

MISTURAS BETUMINOSAS DO TIPO SMA UTILIZANDO BETUMES DUROS MODIFICADOS DE ELEVADO DESEMPENHO

Mafalda Rodrigues

dst, SA - Domingos da Silva Teixeira, Braga, Portugal, mafalda.rodrigues@dstsgps.com

Jacinto Oliveira

dst, SA. - Domingos da Silva Teixeira, Braga, Portugal, jacinto.oliveira@dstgtps.com

Teresa Carvalho

Moeve, Lisboa, Portugal, teresa.carvalho@moeveglobal.com

RESUMO: O tema proeminente do presente, e futuro próximo, é a Sustentabilidade: desenvolvimento de técnicas e produtos que contribuam para mitigar a pegada carbónica.

Muitas vezes, esta preocupação compromete a durabilidade e o desempenho das misturas betuminosas aplicadas, ou não contempla estas duas vertentes.

O presente artigo tem como objetivo principal divulgar uma experiência realizada no Terminal de Contentores de Leixões, onde foi utilizada uma solução que demonstra como a durabilidade das misturas betuminosas aplicadas está diretamente aliada à sustentabilidade e contribui, ativamente, não só para uma qualidade efetiva dos pavimentos como também reflete a preocupação ambiental de Empreiteiros, Produtores e Donos de Obra.

Este trabalho apresenta uma experiência inédita, no que se refere à formulação e aplicação de misturas betuminosas, do tipo Stone Mastic Asphalt (SMA), utilizando um betume duro modificado (de elevado desempenho), apontando resultados concretos sobre as diversas características da mistura betuminosa aplicada (nomeadamente fadiga) e respetivo seguimento desta aplicação, confirmando, assim, as premissas do objetivo inicial.

PALAVRAS-CHAVE: Projeto, Betume duro modificado, Sustentabilidade, Durabilidade, Descarbonização

1. Introdução

O importante crescimento no intercâmbio de mercadorias, a nível global, tem levado as autoridades portuárias a apostar na modernização das suas instalações e impulsionar o crescimento de terminais de contentores como estratégia de captação de tráfego. Atualmente, as autoridades portuárias enfrentam dois desafios associados às alterações nas estratégias de exploração das instalações portuárias: minimizar os tempos requeridos para as operações de manutenção/reabilitação e melhorar a flexibilidade das instalações para que as superfícies pavimentadas possam ser destinadas a distintas utilizações ao longo da sua vida útil.

Os pavimentos portuários apresentam alguns desafios e algumas particularidades no que respeita ao projeto e escolha de materiais. Isto porque é essencial que a solução final signifique pavimentos com características de elevada resistência a cargas elevadas (estáticas e dinâmicas), resistência à fadiga, resistência a deformações permanentes e apresente intervalos de manutenção alargados e intervenções no menor tempo possível.

A solução de pavimentação adotada nos portos nacionais e internacionais baseava-se em pavimentos rígidos, devido à sua resistência às deformações permanentes, que cumpriam o espectável. No entanto, estes pavimentos tornavam-se pouco duráveis pelo fendilhamento que apresentavam. Acrescido a esta situação, os tempos de intervenção significavam períodos consideráveis e que levavam a que estes se encontrassem inoperacionais durante longos períodos.

Dessa forma, tornou-se imperativo encontrar alternativas que, além de tudo, considerassem a circularidade dos materiais e respeitassem os requisitos ambientais.

Neste artigo, pretende-se demonstrar (com base na monitorização da solução aplicada) que determinados pavimentos flexíveis apresentam as mesmas características (ou características superiores) no que se refere à resistência às deformações permanentes e conseguem apresentar resultados superiores em termos de resistência à fadiga, quando comparados com os pavimentos rígidos. Acrescentando o facto de poderem ser reciclados e incorporados em novas misturas betuminosas, e de serem mais duráveis, necessitando, portanto, de intervenções menos frequentes, alinhando-se assim com os requisitos ambientais.

2. Caso de estudo

2.1. Área de intervenção

A empreitada, a cargo da Domingos da Silva Teixeira (dst, SA) desenvolveu-se em 2022/2023 e as áreas intervencionadas correspondem aos corredores de circulação do Terminal de Contentores Norte (TCN) conforme apresentado na Figura 1.

Segundo informação fornecida pela Yilport Leixões, no TCN[1], são movimentados cerca de 100 000 contentores ao ano e dão entrada no porto cerca de 300 camiões de transporte carga por dia. Nas operações de movimentação de contentores ao longo deste terminal são usados de um modo geral, equipamentos do seguinte tipo: tractor Trailers e Camiões com semi-reboque, reach stackers, pórticos do Tipo RMG e gruas de cais.

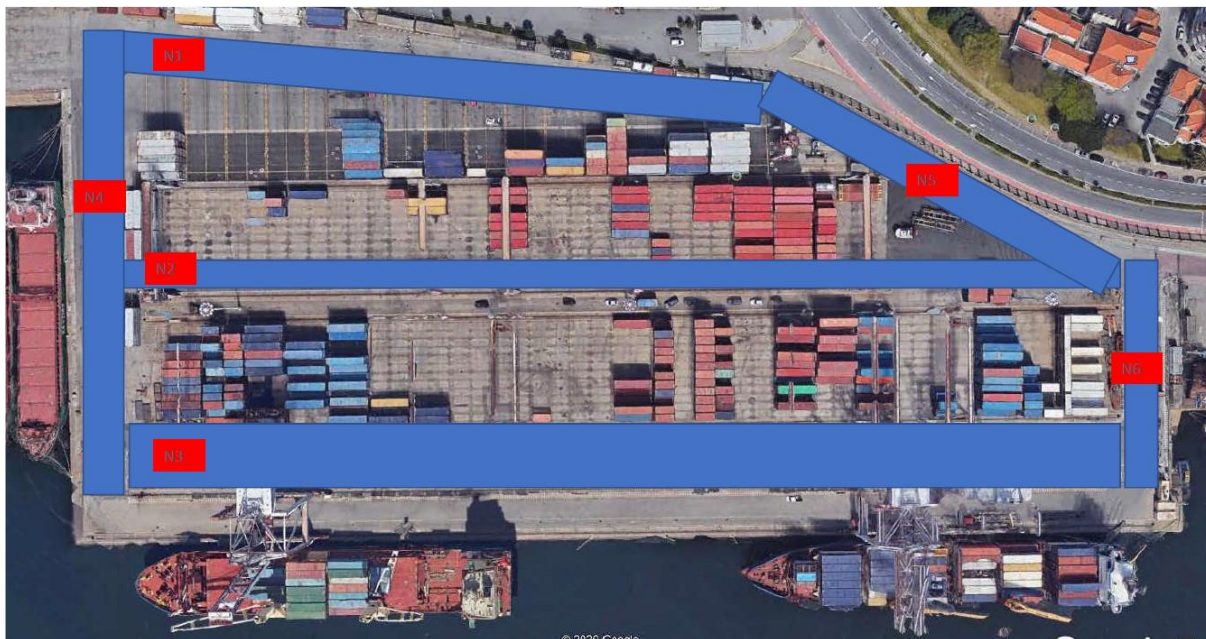


Figura 1 - Layout do TCN, corredores N1 a N6.

A solução para o tipo de camada de desgaste apresentada foi uma proposta de alteração, sugerida pela dst, SA e aprovada pelo Dono de Obra Yilport, face à solução inicial constante no caderno de encargos (CE) e que já previa, na sua origem, a aplicação de um pavimento flexível, mas envolvendo outros materiais.

A solução, proposta, selecionada e aplicada, que aqui vai ser apresentada e analisada, contempla uma mistura betuminosa do tipo SMA12 utilizando um betume duro modificado com polímeros para aplicação em camada de desgaste.

As áreas intervencionadas ao longo da empreitada com a solução adotada, correspondem aos seis corredores, N1 a N6, de circulação do Terminal de Contentores Norte (TCN) conforme apresentado a azul na Figura 1. A estrutura do pavimento intervencionado nesta empreitada pode ser visualizada no esquema apresentado na Figura 2, no qual, a camada de desgaste é a mistura betuminosa que está em estudo neste artigo. Os materiais constituintes da mistura betuminosa SMA12 e as suas características são detalhados nos pontos seguintes.

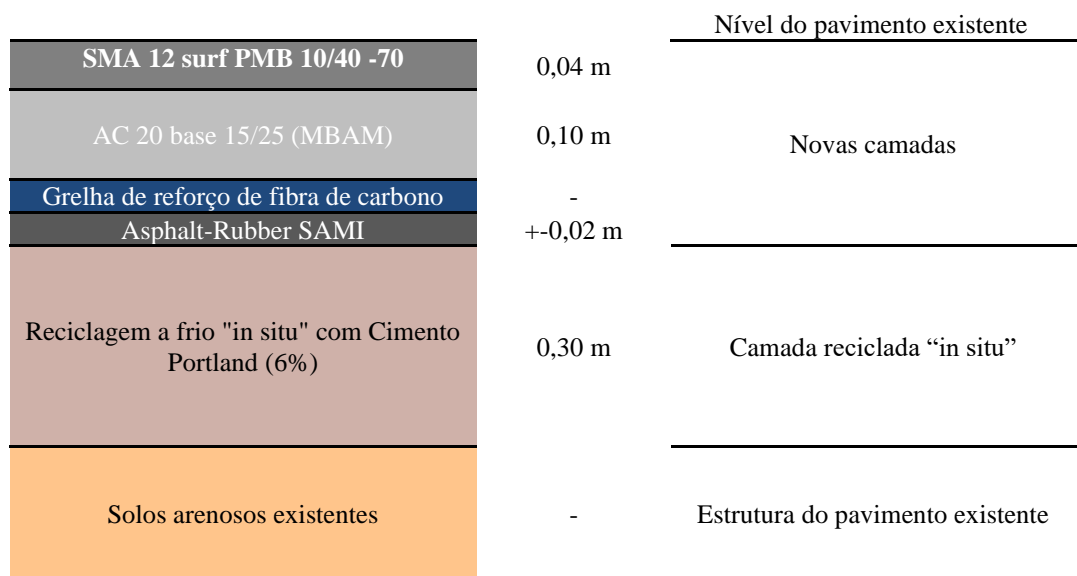


Figura 2 - Estrutura de pavimento.

2.2. Materiais e métodos

2.2.1. Agregados e fíler

Para o fabrico da mistura betuminosa SMA12 foram utilizados agregados grossos de fração 4/10 mm e 10/14 mm e agregados finos de fração 0/4 mm de natureza granítica proveniente de uma pedreira em Penafiel. As propriedades físicas e mecânicas são apresentadas na Tabela1. Os valores apresentados correspondem aos resultados obtidos para as características dos agregados naturais e cumprem com os requisitos apresentados no CE para o fabrico das misturas betuminosas SMA12.

Tabela1 - Propriedades físicas e mecânicas dos agregados (frações 0/4, 4/10 e 10/14)

| Propriedades | | Normas | 0/4 mm | 4/10 mm | 10/14 mm |
|--|-------------------|-----------|--------|---------|----------|
| Azul de metileno, MB _F | g/kg | EN 933-9 | 2,30 | - | - |
| Massa volúmica, ρ _a | Mg/m ³ | EN 1097-6 | 2,69 | 2,61 | 2,61 |
| Absorção de água, WA ₂₄ | % | EN 1097-6 | ≤1 | | |
| Índice de achatamento, FI | % | EN 933-3 | - | 4 | 2 |
| Los Angeles, LA | % | EN 1097-2 | - | - | 24 |
| Micro-Deval, M _{DE} | % | EN 1097-1 | - | - | 7 |
| Coefficiente de polimento acelerado, PSV | % | EN 1097-8 | - | - | 62 |

Foram utilizados dois fíleres, um fíler recuperado granítico (FR) e um fíler de natureza calcária (FC) proveniente da zona de Ourém. As propriedades destes, apresentadas na Tabela 2, respeitam os requisitos definidos para as misturas betuminosas SMA12.

Tabela 2 - Propriedades físicas e geométricas (fíler recuperado e fíler comercial).

| Propriedades | | | Normas | FR | FC |
|--|----------------------------|-------|-----------|------|------|
| Percentagem acumulada de material que passa no peneiro (%) | Abertura dos peneiros (mm) | 2,0 | EN 933-11 | 100 | 100 |
| | | 0,125 | | 93 | 99 |
| | | 0,063 | | 79 | 81 |
| Massa volúmica, ρ (Mg/m ³) | | | EN 1097-7 | 2,68 | 2,72 |
| Vazios do fíler seco compactado, v (%) | | | EN 1097-4 | 40 | 29 |

A distribuição granulométrica do conjunto das frações de agregados e fileres, a partir da qual se compôs a curva da mistura betuminosa SMA12 é apresentada na Figura 3.

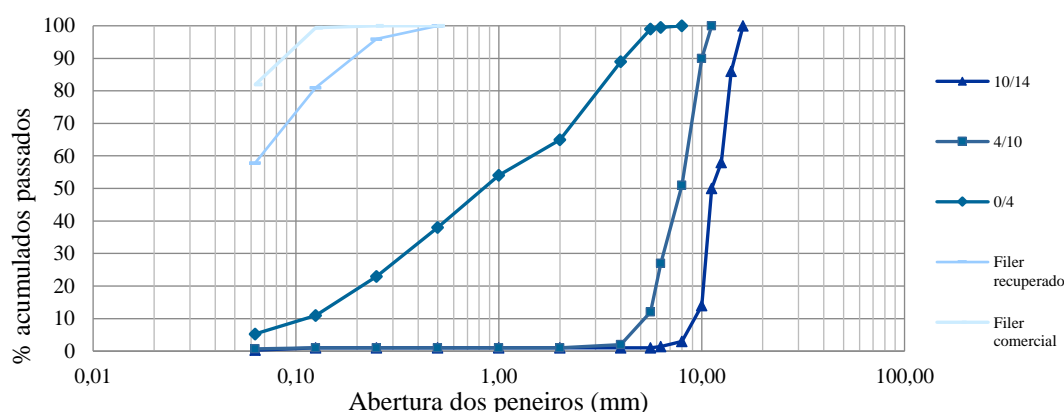


Figura 3 - Curvas granulométricas das frações de agregados e fileres.

2.2.2. Ligante Betuminoso

Neste estudo, a escolha do betume teve em consideração a durabilidade da camada de desgaste em função do tipo de tráfego e das cargas a que o pavimento iria estar sujeito durante a sua vida útil. Com esta premissa, foi selecionado um betume duro modificado do tipo PMB 10/40-70 proveniente da Moeve Madrid. As características deste tipo de betume cumprem os requisitos estabelecidos no Anexo Nacional da norma EN 14023 – Bitumen and bituminous binder que se apresentam na Tabela 3. Este tipo de betume é tradicionalmente aplicado em misturas betuminosas de alto módulo do tipo AC, para camada de ligação e de base do tipo AC16 ou AC20, no entanto, devido às suas características intrínsecas e comprovadas fizeram-se ensaios laboratoriais para avaliar o desempenho em misturas betuminosas do tipo SMA para camadas de desgaste.

Tabela 3 - Características do ligante PMB 10/40-70 (Anexo Nacional EN 14023).

| Propriedades | | Normas | Mínimo | Máximo | |
|---|---------------------------------------|----------------------|---------------------|--------|---|
| Penetração, 25 °C (0,1 mm) | 0,1 mm | EN 1426 | 10 | 40 | |
| Temperaturas de amolecimento | °C | EN 1427 | 70 | - | |
| Coesão Força-Ductilidade, a 15 °C (Tração a 50 mm/min) | J/cm ² | EN 13589 EN 13703 | 2 | - | |
| Ponto de fragilidade Fraass | °C | EN 12593 | - | -5 | |
| Recuperação elástica a 25 °C | % | EN 13398 | AR | | |
| Estabilidade ao armazenamento: | Diferença penetração (25 °C) | 0,1 mm | EN 13399 EN 1427 | - | 9 |
| | Diferença temperatura de amolecimento | °C | EN 13399 EN 1426 | - | 5 |
| Temperatura de inflamação | °C | ISO 2592 | 235 | - | |
| Durabilidade - Resistência ao envelhecimento EN 12607-1 | | | | | |
| Varição de massa | % | EN 12607-1 | - | 0,8 | |
| Penetração retida | % | EN 1426 | 60 | - | |
| Δ Temperatura de amolecimento | °C | EN 1427 | - | 8 | |
| Diminuição da Temperatura de amolecimento | °C | EN 1426 | - | 5 | |

AR – a reportar

2.2.3. Fibras celulósicas

As fibras utilizadas na mistura betuminosa VIATOP premium da JRS, são um granulado composto por 90% em peso de fibras e 10% de betume, cujas características principais são apresentadas na Tabela 4. As fibras celulósicas permitem a retenção do ligante utilizado, uma vez que este tipo de misturas betuminosas contém uma percentagem de betume relativamente elevada e, favorecem o revestimento dos agregados formando uma camada de betume com espessura constante.

Tabela 4 - Principais características das fibras utilizadas.

| Características | VIATOP premium |
|-------------------------------------|----------------|
| Conteúdo em fibras de celulose | 90 % |
| Densidade aparente | 440 – 510 g/l |
| Análise granulométrica (# < 3,55mm) | ≤ 10 % |
| Comprimento médio | 2 – 8 mm |
| Diâmetro médio | 3 – 5 mm |
| Características do betume | 50/70 |

2.3. Plano de ensaios

O plano de ensaios definido teve como objetivo principal avaliar a viabilidade e os efeitos da utilização do betume modificado com polímeros duro (PMB 10/40-70) para o tipo de tráfego que a mistura betuminosa (SMA12) estará sujeita.

A mistura betuminosa, foi submetida a diferentes ensaios para avaliar as suas propriedades gerais e o desempenho mecânico. Os principais métodos de ensaio que se destacam são os seguintes:

Baridade e características volumétricas (EN 12697-5, EN 12697-6 e EN 12697-8)

No que concerne às baridades foram fabricados provetes do tipo Marshall de 101,6 mm de diâmetro, compactados com 50 pancadas em cada extremo do provete, sendo posteriormente determinada a sua baridade pela EN 12697-6 utilizando o Procedimento B (proвете saturado com a superfície seca). Foi também determinada a baridade máxima pela EN 12697-5 utilizando o picnómetro, segundo o Procedimento A (procedimento volumétrico). Com os dados obtidos nas baridades (aparente e máxima), foi determinada a porosidade da mistura betuminosa pela EN 12697-8.

Sensibilidade à água (EN 12697-12 e EN 12697-23)

Adicionalmente, para avaliar a sensibilidade à água foram fabricados 6 provetes de 101,6 mm de diâmetro com o compactador Marshall, aplicando 50 pancadas em cada extremo do provete. Para tal, os provetes foram acondicionados, dividindo-os em dois grupos de 3, um seco e outro húmido. O grupo seco, foi armazenado à temperatura ambiente de laboratório compreendida entre 20 ± 5 °C, enquanto que o grupo húmido foi colocado em vácuo até obter uma pressão de $6,7 \pm 0,3$ kPa durante 30 ± 5 minutos, depois, foram colocados num banho de água a 40 °C durante 72 horas. Posteriormente efetuou-se a rotura à tração indireta de cada conjunto de provetes a uma temperatura de 15 °C, depois de uma submissão prévia de climatização de cada subconjunto de provetes durante 120 minutos à referida temperatura. A sensibilidade à água (ITSR) é determinada pela razão da resistência à tração indireta do grupo de provetes húmidos (ITSw) pelos secos (ITSd).

Resistência à deformação permanente, Wheel-tracking (EN12697-22)

Foi ainda avaliada a resistência à deformação permanente para determinar a suscetibilidade de uma mistura betuminosa de deformar sob a ação de repetidas passagens de carga a uma temperatura constante. As condições de ensaio foram selecionadas da tabela D.1 da EN 13108-20: dispositivo pequeno – procedimento A (ao ar, a 60 °C) com uma duração de ensaio de 10 000 ciclos. Os provetes (com um volume de $\approx 30 \times 30 \times 5$ cm³) foram preparados seguindo a seção 6.5 da EN 13108-20 e as suas condições de compactação (usando em um compactador de rolos) foram selecionadas da tabela C.1 da mesma norma.

Resistência à fadiga, flexão em quatro pontos (EN12697, Anexo D)

A avaliação da resistência ao fendilhamento por fadiga determina a durabilidade e o desempenho do pavimento sob cargas repetidas de tráfego, que podem levar à formação de fissuras devido à aplicação cíclica de tensões. Os provetes prismáticos foram preparados a partir de lajes retiradas do pavimento e o ensaio foi realizado pelo método 4PB-PR a 20 °C e 10 Hz extensão controlada. Os provetes são divididos em 3 grupos com 6 provetes cada e cada um dos grupos é sujeito a uma extensão de ensaio diferente 800/650/500 $\mu\epsilon$. Da equação obtida através do gráfico de regressão linear calcula-se o número e ciclos de carga para 1.000.000 ciclos.

Ensaio de Rigidez, flexão em quatro pontos (EN12697, Anexo B)

De seguida o ensaio de rigidez permite estimar o comportamento estrutural do pavimento permitindo inferir se o comportamento da mistura betuminosa é predominantemente elástico ou viscoso. Após um período de estabilização de 15 dias, o ensaio é realizado aplicando tensão em quatro pontos de cada provete prismático a 20 °C, extensão de 200 $\mu\epsilon$, para as frequências de 0,2 Hz, 0,5 Hz, 1Hz, 5Hz e 10Hz.

3. Análise de resultados

3.1. Mistura betuminosa SMA12 PMB 10/40-70

A composição do esqueleto pétreo da mistura betuminosa SMA12 PMB 10/40-70 foi obtida com o conjunto de frações dos agregados e fileres anteriormente descritos, por forma a obter uma curva granulométrica que encaixasse no fuso estabelecido em CE e que garantisse boa macrotextura na camada final. Para tal, tentou-se obter uma curva mais grossa no peneiro de abertura 4,0 mm tal como se pode observar na Figura 4.

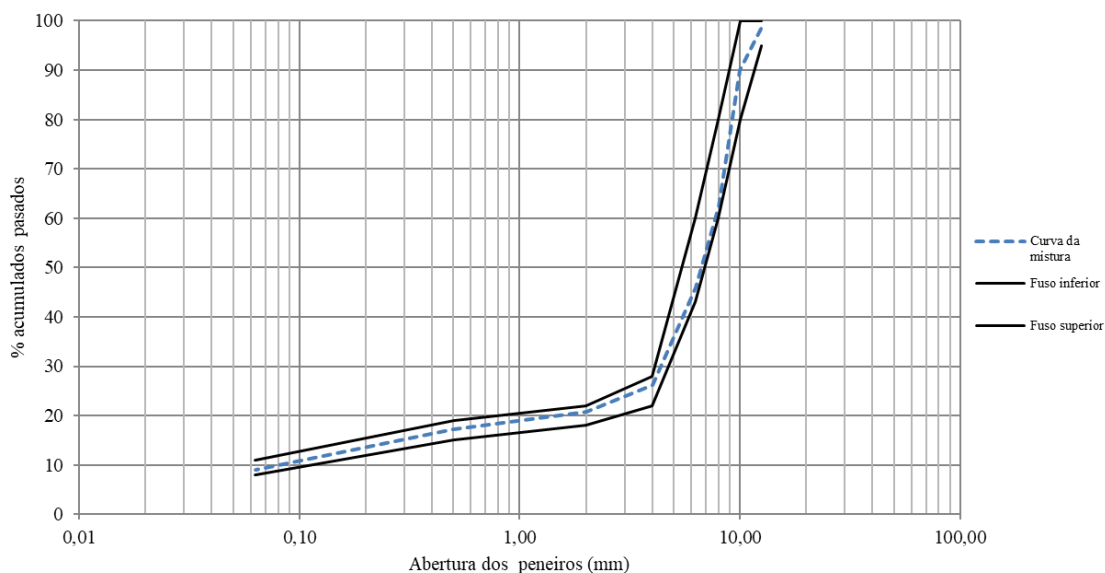


Figura 4 - Curva granulométrica e fuso da mistura betuminosa SMA12.

A fórmula de fabrico foi estudada pelo método Marshall, usando os materiais constituintes acima apresentados para uma percentagem de betume de 6,2%. A percentagem ótima de betume obtida através deste método foi de 6,0%, porém, para cumprir o valor mínimo especificado no CE, o valor adotado foi de 6,2% e os resultados dos ensaios que se apresentam na Tabela 5 foram obtidos com este valor. Nesta tabela apresentam-se para além dos resultados da mistura betuminosa, os requisitos estabelecidos no CE relativamente às propriedades físicas e mecânicas especificadas, podendo verificar-se que todos eles cumprem os valores definidos.

Tabela 5 - Características especificadas para a mistura betuminosa e resultados obtidos.

| Propriedades | | Resultados da mistura SMA12 | Requisitos CE |
|---|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| % de betume ótima | % | 6,2 | ≥ 6,2 |
| Baridade | Mg/m ³ | 2,366 | - |
| Porosidade | % | 4,2 | 3 – 5 |
| VMA | % | 18,1 | ≥ 17 |
| Força de rotura | kN | 19,6 | > 6,5 |
| Deformação | mm | 3,4 | 2 – 4 |
| Quociente Marshall | kN/mm | 5,8 | ≥ 3 |
| Índice de resistência conservada | % | 95 | ≥ 80 |
| Sensibilidade à água | % | 92 | ITSR ₉₀ (90%) |
| Escorrimento de betume | % | 0,1 | ≤ 0,2 |
| Resistência à Deformação Permanente "Wheel-tracking" WTSair | mm/10 ³ | 0,03 | ≤ 0,10 |
| Resistência à Fadiga (flexão em quatro pontos) | ϵ_6 ($\times 10^{-6}$ m/m) | 514 | - |
| Ensaio de Rigidez (flexão em quatro pontos) | MPa | 2719 | - |

Através do resultado da força de rotura já é possível identificar a influência que um betume duro causa na rigidez da mistura betuminosa.

Tal influência, é também visível no resultado obtido na deformação permanente levando a concluir que efetivamente o betume PMB 10/40-70, pela sua menor penetração o torna mais rígido e resistente à deformação permanente especialmente sob tráfego pesado e cargas estáticas e, por outro lado, melhora o desempenho da vida à fadiga reduzindo o aparecimento de fissuras devido às tensões mecânicas causadas pelo movimento e impacto do tráfego lento e intenso. O ensaio de deformação permanente foi realizado em placas compactadas em laboratório com a mistura betuminosa fabricada em central, enquanto que os ensaios de fadiga e rigidez foram realizados em provetes extraídos de lajetas compactadas em obra, após duas semanas de aplicação.

3.2. Comparação dos resultados obtidos na mistura betuminosa SMA12 PMB10/40-70 face a uma SMA12 PMB45/80-65

Para a análise dos resultados obtidos, faz-se de seguida uma comparação entre os resultados obtidos nesta mistura em estudo, com os resultados de uma mistura SMA12 com PMB 45/80-65 obtidos num outro estudo. Com esta análise pretende-se compreender a influência que o betume tem nas propriedades de desempenho deste tipo de misturas betuminosas e assim, poder adequar em situações específicas a gama do ligante que melhor se ajusta às características do pavimento.

Na Tabela 6 é possível comparar os resultados obtidos da mistura betuminosa SMA12 (utilizando o betume PMB 10/40-70) face aos resultados obtidos com uma mistura betuminosa do tipo SMA12 utilizando um betume de gama PMB 45/80-65 [2]. Para a análise dos resultados, ressalva-se o facto das três misturas betuminosas apresentarem diferentes percentagens de betume, uma abaixo e outra acima da mistura betuminosa SMA12 PMB10/40-70 em estudo. Verifica-se assim, que a deformação permanente da mistura betuminosa SMA12 PMB 10/40-70 apresenta melhor resultado em relação às restantes, tal como, melhor sensibilidade à água e resistência à fadiga.

Tabela 6 - Características das misturas betuminosas SMA12 PMB10/40-70 e SMA12 PMB45/80-65.

| Propriedade | | SMA12 PMB10/40-70 | SMA12 PMB45/80-65[3] | |
|---|--------------------------------------|----------------------|-------------------------|------|
| % de betume | % | 6,2 | 5,5 | 6,5 |
| Porosidade | % | 4,2 | 3,2 | 3,4 |
| VMA | % | 18,1 | 16,1 | - |
| Força de rotura | kN | 19,6 | 15,9 | 11,7 |
| Deformação | mm | 3,4 | 5,1 | 3,9 |
| Quociente Marshall | kN/mm | 5,8 | 3,1 | 3,0 |
| Sensibilidade à água | % | 92 | 88 | 86 |
| Resistência à Deformação Permanente "Wheel-tracking" WTSair | mm/10 ³ | 0,03 | 0,05 | 0,09 |
| Resistência à Fadiga (flexão em quatro pontos) | ϵ_6 ($\times 10^{-6}$ m/m) | 514 | 337 | 400 |

Especificamente, a mistura betuminosa SMA12 PMB 10/40-70 apresenta uma força de rotura de 19,6 kN, significativamente superior aos 15,9 kN e 11,7 kN das outras misturas betuminosas [4]. Adicionalmente, a menor deformação observada (3,4 mm) e o elevado quociente Marshall (5,8 kN/mm) indicam uma excelente estabilidade. Por outro lado, verifica-se nesta mistura betuminosa, um valor de deformação permanente mais baixo (0,03 mm/10³) comparativamente às restantes e a resistência à fadiga (514 x 10⁻⁶ m/m) notavelmente superior [5,6].

4. Colocação em obra e monitorização

A aplicação em obra desta mistura ocorreu em duas fases, com o trecho experimental realizado em novembro de 2022 e entre abril e julho de 2023 foi realizada a aplicação em contínuo dos corredores de circulação.

A obra situa-se junto ao mar, sendo este um fator muito importante a ter em conta na aplicação e compactação da mistura betuminosa em especial devido ao vento, uma vez que as misturas betuminosas do tipo SMA são mais sensíveis às condições climáticas face as misturas betuminosas tradicionais. As temperaturas de fabrico e compactação tiveram em conta as recomendações do fabricante para o tipo de betume utilizado e seguiram os valores apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Temperaturas orientativas de trabalho betume PMB10/40-70.

| Temperatura | Valores orientativas (° C) |
|-----------------------|----------------------------|
| Utilização do ligante | 170 - 180 |
| Mistura | 170 - 180 |
| Compactação | 160 – 170 |
| Aquecimento máximo | 190 |

Para a compactação da camada, foram utilizados cilindros de rasto liso tendo sempre o cuidado de iniciar a compactação logo após o espalhamento, com o controlo contínuo das temperaturas durante este processo. Na Figura 5 apresentam-se imagens do espalhamento e compactação da camada.



Figura 5 - a) espalhamento; b) compactação; c) aspeto final da mistura em obra.

A porosidade da camada, avaliada através de ensaios realizados em carotes extraídas do pavimento, cumpre o definido para este tipo de misturas betuminosas. O valor médio obtido dos lotes analisado foi de 5,9% para um intervalo de aceitação de 3 a 8%, com o menor resultado individual de 6,1% para o valor máximo admissível inferior a 10%.

A solução aplicada tem sido monitorizada continuamente, na última inspeção feita em setembro de 2024 não se observaram patologias na mistura betuminosa decorrentes de problemas estruturais ou mecânicos. O pavimento tem assim demonstrado um desempenho notável em todas as vertentes avaliadas, comprovando o sucesso na escolha dos materiais e na formulação da mistura betuminosa.

5. Conclusões

Os resultados obtidos demonstram que a mistura betuminosa aplicada SMA12 com um betume modificado duro PMB 10/40-70 apresenta características excepcionais em termos de resistência à fadiga e a deformações permanentes, quando comparada com uma mistura betuminosa do tipo SMA12 com PMB 45/80-65.

O Porto de Leixões, devido ao tráfego intenso de cargas, enfrenta desafios significativos relacionados com o fendilhamento das misturas betuminosas. No entanto, a mistura betuminosa aplicada demonstrou uma resistência superior ao fendilhamento e às cargas pesadas, destacando-se das soluções anteriores que apresentaram elevado grau de fendilhamento sob condições semelhantes.

As propriedades da mistura betuminosa indicam que o pavimento terá uma vida útil prolongada e excelentes condições estruturais resultando em menores custos de manutenção e maior disponibilidade operacional dos terminais. Esta solução, além de ser tecnicamente eficaz, é alinhada com as preocupações de economia circular, uma vez que as intervenções de manutenção serão necessárias com menor frequência do que o inicialmente previsto.

REFERÊNCIAS

- [1] TCL – Terminal de Contentores do Porto de Leixões. Reabilitação de pavimentos das Vias de Circulação. Projeto de Execução.
- [2] Miranda, H. M. B. (2016). *Stone mastic asphalt – mix design, production, application and performance* (PhD thesis). Universidade de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa
- [3] Cláusulas Técnicas Especiais – Pavimentação Projeto de Execução. Brisa
- [4] Martinho, F., Lanchas, S., Nunez, R., Batista, F. A., & Miranda, H. (2013, abril). *A experiência portuguesa em misturas betuminosas do tipo SMA com fibras celulósicas*. 7º Congresso Rodoviário Português, Lisboa, LNEC.
- [5] Carvalho, B. M. A. (2016). *Misturas betuminosas temperadas, do tipo SMA, com incorporação de material betuminoso reciclado: Contribuição para avaliação de desempenho mecânico* (Dissertação de Mestrado). Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, Portugal.
- [6] Vieira, C. (2024). *Reutilização de misturas betuminosas recuperadas em camadas de desgaste de autoestradas* (Dissertação de Mestrado). Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal.

Normas utilizadas

1. EN 12697-5: Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt) - Part 5: Determination of the maximum density.
2. EN 12697-6: Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt – Part 6: Determination of bulk density of bituminous specimens.
3. EN 12697-8: Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 8: Determination of void characteristics of bituminous specimens.
4. EN 12697-12: Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt – Part 12: Determination of the water sensitivity of bituminous specimens.
5. EN 12697-23: Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt – Part 23: Determination of the indirect tensile strength of bituminous specimens
6. EN 12697-34: Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt – Part 34: Marshall test
7. EN 12697-22: Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt – Part 22: Wheel tracking
8. EN 12697-24: Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt – Part 24: Resistance to fatigue
9. EN 13108-20: Misturas betuminosas. Especificações dos materiais - Parte 20: Ensaio de Tipo
10. EN 14023: Bitumen and bituminous binders - Specification framework for polymer modified bitumens