

# CONTRIBUIÇÃO PARA A VALIDAÇÃO TECNOLÓGICA DUM SMA COM BORRACHA

Kapila Chissama<sup>1</sup>, Luís Picado Santos<sup>2</sup>, Paulo Fonseca<sup>3</sup>

[kapila.chissama@gmail.com](mailto:kapila.chissama@gmail.com)

<sup>1</sup>CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Avenida Rovisco Pais, 1049-001, Lisboa, Portugal, [kapila.chissama@gmail.com](mailto:kapila.chissama@gmail.com);

<sup>2</sup>CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Avenida Rovisco Pais, 1049-001, Lisboa, Portugal, [luispicadosantos@tecnico.ulisboa.pt](mailto:luispicadosantos@tecnico.ulisboa.pt)

<sup>3</sup>GRUPO ELEVO, Edifício Prime, Av. Quinta Grande 53 e 53-A, 4.ºB, Lisboa, Portugal,

[paulo.fonseca@elevogroup.com](mailto:paulo.fonseca@elevogroup.com)

---

Tendo-se a convicção que o SMA com borracha serve bem os objectivos de constituição de camadas de desgaste resistentes às acções dos veículos pesados em condições de temperaturas elevadas, pretende-se com este trabalho contribuir para a validação tecnológica dum SMA 12,5 com borracha, adicionada por via seca, sem que se tenha drenagem do betume, para ser uma alternativa às fibras de celulose e, com grande probabilidade, poder melhorar a durabilidade geral do SMA.

As misturas foram avaliadas à sensibilidade a água, à deformação permanente, à deformabilidade, à fadiga e ao envelhecimento, no Laboratório de Vias de Comunicação e Transportes do IST. Os resultados levam a poder afirmar que o SMA com borracha tem potencial para ser usado na tecnologia de pavimentação em Portugal e em Angola, por exemplo.

---

**Palavras-chave:** Camadas de desgaste de pavimentos; SMA (Stone Mastic Asphalt); Borracha; Desempenho; Durabilidade.

## 1 INTRODUÇÃO

Os pavimentos rodoviários estão sujeitos a degradação ao longo da vida útil, devido à ação do tráfego rodoviário bem como a provocada pelos agentes atmosféricos. Relativamente às ações que os veículos exercem sobre os pavimentos, destacam-se as elevadas tensões verticais e horizontais/tangenciais e em relação às condições climáticas destacam-se a temperatura e a pluviosidade.

Tendo em conta as diferentes ações que os pavimentos estão sujeitos espera-se que os pavimentos rodoviários apresentem características estruturais e funcionais favoráveis ao longo do seu período de vida útil, minimizando os custos na conservação e manutenção, procurando soluções técnicas que garantam uma durabilidade superior e baixo custo no período de vida, sobretudo para os pavimentos flexíveis que são os mais comuns.

Com o aumento do volume de tráfego rodoviário e das cargas dos veículos pesados, é cada vez mais importante que os pavimentos tenham elevada durabilidade, conforto, alta segurança e sustentabilidade. A escolha da camada de desgaste do pavimento deve ter em conta a relação custo-benefício (Martinho, F. et al., 2013), nomeadamente o custo de execução e a durabilidade previsível.

As instituições que gerem as redes rodoviárias bem como os governos de vários países passaram a ter uma acrescida preocupação em relação aos custos de conservação e manutenção das camadas de desgaste dos pavimentos rodoviários, uma vez que estes custos têm representado na exploração das redes rodoviárias de diversos países entre 25 a 35% (Martinho, F. et al., 2013).

Para atender estas inquietações, na década de 60 do século XX, foi iniciado na Alemanha o desenvolvimento de misturas com desempenho superior ao convencional e que garante maior durabilidade ao longo do período de vida útil dos pavimentos, sem grande aumento do custo em relação as misturas tradicionais, entre as quais destacam-se as misturas betuminosas do tipo SMA (Stone Mastic Asphalt), normalizada a nível Europeu pela EN 13108-5. Em 1968, os Alemães aplicaram um SMA com apenas 2cm de espessura, constituída por 75% de agregados 5/8 mm, 15% de material de 0/2 mm e 10% de filer de origem mineral. A percentagem de betume utilizada nesta mistura betuminosa foi de 7%, sob o peso total da mistura. Como a mistura tem sobretudo grossos e mástique (fíler mais ligante) e uma percentagem elevada de ligante, para evitar a drenagem deste e conseguir ter uma boa homogeneização, aplicaram um aditivo (fibras celulósicas) à mistura. Decorrido mais de 30 anos, esse revestimento ainda se encontra em estado razoável, e desde então, foram aplicados mais de 200.000.000 de m<sup>2</sup> somente na Alemanha (EAPA, 1998).

As misturas do tipo SMA foram desenvolvidas na época para resistirem aos pneus de inverno, uma vez que naquela altura os pneus de inverno tinham pitons de aço, tornando-se bastante agressivos para as camadas de desgaste dos pavimentos rodoviários. Nos primeiros tempos, as misturas do tipo SMA foram aplicadas essencialmente nos países mais desenvolvidos e com temperaturas mais frias, como na Alemanha e Suécia. Outros países começaram a adoptar o SMA e obtiveram o mesmo sucesso observado na Alemanha e na Suécia (Brown, 1992).

As misturas SMA têm sido adoptadas em muitos países da Europa e não só. Na Bélgica, a experiência se tem estendido com SMA cujo tamanho máximo do agregado é maior (0/16 mm), com sucessos em vias de tráfego pesado e espessuras de cerca de 6 cm (Francken, L. e Vanelstraete, A., 1995).

Dentro da União Europeia, em 2006, o Comité Europeu de Normalização (CEN) elaborou a norma EN 13108-5 - "Misturas Betuminosas – Especificações dos Materiais – Parte 5: Mástiques Betuminosos Pétreos". Esta norma contempla a utilização de betumes puros e de betumes modificados (EN 14023), bem como o uso de aditivos e em particular das fibras orgânicas e inorgânicas, com o objetivo de evitar o escorrimento do betume.

No decorrer do ano 1990, as misturas betuminosas do tipo SMA foram adoptadas nos Estados Unidos da América, depois de uma visita técnica patrocinada por várias organizações ligadas à gestão e construção de pavimentos rodoviários (European Asphalt Study Tour of 1990), construindo em 1991 vários trechos de estradas para ensaios.

O emprego da tecnologia SMA, também, foi estendida para o México com sucesso (Perdraza, A., 1999). Na Argentina, foi também realizada uma experiência pioneira, com agregados de maior dimensão 0/11 mm e 0/19 mm, respectivamente, em autoestradas nas proximidades de Buenos Aires (Bolzan, P., 2000).

Estas misturas são mais indicadas para pavimentos com tráfego pesado e elevado, isto é, em pavimentos aeroportuários, portuários, rodoviários, arruamentos urbanos, paragens de autocarros, rotundas e viadutos, sendo actualmente as misturas mais utilizadas em camadas de desgaste nos países Europeus.

Em Portugal, a mistura betuminosa do tipo SMA foi aplicada pela primeira vez em 2004, sendo que a partir do ano 2009 é que tem sido usado de forma mais frequente (Martinho, F. et al, 2013).

As misturas betuminosas do tipo SMA são misturas de granulometria descontínua, caracterizadas por uma grande quantidade de agregados grossos, pouca quantidade de agregado de dimensão intermédia (2 e 4mm), uma quantidade elevada de filer e betume (7% ou mais) bem como uma pequena quantidade de aditivo, para evitar a

drenagem do betume e ajudar a fixar o mesmo na mistura. A fibra celulósica é o aditivo mais utilizado nestas misturas, com percentagem da massa total entre os 0,3% e 0,4%.

As misturas betuminosas do tipo SMA apresentam grande resistência à deformações permanentes (rodeiras) e à fadiga, apresentando também grande durabilidade no que concerne a vida útil, devido ao mástique rico em betume que perdura mais consistentemente a ligação entre os agregados do que uma mistura convencional.

O principal objetivo deste trabalho visa contribuir para a validação tecnológica dum SMA com borracha, adicionada por via seca, sem que se tenha escorrimento do betume, para ser uma alternativa às fibras de celulose e, com probabilidade elevada, de melhorar a durabilidade geral do SMA. Para isto pretendeu-se comparar o seu desempenho com as misturas betuminosas convencionais AC 14 (descontínua) e misturas SMA com fibras de celulose, de forma a aquilatar se efectivamente constitui uma alternativa de melhor desempenho mecânico e também de solução mais efectiva para o ciclo de vida esperado. Acresce que esta solução tem como objectivo adicional o de poder ser usada na tecnologia Angolana, contribuindo para uma mais eficiente resposta a condições de carga e climáticas exigentes para os pavimentos angolanos.

No que se refere aos custos directos (fabrico e colocação em obra), segundo Martinho, F. et al., (2013), estima-se que o SMA acresça cerca de 25% em relação a um AC14, mas também se estima que tenha uma vida útil de cerca de 35% acima, sendo uma mistura que devido à sua constituição granulométrica suporta muito melhor a acção dos veículos mais pesados.

O aumento no custo inicial da mistura não é significativo. O sobrecusto médio por tonelada dum SMA com fibras de celulose (Viatop Premium), relativamente a uma mistura rugosa convencional é o seguinte (Lanchas et al., 2014):

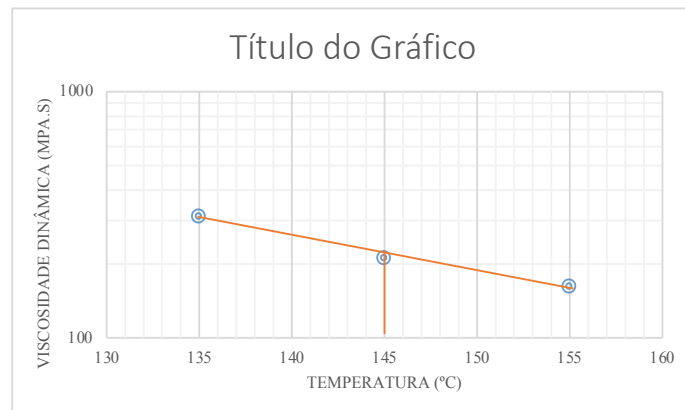
7,5 €/ton (3,0€ mais de betume “6kg/ton” e 4,5€ mais de fibras de celulose “3kg/ton”). O valor de 7,5€/ton equivale a aproximadamente +15,0% sobre a mistura, o que significa 0,75€/m<sup>2</sup> numa camada com 5cm de espessura (Lanchas et al., 2014).

O sobrecusto médio por tonelada dum SMA com borracha relativamente a uma mistura rugosa convencional é da ordem de grandeza do verificado para aquele com fibras celulósicas.

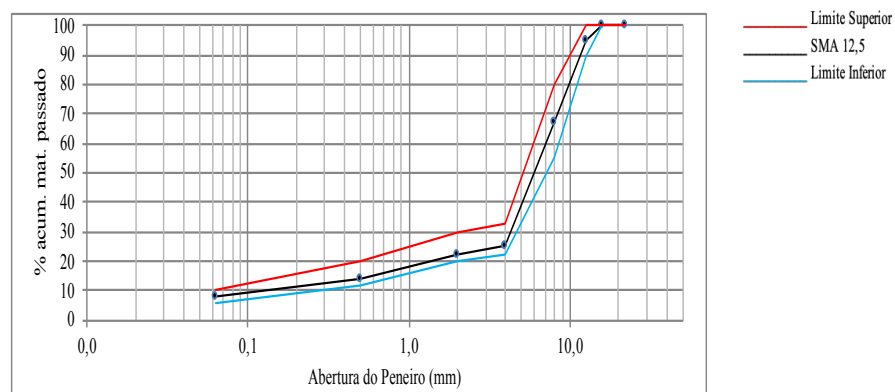
## **2 PROCEDIMENTO DE VALIDAÇÃO DUM SMA COM BORRACHA**

### **2.1 Materiais Utilizados**

No que concerne aos materiais, foram utilizados agregados graníticos, isto é, o Pó 0 /4 e uma Brita 4 /16. O filer utilizado foi o comercial de origem calcária, sendo que o betume utilizado foi da classe de penetração 50/70 (o mais usado em Angola), sem qualquer modificação e as normas utilizadas foram as Normas Europeias. Para evitar o escorrimento do betume nas misturas SMA 12,5, utilizaram-se como aditivos o granulado de borracha de pneus usados com a dimensão de 0 – 0,8mm (fornecidos pela Biosaf), adicionado por via seca, com a taxa de incorporação média (10% da massa total de betume) e as fibras de celulose Viatop Premium (fornecidas pela JRS), numa percentagem de 0,3%. O betume apresentou uma temperatura de amolecimento de 50,7°C, uma penetração de 55,9 décimas de milímetro e uma viscosidade dinâmica de 211 mPa.s, correspondente a temperatura de 145°C (Figura 1). A granulometria é mostrada na Figura 2. Na produção das misturas, a composição dos agregados foi estabelecida de forma “farmacêutica”, isto é, os agregados entraram na percentagem em peso estabelecida para cada peneiro, de forma a tornar as diferentes misturas o mais homogéneas possível em termos de composição granulométrica.



**Figura 1: Resultados da viscosidade dinâmica do betume.**



**Figura 2: Curva granulométrica da mistura SMA 12,5.**

## 2.2 Procedimento Laboratorial

O Método Marshall é o método mais utilizado para o estudo da composição das misturas betuminosas a quente em Portugal. O Método Marshall utiliza provetes cilíndricos com altura de 63,6mm e diâmetro de 101,6mm, compactados por impactos contínuos. O número de pancadas varia normalmente entre as 35 e as 75 por face em cada provete, em função do tráfego que se estima vir a solicitar o pavimento rodoviário ao longo da sua vida útil. Para as misturas convencionais são utilizadas 75 pancadas por face em Portugal (EP, 2014).

As misturas betuminosas SMA por serem misturas descontínuas, são formuladas geralmente por métodos do tipo receita, em que a percentagem de ligante a usar no fabrico da mistura é determinada através da análise da percentagem da porosidade em provetes cilíndricos Marshall. Neste trabalho foi adoptado este método, que é o método utilizado na Alemanha (Druschner, L. e Schafer, V., 2000). De acordo com este método, os provetes cilíndricos Marshall são compactados com 50 pancadas por face, determinando desta forma a sua porosidade. As temperaturas de mistura e compactação utilizadas no fabrico dos provetes foram de 157°C e 146°C. Os provetes cilíndricos foram ensaiados no estabilómetro de Marshall, onde foram verificados os resultados obtidos, determinando a sua deformação e estabilidade. O estudo Marshall para a mistura betuminosa SMA foi realizado nas percentagens de betume de 5,0%, 5,5% e 6,0%, respectivamente, obtendo uma percentagem óptima de betume de 5,5% para a mistura SMA 12,5, sendo que para o AC14 (BBr) o estudo foi realizado nas percentagens 4,0%, 4,5% e 5,0%, obtendo uma percentagem óptima de betume de 4,5%. Nos Quadros 1 e 2 são apresentados os resultados do ensaio Marshall para o SMA 12,5 e para o AC14 (BBr).

Quadro 1: Resultados obtidos no Ensaio Marshall para o SMA 12,5.

% de Betume	$\rho_{dry}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_{mv}$ (kg/m <sup>3</sup> )	V <sub>m</sub> (%)	VMA (%)	VFB (%)	S (kN)	F (mm)	S/F (kN/mm)
5,0%	2251,4	2442,9	7,8%	18,8%	58,2%	5,9	5,5	1,1
5,5%	2270,0	2378,3	4,6%	16,7%	72,7%	7,4	5,8	1,3
6,0%	2274,8	2334,7	2,6%	15,8%	83,8%	6,0	5,7	1,1

Onde:

$\rho_{dry}$  – Massa volúmica das partículas secas;

$\rho_{mv}$  – Baridade máxima teórica;

V<sub>m</sub> – porosidade;

VMA – Vazios na mistura de agregados;

VFB – Vazios preenchidos com betume;

S – Estabilidade;

F – Deformação;

S/F – Estabilidade Marshall.

Quadro 2: Resultados obtidos no Ensaio Marshall para o AC14 (BBr).

% de Betume	$\rho_{dry}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_{mv}$ (kg/m <sup>3</sup> )	V <sub>m</sub> (%)	VMA (%)	VFB (%)	S (kN)	F (mm)	S/F (kN/mm)
4,0	2277,8	2510,3	9,3%	18,1%	48,9%	8,6	4,2	2,7
4,5	2307,8	2521,3	8,5%	18,6%	54,4%	9,5	3,5	2,7
5,0	2312,7	2538,8	8,9%	20,1%	55,8%	8,5	4,2	2,1

Onde:

$\rho_{dry}$  – Massa volúmica das partículas secas;

$\rho_{mv}$  – Baridade máxima teórica;

V<sub>m</sub> – porosidade;

VMA – Vazios na mistura de agregados;

VFB – Vazios preenchidos com betume;

S – Estabilidade;

F – Deformação;

## 2.3 Procedimento Experimental

Após o Estudo Marshall, realizou-se a produção das diferentes misturas betuminosas, nomeadamente o SMA 12,5 com Borracha, o SMA 12,5 Viatop Premium e o AC14 (BBr), para comparação. Procedeu-se também o envelhecimento das misturas betuminosas.

Inicialmente separou-se os agregados por peneiros (granulometria farmacêutica) e aqueceu-se os agregados à temperatura para fabrico da mistura betuminosa (157 °C). Procedeu-se também ao aquecimento do betume à

temperatura para fabrico (144°C). Antes da adição do betume aos agregados, foi misturada a borracha aos agregados aquecidos durante cerca de 15 segundos. Posteriormente, foi adicionado o betume que envolveu os agregados e a borracha. Após o fabrico da mistura SMA 12,5 com Borracha, não se procedeu de imediato à compactação da mesma, uma vez que é necessário garantir o tempo de interação física entre o betume e a borracha. Neste estudo, o tempo de interação física entre o betume e a borracha foi de 130 minutos. Depois deste período executou-se a referida compactação. Para o SMA 12,5 com fibras Viatop Premium, procedeu-se imediatamente a compactação após a produção das mesmas, tendo em conta as temperaturas de compactação.

## 2.4 Drenagem do Betume

O Ensaio de Schellenberg foi o ensaio utilizado para avaliar a drenagem do betume nas misturas descontínuas estudadas. A norma utilizada foi a EN 12697-18, (CEN, 2004), que indica este ensaio como apropriado para as misturas betuminosas que contenham fibras de celulose como aditivos.

Este ensaio se destina a verificar se a quantidade de aditivo é suficiente para evitar o escorrimento do betume. A mistura SMA requer que se faça a análise à drenagem do betume. A drenagem do betume ocorre durante o transporte ou quando se faz o armazenamento à quente, podendo levar a que partes da mistura betuminosa fiquem com betume em excesso, podendo ocorrer zonas à superfície do pavimento onde possam existir macrotextura reduzida.

Em geral, este ensaio realiza-se a uma temperatura de 25°C superior à temperatura que se escolhe para o fabrico da mistura betuminosa. Para este estudo, a drenagem do betume realizou-se a uma temperatura de 182°C e a percentagem de betume de 5,5%. O resultado da drenagem do betume foi de 0,1%, valor admissível conforme se verifica no Quadro 3.

Quadro 3: Comparação da drenagem do betume obtida com valores das especificações técnicas.

Propriedades	Limites para o SMA 0711S definidos na ZTV Asphalt StB 2001	Limites definidos na DER-SP ET-DE-P00/031	Limites definidos na AASHTO M 325-09	Valores obtidos para as misturas SMA 12,5	
				Borracha	Viatop Premium
Drenagem Máxima (%)	...	0,3	0,3	0,1	0,1

## 2.5 Envelhecimento das Misturas

Quanto ao processo de envelhecimento das misturas betuminosas, realizou-se através do método TEAGE – Técnico Accelerated Ageing (Crucho, J., Picado-Santos, L., Neves, J., Al-Qadi, I., 2018).

O TEAGE é um método desenvolvido no IST, podendo-se fazer um envelhecimento de misturas betuminosas simulando as características de radiação UV e ciclos de humidade para qualquer região do globo. Coloca-se os provetes no interior da caixa de acondicionamento. São aplicados de forma contínua os raios ultravioletas (UV), sem períodos de descanso. De forma contínua, uma corrente é induzida através dos ventiladores de resfriamento, impedindo que as amostras atinjam temperaturas superiores a 60°C. Um temporizador de água aumentará e diminuirá o nível de água, assegurando amolhagem/secagem dos provetes imersos. No Quadro 4, apresenta-se a configuração do TEAGE para simular cerca de 7 anos de envelhecimento devido às condições climatéricas em vários locais.

Quadro 4: Configuração TEAGE para simular cerca de 7 anos de envelhecimento em vários países.

Localização	Radiação Solar Anual	Precipitação > 5 mm	Duração	Ciclos de Imersão	Duração da Imersão
	(GJ/m <sup>2</sup> )	(N.º dias/ano)	(N.º dias)	(N.º ciclos/dia)	(Minutos)
Lisboa, Portugal	5,7	40	30	4	40
Huambo, Angola	7,6	64	40	6	42
Toronto, Canadá	4,3	72	23	8	36
Varsóvia, Polónia	3,6	33	19	4	32
São Francisco, EUA	6,8	35	36	4	35

Na Figura 3 apresenta-se uma imagem do TEAGE com o acondicionamento dos provetes prismáticos no interior do mesmo.



Figura 3: Acondicionamento dos provetes no TEAGE.

Neste trabalho foi simulado o envelhecimento utilizando como localização-alvo a região do Huambo, Angola.

## 2.6 Caracterização Mecânica das Misturas

Todas as misturas deste trabalho foram caracterizadas quanto a sensibilidade à água, à deformação permanente, à deformabilidade, à fadiga e ao envelhecimento. No módulo de deformabilidade utilizou-se uma amplitude de deformação de 50  $\mu\text{m} / \text{m}$ , com as frequências de 1Hz, 3Hz, 5Hz, 10Hz, 20Hz e 30Hz. Os ensaios de resistência à fadiga foram realizados através de ensaios de flexão em quatro pontos com provetes prismáticos. Os ensaios do módulo de deformabilidade foram realizados a temperaturas de 20°C e 30°C. As temperaturas de ensaio escolhidas, foram obtidas antes do ensaio de fadiga.

Os ensaios de fadiga foram realizados sob condições controladas por tensão. Para todas as misturas betuminosas, os níveis de tensão selecionados foram: 200, 300 e 400  $\mu\text{m} / \text{m}$  e a frequência de ensaio foi 10,0 Hz.

## 3 ANÁLISE DE RESULTADOS

Em laboratório as misturas foram avaliadas à sensibilidade da água, à deformabilidade, à fadiga, à deformação permanente e ao envelhecimento. No Quadro 5, apresentam-se as normas de ensaio usadas para fazer a caracterização mecânica das misturas betuminosas estudadas.

Quadro 5: Normas de ensaio utilizadas neste trabalho.

Ensaio	Norma	Método
Sensibilidade à Água (ITSR) (Via Resistência à Tração Indirecta)	EN12697-12 EN12697-23	Método A - ITSr (Compressão Diametral)
Módulo de Deformabilidade	EN12697-26	Flexão em Quatro Pontos
Resistência à Fadiga	EN12697-24	Flexão em Quatro Pontos
Deformação Permanente	EN12697-22	Wheel Tracking Dispositivo de Pequeno Tamanho - No Ar
Afinidade entre o Betume e o Agregado	EN12697-11	Método da Garrafa Rolante

O estudo de formulação e os vários ensaios laboratoriais foram realizados no Laboratório de Vias de Comunicação e Transportes do IST, onde foram analisados todos os resultados.

No Quadro 6, apresentam-se os resultados obtidos para as misturas SMA 12,5 e para o AC14 (BBr).

Quadro 6: Resultados das misturas betuminosas estudadas.

Designação	ITSR	Bar. Máx.	Schellenberg	Wheel Tracking		Modulos de Deformabilidade - 20°C						Modulos de Deformabilidade - 30°C						Fadiga - 20°C
						1 Hz	3 Hz	5 Hz	10 Hz	20 Hz	30 Hz	1 Hz	3 Hz	5 Hz	10 Hz	20 Hz	30 Hz	10 Hz
						%	kg/m <sup>3</sup>	%	mm	WTS	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
SMA 12,5 Viatop Premium - M1	51	2378,3	0,1	11,4	0,819	1551	2454	2889	3580	4386	4898	516	817	994	1287	1687	1990	182
SMA 12,5 Borracha - M2	72	2446,9	0,1	4,28	0,161	2434	3329	3865	4635	5483	6017	927	1382	1704	2178	2743	3067	187
AC14 (BBr) - M3	70	2521,3	-	5,62	0,311	1884	2896	3453	4217	5222	5858	550	870	1090	1447	1923	2237	172

No Quadro 7, apresentam-se os resultados obtidos para as misturas SMA 12,5 e para o AC14 (BBr), após o envelhecimento.

Quadro 7: Resultados das misturas betuminosas estudadas após o envelhecimento.

Designação	ITSR	Bar. Máx.	Schellenberg	Wheel Tracking		Modulos de Deformabilidade - 20°C						Modulos de Deformabilidade - 30°C						Fadiga - 20°C
						1 Hz	3 Hz	5 Hz	10 Hz	20 Hz	30 Hz	1 Hz	3 Hz	5 Hz	10 Hz	20 Hz	30 Hz	10 Hz
						%	kg/m <sup>3</sup>	%	mm	WTS	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
SMA 12,5 Borracha - M4	-	-	-	-	-	3859	5082	5584	6447	7619	8191	1221	1744	2037	2504	3069	3466	195
AC14 (BBr) - M5	-	-	-	-	-	2977	3988	4555	5400	6322	6863	996	1464	1729	2194	2795	3118	157
SMA 12,5 Viatop Premium - M6	-	-	-	-	-	2213	3044	3501	4161	5004	5340	785	1192	1429	1788	2287	2543	171

Da análise dos resultados, verifica-se que a mistura SMA 12,5 com borracha, quanto ao desempenho mecânico, apresenta resultados muito favoráveis quando comparado com o SMA 12,5 com fibras de celulose Viatop Premium e com o AC14 (BBr), permitindo admitir que mecanicamente é uma solução muito eficiente, até para temperaturas de serviço elevadas. Neste trabalho, pode-se comprovar que a borracha constitui uma alternativa viável às fibras de celulose numa mistura betuminosa do tipo SMA, sem se verificar qualquer escorrimento do betume e com um desempenho mecânico superior.

Na mistura betuminosa SMA 12,5 com borracha – envelhecido, a fadiga apresentou um valor superior do que nas outras misturas betuminosas estudadas neste trabalho, isto pode ser devido ao efeito da borracha na mistura, isto é, no processo de envelhecimento, a borracha deve ter provocado um efeito que fez com que a fadiga não piorasse, revelando ser uma boa solução.



Quanto a durabilidade, no SMA 12,5 com borracha foi bastante efectiva, devido a um mástique mais rico em betume e borracha que cria uma película de protecção aos agregados mais resistente ao envelhecimento.

Para além da análise em laboratório, realizou-se um trecho experimental em Angola, com o apoio do Grupo ELEVO, com o objectivo de perceber quais os problemas que o seu fabrico e colocação em obra levantaria por oposição a um AC14 convencional, tipo de mistura mais usada em Angola.

O trecho experimental foi executado na Estrada EN354 Cuima – Cusse, na Província do Huambo em Angola. Foram realizadas duas secções de 3,5 m com 50 metros de extensão, uma em SMA 12,5 com borracha e outra em AC14 (BBr). Na restante camada de desgaste foi executada a mistura tradicional a usar na pavimentação da estrada em causa, pelo que os 50 metros contíguos foram considerados como uma terceira secção. Todas as misturas executadas no trecho experimental tiveram uma espessura da camada de 5cm.

Em cada secção serão realizados ensaios de FWD de 5 em 5 metros (10 pontos) para posterior tratamento e análise. Em cada secção serão recolhidas 4 lajes de 30x40 cm<sup>2</sup> que depois serão ensaiadas no laboratório do IST para obter as suas características mecânicas de desempenho (deformabilidade, deformação permanente e fadiga). Espera-se no final da análise de resultados decorrentes dos ensaios a realizar, informar sobre a forma como as misturas se comportaram e quais as tendências que revelaram, para além do relato de todas as incidências do fabrico e construção.

#### **4 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO**

No âmbito desta Tese de Doutoramento, espera-se poder contribuir de forma definitiva para a validação da utilização dum SMA com borracha por via seca como uma solução muito eficiente, em termos mecânicos e também em termos de custos no ciclo de vida, a aplicar pela tecnologia de pavimentação.

Na análise de desempenho mecânico em laboratório, pode dizer-se que o SMA com borracha apresentou resultados mais relevantes do que o SMA com fibras celulósicas e a mistura convencional, em todas as características analisadas: sensibilidade à água, comportamento à deformação permanente (Wheel Tracking), comportamento à deformabilidade e comportamento à fadiga.

No que concerne à durabilidade, verificada com ensaios de desempenho após envelhecimento com o TEAGE (Crucho, J., Picado-Santos, L., Neves, J., Al-Qadi, I., 2018), o SMA com borracha mostrou sempre uma maior efectividade tanto no que respeita à deformabilidade como na resistência à fadiga, muito provavelmente devido a um mástique que incluindo borracha que cria uma película de protecção aos agregados mais elástico após envelhecimento.

O SMA com borracha revelou ser uma solução viável para aplicação nos pavimentos, uma vez que a borracha para além de evitar o escorrimento do betume, também parece aumentar com significado a durabilidade e a melhorar o comportamento mecânico em todas as vertentes, nomeadamente na resistência à deformação permanente face a temperaturas elevadas, como é o caso de Angola.

Os resultados do trecho experimental indicado na secção anterior ajudarão, seguramente, a tornar mais completa a avaliação, a qual, de qualquer modo, ainda terá de ser funcionalizada em outras aplicações no sentido de poder ter mais certezas sobre a possibilidade de aplicação na tecnologia de pavimentação.

#### **5 AGRADECIMENTOS**

À CEPESA pelo fornecimento de betume, à Lena pelo fornecimento dos agregados e à JRS pelo fornecimento das fibras de celulose Viatop Premium e as fibras Viatop PLUS FEP, ao Grupo Elevo, pela cooperação e por ter

aceite e patrocinado o trecho experimental realizado em Angola e ao Laboratório de Vias de Comunicação e Transportes do IST pelo apoio inestimável na concretização de todos os ensaios necessários.

## 6 REFERÊNCIAS

1. Bolzan, E., (2000). Stone-Mastic Asphalt and Micro-SMA as Premium Overlay Asphalt Mixtures on the Ricchieri Highway in Argentina. In: ENCONTRO DO ASFALTO, 15., 2000, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás.
2. Brown, E. R. Experience with Stone Matrix Asphalt in the United States. USA: National Asphalt Pavement Association, March 1992. (NCAT Report No. 93-4).
3. CEN Bituminous Mixtures - Test Methods for Hot Mix Asphalt - Part 18: Binder drainage. *EN 12697-18*, European Committee For Standardization, 2004.
4. Crucho, J., Picado-Santos, L., Neves, J., Capitão, S., Al-Qadi, I. (2018). “Tecnico accelerated ageing (TEAGE) – a new laboratory approach for bituminous mixture ageing simulation”. *International Journal of Pavement Engineering*. <https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1508845>
5. Drüschner, L., Schäfer, V, (2000). Stone Mastic Asphalt, German Asphalt Association.
6. EAPA, (1998). “Heavy Duty Surfaces – The Arguments for SMA”, European Asphalt Pavement Association, 1998.
7. EN 12697-18. “Determinação do Escorrimento – Método de Schellenberg).
8. EP, 2014. Caderno de Encargos Tipo Obra - Pavimentação, Lisboa, Portugal: Estradas de Portugal.
9. Francken, L. e A. Vanelstraete (1995) SMA em Belgique: um revêtement pour l’avenir. XIIe Journée du Betume. Bélgica.
10. JRS@. <http://www.jrs.de/wEnglisch/produkte/viatop.shtml>. JRS webpage, 2011.
11. Lanchas S. et al., (2014). “Sumário Viatop - Misturas betuminosas de grande durabilidade e alto desempenho.
12. Martinho, F., Picado-Santos, L., Neves, J. (2013). Efeitos da adição de fibras celulósicas e misturas recicladas no desempenho de misturas betuminosas temperadas. Actas do XVII Congresso Ibero-Latinamericano do Asfalto, artigo 134-3-13, Antigua, Guatemala.
13. Perdrazo, D., (1999) Pavimentos Tipo SMA com la Adicción de Granulado de Fibra de Celulose Recobiertos com Asfalto o Bitumen. La experiência em México. 10o Congresso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. Vol II, p723 – 726, Novembro, Sevilla, Espanha.