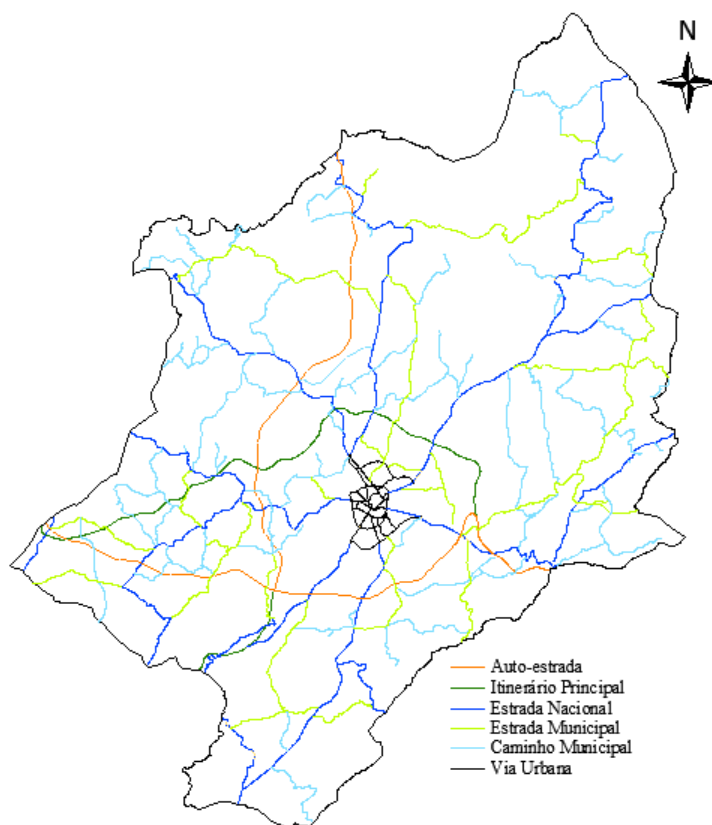


Figura 1. Rede Rodoviária de Viseu

Os resultados obtidos através da aplicação do GENEPAV-HDM4 são um plano de conservação, um relatório de custos e um relatório de qualidade para o período de análise de 20 anos. Para a definição do plano de conservação dos pavimentos foram consideradas três estratégias de conservação ou soluções:

I: solução apenas corretiva (as intervenções de conservação e reabilitação são realizadas quando o pavimento atinge o respetivo nível mínimo de qualidade);

II: solução preventiva, em que o objetivo é a minimização dos custos de conservação;

III: solução preventiva, em que o objetivo é a minimização dos custos totais (soma dos custos de conservação e custos para os utentes, subtraindo o valor residual dos pavimentos).

Como níveis mínimos de qualidade foram considerados os valores apresentados no Quadro 3. São valores relativamente baixos por se tratar de uma rede rodoviária municipal. Analisando os resultados obtidos relativamente aos custos (Figuras 2 a 5) é possível retirar algumas conclusões importantes. Para a instituição que faz a gestão da rede rodoviária, neste caso a Câmara Municipal de Viseu, verifica-se que a solução II é a mais económica, permitindo poupar aproximadamente 15,7% relativamente à solução I e 18,5% relativamente à

solução III (Figura 2) em termos de custos de conservação. A solução III é a solução mais económica em termos de custos totais (Figura 5), permitindo poupar aproximadamente 43,2% relativamente à solução I e 9,0% relativamente à solução II. A solução I (solução corretiva) é sempre a menos vantajosa, tanto para a Câmara Municipal de Viseu como para os utentes da rede rodoviária. A Figura 6 apresenta o PSI médio esperado para toda a rede rodoviária ao longo do período de planeamento se for implementado o plano de conservação. O PSI médio em 2010 foi de 2,57, verificando-se que a solução I (corretiva), apesar de ter maiores custos de conservação do que a solução II (preventiva, em que o objetivo é a minimização dos custos de conservação), apresenta menores valores médios do PSI. Ou seja, gasta-se mais em conservação embora a qualidade média da rede vá ser inferior durante quase todo o período de planeamento.

Quadro 3. Níveis mínimos de qualidade

Parâmetro de qualidade do pavimento	Valor
Fendilhamento	Área afetada = 20,0%
Covas e peladas	Área afetada = 20,0%
Rodeiras	Profundidade média das rodeiras = 20 mm
Irregularidade longitudinal	IRI = 5500 mm/km
Índice global de qualidade	PSI = 1,5

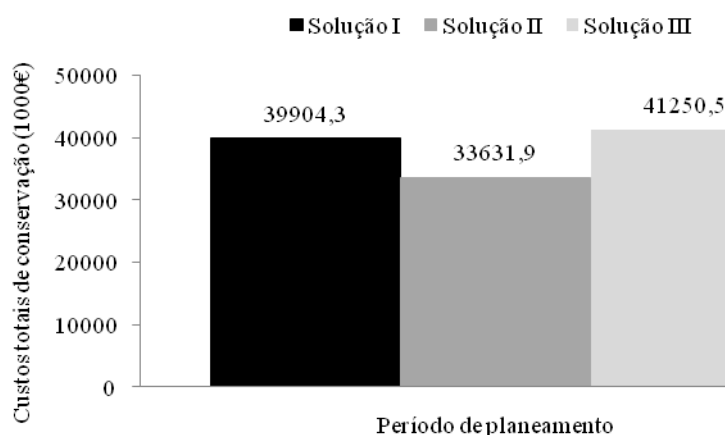


Figura 2. Custos totais de conservação durante o período de planeamento

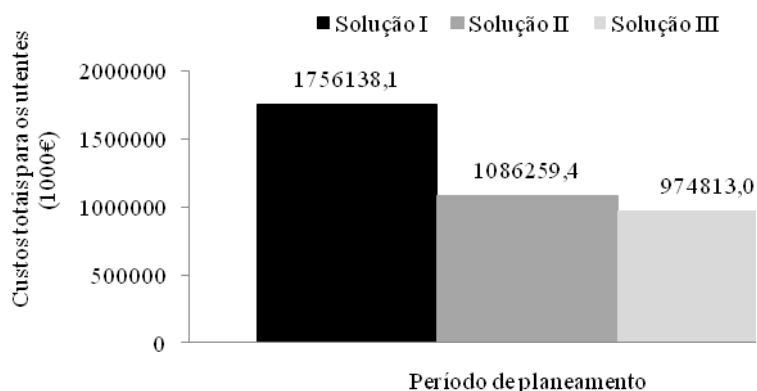


Figura 3. Custos totais para os utentes durante o período de planeamento

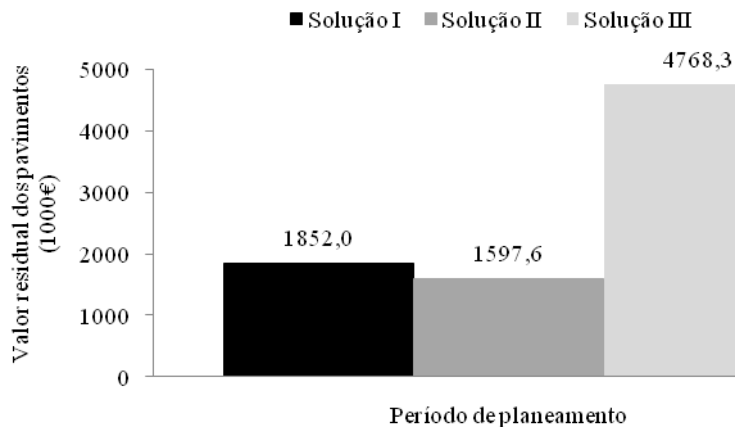


Figura 4. Valor residual dos pavimentos no fim do período de planeamento

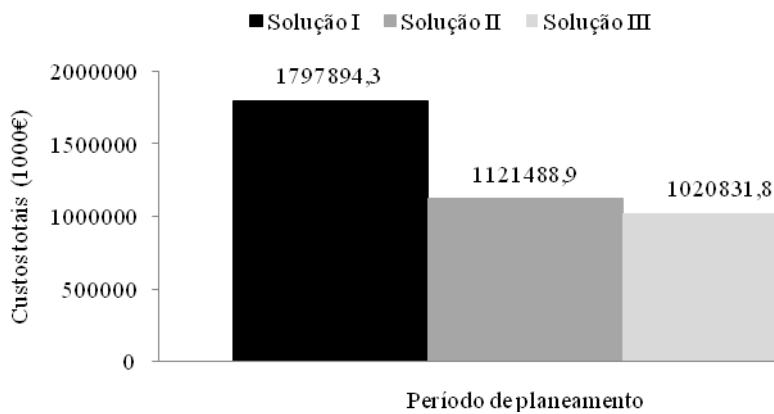


Figura 5. Custos totais durante o período de planeamento

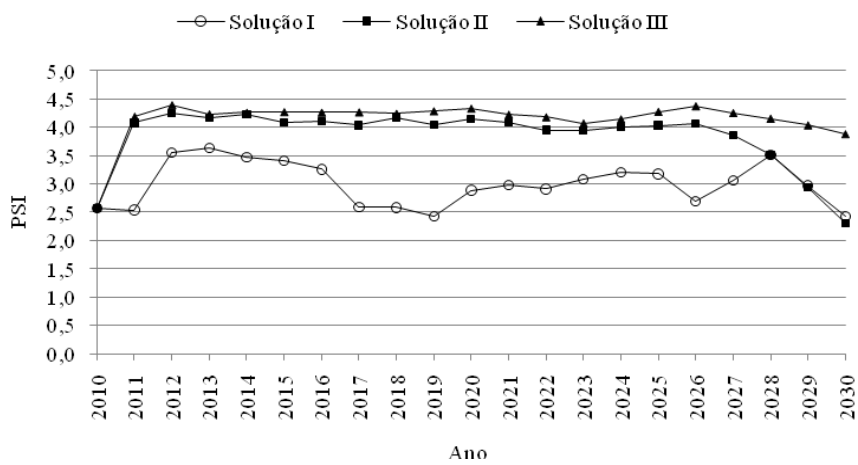


Figura 6. PSI médio esperado para toda a rede rodoviária

Além destes resultados agregados referentes aos custos envolvidos e à qualidade média da rede rodoviária, o GENEPAV-HDM4 permite obter, por exemplo, informação detalhada relativa às intervenções de conservação a implementar em cada trecho rodoviário e a evolução da sua qualidade ao longo do período de planeamento. No Quadro 4 apresentam-se as intervenções de conservação consideradas neste estudo que são constituídas por uma ou mais ações de conservação. No Quadro 5 apresentam-se essas ações de conservação e os correspondentes custos unitários calculados em 2010 mas que se podem considerar atuais devido à situação económica verificada nos dois últimos anos.

No Quadro 6 apresentam-se os atributos de 4 trechos rodoviários escolhidos em função do valor do PSI, desde um valor muito pequeno até um valor próximo do máximo possível (1,44, 2,33, 3,30 e 4,38). No Quadro 7 apresentam-se as intervenções de conservação a aplicar nesses 4 trechos da rede rodoviária. Na Figura 7 apresenta-se a evolução do PSI para o trecho 16 da estrada nacional EN 337 de acordo com as três estratégias de conservação consideradas. Para este trecho rodoviário, o qual apresenta um PSI de 2,33, se for adotada a estratégia de conservação I, a intervenção 2 (selagem de fendas) deverá ser aplicada 5 vezes (nos anos 2011, 2012, 2019, 2020 e 2027) e a intervenção 6 (... + membrana anti-propagação de fendas + camada betuminosa de 5 cm) deverá ser aplicada 3 vezes (nos anos 2013, 2021 e 2028). Se for adotada a estratégia de conservação II, a intervenção 5 (... + camada betuminosa de 5 cm) deverá ser aplicada 3 vezes (nos anos 2011, 2015 e 2022) e a intervenção 2 (selagem de fendas) deverá ser aplicada apenas 1 vez (no ano 2030). Por sua vez, se for adotada a estratégia de conservação III, a primeira intervenção a aplicar em 2011 será mais forte, correspondendo à intervenção 10 (... + membrana anti-propagação de fendas + 2 camadas betuminosas de 5 e 8 cm, respetivamente) em substituição da intervenção 5. Nos restantes anos do período de planeamento ainda deverá ser aplicada a intervenção 5 (... + camada betuminosa de 5 cm) em 2016, 2022 e 2027. Na Figura 8 estão representadas as intervenções de conservação a aplicar em cada trecho da rede rodoviária no primeiro ano do período de planeamento considerando a estratégia de conservação II.

Quadro 4. Descrição das intervenções de conservação

Intervenção de conservação	Descrição
1	Não fazer nada
2	Selagem de fendas
3	Reparações
4	Selagem de fendas + reparações
5	... + camada betuminosa (5 cm)
6	... + membrana anti-propagação de fendas + camada betuminosa (5 cm)
7	... + 2 camadas betuminosas (5 + 5 cm)
8	... + membrana anti-propagação de fendas + 2 camadas betuminosas (5 + 5 cm)
9	... + duas camadas betuminosas (5 + 8 cm)
10	... + membrana anti-propagação de fendas + 2 camadas betuminosas (5 + 8 cm)

Nota: O símbolo (...) significa que poderá ser necessário aplicar alguma intervenção prévia, como por exemplo o preenchimento de covas e peladas. O GENEPAV-HDM4 considera isto no cálculo dos custos de conservação.

Quadro 5. Custo das ações de conservação

Ação de conservação	Custo
Não fazer nada	0,00 €/m ²
Selagem de fendas	1,50 €/m ²
Preenchimento das rodeiras	91,78 €/m ³
Preenchimento de covas e peladas	91,78 €/m ³
Reperfilamento	91,78 €/m ³
Colocação de membrana anti-propagação de fendas	2,50 €/m ²
Aplicação de betão betuminoso (5 cm)	5,94 €/m ²
Aplicação de betão betuminoso (5+5 cm)	10,25 €/m ²
Aplicação de betão betuminoso (5+8 cm)	12,83 €/m ²

Quadro 6. Atributos dos trechos rodoviários

Atributos	Trechos			
	EN2	EN337	EN337	EN337-1
Estrada	1	13	16	24
Trecho	1	13	16	24
Trecho ID	1001234	201333714	201633732	2024337109
Classe da via	Coletora	Dist. Principal	Dist. Principal	Dist. Principal
Comprimento (m)	2928,00	4889,00	3426,00	371,00
Largura (m)	12,00	7,00	7,00	7,50
CBR do leito do pavimento (%)	12	12	12	12
Espessura das camadas ligadas (m)	0,15	0,08	0,08	0,11
Número estrutural	4,78	2,49	2,49	3,01
Idade do pavimento (anos)	2	20	14	6
TMDA	11920	3160	3160	12000
TMDA de pesados	906	240	240	492
Taxa de crescimento	0,05	0,03	0,03	0,04
Fator de agressividade do tráfego	5,00	3,00	3,00	4,00
Fendilhamento (%)	2,53	13,92	18,47	0,00
Pele de crocodilo (%)	6,83	73,94	40,72	0,00
Covas (%)	0,00	0,01	0,00	0,00
Peladas (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
Reparações (%)	0,11	14,74	3,01	0,00
Prof. média das rodeiras (mm)	8,20	4,17	1,58	4,58
IRI (mm/km)	3500	5500	3500	2000
PSI	3,30	1,44	2,33	4,38

Quadro 7. Intervenções de conservação durante o período de planeamento de 20 anos

Trecho	Solução	PSI	Ano																			
			2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1	I	3,30	1	1	2	2	6	1	1	2	2	2	6	1	2	2	6	1	2	2	6	1
	II	3,30	1	1	9	1	1	9	1	1	3	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1
	III	3,30	10	1	1	1	9	1	1	1	1	9	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1
13	I	1,44	6	1	1	1	1	1	1	2	2	6	1	1	1	1	2	6	1	1	1	1
	II	1,44	6	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	2
	III	1,44	8	1	1	1	1	5	1	1	1	5	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1
16	I	2,33	2	2	6	1	1	1	1	1	2	2	6	1	1	1	1	2	6	1	1	1
	II	2,33	5	1	1	1	5	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	2
	III	2,33	10	1	1	1	1	5	1	1	1	1	5	1	1	1	1	5	1	1	1	1
24	I	4,38	1	2	2	6	1	1	1	2	1	2	6	1	1	2	2	6	1	1	2	2
	II	4,38	7	1	1	7	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	III	4,38	9	1	1	9	1	1	1	1	5	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1

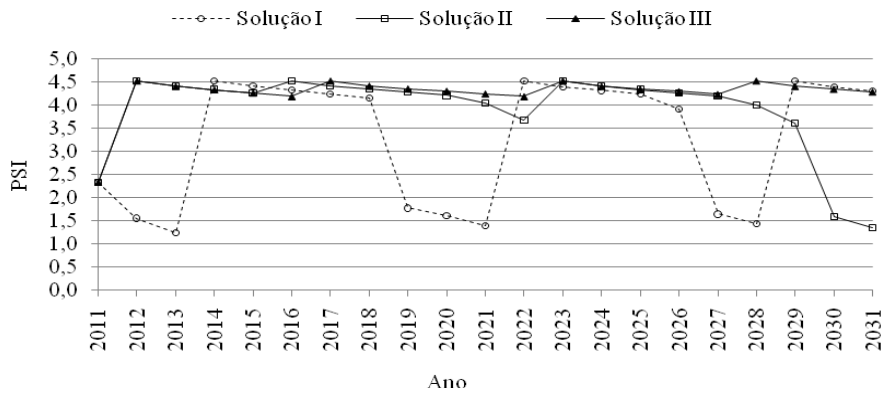


Figura 7. Evolução do PSI para o trecho 16 da estrada nacional EN 337

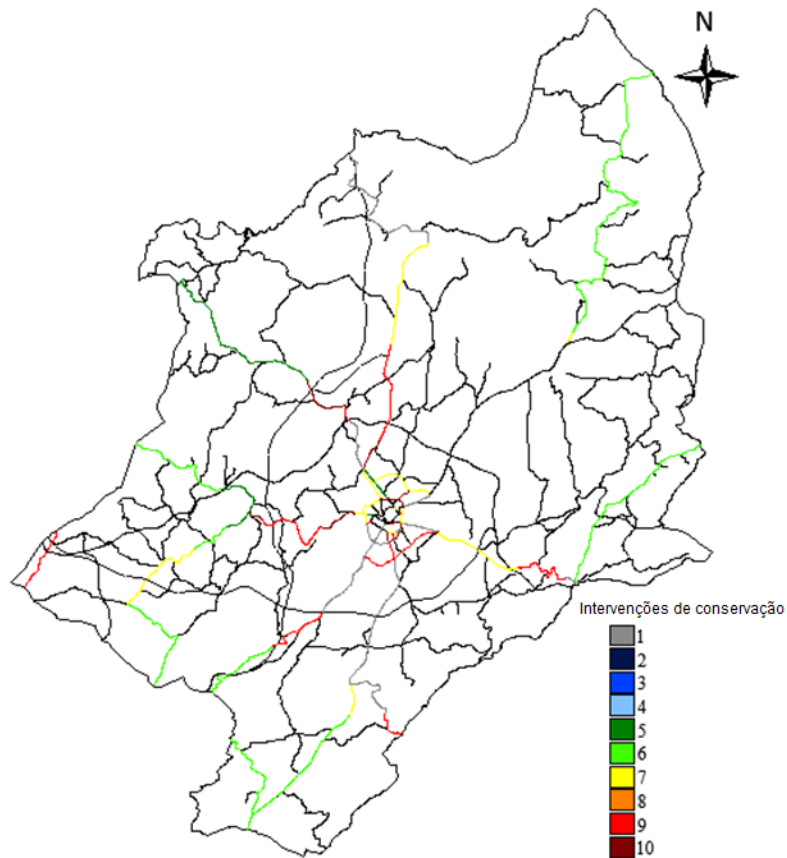


Figura 8. Intervenções de conservação a aplicar no primeiro ano adotando a estratégia de conservação II

4 CONCLUSÕES

O SAD proposto neste artigo, designado por GENEPAV-HDM4, permite resolver o problema da gestão da conservação de pavimentos envolvendo não apenas a conservação periódica mas também a conservação corrente (selagem de fendas, preenchimento de covas e peladas, etc.). O GENEPAV-HDM4 constitui uma ferramenta útil para ajudar as instituições rodoviárias nas tarefas de gestão da conservação da rede rodoviária. Com esta ferramenta elas podem antecipar que intervenções serão necessárias aplicar na rede rodoviária, onde e quando. A

aplicação do GENEPAV-HDM4 à rede rodoviária do município de Viseu, considerando os modelos de previsão do comportamento dos pavimentos do HDM-4, produziu resultados muito satisfatórios, o que permite concluir que estes modelos podem ser aplicados noutros SGP que necessitem de atualização e revisão devido à recente legislação portuguesa [1]. Esta legislação implica que seja considerado um modelo de previsão do comportamento dos pavimentos para cada parâmetro de estado (fendilhamento, irregularidade longitudinal, rodeiras, covas e peladas, etc.) de modo a ser possível controlar o valor de cada um deles ao longo dos anos ou ao longo do período da concessão (normalmente 30 anos) e respeitar os valores mínimos de qualidade que constam dos contratos de concessão.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia o apoio financeiro a este trabalho através do Projeto PTDC/ECM/112775/2009 – MODAT - *Multi-Objective Decision-Aid Tool for Highway Asset Management*, participado pelo Fundo Comunitário Europeu FEDER.

6 REFERÊNCIAS

1. MOPTC. Decreto-Lei n.º 110/2009 de 18 de Maio. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, Diário da República, 1.ª Série - N.º 95, 3061-3099, 2009.
2. PIARC. *Highway development and management, volume one – Overview of HDM-4*. World Road Association, Paris, France, I, 1-43, 2000.
3. Ihs, A., Sjögren, L. *An overview of HDM-4 and the Swedish pavement management system*. VTI – Infrastructure Maintenance, Linköping, Sweden, 1-31, 2003.
4. Jain, S., Aggarwal, S., Parida, M. HDM-4 pavement deterioration models for Indian national highway network. *Journal of Transportation Engineering*, 131 (8), 623-631, 2005.
5. ISOHDM. *Modelling road deterioration and maintenance effects in HDM-4 – Final report*. N.D. Lea International Ltd, 1995.
6. David, J., Loton, T., Gunvaldson, E., Bowen, C., Coad, N., Jefford, D. *Professional visual studio 2005 team system*. Wiley Publishing, Inc., Indiana, USA, 2006.
7. Ferreira, A. *Optimização da conservação de pavimentos de redes rodoviárias*. Tese de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2001.
8. Ferreira, A., Picado-Santos, L., Antunes, A. A segment-linked optimisation model for deterministic pavement management systems. *The International Journal of Pavement Engineering*, 3 (2), 95-105, 2002.
9. Picado-Santos, L., Ferreira, A., Antunes, A., Carvalheira, C., Santos, B., Bicho, M., Quadrado, I., Silvestre, S. The pavement management system for Lisbon”. *Municipal Engineer*, Institution of Civil Engineers, 157 (3), 157-165, 2004.
10. Ferreira, A., Meneses, S., Vicente, F. Pavement management system for Oliveira do Hospital, Portugal. *Transport*, Institution of Civil Engineering, 163 (3), 157-169, 2009.