

# Aplicação do Método Empírico-mecanicista da AASHTO ao dimensionamento de pavimentos em Portugal

Bahareh Tavallae<sup>1</sup>, Luís Guilherme de Picado Santos<sup>2</sup>, José Manuel Coelho das Neves<sup>3</sup>

1. Estudante de doutoramento, CESUR-CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, Email: tavallae05@gmail.com

2. Professor Catedrático, CESUR-CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal

3. Professor Auxiliar, CESUR-CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal

---

## Resumo

*O principal objectivo do trabalho que enquadra este artigo é abraçar o desafio de definir o quadro de aplicação dum abordagem empírico-mecanicista (E-M) nova, desenvolvida pela AASHTO<sup>1</sup>, à realidade de pavimentos portugueses, estabelecendo esse quadro com os resultados da comparação com a abordagem usual em Portugal (uso do método da SHELL). O método da AASHTO otimiza o dimensionamento da estrutura para um determinado conjunto de condições relacionadas com tráfego, clima, material e fundação, até satisfazer alguns critérios específicos de desempenho para os níveis de fiabilidade selecionados. Concluiu-se que os dimensionamentos produzidos pelas duas abordagens não são comparáveis, sendo o método da AASHTO mais conservador quando usados dados de partida iguais e resultantes de informação proveniente da caracterização dum secção da rede portuguesa feita com informação obtida também do controlo de qualidade da sua construção. Há, portanto, ainda um conjunto de quadros de aplicação que é preciso desenvolver para condições específicas portuguesas de modo a considerar que estão reunidas as condições para se usar o método da AASHTO em toda a sua extensão.*

---

**Palavras-chave:** Pavimentos rodoviários flexíveis, dimensionamento, método da Shell, AASHTOWare Pavement ME Design, condições de aplicabilidade.

## 1 INTRODUÇÃO

Um método de dimensionamento de pavimentos tem como objectivo encontrar a estrutura que melhor minimize o custo no ciclo de vida, nomeadamente através da maximização do desempenho estrutural do pavimento. Esta é a razão porque muitas administrações procuram definir a melhor abordagem através da comparação das disponíveis aplicadas à realidade de implementação da sua tecnologia.

A prática corrente em Portugal é usar o método da Shell para o dimensionamento de pavimentos, levando em conta os critérios de ruína de fadiga e deformação permanente. Este método modela a estrutura do pavimento como um sistema linear elástico de múltiplas camadas. O software BISAR associado a este método, calcula tensões e deformações em qualquer ponto do pavimento proposto sob qualquer combinação de cargas, verticais ou horizontais, na superfície, podendo ainda considerar deslizamento entre camadas (falta de aderência entre elas). Os dados necessários são respeitantes à caracterização das camadas (módulo de rigidez e coeficiente de Poisson), à sua espessura, o número e a posição das cargas e as características da interface (“shear spring compliance”) se for necessário dimensionar o pavimento sem que as camadas sejam completamente aderentes [1].

O critério de ruína de fadiga no método da SHELL é admitido como causado pela repetição da extensão de tração na base das camadas ligadas (onde é máxima) devida às cargas. A relação entre esta extensão e o número de vezes que se pode repetir para um determinado material betuminoso e constituição do pavimento é dada pela equação (1).

---

<sup>1</sup> American Association of State Highway and Transportation Officials.

$$\varepsilon_t = (0,856 \times V_b + 1,08) \times E^{-0,36} \times N^{-0,2} \quad (1)$$

onde:

$\varepsilon_t$ : Extensão de tração na base das camadas betuminosas (m/m)  
 $N$ : Número admissível de repetições do eixo que provocou  $\varepsilon_t$   
 $V_b$ : Percentagem volumétrica de betume da mistura onde  $\varepsilon_t$  se dá  
 $E$ : módulo de rigidez da mistura betuminosa onde se dá  $\varepsilon_t$  (Pa).

O critério de ruína de deformação permanente em todas as camadas do pavimento é admitido como controlado pela extensão de compressão no topo do solo de fundação, por ser a parte mais frágil do conjunto pavimento/fundação. A relação entre esta extensão de compressão no topo da fundação e o número de vezes que se pode repetir para uma determinada constituição do pavimento é dada pela equação (2).

$$\varepsilon_z = k_s \times N^{-0,25} \quad (2)$$

onde:

$\varepsilon_z$ : Extensão de compressão no topo do solo de fundação (m/m)  
 $N$ : Número admissível de repetições do eixo que provocou  $\varepsilon_z$

$k_s$ :  $\begin{cases} 2,8 \times 10^{-2} & \text{para 50\% de probabilidade de sobrevivência} \\ 2,1 \times 10^{-2} & \text{para 85\% de probabilidade de sobrevivência} \\ 1,8 \times 10^{-2} & \text{para 90\% de probabilidade de sobrevivência} \end{cases}$

Como uma das camadas da secção da estrada que se vai dar como exemplo é tratada com cimento, solo-cimento, usou-se como critério de ruína nesta camada a fadiga, controlada pela tensão de tração na base da camada de solo-cimento. A relação entre esta extensão e o número de vezes que se pode repetir para um determinado material betuminoso e constituição do pavimento é dada pela equação (3) [2, 3, 4].

$$\frac{\sigma_t}{\sigma_{rf}} = 1 + a \times \log(N_{adm}) \quad (3)$$

$$\sigma_{rf} = 1,5 \times \sigma_{cd} \quad (4)$$

onde:

$\sigma_t$ : Tensão de tração na base da camada com cimento (Mpa)  
 $\sigma_{cd}$ : Resistência à compressão diametral considerada (Mpa)  
 $\sigma_{rf}$ : Resistência à tração em flexão de vigas considerada (Mpa)  
 $a$ : Constante,  $-0,06 \leq a \leq -0,1$   
 $N_{adm}$ : Número admissível de repetições do eixo que provocou  $\sigma_t$

O principal objectivo deste artigo é aplicar uma abordagem empírico-mecanicista (E-M) nova, desenvolvida pela AASHTO, à realidade de pavimentos portugueses dimensionados pelo método da SHELL e comparar os resultados para ajudar a definir um quadro de aplicação da nova metodologia à realidade portuguesa.

O método da AASHTO começa com o projeto NCHRP Project 1-37A (2004) que desenvolve o Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (MEPDG) aplicável a pavimentos flexíveis e rígidos. O MEPDG fazia a optimização da dimensão das camadas para um tipo de pavimento adequado, analisando por iteração para uma combinação de tipos de camadas, sua espessura, restrições específicas da tecnologia a usar, tráfego, condições climáticas, tipo de materiais e sua caracterização, até satisfazer um conjunto de critérios de desempenho e de níveis de eficiência [5]. Atualmente o MEPDG é aplicado através dum software, o AASHTOware Pavement ME

Design, doravante designado por AASHTOware, que envolve algumas melhorias em relação ao original, nomeadamente no tratamento da caracterização dos materiais, dos espectros de carga e dados climáticos [6].

De qualquer modo, a aplicação do método da AASHTO está sujeita a restrições relacionadas com o tipo, a qualidade e a quantidade de informação disponível o que dificulta a calibração e a validação dos seus modelos para aplicação à nossa realidade.

## 2 PREPARAÇÃO DE DADOS PARA O “ME DESIGN”

### 2.1 Dados necessários e a sua disponibilidade

Resumidamente a informação seguinte é necessária para poder fazer um ensaio de dimensionamento pelo ME Design:

1. Caracterização das condições de fundação do local;
2. Propriedades dos materiais e camadas;
3. Tráfego;
4. Condições climáticas e ambientais.

Foram escolhidas para cumprir a análise comparativa três secções de estrada da rede nacional para 3 locais diferentes e diferentes tráfegos e tipos de secção transversal, a saber:

- i. IC3\_Variante de Tomar, Nó da Atalaia (perfil de autoestrada com pavimento flexível contendo camada de solo-cimento);
- ii. IP6\_Peniche-Atouguia da Baleia (perfil de autoestrada com pavimento flexível);
- iii. EN254\_Variante de São Miguel de Machede (Estrada nacional com duas vias dois sentidos e pavimento flexível).

Para os 3 primeiros tipos de informação necessária, esta pode ser fornecida através dos registos da IP (Infraestruturas de Portugal) em relação a obras existentes. Deve sublinhar-se que esta informação é complicada de extrair e usar uma vez que o registo é em papel, há várias lacunas neste tipo de registos e implica alguma manipulação estatística para se poder obter os valores necessários ao método. Alguns casos, não tão poucos assim, implica mesmo o uso dos valores por defeito do método uma vez que não se consegue a informação.

A preparação para o tipo 4 de dados foi conseguida através da ferramenta MERRA (Modern Era-Retrospective Analysis for Research and Applications) [7], a qual permitiu a consideração de dados climáticos para 4 regiões representativas do país e para um período alargado (1/1/1979 a 5/31/2012). Cada ficheiro de dados para cada localização contém os dados geográficos da estação considerada e os dados horários da temperatura do ar, da velocidade do vento, da percentagem do dia com sol, da precipitação e da humidade relativa [8]. Esta informação foi adicionada ao AASHTOware de modo a poder ser usada na análise de comparação para as regiões onde as secções de estudo estavam situadas.

### 2.2 Preparação da informação para as 3 secções de Estrada consideradas

A preparação da informação para as 3 secções consideradas na análise foi um processo longo e complicado pelas razões já descritas. De seguida descreve-se a secção que corresponde ao **IC3\_Variante de Tomar\_Nó da Atalaia**. Para as outras o procedimento foi semelhante.

#### 2.2.1 Descrição da secção

- Velocidade de operação de pesados: 90 km/h;
- Comprimento da totalidade da secção: 8,235 km;
- Perfil transversal [9]: 2x (1,0+3,75+3,75+3,0), respectivamente berma esquerda (1,0 m), duas vias de rodagem (3,75m cada) e berma direita;
- Pavimento: flexível (vida útil de 20 anos);
- Data de início da construção: setembro de 2004;

- Data da construção do pavimento: maio de 2006;
- Abertura ao tráfego: setembro de 2006.

### 2.2.2 Seleção da secção de estudo

A seleção da secção da estrada que efetivamente se analisou obedeceu aos seguintes princípios:

1. Deve ser secção corrente (sem obras de arte e intersecções);
2. Existência de dados sobre o dimensionamento do pavimento e provenientes do controlo de qualidade dos materiais que compõem as camadas construídas;
3. A existência duma inclinação longitudinal relativamente baixa, de modo a poder admitir tráfego pesado rolante a velocidade próxima da velocidade base;
4. Existência de pelo menos uma zona em escavação e outra em aterro.

Seguindo as especificações que se descreveram, no caso do IC3 foram estabelecidas duas secções: Pk 4+400 ao 5+400 e PK 5+800 ao 7+000.

### 2.2.3 Seleção para o método da AASHTO dos critérios de eficiência e de dimensionamento

Os valores de referência que dizem respeito a critérios de eficiência e de dimensionamento a respeitar têm muito a ver com a política (níveis de exigência) que uma administração tem para a sua rede, seja em termos de pavimentos novos ou da sua reabilitação.

No Quadro 1 mostram-se os critérios limite cuja definição é exigida pelo AASHTOware bem como a eficiência que se exige na verificação de cada critério (90 % significa que a probabilidade das condições limite serem ultrapassadas é de 10%) [5]. Mostram-se os valores por defeito adotados pelo software e aqueles que foram usados na análise para o IC3.

Quadro 1 – Valores dos critérios de dimensionamento e da eficiência exigida na análise, usados por defeito no AASHTOware e aqueles que foram usados na análise do IC3

Critérios de dimensionamento	Limites		Eficiência exigida (%)	
	Valores por defeito	IC3	Valores por defeito	IC3
IRI inicial (m/km)	1	1,5	-	-
IRI final (m/km)	2,7	4	90	90
Fendilhamento por fadiga a partir do topo das camadas betuminosas (m/km)	378,8	378,8	90	90
Fendilhamento por fadiga a partir da base das camadas betuminosas (%)	25	50	90	90
Fendilhamento térmico nas camadas betuminosas (m/km)	189,4	189,4	90	90
Deformação permanente - profundidade de rodeira total (mm)	19	20	90	90
Deformação permanente – só camadas betuminosas (mm)	6	10	90	90
Camada estabilizada com ligantes hidráulicos – fadiga por fratura (%)	25	25	90	90

Os valores do Quadro 1 foram adotados tendo em conta a experiência corrente relativa ao dimensionamento de pavimentos em Portugal e, claro está, os valores por defeito indicados pelo software.

Noutro sentido, o tráfego estimado pelo AASHTOware leva em linha de conta princípios de distribuição de tráfego por classes e respectivos carregamentos por eixo adequados à realidade norte-americana. Isto significou que para usar um número equivalente de eixos padrão ao usado no dimensionamento real da secção, o qual

justificou a solução de construção, houve que fazer a determinação exata da agressividade do tráfego que o software considera.

Acresce que para além do tráfego, há outras condições que têm de ser semelhantes para as duas abordagens de forma a poder fazer a comparação proposta entre os dois métodos de dimensionamento. Assim teve que fazer equivaler-se a temperatura de serviço nas camadas betuminosas e a influência que o indicador de humidade nas camadas granulares e no solo de fundação tem nas suas características mecânicas.

#### 2.2.4 Estruturas comparadas

No Quadro 2 mostra-se a estrutura que foi adotada no IC3 para efeitos de construção e proveniente de dimensionamento com o método da Shell [10].

Quadro 2 – Estrutura dimensionada e construída no IC3

Camada	Espessura h(cm)	Módulo de rigidez E(MPa)	Coefficiente de Poisson
Desgaste em betão betuminoso	5	4500	0,35
Ligação em macadame betuminoso	9	4500	0,35
Base em macadame betuminoso	11	4500	0,35
Sub-base em ABGE	20	300	0,35
Leito do pavimento em Solo-cimento	20	2000	0,25
Solo de fundação	Semi-infinita	60	0,4

Com as opções possíveis de usar no AASHTOware a estrutura considerada para correr esta abordagem é mostrada no Quadro 3.

Quadro 3 – Estrutura de análise considerada no âmbito do AASHTOware

Camada	Espessura h(cm)	Módulo de rigidez E(MPa)	Coefficiente de Poisson	$1/E_t$ ( $m^3/N$ )
Desgaste em betão betuminoso	5	4500	0,35	0
Ligação+Base em macadame betuminoso	20	4500	0,35	0
Sub-base em ABGE	20	300	0,35	$2 \times 10^{-9}$
Leito do pavimento em Solo-cimento	20	2000	0,25	$2 \times 10^{-9}$
Solo de fundação 1	30	60	0,4	0
Solo de fundação 2	Semi-infinita	60	0,4	0

$1/E_t$  – Inverso do módulo de rigidez transversal (shear spring compliance)

Como se pode verificar, juntou-se as características das camadas de ligação e de base betuminosas porque não havia suficiente informação do controlo de qualidade da construção para detalhar de outra forma, e teve de considerar-se o solo de fundação com duas camadas das mesmas características porque assim é exigido pelo AASHTOware de forma a tentar modelar melhor as características de humidade (e de capacidade drenante) da fundação.

#### 2.2.5 Dados climáticos

Foram geradas 4 ficheiros \*.hcd pelo para as seguintes regiões:

- 95001.hcd – Coimbra;
- 95002.hcd – Porto;
- 95003.hcd – Beja;
- 95004.hcd – Lisboa.

Para o IC3 uma estação virtual foi criada pelo AASHTOware, combinando a informação para Coimbra e Lisboa (as duas regiões para as quais há dados e que estão mais próximas da secção em causa).

#### 2.2.6 Dados de tráfego

São precisos no essencial quarto tipo de dados para poder cumprir a exigência do AASHTOware [11]:

1. Volume de tráfego médio diário anual (TMDA).
2. Factores de ajustamento:
  - a. Ajustamento mensal (basicamente para calcular o TMDA mensal);
  - b. Distribuição por classe de veículos;
  - c. Distribuição horária de pesados;
  - d. Factor de crescimento do tráfego.
3. Distribuição de carga por tipo de eixo em cada veículo
4. Dados gerais:
  - a. Número de eixos por pesado;
  - b. Configuração de cada eixo;
  - c. Rodado padrão.

Perante o tipo de informação disponível, a qual não preenche diretamente a requerida pelo AASHTOware, foi necessário preencher os requisitos de modo (desde o TMDA) a que no final o número de eixos padrão que afecta o dimensionamento fosse o mesmo pelas duas abordagens. No Quadro 4 e só como informação complementar, mostra-se os valores de TMDA de pesados para diversas secções do IC3 para o ano de abertura ao tráfego.

Quadro 4 - TMDA de pesados no IC3 para o ano de abertura ao tráfego

Origem	Final	Ano de abertura	Taxa de crescimento média	TMDA no ano de abertura
Atalaia (IP6)	Atalaia (EN110)	2006	1,078472	837
Atalaia (EN110)	Asseiceira	2006	1,080238	520
Asseiceira	Santa Cita (EN110)	2006	1,081248	526
Santa Cita (EN110)	Valdonas	1/3/2013	1,07312	760
Valdonas	A13/IC9	1/3/2013	1,068273	679
A13/IC9	Alviobeira	21/12/12	1,074795	464

#### 2.2.7 Propriedades dos materiais

No que respeita às propriedades dos materiais, foram usados no AASHTOware os valores médios da informação que estava no registo do controlo de qualidade dos trechos eleitos para fazer a comparação (no caso do IC3 para os trechos do km4+400 ao km5+400 e do km5+800 ao km7+000). Os quadros 5 e 6 mostram um exemplo do tipo de preparação da informação necessária.

O AASHTOware integra 3 níveis de análise [5] que dependem da qualidade dos dados para poderem ser efetivados:

- O nível 1 compreende o mais alto nível de fiabilidade e o mais baixo nível de incerteza para os dados, sendo geralmente usado em secções com muito elevado tráfego pesado ou com exigência de não se verificar uma saída de serviço precoce por razões de segurança ou de perturbação do tráfego em zonas congestionadas ou próximo disso. São ainda exigíveis dados de caracterização em laboratório e eventualmente em trechos experimentais para os materiais a usar no pavimento como a curva mestra para módulo de rigidez, módulo de deformabilidade não linear para os materiais não ligados, entre

outros. O tráfego de dimensionamento tem de ser o resultante dum estudo próprio para a secção, envolvendo a distribuição por classes, por exemplo.

- O nível 2 envolve um nível de fiabilidade intermédio para os dados, sendo usado quando não há disponíveis os recursos para obter a informação para o nível 1. A informação para este nível pode ser a que provém da experiência de aplicação dos materiais eventualmente completada com algum nível de caracterização laboratorial.
- O nível 3 é o de mais baixa exigência em termos de qualidade dos dados a usar, sendo para ser usado em estradas de baixo volume de tráfego. Os dados são exclusivamente estimados com base na experiência de execução de pavimentos semelhantes e eventualmente algumas relações empíricas que provaram ser aplicáveis.

Quadro 5 – Parâmetros usados para definir as variáveis para o uso do ASSHTOware no IC3, parte 1

Variáveis	Tipo de dado		Valores = média de duas secções			Unidades
	R	SDV	Nível 1	Nível 2	Nível 3	
<b>Caracterização das camadas</b>						
Camada de desgaste em BB						
Espessura da camada	Obrigatório		50			mm
Características da mistura						
Baridade aparente	SDA	2400	2343			Kgf/m <sup>3</sup>
% de betume, Pb			5,1			%
Teor em betume, tb			5,37			%
Peso específico do betume					10,3 (admitido)	Kgf/m <sup>3</sup>
Peso específico do agregado, $G_a$					27 (admitido)	Kgf/m <sup>3</sup>
Porcentagem volumétrica de betume na construção, $V_b$	SDA	11,6	$= (1 - V_v/100) * (G_a * t_b/100) / (G_a * t_b/100 + G_b) = 11,6$			%
Porosidade na construção, $V_v$	SDA	7	6,3			%
densidade máxima teórica, $G_t$			2,501			-
Densidade específica aparente, $G_m$			2,343			-
Cociente de Poisson			0,35			
O cociente de Poisson é calculado?	SDA	0,35	No			-

R – Requirement; SDV – Software Default Value; SDA - Software Default Available

No que respeita ao IC3, os dados são tipicamente nível 1 embora alguns sejam somente enquadráveis no nível 3, como se pode verificar no Quadro 5. Em todas as situações existindo o nível mais elevado de qualidade de informação é este que foi usado nos cálculos.

Quadro 6 – Parâmetros usados para definir as variáveis para o uso do ASSHTOware no IC3, parte 2 (continuação)

Variáveis	Tipo de dado		Valores = média de duas secções			Unidades
	R	SDV	Nível 1	Nível 2	Nível 3	
Módulo de rigidez, $E_{HMA}$ (camadas novas)						MPa
Granulometria da mistura % passados no # 19 mm % passados no # 9,5 mm % passados no # 4,75 mm % passados no # 0,075 mm	Required		99,5 74,9 48,5 3,3			%
Volume de vazios no esqueleto do agregado (VMA)	SDA	18,6	17,9			%
Temperatura de referência	SDA	21,1	25,8 ([12])			°C
<b>Betume asfáltico</b>						
Penetração a 25°C	Required			50/70 ([12])		
Resistência à tracção indirecta a -10 °C, TS	SDA	DoMT			2,59 (por defeito)	MPa
Condutividade térmica	SDA	1,16				Watt/meter-Kelvin
Capacidade térmica	SDA	963				joule/kg-Kelvin

R – Requirement; SDV – Software Default Value; SDA – Software Default Available; DoMT – Depends on material type

### 3 COMPARAÇÃO ENTRE AS DUAS ABORDAGENS

Nos quadros 7 a 9 mostram-se os resultados da análise efetuada pelo método da SHELL para uma estrutura mostrada no Quadro 3 e usando os critérios de ruína explicitados na secção 1, expressos pelas equações (1) a (3). O número acumulado de eixos-padrão considerado para dimensionamento foi de  $37,1 \times 10^6$ , o qual também foi o que finalmente foi considerado nos cálculos com o AASHTOware, tendo-se para tal que manipular os cálculos internos deste software de forma a que no final o tráfego pudesse ser representado por valores iguais em ambas as abordagens.

Quadro 7 – Resultados para o critério de fadiga nas camadas betuminosas, equação (1), pelo método da SHELL

Variáveis	Valores
Extensão de tração ( $\epsilon_t$ ) na base das camadas betuminosas	7,08E-05
Percentagem volumétrica de betume (fase de construção) $V_b$ (%)	9,94
Módulo de rigidez E (Pa)	4,50E+09
Número admissível de repetições do eixo que provocou $\epsilon_t$	1,91E+08
Dano (%)	19

O Quadro 10 mostra a síntese do cálculo pelo AASHTOware. O “Limite” que se pode ver no Quadro 10 é o definido para o IC3 no Quadro 1 enquanto que o “Calculado” é o resultado da aplicação do AASHTOware depois de analisada a estrutura com os dados descritos na secção anterior. Nesta situação pode admitir-se que para os critérios indicados o dano total pode ser calculado pela equação (5).



Quadro 8 – Resultados para o critério de deformação permanente, equação (2), pelo método da SHELL

Variáveis	Valores
Extensão de compressão( $\epsilon_z$ ) no topo da fundação	-1,11E-04
$k_s$ (95% de probabilidade de sobrevivência)	1,80E-02
Número admissível de repetições do eixo que provocou $\epsilon_z$	6,99E+08
Dano (%)	5

Quadro 9 – Resultados para o critério de fadiga na camada de solo-cimento, equação (3), pelo método da SHELL

Variáveis	Valores
Tensão de tração ( $\sigma_t$ ) na base da camada de solo-cimento	9,67E-02
Resistência à compressão diametral considerada (Mpa)	0,25
Resistência à tração em flexão de vigas considerada (Mpa)	0,38
Constante (usado o valor médio)	-0,08
Número admissível de repetições do eixo que provocou $\sigma_t$	18,88E+08
Dano (%)	2

Quadro 10 – Resultado dos cálculos da estrutura do IC3 considerada usando o AASHTOware

Critérios de dimensionamento	Limites		Eficiência exigida (%)	
	Limite IC3	Calculado	Limite IC3	Calculado
IRI final (m/km)	4	2,95	90	99,89
Fendilhamento por fadiga a partir do topo das camadas betuminosas (m/km)	378,8	51,79	90	100
Fendilhamento por fadiga a partir da base das camadas betuminosas (%)	50	1,49	90	100
Fendilhamento térmico nas camadas betuminosas (m/km)	189,4	5,15	90	100
Deformação permanente - profundidade de rodeira total (mm)	20	17,04	90	99,25
Deformação permanente – só camadas betuminosas (mm)	10	8,29	90	98,55
Camada estabilizada com ligantes hidráulicos – fadiga por fratura (%)	25	0,38	90	100

$$Dano (\%) = \frac{Valor\ Calculado}{Valor\ Limite} \times 100 \quad (5)$$

Por razões de descrição completa das condições de análise, sublinhe-se que a temperatura equivalente nas camadas betuminosas considerada foi de 25°C e que no solo de fundação o teor ótimo de humidade considerado foi de 12,2%.

O Quadro 11 mostra a comparação dos resultados entre as duas abordagens em termos de dano e para os critérios usados no AASHTOware, admitindo que são comparáveis o de “Fendilhamento por fadiga a partir da base das camadas betuminosas”, o que respeita à “Deformação permanente - profundidade de rodeira total” e o que respeita à “Camada estabilizada com ligantes hidráulicos – fadiga por fratura”.

Na realidade pode dizer-se que para dados iguais em termos de características fundamentais do pavimento, do tráfego e das condições climáticas, os resultados são substancialmente diferentes para as duas metodologias. Para os critérios adotados no AASHTOware a estrutura verificada poderia considerar-se dimensionada, tal como para as condições de dimensionamento consideradas em projeto para a avaliação feita pelo método da SHELL (o dano predominante foi de fadiga e teve o valor de 63%) que foram diferentes destas agora usadas na comparação.

Com condições de partida o mais igualadas possível pode dizer-se que o método da SHELL é menos exigente que o AASHTOware, conduzindo a estruturas de pavimento menos conservadoras. Noutro sentido, o critério de

dimensionamento claramente dominante para o AASHTOware é a deformação permanente (nos seus dois tipos de critérios como se vê no Quadro 11) enquanto que para o método da Shell é “Fendilhamento por fadiga a partir da base das camadas betuminosas”.

Quadro 11 – Resultado dos cálculos da estrutura do IC3 considerada usando o AASHTOware

Critérios de dimensionamento	Eixos-padrão	Dano (%)	
		AASHTOware	SHELL
IRI final (m/km)	3,71E+07	74	-
Fendilhamento por fadiga a partir do topo das camadas betuminosas (m/km)		14	-
Fendilhamento por fadiga a partir da base das camadas betuminosas (%)		3	19
Fendilhamento térmico nas camadas betuminosas (m/km)		3	-
Deformação permanente - profundidade de rodeira total (mm)		85	5
Deformação permanente – só camadas betuminosas (mm)		83	-
Camada estabilizada com ligantes hidráulicos – fadiga por fratura (%)		2	2

## 4 CONCLUSÕES

Neste artigo descreveram-se as principais características e condicionantes de aplicação do recente método da AASHTO, designado por AASHTOware Pavement ME Design e que foi designado no decurso do artigo somente por AASHTOware.

Para avaliar da sua aplicabilidade a condições portuguesas, aplicou-se o método a 3 secções reais da rede rodoviária, para as quais se obtiveram os dados do controlo de qualidade de construção no sentido de conseguir o mais possível preencher os requisitos da nova metodologia. Também para estas 3 secções se comparou, com dados de partida iguais, esta metodologia com o método da SHELL muito usado para o dimensionamento de pavimentos em Portugal e usado no estabelecimento das estruturas finais das secções estudadas. Neste artigo descrevem-se somente as condições usadas nesta comparação para uma das secções da rede estudadas, o IC3 \_Variante de Tomar, Nó da Atalaia (perfil de autoestrada com pavimento flexível contendo camada de solo-cimento).

As principais inferências que nesta fase podem ser feitas são as seguintes:

- Os dados e a informação necessária para usar o AASHTOware no dimensionamento de pavimentos para um nível de acuidade elevado (nível 1 descrito) é muito especializada e não está habitualmente disponível para a realização dum dimensionamento de pavimento para condições portuguesas;
- A metodologia da SHELL não é comparável com a integrada no AASHTOware, sendo esta para as mesmas condições de partida mais conservadora na determinação das estruturas de pavimento que servem aquelas condições.

Dos resultados pode dizer-se que o AASHTOware é desejável que seja aplicado na tecnologia portuguesa mas para isso terá de se reunir um conjunto de informação importante para que se possam extrair os parâmetros de caracterização de materiais e das ações (nomeadamente para o tráfego) que permitam usar a metodologia apropriadamente. É ainda necessário definir os valores para os critérios limite que melhor traduzam a realidade da rede rodoviária no seu todo, de forma a que se possam ter níveis de exigência diferentes para os diferentes objectivos de serviço a prestar pelas diferentes secções da rede. No fundo, é necessário fazer a adaptação da metodologia à realidade portuguesa.

Finalmente e embora o estudo não esteja concluído, pode nesta fase sugerir-se que seja maior o nível de exigência (traduzido basicamente pela adoção dos valores determinantes dos parâmetros que definam o comportamento das camadas, o tráfego e as condições climáticas) do dimensionamento de reabilitação ou de pavimento novo usando o habitual método da SHELL, sobretudo quando se tratem de secções da rede mais exigentes em termos de comportamento na vida útil.

## 5 REFERENCES

1. *BISAR User Manual* - Version 3.0, 1998, Bitumen Business Group, Shell International Oil Products BV, The Hague.
2. Read, J. and Whiteoak, D. , 2003, *The Shell Bitumen Handbook, 6th edition*, Thomas Telford Ltd.
3. A.P. Stubbs, 2011, *Fatigue Behavior of Hot Mix Asphalt for New Zealand Pavement Design*, MSc. Thesis, Department of Civil and Natural Resources Engineering University of Canterbury.
4. Shell International Petroleum Company, Ltd, 1978, *Shell Pavement Design Manual: Asphalt Pavements and Overlays for Road Traffic*, Shell International Petroleum.
5. AASHTO, 2008, *Mechanistic–Empirical Pavement Design Guide, A Manual of Practice*, Washington DC.: Joint Technical Committee on Pavements, American Association of State Highway and Transportation Officials.
6. He, W., Juhasz, M., Crockett, J., Lakavalli, V., 2011, *Evaluation of Darwin-ME Pavement Rutting Prediction Models Using Data from Alberta's Pavement Management System*, Annual Conference of the Transportation Association of Canada Edmonton, Alberta.  
<http://conf.tac-atc.ca/english/annualconference/tac2011/docs/p4/he.pdf>
7. Climate data generation by MERRA, <http://gmao.gsfc.nasa.gov/research/merra/intro.php>, National Aeronautics and Space Administration, Goddard Space Flight Center.
8. Integrated Climatic Model file formats, [http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/mepdg/ICM\\_Formats.htm](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/mepdg/ICM_Formats.htm), Accessed Jan. 2016.
9. Tecnofisil, 2002, *IC 3 - VARIANTE DE TOMAR / NÓ DA ATALAIA (IP 6), Projecto de Execução, Memória Descritiva e Justificativa*, Gabinete de Estudos e Projectos de Engenharia, LDA, Portugal.
10. Nota Técnica 17/B, 2005, IC3- Variante de Tomar/ No Da Atalaia (IP6), IP Document, Portugal.
11. American Association of State Highway and Transportation Officials, 2004, *Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures*. Final Report, NCHRP Project 1-37A. TRB, National Research Council, Washington, D.C..
12. ACORIL-EMPREITEIROS, 2004, *SA- Caracterizacao final do pavimneto da variante a EN254 em S. Miguel de Machede*, IP Document, Portugal.