

# Influência da Adesividade Agregado/Betume no Desempenho de uma Mistura Betuminosa

Maria Maia<sup>1</sup>, Marisa Dinis-Almeida<sup>1</sup>, Fernando Martinho<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Centre of Materials and Building Technologies (C-MADE), University of Beira Interior, Calçada Fonte do Lameiro, Edifício II das Engenharias, 6200-358 Covilhã, Portugal, Tel: +351 275329706, Fax: +351 275329969, [maria\\_msa5@hotmail.com](mailto:maria_msa5@hotmail.com), [marisa.dinis@ubi.pt](mailto:marisa.dinis@ubi.pt)*

<sup>2</sup> CERENA/DECivil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 1049-001 Lisboa, Portugal; [fernando.martinho@tecnico.ulisboa.pt](mailto:fernando.martinho@tecnico.ulisboa.pt)

## Abstract

Over the past few decades, road administrations around the world have become aware of the importance of extending the life cycle of materials that make up the different layers of road pavements. One of the main problems encountered in road pavements is the formation of rut depth due to increase in the volume of road traffic and the successive passage of heavy vehicle, especially in areas with low speeds. The existence of rut depth makes the conditions of comfort and safety of road users decrease, favoring the water accumulation on the pavement surface, reducing tire / pavement friction, which can lead to hydroplaning phenomena.

The main objective of this dissertation is to study bituminous mixtures design to be applied in surface layers to improve the affinity between aggregate and bitumen and, consequently, to increase resistance to permanent deformation.

## Keywords

Affinity; Asphalt concrete; Cellulosic fibers; Permanent deformation; Stone Mastic Asphalt

## 1. Introdução

As administrações de estradas em todo o mundo têm tomado consciência, ao longo das últimas décadas, da importância de alargar o ciclo de vida dos materiais que fazem parte das diferentes camadas dos pavimentos de infraestruturas viárias, criando programas de apoio ao estudo e desenvolvimento de novas tecnologias. Esta preocupação tem como objetivo o aumento da durabilidade dos pavimentos, pois quanto maior for a sua vida útil, menos recursos serão gastos na sua conservação e reabilitação.

Assim, a necessidade de melhorar a durabilidade das misturas e, consequentemente, o seu desempenho face à deformação permanente, tem levado ao estudo dos principais fatores que influenciam a adesividade, como por exemplo a adição de promotores de adesividade incluídos nas fibras celulósicas. Estas fibras “aditivadas” apresentam várias vantagens, como a boa disponibilidade e um custo relativamente baixo, têm capacidade de ser recicladas, são biodegradáveis, não são perigosas para a natureza, apresentam pegada de carbono zero e boas propriedades mecânicas e físicas (baixa densidade e equilíbrio da rigidez, tenacidade e resistência [1, 2]). Um dos principais objetivos da utilização das fibras celulósicas aditivadas com promotor de adesividade é a inibição do escorrimento do ligante e a melhoria da sua adesividade ao agregado (problemas vulgarmente observados em misturas betuminosas com agregados granitoides e com maiores percentagens de betume), evitando a sua perda durante o armazenamento, transporte e aplicação [3].

O objetivo deste estudo é avaliar o desempenho e o comportamento de uma mistura tradicional, do tipo AC 14 surf, e definir a melhor formulação para uma mistura descontínua, do tipo SMA com adição de fibras celulósicas impregnadas com uma amina. Depois de definida a

composição e produzidas as misturas betuminosas, foi avaliado o seu desempenho através de ensaios laboratoriais de avaliação da sensibilidade à água e da resistência à deformação permanente.

## 2. Materiais e métodos

### 2.1 Materiais

Este artigo apresenta o estudo de duas misturas betuminosas, constituídas por agregados naturais de origem granítica, fíler calcário, betume convencional 50/70 (usado em zonas mais temperadas/frias) e, ainda, fibras celulósicas, aditivadas com promotor de adesividade.

#### 2.1.1 Aditivo

Foram utilizadas fibras celulósicas do tipo *Viatop Plus AD10*, que se apresentam na forma de grânulos constituídos por uma mistura de fibras naturais de celulose com betume, e uma amina. Estas fibras foram incorporadas como aditivo nas misturas betuminosas, de modo a melhorar as suas propriedades, aumentando a sua durabilidade e o seu desempenho.

Estas fibras celulósicas incluem um aditivo que apresenta diversas vantagens, como a redução do envelhecimento e a melhoria do comportamento da mistura betuminosa a longo prazo. O ponto fulcral da incorporação deste aditivo nas misturas betuminosas está relacionado com a melhoria da afinidade entre a superfície do agregado e o betume, conferida através da ação do promotor de adesividade e da percentagem de betume que é acrescida à mistura.

As características deste granulado estão referidas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características das fibras celulósicas com promotor de adesividade

Do granulado	
Aspeto	Grânulos
Conteúdo de fibras	83%
Comprimento médio	2 a 8 mm
Diâmetro médio dos	3 a 5 mm
Densidade aparente	450 a 550 g/l
Análise granulométrica	max. 7% (#< 3,55mm)
Do betume	
Betume de pavimentação 50/70	≈ 10% (cf. EN 12591)
Do promotor de adesividade	
<i>Fatty acid amide amine</i>	≈ 7%

#### 2.1.2 Ligante

O ligante utilizado na produção das misturas betuminosas foi o betume convencional 50/70 fornecido pela CEPSA Portuguesa, S.A.. A gama de temperaturas recomendadas para o fabrico das misturas situa-se entre os 151 a 157°C e para a compactação entre os 142 a 146°C. Este betume apresenta uma penetração (@ 25°C, 100 g, 5 s) de 59 dmm e uma temperatura de amolecimento de 47°C.

#### 2.1.3 Agregados

Nesta investigação foram utilizados agregados naturais de origem granítica, provenientes da região centro de Portugal. Estes agregados apresentam, geralmente, problemas ao nível da afinidade com os ligantes. Foram utilizados granitos de diferentes frações (bago de arroz, pó de pedra e brita 5/15) e um fíler de calcário.

A análise granulométrica dos agregados foi realizada de acordo com peneiração, norma EN 933-1, cujos resultados estão representados na Figura 1.

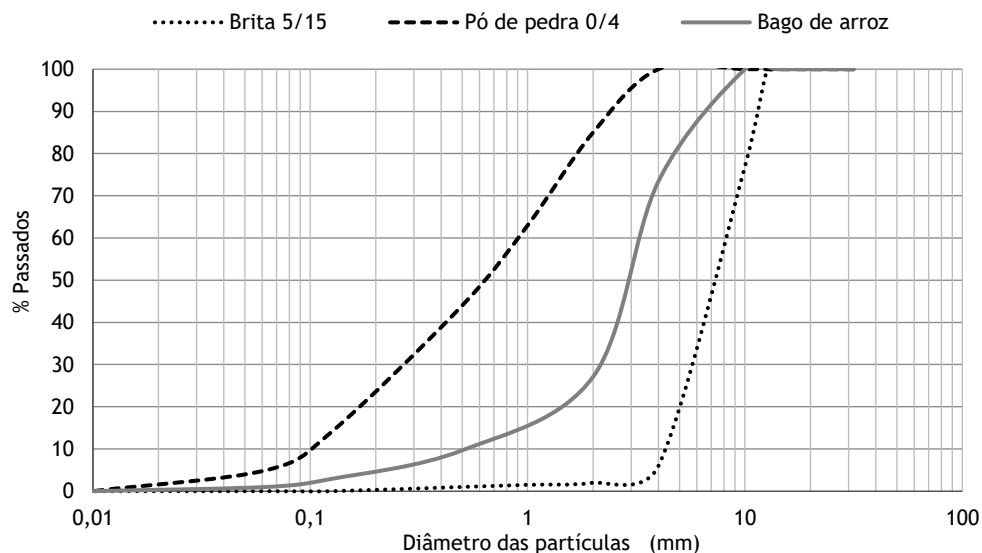


Figura 1 - Curvas granulométricas dos agregados

#### 2.1.4 Misturas betuminosas

Foram produzidas misturas com e sem adição de fibras celulósicas.

A mistura betuminosa sem fibras celulósicas é do tipo AC 14 surf, uma mistura tradicional utilizada em camadas de desgaste, cuja dimensão máxima do agregado é 14mm. A mistura com fibras celulósicas é do tipo *Stone Mastic Asphalt (SMA)*, caracterizada por misturas de agregados de granulometria descontínua e por quantidades de ligante elevadas.

Os fusos granulométricos utilizados nas misturas de agregados foram os definidos segundo o Caderno de Encargos Tipo Obra das Estradas de Portugal [4].

Estas misturas betuminosas foram, posteriormente, submetidas aos ensaios de avaliação do desempenho mecânico descritos na secção *Métodos*.

## 2.2 Métodos

O programa experimental foi iniciado pela definição da composição das misturas betuminosas. Após a seleção da percentagem ótima de ligante para as misturas, foi analisada a influência da adição de fibras celulósicas com o promotor de adesividade.

O ensaio de afinidade entre agregado e betume permitiu avaliar a influência desta propriedade na durabilidade e desempenho das misturas betuminosas densas.

O desempenho das misturas estudadas foi avaliado pelo ensaio de sensibilidade à água e de resistência à deformação permanente.

### 2.2.1 Ensaio de afinidade agregado/betume

A norma europeia EN 12697-11 descreve o ensaio de afinidade entre agregado e betume através do registo visual da superfície de agregado coberta com betume. Este ensaio também pode ser utilizado como ferramenta de apoio no estudo de formulação de uma mistura betuminosa no sentido de procurar um betume com maior afinidade a um determinado agregado ou vice-versa.

Foi usado o método dinâmico com garrafa rotativa com água destilada, que inclui a preparação de dois conjuntos de amostras. O primeiro grupo, “sem aditivo”, consiste em envolver 600g de brita com 16 g de betume e o segundo grupo, “com aditivo”, consiste na adição de fibras celulósicas com promotor de adesividade à mesma quantidade de agregado e betume. Em seguida, cada grupo de agregado revestido com o ligante é dividido em três parcelas, cada uma delas é transferida para garrafas, que posteriormente encher-se-ão de água destilada.

O ensaio inicia com a colocação das garrafas na máquina giratória, com uma velocidade de 60 rotações por minuto e, ao fim de  $6\text{ h} \pm 15\text{ min.}$ , é feita a primeira leitura. Depois deste período, regista-se a percentagem da superfície de agregado ainda coberta com betume e o ensaio prossegue até perfazer as 24 horas. No final, regista-se novamente a percentagem da superfície dos agregados ainda revestida com betume.

A afinidade é expressa pelo registo visual da superfície de agregado coberta com betume, em percentagem da superfície total de agregado, após a influência da ação de agitação mecânica.

### 2.2.2 Caracterização das misturas

Após a produção das misturas betuminosas, de acordo com o estudo de composição, procedeu-se à caracterização das misturas betuminosas AC14 e SMA11-F. As propriedades determinadas foram a baridade, a porosidade, a estabilidade e a deformação Marshall.

### 2.2.3 Ensaio de Sensibilidade à água

O ensaio de sensibilidade à água foi realizado de acordo com a norma EN 12697-12. Por cada percentagem ótima de betume produziram-se oito provetes cilíndricos. Estes foram separados em dois grupos. O grupo a seco foi acondicionado ao ar a  $20^{\circ}\text{C}$  durante um período de 68 a 72h.

O grupo imerso foi previamente submetido a vácuo em água durante 30 minutos com uma pressão absoluta de 6,7 kPa seguido do banho em água a  $40^{\circ}\text{C}$  durante 68 a 72 horas. De seguida, os dois grupos foram ensaiados à compressão diametral de acordo com a norma EN 12697-23 com uma aplicação de carga a velocidade constante de 50 mm/min. Os resultados do ensaio de sensibilidade à água são a resistência conservada em tração indireta (ITRS - *Indirect Tensile Strength Ratio*) pela EN 12697-12 e a resistência à tração indireta (ITS - *Tensile Strength Indirect*) pela EN 12697-23.

### 2.2.4 Resistência à deformação permanente

A resistência à deformação permanente das quatro misturas foi avaliada pelo *Wheel Tracking test*, de acordo com a norma EN 12697-22, usando um equipamento de pequenas dimensões e o procedimento B (ao ar). Foram preparadas duas lajetas por cada mistura, com as dimensões de 30 x 30 x 4 cm, compactadas com uma placa vibratória. O ensaio teve início após 7 dias de tempo de cura. A temperatura de realização do ensaio foi de  $50^{\circ}\text{C}$ , sendo que as lajetas foram previamente acondicionadas à mesma temperatura por um período mínimo de 4 h. A carga aplicada foi de 700 N com uma frequência de 26,5 ciclos de carga/minuto. O ensaio terminou quando se atingiram os 10 000 ciclos de carga aplicados.

Os parâmetros obtidos para este ensaio são o declive máximo de rodeira ( $WTS_{\text{AIR}}$  - *Wheel Tracking Slope in air*), a profundidade média proporcional ( $PRD_{\text{AIR}}$  - *mean Proportional Rut Depth in air*) e a profundidade média de rodeira ( $RD_{\text{AIR}}$  - *Mean Rut Depth in air*).

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1 Composição das misturas betuminosas

O estudo de composição granulométrica das misturas é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2- Composição das misturas betuminosas (%)

Materiais	AC14	SMA11-F
Betume 50/70 (*)	5,3	5,8
Filler calcário	4,7	7,5
Pó de Pedra	16,1	15,1
Bago de Arroz	21,8	30,1
Brita 5/15	52,1	41,4
Fibras celulósicas com promotor de adesividade	-	0,3

(\*) Percentagem sobre o peso total da mistura betuminosa

#### 3.2 Ensaio de afinidade agregado /betume

Relativamente ao grupo “sem aditivo”, verifica-se através da observação da Figura 2, que após 6 horas de ensaio a percentagem de revestimento é igual a 77% e após as 24 horas é igual a 43%. Quanto ao grupo “com aditivo”, verifica-se que após 6 horas de ensaio a percentagem de revestimento com o ligante é igual a 78% e após as 24 horas é igual a 53%.

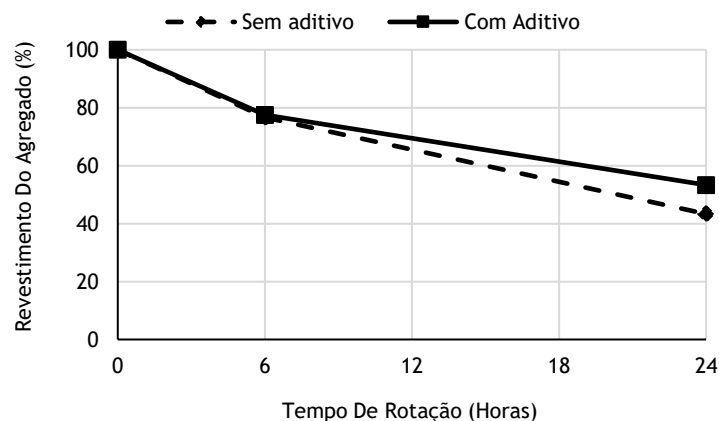


Figura 2- Percentagem de revestimento do agregado após 6 horas e 24 horas.

Pela análise dos resultados pode concluir-se que ao fim de 6 horas a diferença da percentagem de revestimento do agregado com betume não é significativa. No entanto, ao fim de 24 horas verifica-se que a mistura com aditivo apresenta valores superiores em cerca de 10%, confirmando o efeito do promotor de adesividade. Esta realidade pode ser observada nos agregados mostrados na Figura 3.



Figura 3 - Aspeto de agregados após ensaio de afinidade agregado/betume (após 24 h)

### 3.3 Caracterização das misturas betuminosas

Os resultados da baridade, porosidade, estabilidade e deformação Marshall para as misturas densas apresentam-se na Tabela 3.

Tabela 3. Propriedades das misturas densas

Mistura betuminosa	Betume (%)	Baridade (kg/m <sup>3</sup> )	Porosidade (%)	Estabilidade Marshall (kN)	Deformação Marshall (mm)
AC14	5,3	2300	4,0	17,7	5,2
SMA11-F	5,8	2330	1,8	16,8	5,5

### 3.4 Ensaio de sensibilidade à água

A Figura 4 apresenta os resultados do ensaio de sensibilidade à água. Os provetes secos apresentam maiores valores de ITS, como era esperado, devido ao efeito da presença de água a 40°C nos provetes imersos.

O Caderno de Encargos utilizado [4] não referencia qualquer requisito para o ensaio de sensibilidade à água.

A norma espanhola PG3-3 [5] refere um valor de ITSr mínimo de 80% para a misturas densas. As misturas AC14 e SMA11-F obtiveram valores de 86% e 83%, respetivamente, estando acima desse valor.

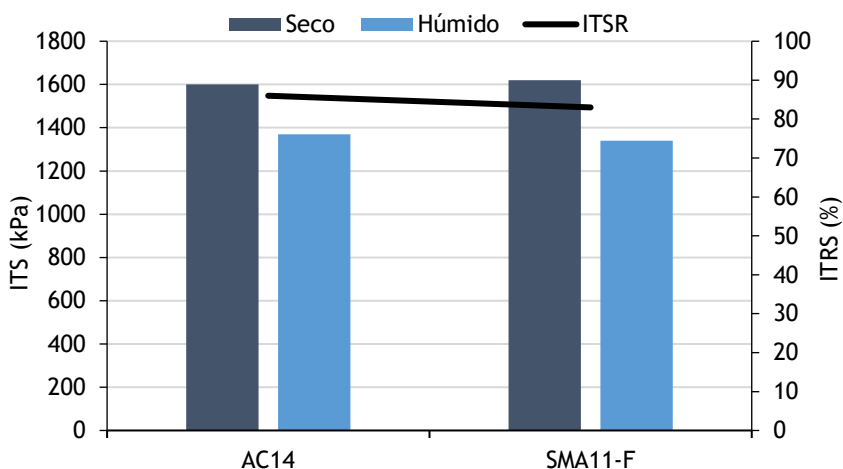


Figura 4 - Sensibilidade à água, ITS e ITSr (média 3 provetes)

### 3.5 Resistência à deformação permanente

Na Figura 5 estão apresentados os resultados obtidos de profundidade de rodeira em função do número de ciclos, para as misturas betuminosas estudadas. Pela análise da figura é possível observar o efeito da adição de fibras celulósicas no desempenho da deformação permanente nas diferentes misturas. A mistura SMA11-F demonstra um desempenho melhorado em termos de resistência à deformação apesar das misturas betuminosas terem mais betume incorporado, como pode ser observado pelas curvas com menor profundidade de rodeira. Estes resultados estão relacionados com a melhoria da adesão entre o betume e os agregados, proporcionada pela boa repartição, na mistura, do mástique, que inclui as fibras celulósicas.

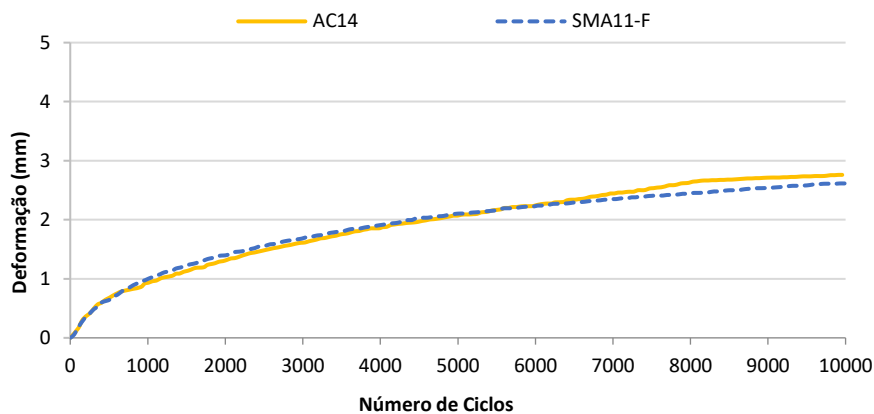


Figura 5 - Resultados do ensaio de deformação permanente, a 50°C

A Tabela 4 mostra os resultados obtidos nos ensaios de *wheel tracking* de acordo com os principais parâmetros que caracterizam a resistência à deformação permanente.

Tabela 4. Principais parâmetros obtidos pelo ensaio de deformação permanente

Parâmetros	Mistura sem fibras	Mistura com fibras
	AC14	SMA11-F
Taxa de Deformação Média ( $WTS_{AIR}$ ) (mm/10 <sup>3</sup> ciclos)	0,14	0,11
Média da Profundidade de Rodeira ( $RD_{AIR}$ ) (mm)	2,75	2,62

As misturas AC14 e SMA11-F apresentam valores muito próximos, pois são representadas pelo seu valor médio de profundidade de rodeira. No entanto, a mistura SMA11-F apresenta os melhores resultados e mais similares entre as duas amostras ensaiadas.

Neste estudo, fica clara a melhoria da resistência à deformação permanente das misturas com o uso de fibras celulósicas, com percentagens de betume superiores às utilizadas nas misturas convencionais. Além disso, este aumento de betume traduzir-se-á num aumento da resistência à fadiga e num acréscimo da durabilidade das misturas.

#### 4. Conclusões

Este artigo apresentou o desempenho de misturas betuminosas com e sem adição de fibras celulósicas aditivadas com promotor de adesividade. A incorporação destas fibras celulósicas permitiu aumentar a percentagem de betume presente nas misturas, sem escorrimento do mesmo,

possibilitando a sua retenção e um melhor revestimento dos agregados e, conseqüentemente, uma maior durabilidade da mistura. Os ensaios realizados permitiram inferir as seguintes conclusões:

- (1) O ensaio de afinidade entre o agregado e o betume confirmou o efeito de promotor de adesividade presente no granulado das fibras;
- (2) Os resultados de sensibilidade à água para cada grupo de misturas mostram valores muito próximos entre si, com e sem utilização de fibras;
- (3) Na generalidade, os resultados de resistência à deformação permanente indicam um melhor comportamento das misturas com fibras celulósicas, verificando-se uma profundidade de rodagem superior para as misturas sem fibras celulósicas. Neste estudo, verificou-se que as misturas com maiores percentagens de betume apresentam melhor desempenho à deformação permanente. Este facto estará relacionado com uma melhor redistribuição do mástique e com a retenção do betume por parte das fibras celulósicas.

Em conclusão, a adição de fibras celulósicas, aditivadas com o promotor de adesividade, nas misturas betuminosas leva à melhoria da adesividade entre os agregados e o betume e o conseqüente aumento da resistência à deformação permanente, permitindo a utilização deste tipo de misturas com garantias de maior durabilidade, bom funcionamento e maior segurança para os utentes.

## 5. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à *JRS, J. Rettenmaier & Söhne*, pelo fornecimento das fibras celulósicas, à *CEPSA* pelo fornecimento do betume e à *Pedreira da Capinha* pelo fornecimento dos agregados.

## 6. Referências

- [1] Satyanarayana, K. G., Arizaga, G. G. C., & Wypych, F. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers-An overview. *Progress in Polymer Science (Oxford)*, 34(9), 2009
- [2] Wambua, P., Ivens, J., & Verpoest, I. Natural fibres: Can they replace glass in fibre reinforced plastics? *Composites Science and Technology*, 63(9), 2003
- [3] Martinho, F., Lanchas, S., Nunez, R., Batista, F., & Miranda, H. “A experiência portuguesa em misturas betuminosas do tipo SMA com fibras celulósicas”. *7º Congresso Rodoviário Português, Lisboa*, 2013
- [4] Estradas de Portugal, S. A. Caderno de Encargos Tipo Obra, Pavimentação, 14.03 Características dos materiais e 15.03 Métodos construtivos. Lisboa, Portugal: Estradas de Portugal, 2014
- [5] Dirección General de Carreteras. *Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-3)*. Ministerio de Fomento. España, 2014