

IAG64-07-2013
NOVO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS
RODOVIÁRIOS DA AASHTO - APLICAÇÃO A PORTUGAL
NUEVO MÉTODO DE LA AASHTO PARA EL DISEÑO DE
PAVIMENTOS – APLICACIÓN EN PORTUGAL

Adelino Ferreira
Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra
Coimbra, Portugal
adelino@dec.uc.pt

Fábio Simões
Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra
Coimbra, Portugal
fsimoes@dec.uc.pt

Rui Micaelo
Departamento de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa
Caparica, Portugal
ruiibm@fct.unl.pt

Resumo

A AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) desenvolveu e publicou em 2008 um novo manual de dimensionamento de pavimentos rodoviários, designado por MEPDG - *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide*. Para além do manual, foi também disponibilizado o software que permite aplicar o novo método de dimensionamento considerando dados de tráfego, do clima, das propriedades dos materiais e da estrutura do pavimento, dados estes que são introduzidos inicialmente no software. Posteriormente, o software permite efetuar a previsão do comportamento dos pavimentos em termos de vários parâmetros de estado (irregularidade longitudinal - IRI, rodeiras, fendilhamento longitudinal, fendilhamento transversal, pele de crocodilo) e uma análise posterior em função dos valores máximos que estes parâmetros podem assumir, valores estes que constam, por exemplo, dos contratos de concessão rodoviária. Este artigo descreve as principais características do novo método de dimensionamento de pavimentos rodoviários da AASHTO. São ainda apresentados os resultados da sua aplicação aos pavimentos rodoviários flexíveis que constam do Manual de Conceção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional de Portugal (MACOPAV). Os resultados obtidos pela aplicação deste novo método de dimensionamento de pavimentos rodoviários indicam claramente que é uma ferramenta bastante útil para os engenheiros rodoviários não só para o dimensionamento de novos pavimentos, mas também para a análise das necessidades da sua conservação e reabilitação. Este novo método de dimensionamento de pavimentos pode ser bastante útil para que as administrações rodoviárias possam acompanhar a evolução dos valores dos parâmetros de estado dos pavimentos com o objetivo de planearem as intervenções de conservação ou reabilitação de modo a cumprirem o que está definido nos contratos de concessão e nos Planos de Controlo de

Qualidade. No entanto, a sua aplicação exige uma enorme quantidade de dados, principalmente dados climáticos, que é necessário recolher e organizar em ficheiros num formato próprio.

Resumen

La AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) elaboró y publicó en 2008 un nuevo manual para el diseño de pavimentos, llamado MEPDG – *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide*. Además, el manual también ofrece un software que permite aplicar el nuevo método de diseño basado en: tráfico, clima, propiedades del material, y estructura del pavimento. A continuación, el software permite realizar la predicción del comportamiento de los pavimentos en función de diversos parámetros de condición (rugosidad longitudinal - IRI, ahuellamientos, agrietamiento longitudinal, agrietamiento transversal, agrietamiento tipo piel de cocodrilo) y su posterior análisis en función de los valores máximos que estos parámetros pueden asumir. Estos valores máximos se establecen, por ejemplo, en los contratos de concesión vial. Este artículo describe las principales características del nuevo método AASHTO para el diseño de pavimentos. Finalmente, también se presentan los resultados de su aplicación en pavimentos flexibles contenidos en el Manual para el Diseño de Pavimentos de la Red Nacional de Carreteras de Portugal (MACOPAV). Los resultados obtenidos mediante la aplicación de este nuevo método de diseño de pavimentos indican claramente que se trata de una herramienta muy útil para los ingenieros viales, no sólo para el diseño de nuevos pavimentos, sino también para analizar las necesidades de su mantenimiento y rehabilitación. Este nuevo método de diseño de pavimentos puede ser muy útil como herramienta para la gestión de pavimentos, ya que permite seguir la evolución de los valores de los parámetros de la condición de los pavimentos en el tiempo con el fin de planificar la conservación o rehabilitación de las intervenciones futuras, y así cumplir con lo que se define en los contratos de concesión vial y planes de control de calidad. Sin embargo, su aplicación requiere una enorme cantidad de datos de entrada, principalmente datos climáticos, que son necesarios recogerlos y organizarlos en archivos con un formato apropiado para su implementación.

INTRODUÇÃO

A *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) desenvolveu um novo método de dimensionamento de pavimentos rodoviários designado por *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide* - MEPDG (AASHTO, 2008), em substituição do antigo método de dimensionamento de 1993 (AASHTO, 1993). É um método de dimensionamento empírico-mecanicista, onde a performance de um pavimento é avaliada pela sua resposta em termos de vários parâmetros de estado (irregularidade longitudinal, rodeiras com a contribuição apenas das camadas betuminosas e com a contribuição de todas as camadas, fendilhamento longitudinal, fendilhamento transversal e pele de crocodilo). Para além de um manual de dimensionamento, foi também disponibilizado um *software* que permite aplicar o novo método de dimensionamento considerando dados de tráfego, do clima, das propriedades dos materiais e da estrutura do pavimento, dados estes que são introduzidos inicialmente no *software*. Posteriormente, o *software* permite efetuar a previsão do comportamento e uma análise posterior em função dos valores máximos que estes parâmetros podem assumir, valores estes que constam, por exemplo, dos contratos de concessão rodoviária. Existem três níveis que definem a

quantidade e a qualidade dos dados a inserir inicialmente no *software*: nível 1; nível 2; e nível 3. O nível 1 é o mais exigente, requerendo ensaios efetuados em laboratório sobre os materiais a usar na estrutura do pavimento. Para dados de tráfego é necessário uma pesquisa e recolha de todos os dados solicitados pelo *software*. O nível 2 enquadra-se numa precisão intermédia, assumindo dados de ensaios de laboratório e alguns dados assumidos por defeito pelo *software*. Neste nível, a caracterização dos materiais pode ser efetuada com base nos resultados já conhecidos de ensaios sobre outros materiais com características semelhantes. O nível 3 é o menos preciso, onde são assumidos valores por defeito correspondendo a valores médios para a região onde se localizará a obra rodoviária. Já foram realizados alguns estudos promovidos por administrações rodoviárias no sentido de avaliar a aplicação deste novo método de dimensionamento de pavimentos (Saha *et al.*, 2012, El-Badawy *et al.*, 2012, Li *et al.*, 2010). Por exemplo, Saha *et al.* (2012) avaliaram a possibilidade de aplicação do MEPDG em Alberta, Canadá. Foi feita a comparação entre os resultados obtidos pela aplicação do MEPDG e pelo método tradicional de dimensionamento utilizado em Alberta que é semelhante ao método da AASHTO de 1993. Verificou-se que, para projetos com elevados níveis de tráfego, as estruturas obtidas pelo método tradicional têm menor espessura dos que as estruturas obtidas pelo novo método, tendo em consideração os limites máximos definidos para os parâmetros de estado. Este artigo descreve as principais características do novo método de dimensionamento de pavimentos rodoviários da AASHTO. São ainda apresentados os resultados da sua aplicação aos pavimentos rodoviários flexíveis que constam do Manual de Conceção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional - MACOPAV (JAE, 1995). Os resultados obtidos pela aplicação deste novo método de dimensionamento de pavimentos rodoviários às estruturas de pavimentos rodoviários flexíveis que constam do MACOPAV indicam claramente que é uma ferramenta bastante útil para os engenheiros rodoviários não só para o dimensionamento de novos pavimentos, mas também para a análise das necessidades da sua conservação e reabilitação.

METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO

Na Figura 1 é apresentada a metodologia de dimensionamento de pavimentos rodoviários considerada no novo método de dimensionamento de pavimentos da AASHTO (2008). Seguidamente, são referidos os dados necessários para a utilização do *software* MEPDG.

Tráfego

O *software* MEPDG requer a introdução do Tráfego Médio Diário Anual (TMDA) nos dois sentidos, do número de vias, da percentagem de pesados em cada sentido e da percentagem de pesados na via de dimensionamento. São consideradas 13 classes de veículos, sendo as 3 primeiras referentes a veículos ligeiros e as restantes 10 aos veículos pesados (Figura 2).

Para além dos dados já referidos, é solicitado para cada classe de veículos pesados, ou seja, classes 4 a 13, a percentagem do total de pesados, a taxa de crescimento, os fatores de distribuição mensal e os fatores de distribuição horária. São também solicitados alguns dados técnicos relativos aos veículos pesados, nomeadamente a largura dos veículos pesados, a distância entre eixos, a distância entre o rodado duplo e a pressão dos pneus. Em Portugal as classes dos veículos são diferentes. Existem 11 classes, de A a K. Das classes identificadas, as classes A e B referem-se a velocípedes, as classes C, D e E a veículos ligeiros e as restantes classes F, G, H, I, J e K representam os veículos pesados.

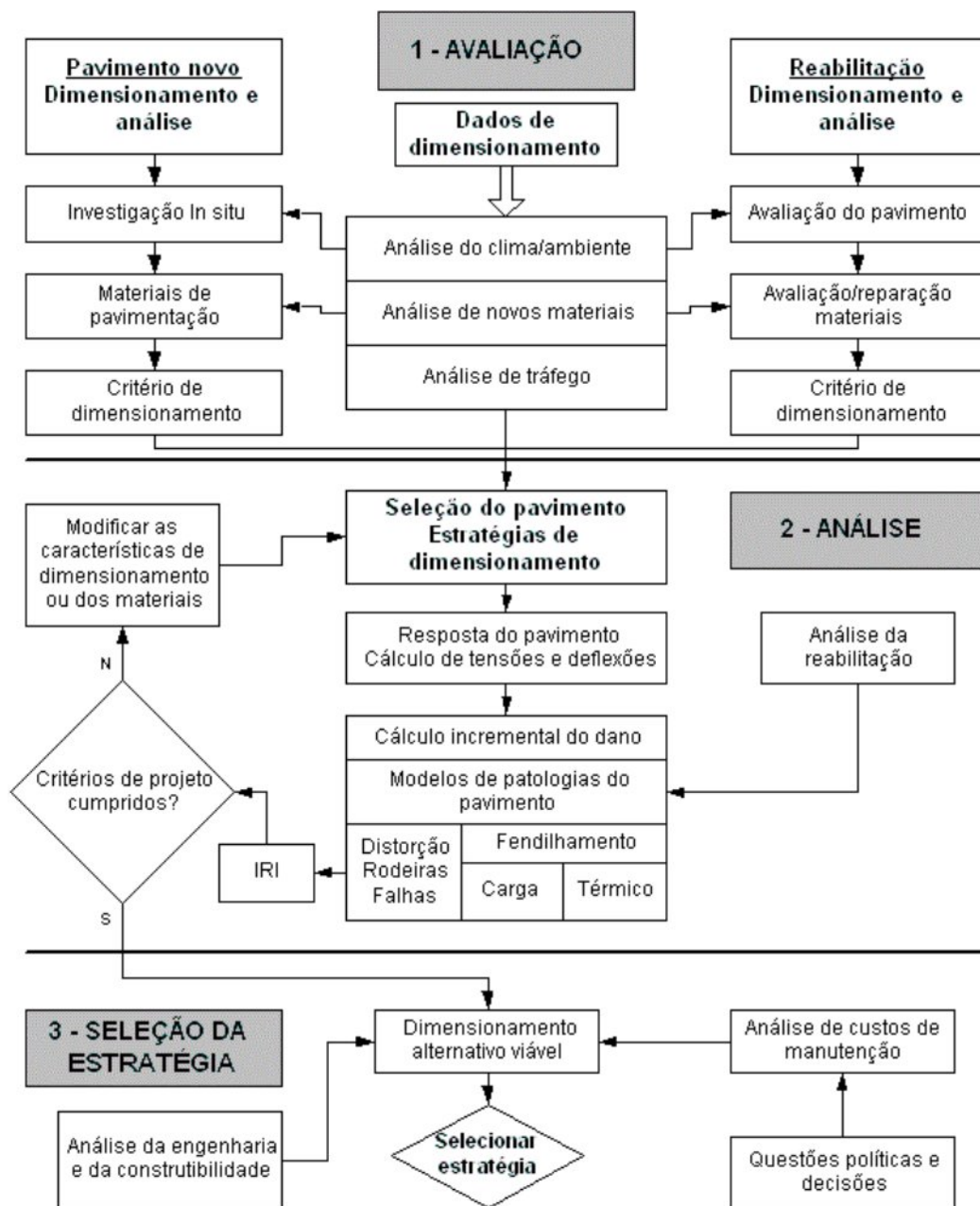


Figura 1: Metodologia de dimensionamento de pavimentos rodoviários

Para que a conversão seja o mais ajustada possível, as classes devem agrupar-se da seguinte forma: a classe F correspondente a veículos pesados sem reboque distribui-se pelas classes 5, 6 e 7; a classe G relativa a camiões com um ou mais reboques distribui-se pelas classes 11, 12 e 13; a classe H representando tratores com semirreboques distribui-se pelas classes 8, 9 e 10; a classe I relativa a autocarros passa diretamente para a classe 4; as classes J e K correspondentes a tratores agrícolas e veículos especiais não têm uma relação direta com as classes do *software*, algo que não será significativo uma vez que o tráfego deste tipo de veículos é praticamente inexistente. O TMDA foi convertido nas classes de tráfego consideradas no *software* MEPDG adotando distribuições existentes para Portugal resultantes de contagens de tráfego.

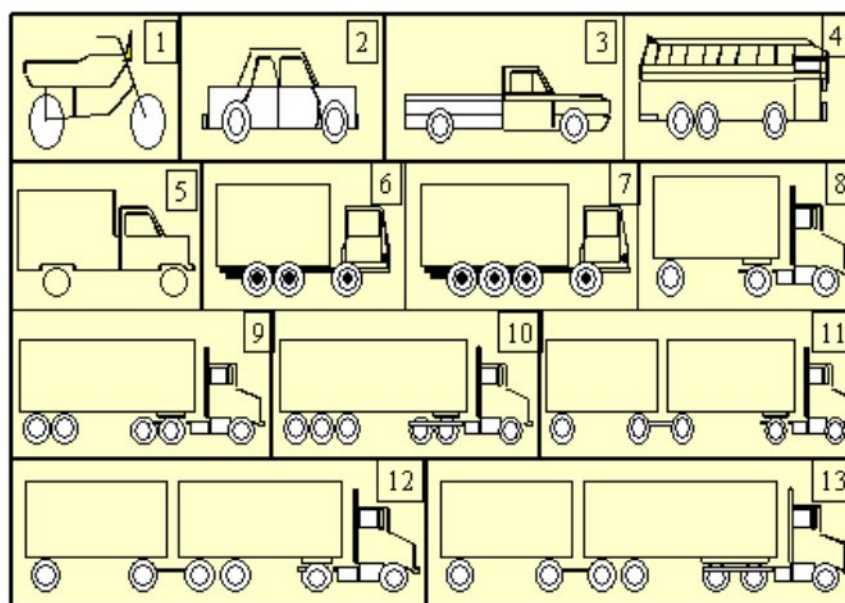


Figura 1: Classes de tráfego

Condições climáticas

Os dados climáticos são os mais difíceis de obter e formatar do modo requerido pelo MEPDG. Dados como os da temperatura, precipitação e outros fatores climáticos são muito importantes para saber em que condições as várias camadas do pavimento ficam sujeitas ao longo do tempo. Nos Estados Unidos existem centenas de estações meteorológicas que têm todos os dados necessários no formato utilizado pelo *software* MEPDG (Li *et al.*, 2010). Esses dados são agregados e analisados no MEPDG através de um modelo designado *Enhanced Integrated Climatic Model* (EICM).

Em Portugal não existem ficheiros de dados climáticos no formato requerido pelo *software* MEPDG. Deste modo, foi necessário proceder a uma recolha exaustiva de todos os dados disponíveis no Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) e formatá-los de forma a permitir a sua leitura e análise pelo *software* MEPDG. Foram recolhidos dados da temperatura, da precipitação e da velocidade do vento em todas as horas de um ano. Posteriormente estes dados, incluindo outros, foram formatados tendo em consideração um ficheiro existente do tipo *Integrated Climatic Model* (ICM). O ficheiro do tipo ICM é composto por uma linha para cada dia. Nessa linha é apresentado pela seguinte ordem, o mês, o dia, o ano, a hora de nascer do sol, a hora de pôr-do-sol e a radiação solar. No seguimento dessa linha diária surgem 24 linhas correspondentes a cada hora desse mesmo dia. Em cada linha é indicada pela seguinte ordem, a hora, a temperatura em graus Fahrenheit, a precipitação em polegadas, a velocidade do vento em milhas por hora, nível de céu limpo ou nível de nebulosidade e a profundidade do nível freático em pés. O nível de céu limpo é indicado em percentagem, sendo que 100% representa o céu totalmente limpo e 0% representa o nível máximo de nebulosidade. Foi criado um ficheiro com os dados climáticos nacionais de um ano para a zona de Coimbra. No Quadro 1 é apresentado o seu formato final.

Tabela 1: Ficheiro de dados climáticos

Mês	Dia	Ano	Nascer do sol	Pôr do sol	Radiação solar
5	6	2011	6.56667	20.5500	3706.16
Hora	Temperatura (°F)	Precipitação (polegadas)	Velocidade do vento (mph)	Céu limpo (%)	Profundidade do nível freático (pés)
0	60.6	0.00	5.6	100	50
1	59.9	0.00	4.0	100	50
...
5	7	2011	6.55000	20.5500	3709.14
0	57.0	0.00	7.5	100	50
1	56.8	0.00	6.5	100	50
...

Estrutura do pavimento e propriedades dos materiais

O último grupo de dados a introduzir no *software* MEPDG é a estrutura do pavimento e as propriedades dos seus materiais. Também aqui existem 3 níveis que definem a quantidade e a qualidade dos dados solicitados. Em primeiro lugar é necessário introduzir os dados gerais da estrutura do pavimento, indicando as camadas, a sua espessura e o tipo de material. Em cada camada é necessário introduzir alguns dados que caracterizam os materiais, sendo que, os dados solicitados são diferentes entre as camadas betuminosas e granulares. Nas camadas betuminosas é necessário indicar a distribuição granulométrica dos agregados na mistura betuminosa, as propriedades do betume, a temperatura de referência, o coeficiente de *Poisson*, a percentagem de betume, a percentagem de vazios e o peso volumétrico. Nas camadas granulares é solicitada a distribuição granulométrica, o módulo de deformabilidade ou o valor de CBR (*California Bearing Ratio*) do material e o coeficiente de *Poisson*.

APLICAÇÃO ÀS ESTRUTURAS DO MACOPAV

O *software* MEPDG foi aplicado aos pavimentos definidos no Manual de Conceção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional, usualmente designado por MACOPAV (JAE, 1995). Estes pavimentos foram definidos em função da classe de tráfego, que varia entre T1 e T6, e a classe de fundação, que varia entre F1 e F4. O MACOPAV definiu 16 estruturas de pavimentos flexíveis diferentes, resultantes da combinação entre cada classe de tráfego e cada classe de fundação. Estas estruturas de pavimento foram definidas pela utilização do método da *Shell* (Shell, 1978) com a verificação pelo método de dimensionamento de pavimentos da Universidade de *Nottingham* (Brunton *et al.*, 1987) e do método do *Asphalt Institute* (Asphalt Institute, 2001).

No Quadro 2 são apresentados os dados dos pavimentos definidos no MACOPAV e ordenados segundo o seu número estrutural. O valor do módulo de deformabilidade varia em função da classe de fundação, assumido 60 MPa para classe F2, 100 MPa para classe F3 e 150 MPa para a classe F4. A classe de fundação F1 não foi considerada uma vez que o MACOPAV considera esta fundação inadequada para pavimentos flexíveis com camada de base betuminosa. Os valores da percentagem de betume (V_{be}) e da percentagem de vazios (V_a) são definidos no MACOPAV consoante o tipo de camada. Existe também um intervalo de valores para o teor em betume e

porosidade em função do tipo de camada e do tipo de materiais. Relativamente às características volumétricas das misturas betuminosas a quente são definidos os seus valores também no Quadro 2. Para além destes dados, ainda existem mais dados a inserir no *software* MEPDG, nomeadamente o coeficiente de *Poisson* que assume o valor 0,35 em todas as camadas (JAE, 1995). Foram atribuídos valores para a distribuição horária dos veículos pesados apresentados no Quadro 3 (Branco *et al.*, 2006). Também foi ajustado com o máximo rigor possível através de dados de tráfego da empresa Estradas de Portugal, S.A., a distribuição para cada classe de pesados. Outros valores foram assumidos, nomeadamente a velocidade base de 30 km/h (18,64 mph). Apesar de ser possível determinar a temperatura média através do modelo EICM, um dos dados das misturas betuminosas solicitados pelo *software* MEPDG é a temperatura de referência. Para este campo foi indicada a temperatura de serviço das camadas betuminosas definidas no MACOPAV que depende da zona geográfica. Apenas foram definidas temperaturas de serviço para as classes de fundação F2 e F3. Para a classe de fundação F4 foram assumidos os valores da classe F3. Para o efeito, foi escolhida a zona de Coimbra para a qual foram definidos os valores apresentados no Quadro 4. Para cada parâmetro de estado foram definidos limites máximos que asseguram bons níveis de serviço (Quadro 5). Estes valores foram definidos em função de valores padrão definidos em cadernos de encargos de administrações rodoviárias.

Tabela 2: Estruturas dos pavimentos do MACOPAV

Pavimento	Camada de desgaste			Camada de base betuminosa			Camada sub-base granular		Solo de fundação		Solo natural	
	t_{CD} (cm)	V_{be} (%)	V_a (%)	t_{CB} (cm)	V_{be} (%)	V_a (%)	t_{CSB} (cm)	E (MPa)	t_{CSF} (cm)	E (MPa)	t_{SN} (cm)	E (MPa)
P1	4	12	4	6	9	7	20	200	100	60 – 150	∞	1000
P2	4	12	4	8	9	7	20	200	100	60 – 150	∞	1000
P3	4	12	4	12	9	7	20	200	100	60 – 150	∞	1000
P4	4	12	4	14	9	7	20	200	100	60 – 150	∞	1000
P5	5	12	4	14	9	7	20	200	100	60 – 150	∞	1000
P6	5	12	4	16	9	7	20	200	100	60 – 150	∞	1000
P7	4	12	4	18	9	7	20	200	100	60 – 150	∞	1000
P8	5	12	4	17	9	7	20	200	100	60 – 150	∞	1000
P9	5	12	4	19	9	7	20	200	100	60 – 150	∞	1000
P10	6	12	4	18	9	7	20	200	100	60 – 150	∞	1000
P11	5	12	4	20	9	7	20	200	100	60 – 150	∞	1000
P12	6	12	4	20	9	7	20	200	100	60 – 150	∞	1000
P13	5	12	4	23	9	7	20	200	100	60 – 150	∞	1000
P14	6	12	4	22	9	7	20	200	100	60 – 150	∞	1000
P15	6	12	4	24	9	7	20	200	100	60 – 150	∞	1000
P16	6	12	4	26	9	7	20	200	100	60 – 150	∞	1000

Tabela 3: Percentagem horária do Tráfego Médio Diário Anual de veículos pesados em Coimbra

Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
TMDAp (%)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,9	4,4	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
TMDAp (%)	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,0	3,8	2,6	1,5	1,5

Nota: TMDAp – Tráfego Médio Diário Anual de veículos pesados.

Tabela 4: Temperaturas de serviço para a zona Coimbra (°C)

Classe de fundação	Classe de tráfego					
	T6	T5	T4	T3	T2	T1
F2	27,5	28,2	27,7	27,3	27,4	27,1
F3	27,0	27,1	27,9	27,6	27,3	27,0

Tabela 5: Valores limite dos parâmetros de estado

Fendilhamento longitudinal (m/km)	Pele de crocodilo (m/km)	Rodeiras (mm)		IRI (mm/km)
		CB	Total	
200	20	15	20	3500

Nota: CB – camadas betuminosas.

A aplicação do *software* MEPDG tem como resultado final a criação de um ficheiro com todos os dados e resultados, apresentando, além de outros valores, os dados introduzidos inicialmente no *software* e os valores de comportamento do pavimento em termos de parâmetros de estado ao longo do período de vida útil. No Quadro 6 são apresentados os valores finais dos parâmetros de estado bem como os dados de tráfego ao fim de 20 anos.

As estruturas de pavimento do MACOPAV, resultantes da combinação entre a classe de tráfego e a classe de fundação, foram definidas com limites iguais para o dano acumulado (80% a 100%), pelo que utilizando este novo método de dimensionamento também deveriam apresentar valores semelhantes para os diferentes parâmetros de estado. Além dos valores apresentados no Quadro 6, também são apresentados as Figuras 3 a 7 para cada parâmetro de estado. Os valores do fendilhamento transversal não são apresentados porque são valores muito baixos em todas as situações.

Analisando os valores apresentados no Quadro 6 juntamente com a Figura 3, verifica-se que existe uma grande variação do valor do fendilhamento longitudinal, variando entre 1,0 e 40,7 m/km. Esta variação verifica-se sobretudo com a alteração da classe de fundação dentro da mesma classe de tráfego. A única exceção a esta grande variação encontra-se nos pavimentos da classe de tráfego T6, variando apenas entre 14,1 e 23,9 m/km. Verifica-se ainda que, para a vida útil de 20 anos, os valores estão bastante longe do limite máximo (200 m/km).

Em termos de pele de crocodilo (Figura 4), os valores variam entre 0,38 e 2,91%. Na sua globalidade, os valores não variam muito e são sempre valores reduzidos, ficando muito longe do limite máximo (20 m/km). Verifica-se, ainda, tal como acontece com o fendilhamento longitudinal, que o valor da pele de crocodilo cresce bastante de ano para ano, não tendo uma variação linear.

Relativamente às rodeiras, a variação do seu valor devido apenas à contribuição das camadas betuminosas (Quadro 6 e Figura 5) é maior do que a variação do seu valor devido à contribuição de todas as camadas do pavimento (Quadro 6 e Figura 6). O valor das rodeiras devido apenas à contribuição das camadas betuminosas varia entre 5,1 e 15,7 mm, ultrapassando o valor máximo de 15,0 mm apenas num dos casos (P12 correspondente à combinação T1 e F4).

Tabela 6: Valores dos parâmetros de estado ao fim de 20 anos

Classes		P	TMDA _p	t (%)	NAVP (20 anos)	Fendilhamento longitudinal (m/km)	Pele de crocodilo (%)	Rodeiras (mm)		IRI (mm/km)
T	F							CB	Total	
T6	F2	P3	150	3	$1,47 \times 10^6$	14,1	0,81	5,1	12,1	1578
	F3	P2	150	3	$1,47 \times 10^6$	23,9	2,11	5,8	11,9	1591
	F4	P1	150	3	$1,47 \times 10^6$	16,0	2,91	5,8	11,4	1589
T5	F2	P7	300	3	$2,94 \times 10^6$	4,6	0,40	7,1	13,5	1605
	F3	P4	300	3	$2,94 \times 10^6$	23,1	0,82	7,6	12,7	1594
	F4	P3	300	3	$2,94 \times 10^6$	29,4	1,16	7,6	12,2	1583
T4	F2	P11	500	4	$5,44 \times 10^6$	3,0	0,41	9,1	15,2	1651
	F3	P6	500	4	$5,44 \times 10^6$	24,4	0,78	10,9	15,7	1670
	F4	P5	500	4	$5,44 \times 10^6$	40,7	1,05	11,2	15,5	1665
T3	F2	P13	800	4	$8,70 \times 10^6$	1,8	0,38	10,7	16,8	1687
	F3	P9	800	4	$8,70 \times 10^6$	16,8	0,64	12,4	17,3	1705
	F4	P8	800	4	$8,70 \times 10^6$	36,4	0,82	13,2	17,3	1706
T2	F2	P15	1200	5	$1,45 \times 10^7$	1,0	0,43	9,9	15,7	1665
	F3	P12	1200	5	$1,45 \times 10^7$	11,2	0,65	12,1	16,7	1690
	F4	P10	1200	5	$1,45 \times 10^7$	33,9	0,83	13,9	17,8	1719
T1	F2	P16	2000	5	$2,42 \times 10^7$	1,1	0,52	11,2	17,0	1697
	F3	P14	2000	5	$2,42 \times 10^7$	11,9	0,76	14,5	19,1	1750
	F4	P12	2000	5	$2,42 \times 10^7$	35,4	0,90	15,7	19,6	1765

Notas: T – tráfego; F – fundação; P – pavimento; NAVP – número acumulado de veículos pesados; CB – cam. betuminosas.

Considerando todas as camadas do pavimento, o valor das rodeiras varia entre 11,4 e 19,6 mm, sendo este o parâmetro de qualidade que se aproxima mais do limite máximo (20 mm). Tanto para as rodeiras devido apenas à contribuição das camadas betuminosas como para as rodeiras totais, o seu valor não varia muito dentro da mesma classe de tráfego. Relativamente a este parâmetro (rodeiras) já se verifica uma menor variabilidade dos valores, tal como era esperado. Em relação ao IRI (Quadro 6 e Figura 7), o seu valor varia entre 1578 e 1765 mm/km, sendo o parâmetro com valores mais homogêneos. Verifica-se ainda que, para a vida útil de 20 anos, os valores estão bastante longe do limite máximo considerado (3500 mm/km). Estes resultados permitem concluir que, considerando o novo método de dimensionamento de pavimentos da AASHTO, o parâmetro mais condicionante na região de Coimbra corresponde às rodeiras, já que apresentam valores elevados, muito próximos do limite máximo admissível de 20,0 mm.

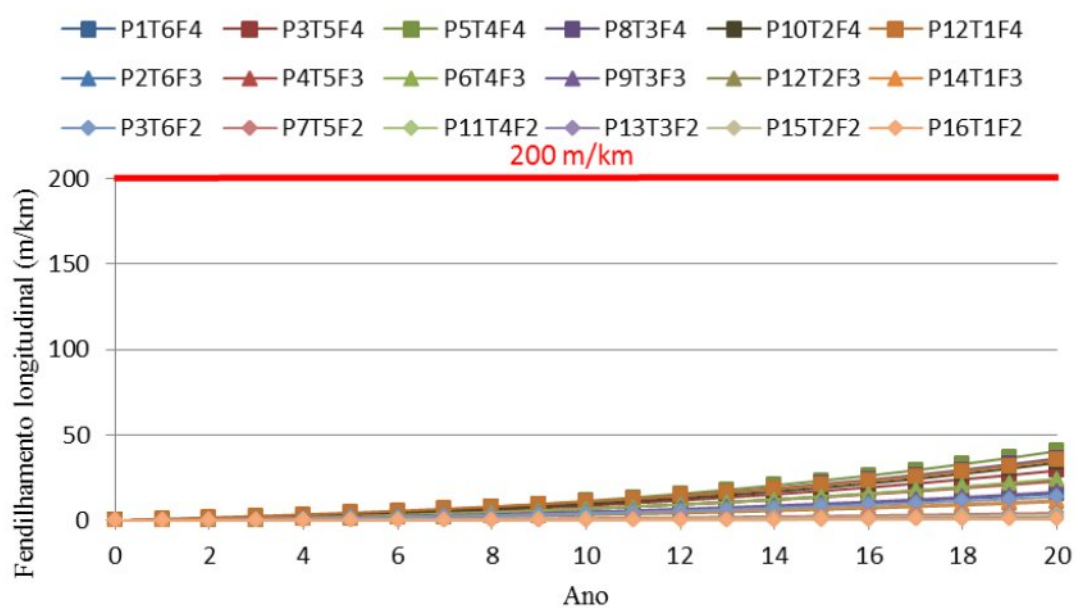


Figura 3: Evolução do valor do fendilhamento longitudinal durante o período de vida útil

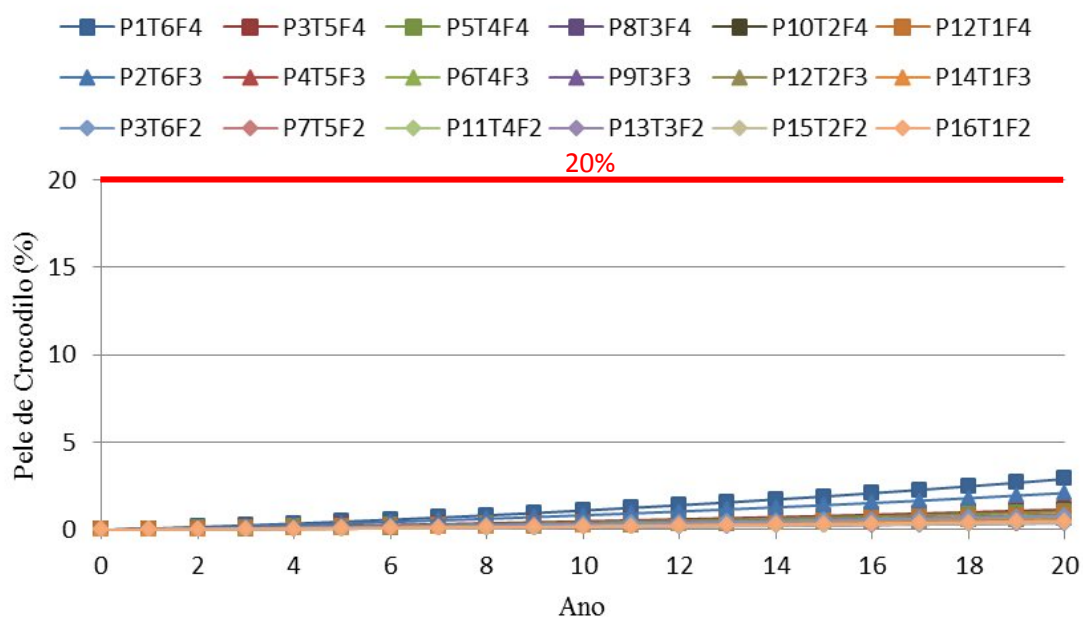


Figura 4: Evolução do valor da pele de crocodilo durante o período de vida útil

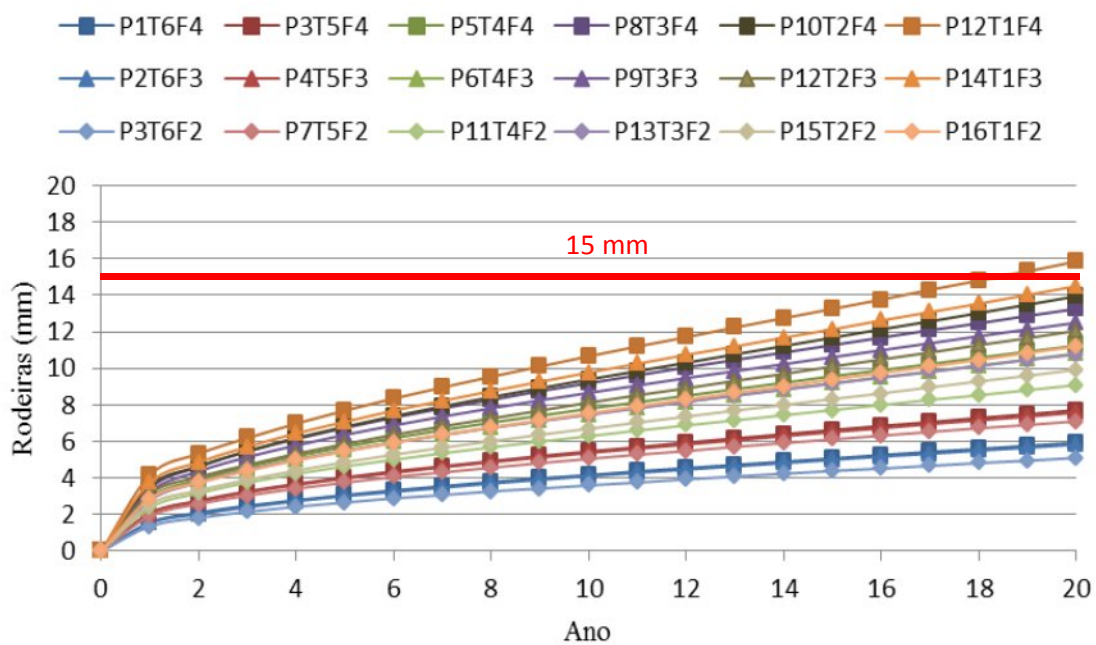


Figura 5: Evolução do valor das rodeiras das camadas betuminosas durante o período de vida útil

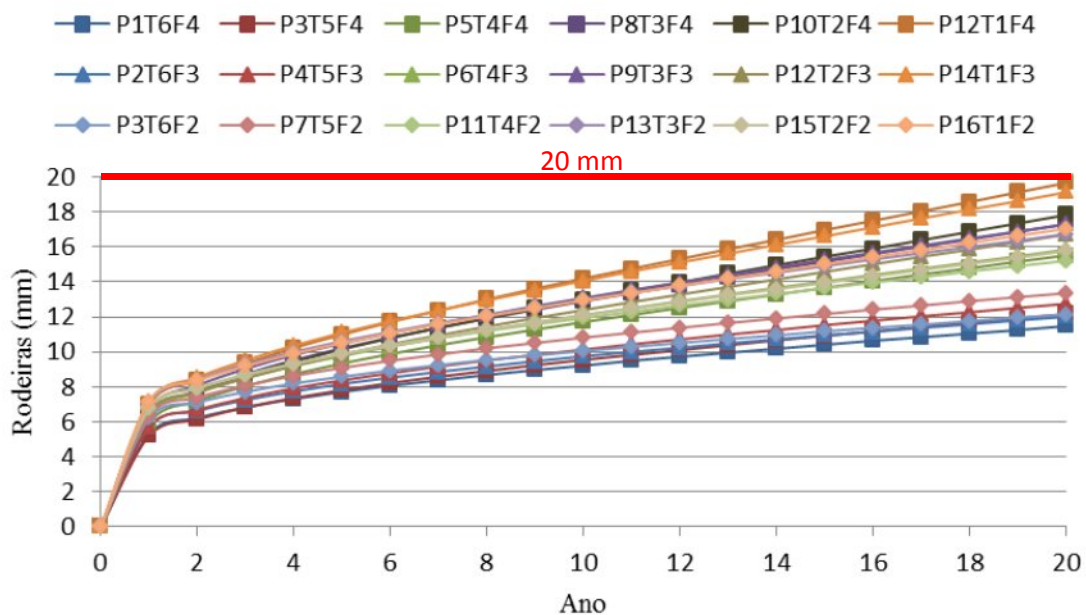


Figura 6: Evolução do valor das rodeiras totais durante o período de vida útil

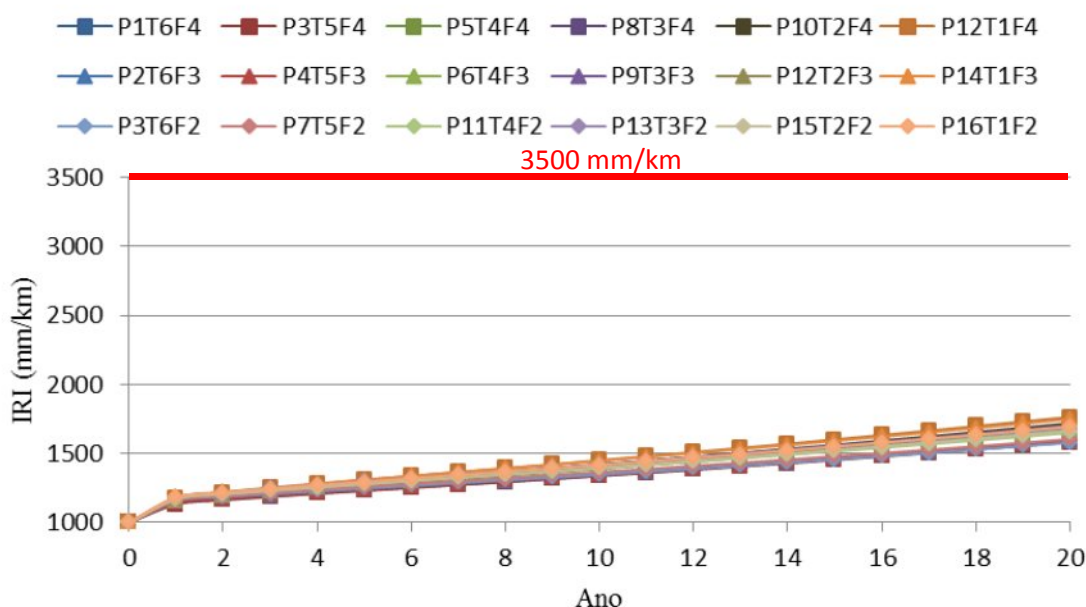


Figura 7: Evolução do valor do IRI durante o período de vida útil

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em Portugal, no dimensionamento de pavimentos rodoviários tem-se utilizado preferencialmente o método da Shell. O Manual de Conceção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional (MACOPAV) tem-se utilizado essencialmente no pré-dimensionamento de pavimentos rodoviários considerando dados de tráfego, dados sobre a fundação dos pavimentos, dados sobre os materiais de pavimentação e dados climáticos muito gerais. Em termos de gestão da conservação e reabilitação dos pavimentos ou de previsão da evolução do valor de cada parâmetro de estado dos pavimentos (fendilhamento longitudinal, pele de crocodilo, rodeiras, irregularidade longitudinal, etc.) tanto o método da Shell como o MACOPAV pouca ajuda podem dar às administrações rodoviárias.

O novo método de dimensionamento de pavimentos da AASHTO pode ser bastante útil para que as administrações rodoviárias possam acompanhar a evolução dos valores dos parâmetros de estado dos pavimentos com o objetivo de planearem as intervenções de conservação ou reabilitação de modo a cumprirem o que está definido nos contratos de concessão e nos Planos de Controlo de Qualidade. No entanto, a sua aplicação exige uma enorme quantidade de dados, principalmente dados climáticos, que é necessário recolher e organizar em ficheiros no formato próprio. Não será necessário um grande investimento a nível financeiro, apenas uma melhor otimização dos recursos disponíveis, sendo muito importante a colaboração entre o Instituto Português do Mar e da Atmosfera e a Estradas de Portugal, incluindo as restantes administrações rodoviárias. Também é importante fazer um esforço adicional na recolha de dados de tráfego, principalmente na distribuição de cada classe de pesados. Uma distribuição afastada da realidade implicará uma previsão muito diferente da que ocorrerá ao longo da vida útil do projeto.

O novo método da AASHTO foi desenvolvido com o objetivo de se tornar o método de referência mundial. Espera-se que em Portugal, além das Universidades, também as

administrações rodoviárias e os projetistas de pavimentos iniciem a sua utilização no dimensionamento de novos pavimentos e na reabilitação de pavimentos degradados. Vários tipos de análises podem e devem ser efetuadas. Por exemplo, variando os níveis de tráfego, as características dos materiais e a aplicação a várias zonas do país com diferentes condições climáticas. Deverá, ainda, ser efetuada uma análise económica das estruturas de pavimento entrando com os custos de construção, os custos de conservação, os custos para os utentes e o valor residual dos pavimentos (Santos e Ferreira, 2012, Ferreira e Santos, 2012, Santos e Ferreira, 2013). Deste modo, será possível verificar quais os parâmetros de estado dos pavimentos mais condicionantes para cada região do país e otimizar as estruturas de pavimentos novos e otimizar as espessuras de camadas de reforço de pavimentos degradados.

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*, participando pelo Fundo Comunitário Europeu FEDER.

REFERÊNCIAS

- AASTHO (2008), *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide*, Interim Edition: A Manual of Practice, 1-204, Washington, DC.
- AASTHO (1993), *Guide for design of pavement structures*. American Association of State highways and Transportation Officials, 1-640, Washington, DC.
- Saha, J., Nassiri, S., Soleymani, H. e Bayat, A. (2012), A comparative study between the Alberta Transportation Flexible Pavement Design and the MEPDG, *International Journal of Pavement Research and Technology*, 5(6), 379-385.
- El-Badawy, S., Bayomy, F. and Fugit, S. (2012), Traffic characteristics and their impact on pavement performance for the implementation of the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide in Idaho, *International Journal of Pavement Research and Technology*, 5(6), 386-394.
- Li, Q., Wang, K. and Hall, K. (2010), Verification of virtual climatic data in MEPDG using the LTPP Database, *International Journal of Pavement Research and Technology*, 3(1), 10-15.
- JAE (1995), Manual de concepção de pavimentos para a rede rodoviária nacional, Junta Autónoma de Estradas, Lisboa, Portugal, 1-54.
- Shell (1978), Shell pavement design manual – asphalt pavements and overlays for road traffic, *Shell International Petroleum Company Ltd.*, London, UK.
- Brunton, J., Brown, S. and Pell, P. (1987), Developments to the Nottingham analytical design method for asphalt pavements. *Proceedings of the 6th International conference on structural design of asphalt pavements*. Ann Arbor, MI: University of Michigan, Vol. 1, 366-377.
- Asphalt Institute (2001), *Thickness design: asphalt pavements for highways and streets*. Lexington, KY: Asphalt Institute, 1-98.

- Branco, F., Pereira, P. e Picado-Santos, L. (2006), *Pavimentos Rodoviários*, Almedina, Coimbra.
- Santos, J. and Ferreira, A. (2012), Pavement design optimisation considering costs and preventive interventions, *Journal of Transportation Engineering*, American Society of Civil Engineers, 138(7), 911-923.
- Ferreira, A. and Santos, J. (2012), Life-cycle cost analysis system for pavement management at project level: sensitivity analysis to the discount rate, *International Journal of Pavement Engineering*, 1-19, Published online: 03 September 2012, DOI: 10.1080/10298436.2012.719618.
- Santos, J. and Ferreira, A. (2013), Life-cycle cost analysis for pavement management at project level, *International Journal of Pavement Engineering*, 14(1), 71-84.