



## ESTUDO DA SENSIBILIDADE À ÁGUA DE MISTURAS BETUMINOSAS

Fátima Batista<sup>1</sup>, Maria de Lurdes Antunes<sup>2</sup>, Adriano Teixeira<sup>3</sup>,  
Cláudia Ferreira<sup>4</sup>, Carla Guimarães<sup>5</sup>, Vítor Gomes<sup>6</sup>, Luís Gomes<sup>7</sup>

### Copyright 2011, Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação no *XVI CILA – Congresso Ibero-Latinoamericano do Asfalto*, realizada no período de 20 a 25 de novembro de 2011, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais do *XVI CILA – Congresso Ibero-Latinoamericano do Asfalto*.

### Resumo

Em Portugal, os valores de referência existentes para a sensibilidade à água de misturas betuminosas foram estabelecidos de acordo com a norma de ensaio militar americana MIL-STD-620A – método A. No entanto, no atual contexto das normas europeias, em particular da norma EN 12697-12, tornou-se necessário estabelecer valores a obter no ensaio de misturas betuminosas segundo a referida norma. Embora ambas as normas se baseiem na determinação de um "índice de resistência conservada", não são consideradas comparáveis, uma vez que apresentam diferenças significativas nos respetivos procedimentos de ensaio, o que pode conduzir a resultados muito distintos para a resistência conservada de uma determinada mistura. Com o objetivo de avaliar a sensibilidade à água em ensaios laboratoriais segundo ambas as normas referidas, e contribuir para o estabelecimento de valores de referência obtidos em ensaios realizados de acordo com a norma europeia, foi realizado um estudo experimental, no âmbito do qual foram utilizadas diferentes misturas betuminosas com características de desgaste. A fim de avaliar a reprodutibilidade dos resultados, o estudo envolveu a realização de ensaios de comparação interlaboratorial entre diferentes laboratórios. Nos ensaios realizados de acordo com a norma EN 12697-12 – método A, foi também avaliada a influência temperatura de realização do ensaio de determinação da resistência à tração indireta (15° C e 25° C). Para as misturas betuminosas ensaiadas, os valores de resistência conservada obtidos no ensaio realizado segundo a norma militar americana foram, de uma forma geral, superiores aos obtidos no ensaio segundo a norma europeia. Por outro lado, nos ensaios realizados de acordo com a norma europeia, obtiveram-se valores superiores de resistência conservada nos ensaios realizados a 25° C, comparativamente com os realizados a 15° C. Os resultados obtidos até ao presente permitem concluir que a norma europeia permite uma melhor diferenciação entre as diferentes misturas.

### Abstract

In Portugal, the existing reference values concerning the water sensitivity of asphalt mixtures were established according to the U.S.A. Military standard MIL-STD-620A – method 104. However, in the present context of the European standards, namely the EN 12697-12, it became necessary to evaluate the water sensitivity of asphalt mixtures according to this European standard. Although both standards are based on the determination of an "index of retained strength", they are not considered comparable since they present significant differences in the procedures, which may lead to different results for the same asphalt mixture. In order to assess the water sensitivity of asphalt mixtures in laboratory tests performed according to both standards, and to contribute for the establishment of reference values of asphalt concrete mixtures obtained in tests performed according to the European standard, an experimental study was carried out, in which different asphalt mixtures for wearing courses were used. The study comprised the execution of round robin tests involving different laboratories, in order to assess the reproducibility of the results. In the tests performed according to the EN 12697-12 – method A, the influence of the indirect tensile test (ITT) temperature (15°C and 25°C) was also addressed. In general, the percentage of

<sup>1</sup> PhD, Investigadora Auxiliar – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

<sup>2</sup> PhD, Vogal do Conselho Diretivo – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

<sup>3</sup> Mestre, Engenheiro Civil – CICCOPN

<sup>4</sup> Mestre, Engenheira Civil – Construções Gabriel A. S. Couto S.A.

<sup>5</sup> Engenheira Civil, Engenheira Civil – ID research, Investigação e Desenvolvimento, S.A.

<sup>6</sup> Engenheiro Civil, Engenheiro Civil – ID research, Investigação e Desenvolvimento, S.A.

<sup>7</sup> Mestre, Engenheiro Civil – Mota-Engil S.G.P.S., S.A.

retained strength obtained using the U.S.A. Military standard was higher than for the European standard. On the other hand, when the European standard was used, an ITT temperature of 25°C lead to greater percentages of retained strength in comparison with the temperature of 15°C. For the tests performed so far, it was also concluded that the European standard allows for a better differentiation between different mixtures.

## 1. Introdução

A sensibilidade à água das misturas betuminosas é um fator importante na durabilidade dos pavimentos flexíveis e semirrígidos, em especial quando se trata de misturas para camadas de desgaste. De facto, à ação da água sobre as misturas betuminosas estão associados, de uma forma geral, dois mecanismos de degradação da mistura betuminosa: em primeiro lugar a perda de adesividade entre o betume e o agregado; e em segundo lugar a perda de coesão e de resistência do betume. A sensibilidade à água é uma propriedade das misturas betuminosas que é habitualmente avaliada na sua formulação, e para a qual são estabelecidos valores mínimos a cumprir nos Cadernos de Encargos de acordo com o método de ensaio utilizado para a sua avaliação.

De uma forma geral, em Portugal, os valores preconizados para avaliação da sensibilidade à água das misturas betuminosas foram estabelecidos de acordo com a norma de ensaio militar americana MIL-STD-620A e com o Cahier RILEM 17 BM n°3 (APORBET, 1998). No entanto, com o aparecimento das normas europeias, em particular da norma EN 12697-12 relativa à sensibilidade à água de misturas betuminosas, tornou-se necessário estabelecer valores a obter no ensaio de misturas betuminosas segundo a referida norma. Com efeito, existem diferenças significativas entre os métodos de ensaio preconizados na norma MIL-STD-620A e na norma EN 12697-12, que podem conduzir a resultados muito distintos para a resistência conservada de uma determinada mistura.

Com o objetivo de avaliar a sensibilidade à água em ensaios laboratoriais realizados de acordo com ambas as normas referidas, e contribuir para o estabelecimento de valores de referência obtidos em ensaios realizados de acordo com a norma europeia, foi realizado um estudo experimental, no âmbito do qual foram utilizadas diferentes misturas betuminosas com características de desgaste (Batista e Antunes, 2009).

A fim de avaliar a reprodutibilidade dos resultados, o estudo envolveu a realização de ensaios de comparação interlaboratorial entre diferentes laboratórios.

Nos ensaios realizados de acordo com a norma EN 12697-12 – método A, foi também avaliada a influência temperatura de realização do ensaio de determinação da resistência à tração indireta (ITT) (15° C e 25° C).

Nesta comunicação descreve-se a metodologia adotada no referido estudo pró-normativo, e apresentam-se os principais resultados obtidos nos ensaios de comparação interlaboratorial envolvendo diferentes laboratórios, e faz-se uma análise desses resultados.

## 2. Avaliação da Sensibilidade à Água

De uma forma geral, a avaliação da sensibilidade à água de misturas betuminosas é realizada com recurso a ensaios de resistência mecânica realizados sobre dois grupos de provetes de misturas betuminosas com características idênticas, que são previamente acondicionados em condições distintas: um dos grupos é acondicionado em condições mais severas, do ponto de vista da ação da água. O quociente entre a resistência média dos provetes desse grupo e a resistência média dos provetes acondicionados em condições menos severas, fornece uma “resistência conservada”, que é utilizada como indicador da sensibilidade à água (Airey e Choi, 2002).

Em seguida, descrevem-se sucintamente os métodos de ensaio preconizados nas normas MIL-STD-620A e EN 12697-12.

### 2.1. Norma MIL-STD-620A – Método 104

O método de avaliação da sensibilidade à água utilizado até ao presente, baseado na norma americana MIL-STD-620A – método 104 (CRD-C 652-95), assenta na comparação entre forças de rotura Marshall de dois grupos de provetes acondicionados de forma distinta.

Para tal, é fabricada uma mistura betuminosa com a composição alvo que se pretende, e são fabricados 8 provetes cilíndricos de 101,6 mm de diâmetro e aproximadamente 63,5 mm de altura. Estes provetes são subdivididos em dois grupos com aproximadamente a mesma baridade média.

O primeiro grupo de provetes é imerso em água a 60°C durante 30 minutos (20 a 40 minutos de acordo com o método 100 da referida norma militar) (CRD-C 649-95), sendo posteriormente determinada a força de rotura de cada provete através do ensaio Marshall e calculado o respetivo valor médio ( $S_1$ ).

O segundo grupo é acondicionado durante 24 horas num banho de água a 60°C, após o que é determinado o valor médio das respetivas formas de rotura Marshall ( $S_2$ ).

Com base nos resultados obtidos para as forças de rotura médias, calcula-se o Índice de Resistência Conservada (IRC) através da fórmula:

$$IRC_{\text{Marshall}} = \frac{S_2}{S_1} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

## 2.2. Norma EN 12697-12 – Método A

O método de avaliação da sensibilidade à água de misturas betuminosas preconizado na EN 12697-12 – método A assenta na comparação entre os valores médios das resistências à tração em compressão diametral, determinadas de acordo com a norma EN 12697-23, de dois grupos de provetes cilíndricos previamente acondicionados em condições distintas.

Neste caso, são preparados 3 provetes cilíndricos para cada grupo, sendo as dimensões dos provetes condicionadas pela dimensão máxima do agregado. Para misturas com agregados de dimensão máxima inferior ou igual a 22 mm, podem utilizar-se provetes de  $(100 \pm 3)$  mm de diâmetro, ou seja, provetes semelhantes aos utilizados no método anterior, compactados pelo compactador de impacto, de acordo com a norma EN 12697-30 [8].

À semelhança do referido no caso anterior, a baridade média de cada grupo de provetes deve ser semelhante, assim como a sua altura média. Neste caso, são estabelecidas diferenças máximas de 30 kg/m<sup>3</sup> para as baridades médias e de 5 mm para os comprimentos médios. É ainda referido que os provetes devem ter todos o mesmo tempo de cura aproximado (devem ser todos moldados na mesma semana), e que este tempo de cura não deve ser inferior a 16 horas.

O primeiro grupo de provetes é acondicionado ao ar a  $(20 \pm 5)$  °C. O segundo grupo é acondicionado em banho de água a  $(40 \pm 1)$  °C, por um período de 68 h a 72 h. No entanto, para garantir que a água penetra de forma adequada nos poros dos provetes, a norma preconiza que os provetes do segundo grupo sejam previamente submetidos a vácuo em água a  $(20 \pm 5)$  °C e mantidos durante  $(30 \pm 5)$  min. a uma pressão absoluta de  $(6,7 \pm 0,3)$  kPa, e só depois sejam acondicionados no banho de água a  $(40 \pm 1)$  °C.

Uma vez concluído o período de condicionamento, os provetes são sujeitos a ensaios para determinar a resistência à tração indireta, a uma temperatura de ensaio selecionada na gama de 5°C a 25°C. A norma EN 12697-12 inclui uma nota onde recomenda que seja adotada uma temperatura de ensaio de 25°C, para se obter influência máxima da adesividade do ligante e para minimizar a influência dos agregados partidos na linha de rotura do provete. Observa-se, no entanto, que a norma EN 13108-20, preconiza uma temperatura de 15°C para efeitos de ensaios tipo iniciais de misturas betuminosas abrangidas pela marcação CE.

A partir dos valores médios das resistências à tração indireta dos provetes imersos ( $ITS_w$ ) e “a seco” ( $ITS_d$ ), é calculada a resistência conservada em tração indireta (ITSR) através da fórmula:

$$ITSR = 100 \times \frac{ITS_w}{ITS_d} \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

## 2.3. Aspetos Particulares relacionados com a Aplicação da Norma EN 12697-12

A aplicação da norma EN 12697-12 reveste-se de algumas dificuldades, relacionados com o condicionamento dos provetes imersos, particularmente com a aplicação do vácuo. Com efeito, a norma recomenda que seja efetuada uma verificação do volume dos provetes após a aplicação do vácuo, não devendo haver um aumento de volume dos provetes superior a 2%.

Nas primeiras experiências conduzidas no LNEC com esta norma foram efetivamente sentidas algumas dificuldades, chegando-se a resultados de resistência conservada muito variáveis e, em regra, inferiores aos valores esperados tendo em atenção os tipos de misturas em apreço. Tendo em atenção a experiência já adquirida com a aplicação desta norma, recomenda-se que sejam seguidos escrupulosamente os seguintes passos na aplicação do vácuo (Figura 1):

- Colocar os provetes no recipiente de vácuo (picnómetro), com água destilada a 20°C até pelo menos 20mm acima do topo dos provetes.
- Aplicar o vácuo para obtenção de uma pressão absoluta de  $(6,7 \pm 0,3)$  kPa em  $(10 \pm 1)$  min. É muito importante reduzir a pressão gradualmente por forma a evitar danos nos provetes. Para tal, deve-se reduzir a pressão entre o valor da pressão atmosférica (ao nível do mar  $\approx 101,3$  kPa) até ao valor final por patamares, sugerindo-se a monitorização do intervalo de tempo em cada patamar com um cronómetro.
- Manter o vácuo durante  $(30 \pm 5)$  min.
- Deixar entrar lentamente a pressão até à pressão atmosférica.
- Deixar os provetes imersos durante um período adicional de  $(30 \pm 5)$  min.



Figura 1. Provetes submetidos a vácuo (Batista *et al.*, 2008)

### 3. Sensibilidade à Água de Misturas com Características de Desgaste

Uma vez que as misturas betuminosas aplicadas em camadas de desgaste são aquelas que estão mais diretamente sujeitas à ação da água, no presente estudo optou-se por estudar misturas do tipo betão betuminoso para camada de desgaste (AC 14, de acordo com a terminologia preconizada na norma EN 13108-1) e misturas do tipo betão betuminoso drenante (PA 14, de acordo com a terminologia preconizada na norma EN 13108-7).

O programa experimental incluiu ensaios sobre misturas betuminosas para camadas de desgaste com porosidades distintas, com diferentes tipos de agregados e com betumes de diferentes penetrações.

#### 3.1. Programa de trabalhos

Na Tabela 1 identificam-se as misturas betuminosas utilizadas para a realização do presente estudo.

Tabela 1. Identificação das misturas betuminosas ensaiadas

Tipo de mistura	Tipo de agregado	Tipo de betume	Designação
Betão betuminoso (AC 14 surf)	Granitos	50/70	AC14 G1
		35/50	AC14 G2
	Doleritos (britas) + Calcário (pó)	35/50	AC14 D1
		50/70	AC14 D2
Betão betuminoso drenante (PA 14 surf)	Granitos	Betume modificado do tipo PMB 45/80-55	PA14 G1

Este estudo teve a participação de 5 laboratórios, que foram designados de L1 a L5, apresentando-se na tabela 2 o programa de trabalhos estabelecido.

Tabela 2. Programa de Trabalhos de Ensaios de Comparação Interlaboratorial

Identificação da mistura	Fabrico dos provetes	Método de ensaio	
		MIL-STD-620A – método 104	EN 12697-12 – método A
AC14 G1	L2	L1	L1, L2, L3, L4, L5
AC14 G2	L1	L1	L1
AC14 D1	L1	L1	L1*
AC14 D2	L1	L1	L1*, L2, L3, L4, L5
PA14 G	L1	L1	L1*, L2, L3, L4, L5

\* Realização do ensaio para determinação da resistência à tração indireta à temperatura de 15° C e de t=25° C

Tal como referido anteriormente, a norma EN 12697-12 permite que a determinação da resistência à tração indireta seja feita a uma temperatura de ensaio que pode ir desde 5°C até 25°C, recomendando que os ensaios sejam efetuados a 25°C de forma a maximizar o efeito do betume e a minimizar o efeito dos agregados partidos. No entanto, a norma relativa

aos ensaios tipo iniciais para marcação CE de misturas betuminosas (EN 13108-20), preconiza uma temperatura de 15°C para esse efeito. Neste contexto, considerou-se que os ensaios de comparação interlaboratorial deveriam ser efetuados a 15°C, e quando fosse viável face à quantidade de material disponível, o laboratório L1 procederia também ao ensaio segundo o mesmo método de ensaio (EN 12697-12:2008 – método A), mas à temperatura de 25°C, para além de proceder ao ensaio segundo a metodologia anteriormente utilizada em Portugal.

### 3.2. Composição das Misturas Betuminosas

Nas misturas betuminosas do grupo do betão betuminoso foram utilizados dois agregados de naturezas diferentes: duas misturas com agregados de natureza granítica (AC14 G1 e G2) e duas misturas com agregados de natureza dolerítica e calcária (AC14 D1 e D2). Ambas as misturas de agregados apresentavam granulometria contínua e dimensão nominal 0/14 mm.

Já em relação à mistura drenante (PA 1) se utilizaram agregados de natureza granítica, com granulometria aberta e dimensão nominal 0/14 mm.

Na Tabela 3 apresentam-se a composição de cada uma das misturas betuminosas fabricadas e ensaiadas no âmbito deste estudo.

Tabela 3. Composição das misturas betuminosas

Identificação da mistura betuminosa	Material	Percentagem de material	
AC14 G1 AC14 G2	Mistura de agregados	Fração 8/14	31,8
		Fração 4/8	20,9
		Fração 0/4	39,4
	Ligante betuminoso	Fíler comercial	2,9
		50/70 (AC14 G1) 35/50 (AC14 G2)	5,0
AC14 D1 AC14 D2	Mistura de agregados	Fração 11,2/16	25,7
		Fração 4/12	24,7
		Fração 0/4	42,8
	Ligante betuminoso	Fíler comercial	1,9
		50/70 (AC14 D1) 35/50 (AC14 D2)	4,9
PA14 G	Mistura de agregados	Fração 10/14	40,2
		Fração 5/10	40,1
		Fração 0/5	11,5
		Cal hidráulica	3,8
	Ligante betuminoso	PMB 45/80-55	4,4

## 4. Resultados Experimentais

Nas tabelas 4, 5 e 6 apresentam-se os principais resultados obtidos nos ensaios para avaliação da sensibilidade à água, respetivamente, realizados segundo o método 104 da norma MIL-STD-620A, o método A da norma EN 12697-12 e a uma temperatura de 15°C no ensaio de compressão diametral (ITT), e o método A da norma EN 12697-12 e a uma temperatura de 25°C (ITT).

Tabela 4. Resultados do ensaio de sensibilidade à água (MIL-STD-620A – método 104)

Identificação da mistura betuminosa	Porosidade média dos provetes (%)	Ensaio de sensibilidade à água				
		Laboratório		Grandeza	Provetes imersos 30 min. a 60°C	Provetes imersos 24h a 60°C
		moldagem dos provetes	ensaio dos provetes			
AC14 G1	2,8	L2	L1	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2420	2419
				S (kN)	17,5	15,2
				IRC <sub>Marshall</sub> (%)	<b>87</b>	
AC14 G2	2,8	L2	L1	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2420	2419
				S (kN)	20,3	17,9
				IRC <sub>Marshall</sub> (%)	<b>88</b>	

Identificação da mistura betuminosa	Porosidade média dos provetes (%)	Ensaio de sensibilidade à água				
		Laboratório		Grandeza	Provetes imersos 30 min. a 60°C	Provetes imersos 24h a 60°C
		moldagem dos provetes	ensaio dos provetes			
AC14 D1	-	L2	L1	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2525	2525
				S (kN)	16,0	16,0
				IRC <sub>Marshall</sub> (%)	<b>100</b>	
AC14 D2	-	L2	L1	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2553	2548
				S (kN)	16,9	15,4
				IRC <sub>Marshall</sub> (%)	<b>92</b>	
PA14 G	19	L2	L1	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2018	2021
				S (kN)	10,1	10,9
				IRC <sub>Marshall</sub> (%)	<b>100 (108)</b>	

Tabela 5. Resultados do ensaio de sensibilidade à água (EN 12697-12 – método A), a 15°C (ITT)

Identificação da mistura betuminosa	Porosidade média dos provetes (%)	Ensaio de sensibilidade à água				
		Laboratório		Grandeza	Provetes ≈3 dias ao ar a 20°C	Provetes submetidos a vácuo e imersos ≈70h a 40°C
		moldagem dos provetes	ensaio dos provetes			
AC14 G1	2,7	L2	G1-1	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2416	2426
				ITS (kPa)	3393	2767
				ITSR (%)	<b>82</b>	
	2,8	L2	G1-2	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2422	2419
				ITS (kPa)	3456	2514
				ITSR (%)	<b>73</b>	
	3,7	L2	G1-3 (L1)	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2397	2398
				ITS (kPa)	3255	1720
				ITSR (%)	<b>53</b>	
	3,4	L2	G1-4	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2406	2404
				ITS (kPa)	3701	2323
				ITSR (%)	<b>63</b>	
	2,3	L2	G1-5	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2431	2434
				ITS (kPa)	3330	2876
				ITSR (%)	<b>86</b>	
AC14 G2	3,2	L1	L1	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2408	2412
				ITS (kPa)	3395	2096
				ITSR (%)	<b>62</b>	
AC14 D1	-	L1	L1	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2525	2525
				ITS (kPa)	2290	2300
				ITSR (%)	<b>100</b>	
AC14 D2	-	L1	D2-1	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2559	2562
				ITS (kPa)	3437	3187
				ITSR (%)	<b>93</b>	
	-	L1	D2-2	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2554	2557
				ITS (kPa)	3392	3581
				ITSR (%)	<b>100 (106)</b>	
	-	L1	D2-3 (L1)	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2562	2562
				ITS (kPa)	3690	3490
				ITSR (%)	<b>95</b>	
	-	L1	D2-4	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2563	2554
				ITS (kPa)	3714	4130
				ITSR (%)	<b>100 (111)</b>	

Identificação da mistura betuminosa	Porosidade média dos provetes (%)	Ensaio de sensibilidade à água				
		Laboratório		Grandeza	Provetes ≈3 dias ao ar a 20°C	Provetes submetidos a vácuo e imersos ≈70h a 40°C
		moldagem dos provetes	ensaio dos provetes			
PA14 G	-	L1	D2-5	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2566	2565
				ITS (kPa)	3863	3656
				ITSR (%)	<b>95</b>	
		L1	PA1-1	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2032	2044
				ITS (kPa)	1178	852
				ITSR (%)	<b>72</b>	
		L1	PA1-2	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2035	2033
				ITS (kPa)	916	849
				ITSR (%)	<b>93</b>	
		L1	PA1-3 (L1)	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2044	2046
				ITS (kPa)	987	870
				ITSR (%)	<b>88</b>	
		L1	PA1-4	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2022	2009
				ITS (kPa)	1181	844
				ITSR (%)	<b>71</b>	
	L1	PA1-5	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2031	2028	
			ITS (kPa)	1156	865	
			ITSR (%)	<b>75</b>		

Tabela 6. Resultados do ensaio de sensibilidade à água (EN 12697-12 – método A), a 25°C (ITT)

Identificação da mistura betuminosa	Porosidade média dos provetes (%)	Ensaio de sensibilidade à água				
		Laboratório		Grandeza	Provetes ≈3 dias ao ar a 20°C	Provetes submetidos a vácuo e imersos ≈70h a 40°C
		moldagem dos provetes	ensaio dos provetes			
AC14 G2	3,2	L1	L1	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2417	2418
				ITS (kPa)	1331	1019
				ITSR (%)	<b>77</b>	
AC14 D1	-	L1	L1	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2525	2524
				ITS (kPa)	930	1050
				ITSR (%)	<b>100 (103)</b>	
AC14 D2	-	L1	L1	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2554	2555
				ITS (kPa)	2020	1810
				ITSR (%)	<b>90</b>	
PA14 G		L1	L1	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2028	2026
				ITS (kPa)	574	432
				ITSR (%)	<b>93</b>	

Fazendo primeiramente uma apreciação global dos resultados obtidos, verifica-se que:

- Para todas as misturas se obtiveram valores de Índice de Resistência Conservada ( $IRC_{\text{Marshall}}$ ) superiores a 85 %, valor este que se consideram bastante satisfatórios atendendo a que tradicionalmente o valor mínimo exigido nos cadernos de Encargos é de 75 %;
- Nos ensaios interlaboratoriais realizados para três das misturas estudadas (AC14 G1, AC14 D2 e PA14 G) obtiveram-se, para duas dessas misturas (AC14 G1 e PA14 G), valores de resistência conservada em tração indireta a 15°C (ITSR) muito dispersos e, para a maioria dos laboratórios participantes, valores de ITSR inferiores aos valores de  $IRC_{\text{Marshall}}$ . De facto, para a mistura AC14 G1, os cinco laboratórios participantes obtiveram valores de ITSR entre 50 % e 90 %, obtendo-se mesmo em três destes valores inferiores a 75 %.

Em relação à mistura PA14 G, os cinco laboratórios participantes obtiveram valores de ITSR entre 70 % e 95 %, obtendo-se igualmente em três destes laboratórios valores inferiores ou iguais a 75 %.

#### 4.1. Misturas do tipo “Betão Betuminoso” AC14 G1 e AC14 G2

Na Figura 2 representam-se graficamente os resultados obtidos nos ensaios realizados com as misturas AC14 G1, quer nos ensaios interlaboratoriais (norma EN 12697-12, com ITT a 15 °C), quer nos ensaios para comparação entre os resultados dos ensaios realizados segundo a referida norma europeia e a norma MIL-STD-620A.

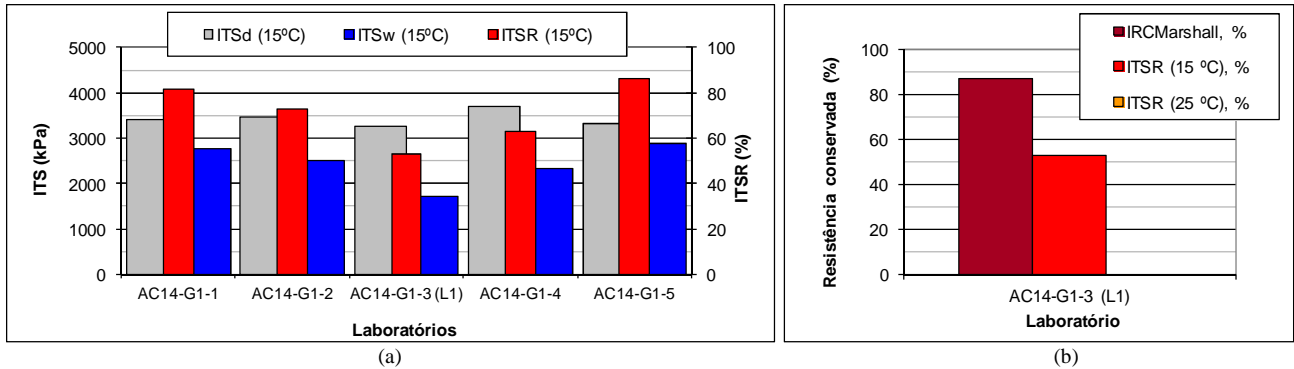


Figura 2. Resultados dos ensaios de avaliação da sensibilidade à água para a mistura AC14 G1: (a) ensaios interlaboratoriais realizados segundo a EN 12697-12, com ITT a 15 °C; (b) ensaios realizados segundo a MIL-STD-620A e segundo a EN 12697-12, com ITT a 15 °C

Da observação da Figura 2a, verifica-se que nos ensaios interlaboratoriais se obtiveram resultados muito variáveis de resistência conservada (ITS), o que parece dever-se, essencialmente, a uma grande variabilidade nos resultados de resistência à tração indireta dos provetes condicionados em água (ITSw).

Da observação da Figura 2b torna-se evidente que, para a mistura AC14 G1, o valor de ITSR a 15 °C foi significativamente inferior ao de IRC<sub>Marshall</sub>.

Na Figura 3 representam-se graficamente os resultados obtidos nos ensaios realizados com a mistura AC14 G2 segundo os três ensaios realizados. À semelhança que para a mistura AC14 G1, também para a AC14 G2 o valor de ITSR a 15 °C foi significativamente inferior ao obtido no ensaio de compressão Marshall, obtendo-se um valor intermédio para a resistência conservada em tração indireta a 25 °C.

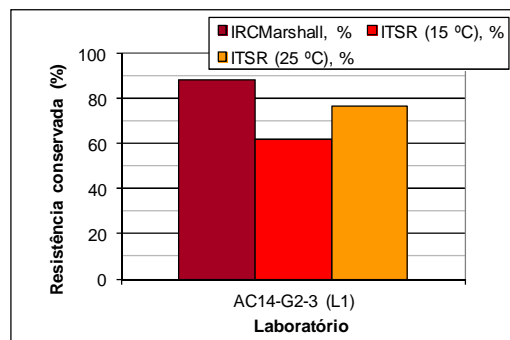


Figura 3. Resultados dos ensaios de avaliação da sensibilidade à água para a mistura AC14 G2: ensaios realizados segundo a MIL-STD-620A, segundo a EN 12697-12, com ITT a 15 °C e com ITT a 25 °C

#### 4.2. Misturas do tipo “Betão Betuminoso” AC14 D1 e AC14 D2

Em relação á mistura AC14 D1, obtiveram-se valores de resistência conservada máximas para os três ensaios realizados num mesmo laboratório, revelando-se uma mistura com elevada resistência à ação da água.

Para a mistura AC14 D2 obtiveram-se igualmente bons resultados nos ensaios realizados, conforme se pode observar na Figura 4.



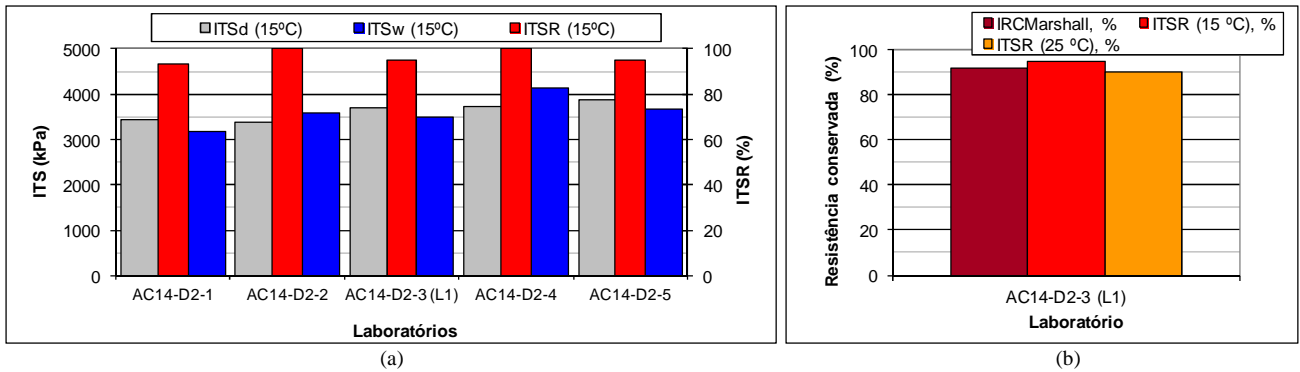


Figura 4. Resultados dos ensaios de avaliação da sensibilidade à água para a mistura AC14 D2: (a) ensaios interlaboratoriais realizados segundo a EN 12697-12, com ITT a 15 °C; (b) ensaios realizados segundo a MIL-STD-620A e segundo a EN 12697-12, com ITT a 15 °C e com ITT a 25 °C

#### 4.2. Mistura do tipo “Drenante” PA14 G

Na Figura 5a representam-se graficamente os resultados obtidos nos ensaios interlaboratoriais para avaliação da sensibilidade à água da mistura PA1, realizados pela norma EN 12697-12, à temperatura de 15°C, e na Figura 5b os resultados obtidos nos ensaios de comparação entre diferentes procedimentos/condições de ensaio.

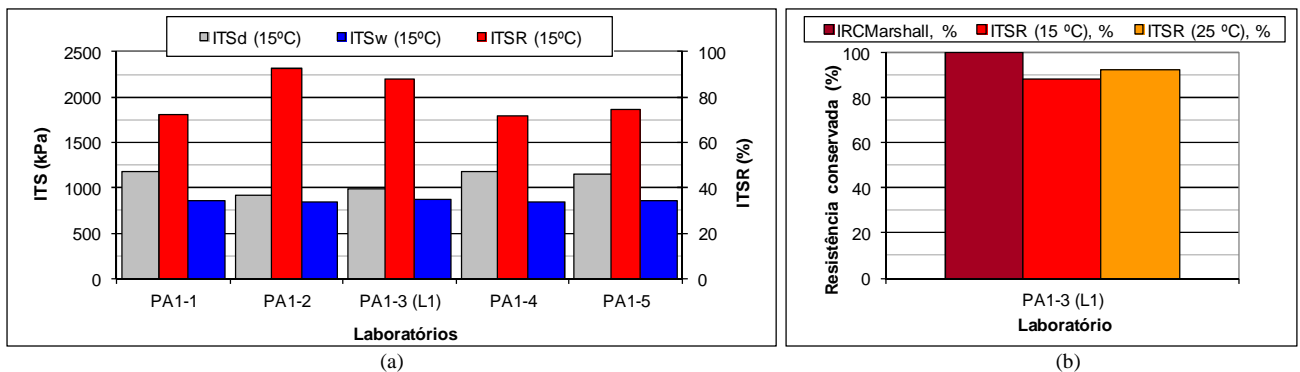


Figura 5. Resultados dos ensaios de avaliação da sensibilidade à água para a mistura PA14 G: (a) ensaios interlaboratoriais realizados segundo a EN 12697-12, com ITT a 15 °C; (b) ensaios realizados segundo a MIL-STD-620A e segundo a EN 12697-12, com ITT a 15 °C e com ITT a 25 °C

Os resultados dos ensaios interlaboratoriais apresentados demonstram que a resistência à tração em compressão diametral após condicionamento em água (ITSw) tem variabilidade relativamente reduzida. No entanto, observou-se uma maior variabilidade da resistência a seco (ITSd), o que condicionou a dispersão dos resultados da sensibilidade à água, que se situaram entre 71 e 93%.

Após análise destes resultados, tendo em atenção os procedimentos adotados por cada um dos laboratórios intervenientes, concluiu-se que a variabilidade dos resultados obtidos para a resistência a seco poderá estar relacionada com a utilização de diferentes processos para o condicionamento dos provetes secos a 15°C, antes de proceder ao ensaio mecânico. O facto de neste caso, as misturas apresentarem elevada porosidade, poderá ter feito com que eventuais diferenças do condicionamento dos provetes imersos em água, não tenham afetado os resultados de ITSsw.

Já o contrário se observou com o betão betuminoso ensaiado (AC14 G1), em que se verificou uma maior dispersão na resistência à tração em compressão diametral após condicionamento em água (ITSw) e uma variabilidade relativamente reduzida na variabilidade da resistência a seco (ITSd).

Para a mistura drenante (PA14 G), os resultados do ensaio realizado a 25°C apontam para menores valores das resistências com e sem imersão, como seria de esperar. No entanto a resistência conservada foi da mesma ordem de grandeza que os valores obtidos para os ensaios a 15°C.

## 6. Considerações Finais

Nesta comunicação apresentaram-se os principais resultados de um estudo pró-normativo no qual se tem estado a proceder à avaliação da sensibilidade à água de misturas betuminosas com características de desgaste.

O estudo experimental levado a cabo permite comparar os resultados obtidos através do método de ensaio tradicionalmente utilizado em Portugal com os obtidos através da norma Europeia EN 12697-12, constatando-se que a aplicação da norma Europeia conduz, de forma geral, a valores de resistência conservada inferiores aos obtidos com a norma militar e permite diferenciar melhor os comportamentos de diferentes misturas.

Têm-se verificado, no entanto, algumas dificuldades com a aplicação do método de ensaio preconizado na norma Europeia, pelo que se apresentaram neste trabalho algumas recomendações com vista à sua implementação. Estas recomendações visam essencialmente a adoção de cuidados acrescidos com a aplicação do vácuo na fase inicial de condicionamento dos provetes. Observou-se ainda que a temperatura de compactação dos provetes tem uma marcada influência nos resultados obtidos, pelo que se recomenda um controlo apertado deste aspeto.

## 7. Agradecimentos

Os autores agradecem ao InIR o apoio financeiro à realização do estudo.

## 8. Referências

- AIREY, G.D. & CHOI, Y.-K. 2002. State of the art report on moisture sensitivity test methods for bituminous pavement materials. *International Journal of Road Materials and Pavement Design*, 3 (4): 355-372.
- APORBET (1998) – Misturas Betuminosas. Contribuição para a normalização do fabrico e da aplicação. *APORBET – Associação Portuguesa de Fabricantes de Misturas Betuminosas*, 1998.
- BATISTA, F.A.; ANTUNES, M.L.; FONSECA, P. 2008. Avaliação da sensibilidade à água de misturas betuminosas com betume modificado com alta percentagem de borracha. *V Congresso Rodoviário Português “Estrada 2008”*, Portugal, março de 2008, Centro Rodoviário Português, 10p.
- BATISTA, F.A.; ANTUNES, M.L. 2009. Ensaio de comparação interlaboratorial para avaliação da sensibilidade à água de misturas betuminosas compactada. *Relatório LNEC 181/2009-NIRA/DT*, Proc. 0702/01/17243, Lisboa, junho de 2009, 28p.
- CRD-C 649-95 – Standard Test Method for Unit Weight, Marshall Stability, and Flow of Bituminous Mixtures (Formerly MIL-STD-620A, Method 100, 13 January 1996). *Construction Criteria Base - Handbook for Concrete and Cement, Whole Building Design Guide*, <http://www.wbdg.org/> (consultado em junho de 2011).
- CRD-C 652-95 – “Standard Test Method for Measurement of Reduction in Marshall Stability of Bituminous Mixtures Caused by Immersion in Water” (Formerly MIL-STD-620A, Method 104, 13 January 1966). *Construction Criteria Base - Handbook for Concrete and Cement, Whole Building Design Guide*, <http://www.wbdg.org/> (consultado em junho de 2011).
- EN 12697-12:2008 – European standard EN 12697 - Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt. Part 12 - Determination of the water sensitivity of bituminous specimens. *CEN/TC 227*, Brussels, 2008.
- EN 12697-23:2003 – European standard EN 12697 - Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt. Part 23 - Determination of the indirect tensile strength of bituminous specimens. *CEN/TC 227*, Brussels, 2003.
- EN 12697-30:2004+A1:2007 – European standard EN 12697 - Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt. Part 30 - Specimen preparation by impact compactor. *CEN/TC 227*, Brussels, 2007.
- EN 13108-1:2006 – Bituminous mixtures – Material specifications. Part 1: Asphalt concrete. *CEN/TC 227*, Brussels, 2006.
- EN 13108-7:2006 – Bituminous mixtures – Material specifications. Part 7: Porous Asphalt. *CEN/TC 227*, Brussels, 2006.
- EN 13108-20:2006 – European standard EN 13108 - Bituminous mixtures – Material specifications. Part 20: Type testing. *CEN/TC 227*, Brussels, 2006.