

IAG174-04-2013
ANÁLISE DOS CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO/REJEIÇÃO DO
CADERNO DE ENCARGOS TIPO OBRA PARA PAVIMENTAÇÃO
ANÁLISIS DE LOS CRITERIOS DE ACEPTACIÓN/RECHAZO DEL
PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA PAVIMENTACIÓN

Gonçalo Costa; Rui Micaelo
Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa
Caparica, Portugal
goncalodfcosta@gmail.com; ruilbm@fct.unl.pt

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

Resumo

Em 2009 a empresa Estradas de Portugal (EP), principal concessionária portuguesa, publicou um novo Caderno de Encargos Tipo Obra para pavimentação, que veio substituir o anterior de 1998. Esta atualização pretendeu adaptar o documento face ao novo acervo normativo europeu em vigor e às novas práticas de construção e controlo. Foram introduzidos novos critérios e valores limite para a aceitação/rejeição a partir do controlo da qualidade de execução, bem como penalizações económicas que permitem a aceitação de características das camadas com valores próximos dos mínimos definidos. Tendo em conta os novos valores limite adotados para os diversos requisitos, elaborou-se um estudo comparativo das especificações de entidades de Portugal, Brasil, Espanha e Inglaterra. Avaliou-se a relação dos valores das penalizações económicas com a redução da vida útil do pavimento, tendo em conta os valores e os intervalos de aplicação da penalização. Constatou-se que no caso da porosidade das camadas betuminosas, existe uma diminuição da exigência do critério de aceitação em comparação com as especificações anteriores, por via da aplicação duma penalização económica, que permite a permanência da camada no pavimento. A penalização económica aplicada neste critério é pequena tendo em conta a perda de vida útil associada. Relativamente à espessura da camada, a penalização aplicada pela EP revelou-se excessiva quando comparada com a perda de vida útil relativa da camada e tendo ainda em conta a diminuta preponderância deste parâmetro na definição da qualidade final da camada. Da mesma forma que são aplicadas penalizações económicas considera-se que também deverão ser introduzidos incentivos económicos como forma de bonificar o Adjudicatário sempre que um dos requisitos da camada executada apresente valores que garantam uma qualidade superior do pavimento.

Resumen

En 2009 la empresa *Estradas de Portugal* (EP), principal concesionaria portuguesa de carreteras, publicó un nuevo pliego de prescripciones técnicas para pavimentación que sustituyó al anterior de 1998. Esta actualización pretendió adaptar el documento relativamente al nuevo acervo normativo europeo vigente y a las nuevas prácticas de construcción y control. Introdujo nuevos criterios y valores límite para la aceptación/rechazo basados en el control de calidad de ejecución, así como sanciones económicas que permitan la aceptación cuando el incumplimiento se acerca a los requisitos mínimos establecidos. Teniendo en cuenta los

nuevos valores límite adoptados para los diferentes requisitos, se elaboró un estudio comparativo de las especificaciones de entidades de Portugal, Brasil, España e Inglaterra. Se evaluó la relación entre los valores de sanciones económicas y la reducción de la vida útil del pavimento, teniendo en cuenta los valores y rangos de aplicación de la penalización. Se observó que en el caso de la porosidad de las capas bituminosas, existe una disminución de la exigencia del criterio de aceptación en comparación con las anteriores especificaciones, mediante la aplicación de una sanción económica, que permite la permanencia de la capa en el suelo. La sanción económica aplicada es reducida considerando la pérdida de la vida útil asociada. Relativamente al espesor de la capa, la sanción impuesta por EP resultó excesiva en comparación con la pérdida de la vida útil relativa de la capa teniendo también en consideración la reducida preponderancia del referido parámetro en la definición de la calidad final de la capa. De la misma manera que se aplican sanciones económicas se considera que deberán ser aplicados incentivos económicos de cara a recompensar el Adjudicatario siempre que uno de los requisitos de la capa ejecutada presente valores que garanticen una calidad superior del pavimento.

1 INTRODUÇÃO

A análise das características finais das camadas do pavimento é extremamente importante devido à relação com o desempenho da obra em serviço e custos futuros para o dono de obra. O Caderno de Encargos Tipo Obra (CETO) da JAE sofreu a sua última atualização em Março de 1998, mas com a necessidade de harmonizar e adaptar os critérios nacionais aos aplicados atualmente na Europa (normativa Europeia) foi editado em Fevereiro de 2009 o CETO da Estradas de Portugal, S.A. (EP), substituindo o documento anteriormente em vigor, com alterações significativas.

O objetivo principal deste estudo é a avaliação dos valores limite admitidos pelos critérios de aceitação/rejeição na construção de novas camadas betuminosas que constituem os pavimentos flexíveis, na rede rodoviária nacional. Assim, realizou-se um estudo comparativo com outros documentos editados por entidades com responsabilidades idênticas às da EP, não só em Portugal (JAE, Ascendi e Brisa), mas também em outros países: Espanha (Ministerio de Fomento - MF), Brasil (Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes - DNIT) e Reino Unido (*Highways Agency* - HA).

Analisaram-se apenas algumas especificações devido à sua preponderância na definição da qualidade final do pavimento e pela atribuição de penalizações, como a “Espessura da Camada” e espessura total das camadas betuminosas, a “Porosidade/Compactação” e a “Regularidade Longitudinal”, avaliada através da obtenção do IRI. Foi realizado um estudo económico envolvendo as penalizações introduzidas nos parâmetros de conformidade das camadas quando se verifica uma situação de incumprimento com a condição de aceitação, mas permitindo que a camada seja aceite mediante uma redução do pagamento do trabalho executado. Por fim, são apresentadas propostas de incentivos económicos sempre que os resultados das medições dum requisito indicam uma melhoria na qualidade e durabilidade da camada e/ou do pavimento.

2 CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO/REJEIÇÃO

2.1 Análise dos Critérios

Como já foi referido anteriormente, este estudo teve em conta os documentos que estão em vigor em Portugal, Espanha, Brasil e Inglaterra, pertencentes a diversas entidades. Na tabela

1, apresentam-se os vários documentos considerados com referência à entidade que o publica e ao país de origem.

Tabela 1 - Documentos analisados

País	Entidade	Documento
Portugal	Estradas de Portugal, S.A.	CETO da EP - 15.03 - (EP, 2009d)
Portugal	JAE / Ascendi	CETO da JAE - 15.03 - (JAE, 1998c)
Portugal	Brisa, S.A.	CTG - (Brisa, 2006)
Brasil	DNIT	DNIT 031/2006 ES - (DNIT, 2006)
Espanha	<i>Ministerio de Fomento</i>	PG-3 - (Ministerio de Fomento, 2008)
Inglaterra	<i>Highways Agency</i>	MCHW - Vol. 1 (Highways Agency, 2009a) & Vol. 2 (Highways Agency, 2009b)

De seguida, apresenta-se a comparação dos critérios “Espessura”, “Porosidade/Compactação” e “Regularidade Longitudinal (IRI)” realizada para as camadas compostas por misturas betuminosas, ou seja, a camada de base, a camada de ligação e a camada de desgaste.

2.1.1 Espessura

Para a camada de base, e de acordo com o CETO da EP, este critério será aceite se a média das espessuras dos carotes extraídos (mínimo de 5 carotes por 500 metros de extensão de faixa) corresponder à espessura de projeto e sem que mais do que 2 desses 5 carotes apresentem valores inferiores em mais de 10% do valor de projeto. Caso o valor médio seja ainda superior a 80% do valor de projeto, a espessura em falta deve ser compensada na camada seguinte. Caso não se verifique a concordância com estes critérios, a camada deve ser removida e reaplicada por conta do adjudicatário.

Para a mesma camada, e para que seja aceite, a Brisa exige que a espessura média obtida supere 90% da definida em projeto. A JAE define que 95% das amostras devem apresentar uma espessura individual não inferior à de projeto e que apenas 5% poderão ter uma variação de ± 2 cm. A entidade espanhola define um critério semelhante ao da EP, ao passo que a HA apenas aceita a camada se o valor médio não variar mais que 1,5 cm em torno do valor de projeto. Para todas as entidades, o incumprimento dos critérios implica a remoção da camada.

Na camada de ligação, a EP mantém a condição anterior, ou seja, o critério será aceite se a média das espessuras dos carotes extraídos corresponder à espessura de projeto e sem que mais do que 2 desses 5 carotes apresentem valores inferiores em mais de 10% do valor de projeto. No entanto, admite a aceitação mediante penalização económica, que pode variar entre 20 e 30% do custo da camada, (equação 1) se a média for maior que 90% do valor de projeto, caso contrário a camada será removida.

A JAE estabelece que 95% dos carotes não devem apresentar uma espessura inferior à de projeto, reduzindo a tolerância dos restantes 5% para ± 1 cm em torno do valor de projeto. A Brisa admite uma espessura média até 90% do definido. O DNIT admite uma variação de 5% em torno do estabelecido de projeto e a HA um variação de ± 6 mm, aproximando os critérios destas duas entidades. Já o MF estabelece novamente uma condição idêntica à da EP mas com uma penalização económica menos onerosa para o Adjudicatário (10% do valor da camada).

Para a camada de desgaste, a EP mantém a mesma condição de aceitação, agora igual à da Brisa e do MF. No entanto, enquanto as duas últimas não admitem valores médios abaixo da espessura de projeto, a EP admite valores médios até 92% desse valor, mediante penalizações entre os 20 e 28% do custo da camada.

O DNIT, a HA e a JAE mantêm também o critério estabelecido para a camada anterior, no entanto a JAE reduz a tolerância de 5% das medições para ± 5 mm e a HA não admite uma variação de qualquer valor individual de ± 6 mm além da espessura de projeto.

Finalmente, a avaliação da espessura total das camadas betuminosas está definida apenas pela EP, Brisa e HA. A EP admite a aceitação dos trabalhos com uma redução da espessura total até 5% do valor de projeto, mediante uma penalização de 20% do custo da camada de desgaste. A HA admite uma diminuição da espessura total até 1,5 cm e a Brisa enuncia a aplicação duma espessura adicional caso se verifiquem valores inferiores ao de projeto.

2.1.2 Porosidade/Compactação

Os documentos analisados avaliam este critério de forma diferente. A EP e a HA recorrem à porosidade enquanto as restantes entidades à compactação relativa à baridade Marshall.

A EP estabelece valores limite de porosidade em função do tipo de mistura betuminosa aplicada nas diversas camadas, tendo na sua maioria valores entre 3 e 8%. No entanto, acrescenta que o critério será aceite com uma penalização de 20% do custo da camada se a porosidade média obtida no lote se situar até 2% além do valor máximo admitido, ou seja, para valores entre 8 e 10% para a maioria das misturas. Caso a média passe os 10% ou fique aquém dos 3%, a camada será rejeitada, removida e reaplicada.

A JAE define que 95% das amostras devem apresentar uma compactação relativa de 97% para cada uma das camadas. Já a Brisa estabelece a mesma percentagem (97%) para as camadas de base e ligação e de 98% para a camada de desgaste. O incumprimento destes critérios implica a remoção da camada. Embora no âmbito nacional os documentos revelem condições idênticas, a Brisa apresenta o critério mais exigente por não admitir a aceitação da especificação para valores de compactação inferiores ao estabelecido.

O DNIT refere que a compactação relativa de cada camada deve estar entre 97 e 101%. O MF estabelece para as camadas de base e ligação uma compactação relativa de 98% e para a camada de desgaste de 97%. No entanto, admite valores de compactação relativa de 95% mediante uma penalização de 10% do valor da camada. Por fim, a HA define que os valores médios da porosidade não devem exceder os 7% em camadas de base e ligação e de 5,5% em camada de desgaste.

2.1.3 Regularidade Longitudinal (IRI)

Para este critério, a EP e a JAE definem condições iguais, dado que exigem que 50, 80 e 100% das medições sejam inferiores ou iguais a 1,5, 2,0 e 3,0 m/km, respetivamente. No entanto, a EP prevê ainda a aceitação da especificação mediante uma penalização de 20% do custo da camada de desgaste, caso se verifiquem valores de IRI até 10% além do estipulado.

Os documentos da Brisa e MF estipulam valores mais exigentes para as mesmas percentagens de extensão (50, 80 e 100%), sendo respetivamente, 1,5, 1,8 e 2,0 m/km. Enquanto o MF admite a correção das frações anómalas para valores até 10% além dos estabelecidos, a Brisa impõe a remoção da camada e reaplicação de uma nova que cumpra os requisitos.

O DNIT estabelece para toda a extensão do lote que se verifiquem valores inferiores a 2,7 m/km. Embora seja inferior aos 3,0 m/km definidos pela EP, não garante um maior conforto na utilização da via, já que não define condições para os 50 e 80% do lote. Por fim, a HA não apresenta dados para este tipo de caracterização.

3 CASO DE ESTUDO

3.1 Penalizações Económicas Utilizadas pela EP

Para a especificação “Espessura da Camada”, sabe-se que este critério pode ser aceite mediante a aplicação de uma penalização económica (PE1 - €) apresentada na equação 1, conhecendo-se o preço unitário da camada (P_{unit} - €/m²), a área de produto não conforme (A - m²) e a relação entre a espessura média construída (e_{real}) e a espessura de projeto (e_{proj}).

$$PE1 = P_{unit} \times A \times \left[0,20 + \left(1 - \frac{e_{real}}{e_{proj}} \right) \right] \quad (1)$$

Esta expressão aplica-se às camadas de ligação e desgaste, resultando numa penalização mínima de 20% e que pode atingir os 30 ou 28%, respetivamente, dependendo da relação das espessuras.

Existe ainda a possibilidade de ser aplicada uma penalização de 20% pelo facto da espessura total das camadas betuminosas ficar até 5% aquém da espessura de projeto.

Para as especificações “Porosidade” e “Regularidade Longitudinal”, o valor da penalização económica (PE2 - €) é dado pela equação 2, obtendo-se sempre um valor constante de 20% e independente da variação de valores dentro do intervalo de aceitação para a sua aplicação.

$$PE2 = 0,20 \times P_{unit} \times A \quad (2)$$

Para o caso da porosidade, aplica-se as todas as camadas de misturas betuminosas. No caso da regularidade longitudinal apenas à camada de desgaste.

3.2 Metodologia para Determinação da Vida Útil do Pavimento

Para melhor compreender de que modo as diferenças entre valores de projeto e valores reais das especificações “Espessura da Camada” e “Porosidade” afetam a qualidade final do pavimento e a sua vida útil, realizou-se a análise para um pavimento tipo, baseado no procedimento de dimensionamento de pavimentos flexíveis MACOPAV (JAE, 1995).

Para a “Espessura da Camada” admitiu-se uma classe de tráfego T3 (500-800 veic. pesados/dia) e um eixo padrão de 130 kN, correspondendo a um N_{dim130} de $5,8 \times 10^6$. A estrutura do pavimento assenta numa fundação tipo F3 ($E = 100\text{MPa}$; $\nu = 0,35$), composta por uma sub-base granular de 20 cm ($E = 200\text{MPa}$; $\nu = 0,35$), seguida por camadas em mistura betuminosa do tipo AC 20, com um volume de betume (v_b) de 10%, em camada de base com 12 cm de ligação com 7,0 cm. Para a camada de desgaste considerou-se um AC 14 com 5,0 cm ($E = 4000\text{MPa}$ e $\nu = 0,35$, para todas as camadas betuminosas).

Para obtenção da extensão horizontal de tração na base das camadas betuminosas (ϵ_t) e da extensão vertical de compressão no topo do solo de fundação (ϵ_{dp}), realizou-se o cálculo mecanicista com o *software* Alize, fazendo variar as espessuras das camadas até ao limite de aceitação com penalização (camada ligação - 7,0 até 6,4 cm; camada desgaste - 5,0 até 4,7 cm), tendo ainda em conta o limite para a espessura total das camadas.

No cálculo da vida útil do pavimento (N_{adm130}) à fadiga e deformação permanente, considerou-se o critério de dimensionamento da Shell, com as equações 3 e 4 (Branco, et al., 2008) e admitiu-se uma probabilidade de sobrevivência do pavimento de 95% ($K_s = 1,8 \times 10^{-2}$). Na tabela 2 apresentam-se os dados obtidos.

$$\epsilon_t = (0,856 \times v_b + 1,08) \times E^{-0,36} \times N_{adm130}^{-0,2} \quad (3)$$

$$\varepsilon_{dp} = K_s \times N_{adm130}^{-0,25} \quad (4)$$

Nesta simulação, o critério de ruína que causa maior dano é a deformação permanente, chegando-se a obter no caso mais desfavorável (ligação = 6,4 cm; desgaste = 4,7 cm) uma perda de vida útil superior a 15% (3 anos).

De seguida, avaliou-se a aplicação das penalizações económicas previstas pela EP para esta especificação, com recurso à equação 1. Como tal, definiu-se como preço unitário das camadas de ligação e desgaste os valores 8 e 5 €/m², respetivamente, para uma área de lote de 3.500 m², resultando num custo individual de 28.000 € e de 17.500 €, perfazendo um custo total para ambas as camadas de 45.500 €. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 3.

De um modo geral, constata-se que o valor da penalização aplicada é claramente superior à estimativa de perda de vida útil do pavimento. No caso com maior défice de espessura (23,1 cm), estimou-se uma penalização na ordem dos 35% sobre o custo total das duas camadas, quando esta solução apresenta uma redução da vida útil em cerca de 15%. Assim, pode-se assumir que as percentagens de penalização aplicadas são muito superiores às perdas de vida útil associadas.

Para a especificação “Porosidade” adotou-se uma metodologia idêntica à utilizada para o cálculo da vida útil na especificação “Espessura da Camada”. Admitiu-se uma classe de tráfego T1 (com N_{dim130} de $14,5 \times 10^6$) e uma solução construtiva composta pelas seguintes camadas: fundação F3 (E = 100MPa; ν = 0,35) + sub-base granular com 20 cm (E = 200MPa; ν = 0,35) + mistura betuminosa do tipo AC 20 (com um volume de betume de 10%) em camada de base com 22 cm (E = 4000MPa; ν = 0,35) + AC 14 em camada de desgaste com 6 cm (E = 4000MPa; ν = 0,35).

De acordo com alguns autores (Azevedo, 1993; Harvey, et al., 1995), o aumento em 1% da porosidade provoca uma redução do módulo de rigidez (E) das misturas betuminosas em cerca de 10%. Admitindo esta relação, reduziu-se gradualmente o valor de E das camadas de base e desgaste até 20% do valor inicial (aumento de 2% de porosidade). Com estes dados, recorreu-se novamente ao *software* Alize para se obter as extensões (ε_t e ε_{dp}) e utilizando as equações 3 e 4, calculou-se a vida útil do pavimento. Na tabela 4 apresentam-se os resultados.

Comparativamente verificam-se maiores perdas de vida útil na camada de base sempre que ocorre uma diminuição da sua rigidez, reforçando a importância da compactação e da verificação da porosidade em camadas com características essencialmente estruturais. Na situação mais desfavorável (E = 3200 MPa para ambas as camadas) registam-se estimativas de perdas de vida útil na ordem dos 8 anos.

Desta forma, e dado que apenas se aumentou a porosidade em 2% (admitindo um valor alvo de projeto de 5%), a penalização atualmente em vigor pela EP para porosidades entre 8 e 10% revela-se desajustada, dado que além de não considerar a evolução da porosidade, incide com uma percentagem baixa tendo em conta a perda de vida útil associada, permitindo a permanência duma camada mais exposta à acção do ar e humidade, sujeitando o ligante a um processo de oxidação mais célere e conduzindo à mais rápida degradação do pavimento.

Tabela 2 - Cálculo da vida útil dum pavimento com variação da espessura

Situação	Esp. Camadas (cm)			Fadiga			Deformação Permanente		
	AC20 bin	AC14 surf	Total MB	ϵ_t (10^{-6})	N_{adm130}	Dano (%)	ϵ_{dp} (10^{-6})	N_{adm130}	Dano (%)
Projeto	7,0	5,0	12,0	137	8.975.824	64,62	336	8.236.314	70,42
Variação Combinada (Ligação + Desgaste)	6,8	4,9	23,7	139	8.348.399	69,47	341	7.763.767	74,71
	6,8	4,8	23,6	140	8.054.471	72,01	343	7.584.266	76,47
	6,8	4,7	23,5	141	7.772.874	74,62	345	7.409.922	78,27
	6,6	4,9	23,5	141	7.772.874	74,62	345	7.409.922	78,27
	6,6	4,8	23,4	141	7.772.874	74,62	347	7.240.559	80,10
	6,6	4,7	23,3	142	7.503.009	77,30	349	7.076.008	81,97
	6,4	4,9	23,3	142	7.503.009	77,30	349	7.076.008	81,97
	6,4	4,8	23,2	143	7.244.310	80,06	351	6.916.105	83,86
	6,4	4,7	23,1	144	6.996.240	82,90	353	6.760.693	85,79

Tabela 2 (cont.) - Cálculo da vida útil dum pavimento com variação da espessura

Situação	Esp. Camadas (cm)			Dano Maior (%)	VR ¹ aos 20 anos (%)	PV ² (Relativa, %)	VR ¹ aos 20 anos (anos)	PV ² (Relativa, anos)
	AC20 bin	AC14 surf	Total MB					
Projeto	7,0	5,0	12,0	70,42	29,58	-	5,92	-
Variação Combinada (Ligação + Desgaste)	6,8	4,9	23,7	74,71	25,29	-4,29	5,06	-0,86
	6,8	4,8	23,6	76,47	23,53	-6,05	4,71	-1,21
	6,8	4,7	23,5	78,27	21,73	-7,85	4,35	-1,57
	6,6	4,9	23,5	78,27	21,73	-7,85	4,35	-1,57
	6,6	4,8	23,4	80,10	19,90	-9,68	3,98	-1,94
	6,6	4,7	23,3	81,97	18,03	-11,55	3,61	-2,31
	6,4	4,9	23,3	81,97	18,03	-11,55	3,61	-2,31
	6,4	4,8	23,2	83,86	16,14	-13,44	3,23	-2,69
	6,4	4,7	23,1	85,79	14,21	-15,37	2,84	-3,07

¹ VR - Vida Restante; ² PV - Perda de Vida

Tabela 3 - Comparação da penalização aplicada em função da espessura com a perda de vida útil

Situação	Esp. Camadas (cm)			Penalização Económica (%)				Penalização Económica (€)				PV ² (Relativa, %)
	AC20 bin	AC14 surf	Total MB	AC20 bin	AC14 surf	AC Total	Σ	AC20 bin	AC14 surf	AC Total	Σ	
Projeto	7,0	5,0	24,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	-
Variação Combinada (Ligação + Desgaste)	6,8	4,9	23,7	22,86	22,00	20,00	30,22	6.400	3.850	3.500	13.750	-4,29
	6,8	4,8	23,6	22,86	24,00	20,00	30,99	6.400	4.200	3.500	14.100	-6,05
	6,8	4,7	23,5	22,86	26,00	20,00	31,76	6.400	4.550	3.500	14.450	-7,85
	6,6	4,9	23,5	25,71	22,00	20,00	31,98	7.200	3.850	3.500	14.550	-7,85
	6,6	4,8	23,4	25,71	24,00	20,00	32,75	7.200	4.200	3.500	14.900	-9,68
	6,6	4,7	23,3	25,71	26,00	20,00	33,52	7.200	4.550	3.500	15.250	-11,55
	6,4	4,9	23,3	28,57	22,00	20,00	33,74	8.000	3.850	3.500	15.350	-11,55
	6,4	4,8	23,2	28,57	24,00	20,00	34,51	8.000	4.200	3.500	15.700	-13,44
	6,4	4,7	23,1	28,57	26,00	20,00	35,27	8.000	4.550	3.500	16.050	-15,37

² PV - Perda de Vida

Tabela 4 - Cálculo da vida útil dum pavimento com variação do módulo de rigidez

Rigidez (MPa)		Fadiga			Deformação Permanente		
Base AC20	Desgaste AC14	ϵ_i (10^{-6})	N_{adm130}	Dano (%)	ϵ_{dp} (10^{-6})	N_{adm130}	Dano (%)
4000	4000	112	24.580.294	58,99	273	18.899.026	76,72
4000	3600	114	22.498.467	64,45	278	17.575.627	82,50
4000	3200	115	21.537.138	67,33	283	16.366.065	88,60
3600	4000	119	21.943.498	66,08	283	16.366.065	88,60
3600	3600	121	20.188.954	71,82	288	15.258.789	95,03
3600	3200	122	19.374.991	74,84	293	14.243.592	101,80
3200	4000	127	19.592.804	74,01	294	14.050.789	103,20
3200	3600	129	18.120.353	80,02	299	13.134.250	110,40
3200	3200	130	17.434.056	83,17	304	12.291.240	117,97

Tabela 4 (cont.) - Cálculo da vida útil dum pavimento com variação do módulo de rigidez

Rigidez (MPa)		Dano Maior (%)	VR ¹ aos 20 anos (%)	PV ² (Relativa, %)	VR ¹ aos 20 anos (anos)	PV ² (Relativa, anos)
Base AC20	Desgaste AC14					
4000	4000	76,72	23,28	-	4,66	-
4000	3600	82,50	17,50	-5,78	3,50	-1,16
4000	3200	88,60	11,40	-11,87	2,28	-2,37
3600	4000	88,60	11,40	-11,87	2,28	-2,37
3600	3600	95,03	4,97	-18,30	0,99	-3,66
3600	3200	101,80	-1,80	-25,08	-0,36	-5,02
3200	4000	103,20	-3,20	-26,47	-0,64	-5,29
3200	3600	110,40	-10,40	-33,67	-2,08	-6,73
3200	3200	117,97	-17,97	-41,25	-3,59	-8,25

¹ VR - Vida Restante; ² PV - Perda de Vida

4 INCENTIVOS ECONÓMICOS

Atualmente este tipo de ajuste de pagamento não é considerado nos documentos portugueses, no entanto, e suportados por alguns estudos já desenvolvidos (Scholl, 1991; Zaghoul, 2007), verifica-se que uma melhor execução inicial do pavimento e das suas características conduz a uma maior vida útil do mesmo e consequentemente a um menor custo de manutenção. Desta forma, a introdução de incentivos económicos torna-se benéfica para ambos os intervenientes na obra. O adjudicatário recebe mais pela execução da camada, e o dono de obra embora pague mais inicialmente, terá um pavimento de qualidade superior e com maior vida útil. A seguir apresentam-se as propostas adaptadas aos critérios da EP para as especificações “Porosidade/Compactação” e “Regularidade Longitudinal (IRI)”.

4.1 Porosidade / Compactação

A obtenção de valores de verificação deste requisito o mais próximo possível dos valores de projeto será uma das principais garantias da boa qualidade de execução e durabilidade das camadas. Um estudo conduzido por Scholl (1991) na sequência do aumento de custos dum departamento de transportes (Oregon - EUA) em cerca de 1,7% concluiu que os incentivos aplicados a este requisito permitiram em média uma melhoria da compactação das camadas em 1,1% conduzindo a um aumento da sua vida útil em cerca de 16% (cerca de 3 anos).

Assim, apresenta-se na Figura 1 uma proposta para a introdução de incentivos económicos através da avaliação da Compactação relativa à Baridade Máxima Teórica (CBMT), admitindo uma mistura betuminosa com uma CBMT de projeto de 95% (Porosidade de 5%), por exemplo, “AC 20 (MB)”. Os incentivos económicos (IE) podem atingir um máximo de

5%, quando a CBMT média é igual à de projeto, decrescendo gradualmente até 0% num intervalo $\pm 1\%$ em torno do valor de projeto.

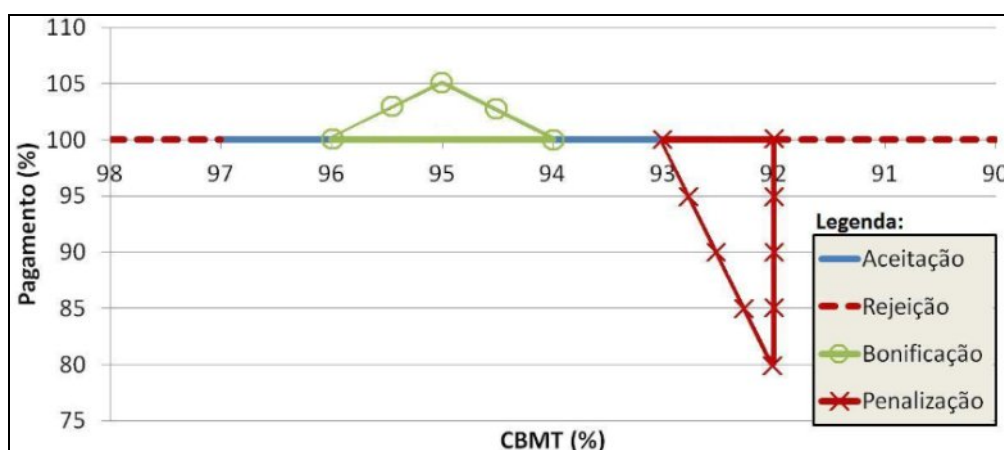
É também sugerido um novo intervalo de penalização económica (PE), entre 93 e 92% de CMBT, devido à elevada perda de vida útil duma mistura com CBMT inferior a 92% quando o valor de projeto é 95% (Scherocman, 2000). Assim, as equações 5 e 6 permitem obter o valor do incentivo ou penalização a ter em conta para o pagamento da camada, onde se conhece o valor de projeto ($CBMT_{proj}$ - %), o valor médio nas medições do material aplicado ($CBMT_{real}$ - %), o preço unitário da camada (P_{unit} - €/m²) e a área não conforme (A - m²).

$$IE = 0,05 \times (1 - |CBMT_{proj} - CBMT_{real}|) P_{unit} \times A \quad (5)$$

$$PE = 0,20 \times (93 - CBMT_{real}) P_{unit} \times A \quad (6)$$

Acrescenta-se que para valores entre 96 e 97% assim como 93 e 94%, a camada será aceite sem ajuste de pagamento. Por outro lado, se o valor obtido for superior a 97% ou inferior a 92%, a camada será rejeita e terá de ser removida e reaplicada com novo material.

Figura 1 - Proposta para pagamento para Porosidade/Compactação



4.2 Regularidade Longitudinal (IRI)

A qualidade funcional que um pavimento apresenta, no que diz respeito à sua regularidade longitudinal, influencia as oscilações dos veículos no pavimento e portanto, a vida útil da estrutura. Dos documentos analisados, apenas o MF considera a possibilidade de bonificar o executante caso ao longo de pelo menos 2 km consecutivos se garantirem os valores apresentados na tabela 5, através duma bonificação de 5% no pagamento, associado ao custo da camada de desgaste.

Tabela 5 - Valores de IRI máximos para incentivos económicos

Percentagem em km	Tipo de via	
	Autoestradas e vias rápidas	Restantes vias
50	< 1,0	< 1,0
80	< 1,2	< 1,5
100	< 1,5	< 2,0

Segundo Zaghloul (2007), quando se garantem valores iniciais de IRI entre 1,0 e 1,5 m/km, prevê-se que as características funcionais se mantêm durante 10 a 15 anos, adiando significativamente a necessidade de intervenção no pavimento, justificando assim a aplicação

deste incentivo. Embora a EP apresente valores para este critério de acordo com os sugeridos pelo Banco Mundial, julga-se que um aumento da exigência deste parâmetro trará melhorias significativas na vida útil dos pavimentos e embora induza um custo inicial maior, permite uma redução significativa dos custos de manutenção do pavimento.

5 CONCLUSÕES

Com este trabalho avaliaram-se vários documentos com critérios para três especificações diferentes, destacando-se, no âmbito nacional, a maior exigência do documento da Brisa sobre o da EP. O caso de estudo revelou que as penalizações aplicadas pela EP para os critérios estudados são desajustadas. No caso da espessura da camada, verificou-se que a penalização é excessiva tendo em conta a perda de vida associada à redução da espessura das camadas mas para a porosidade verifica-se uma diminuição da exigência devido à possibilidade de aceitação da camada mediante uma penalização económica, agravado pelo facto dessa penalização ser insuficiente para a perda de vida útil associada. Sugere-se a introdução de incentivos económicos nos documentos nacionais, já que existindo a possibilidade de bonificação o adjudicatário irá procurar fazer um trabalho de melhor qualidade para ter acesso às mesmas, beneficiando o dono de obra por lhe construir um pavimento de melhor qualidade.

6 REFERÊNCIAS

- Azevedo, M. C. 1993. *Características Mecânicas de Misturas Betuminosas para Camadas de Base de Pavimentos*. Tese Doutoramento em Eng. Civil pelo IST - UTL : Lisboa.
- Branco, F., et al. 2008. *Pavimentos Rodoviários*. Edições Almedina, 3ª edição : Coimbra.
- Brisa. 2006. *Caderno de Encargos - Cláusulas Técnicas Gerais: Capítulo 3 - Pavimentação*. Brisa - Auto-estradas de Portugal, S.A. : Carcavelos.
- Costa, G. 2012. *Análise dos critérios de aceitação/rejeição do caderno de encargos tipo obra da EP para pavimentação*. Dissertação de Mestrado em Eng. Civil pela FCT - UNL : Caparica.
- DNIT. 2006. *DNIT 031/2006 ES - Pavimentos Flexíveis - Concreto Asfáltico: Especificação de serviço*. Departamento Nacional de Infraestruturas Rodoviárias (DNIT) : Brasília.
- EP. 2009. *Caderno de Encargos Tipo Obra : 15.03 - Pavimentação - Métodos Construtivos*. Estradas de Portugal, S.A. : Almada.
- Harvey, J., et al. 1995. *Fatigue Performance of Asphalt Concrete Mixes and its Relationship to Asphalt Concrete Pavement Performance in California*. Caltrans : Sacramento, California.
- Highways Agency. 2009a. *Manual of Contract Documents for Highway Works: Volume 1 - Specification for highway works - series 600, 700, 800 & 900*. Highways Agency: London
- Highways Agency. 2009b. *Manual of Contract Documents for Highway Works: Volume 2 - Notes for guidance - series 600, 700, 800 & 900*. Highways Agency : London.
- JAE. 1995. *Manual de Conceção de Pavimento para a Rede Rodoviária Nacional*. Junta Autónoma de Estradas (actual Estradas de Portugal, S.A) : Almada.
- JAE. 1998. *Caderno de Encargos Tipo Obra : 15.03 - Pavimentação - Métodos Construtivos*. Junta Autónoma de Estradas (actual Estradas de Portugal, S.A) : Almada.
- Ministerio de Fomento. 2008. *Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) - Artículos 340, 510, 542 y 543*. Ministerio de Fomento (MF) : Madrid.
- Scherocman, J. 2000. *Compacting Hot-Mix Asphalt Pavements: Part I. Roads & Bridges*. Online: <http://www.roadbridges.com/compacting-hot-mix-asphalt-pavements-part-i>.
- Scholl, L. 1991. *Pay Adjustment System for AC Pavements (A Five-Year Evaluation)*. Oregon State Highway Division - Materials and Research Section : Salem, Oregon.
- Zaghloul, S. 2007. *Development of Objective Payment Adjustment Criteria for Nova Scotia*. Conference of the Transportation Association of Canada : Saskatoon, Saskatchewan.