

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MISTURAS BETUMINOSAS TEMPERADAS

Hugo M.R.D. Silva, Joel R.M. Oliveira
Universidade do Minho
Guimarães, Portugal
hugo@civil.uminho.pt, joliveira@civil.uminho.pt

Cláudia Ferreira
Gabriel Couto S.A.
Vila Nova de Famalicão, Portugal
cferreira@gabrielcouto.pt

Resumo

A diminuição do consumo de combustíveis e das emissões de gases com efeitos de estufa são um grande desafio da sociedade actual. No fabrico de misturas betuminosas desenvolveram-se recentemente diversas tecnologias para redução da temperatura de produção e aplicação em obra que promoveram a produção de misturas betuminosas temperadas (MBT). Inúmeros benefícios no uso das MBT têm potenciado o seu crescente desenvolvimento, destacando-se a redução das emissões no fabrico e a diminuição do combustível gasto nos queimadores. Na colocação em obra, as MBT garantem uma trabalhabilidade adequada à sua aplicação e compactação a menores temperaturas, reduzindo a produção de fumos, possibilitando o transporte a longas distâncias, alargando a época de pavimentação, e permitindo a sua aplicação a temperaturas atmosféricas inferiores. Neste trabalho compara-se o desempenho mecânico de uma mistura betuminosa (AC 14 Surf 50/70) produzida a temperaturas convencionais e a menores temperaturas (125 a 135 °C), através da introdução de dois aditivos (Sasobit[®] e Cecabase[®]). Foram determinadas as propriedades dos ligantes base e modificados (penetração, anel e bola, viscosidade e reologia) para observação do comportamento, determinação das temperaturas de fabrico e aferição da percentagem de aditivo. A caracterização das misturas foi realizada inicialmente em laboratório (propriedades volumétricas, sensibilidade à água e resistência à deformação permanente), realizando-se em seguida um trecho experimental onde foram extraídos provetes para determinação das características anteriormente referidas, além do módulo de rigidez. Em comparação com a mistura convencional, conseguiu-se reduzir a temperatura das MBT cerca de 15 a 25 °C mantendo idênticas propriedades volumétricas e mecânicas em laboratório, o que não se conseguiu no trecho devido a um problema de contaminação com o combustível usado no queimador.

INTRODUÇÃO

As misturas betuminosas a quente (MBQ) são produzidas a temperaturas entre 150 e 175 °C. Estas temperaturas garantem que os agregados são secos, o ligante envolve os agregados e a mistura tem uma trabalhabilidade adequada, para que possam ser temporariamente armazenadas, transportadas, aplicadas e compactadas.

Actualmente existem tecnologias para produção de MBTs capazes de reduzir a temperatura de fabrico até 40°C. No que diz respeito à colocação em obra deste tipo de misturas, a sua menor

temperatura de fabrico permite garantir uma trabalhabilidade adequada na sua aplicação e compactação a temperaturas mais reduzidas de modo a obter densidades desejadas. Verifica-se também uma redução elevada de emissões e fumos das MBT relativamente às misturas betuminosas convencionais, o que permite um ambiente de trabalho muito mais confortável, que pode aumentar a produtividade aquando da colocação em obra. As MBTs possibilitam o aumento da distância de transporte, um alargamento da época de pavimentação, permitindo a sua aplicação a temperaturas atmosféricas mais baixas do que as usuais, reduzindo o tempo de construção e diminuindo os congestionamentos de tráfego. Outra vantagem destas misturas é o menor envelhecimento do ligante, o que reduz a sua susceptibilidade ao fendilhamento térmico e estrutural (Hurley and Prowell, 2006).

No entanto a utilização da tecnologia de produção de MBT tem alguns desafios associados. É necessário comprovar em laboratório e em obra que o desempenho das MBT e MBQ são equivalentes. Por exemplo, o facto de os ligantes não endurecerem tanto devido às menores temperaturas de produção, poderá comprometer a sua resistência à deformação permanente. Além disso, as relações entre as propriedades destas misturas e o seu desempenho em campo necessitam ser investigadas para facilitar a implementação desta tecnologia. De forma a responder a estes desafios, este trabalho inclui uma investigação das propriedades laboratoriais e de campo de duas MBTs com diferentes aditivos, sendo que o seu objectivo é comparar o desempenho e as condições de produção e colocação em obra das MBQ e MBTs.

BREVE SINOPSE

Recentemente, desenvolveram-se diferentes processos e produtos inovadores que têm a capacidade de reduzir a temperatura a que as misturas são produzidas e aplicadas, aparentemente sem comprometer o seu desempenho. Para classificar essas tecnologias existem diferentes métodos que normalmente classificam as misturas pelo grau de redução da temperatura (Figura 1) utilizada na fase de produção em central (Olard et al., 2008). Estes novos produtos podem reduzir a temperatura de produção até 40% (Hurley e Prowell, 2006).

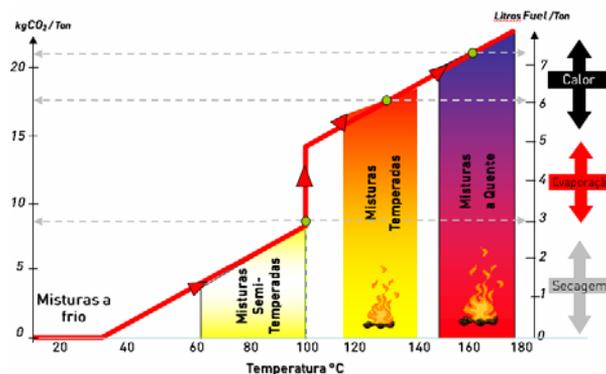


Figura 1: Classificação das tecnologias de produção de misturas betuminosas em função da temperatura de produção

Outra forma de classificar as tecnologias MBT consiste em distinguir aquelas que usam água e as que utilizam algum tipo de aditivo orgânico ou cera para reduzir a temperatura de produção (EAPA, 2007). Vários autores têm estudado as técnicas MBT disponíveis, como o método de duplo revestimento ou de mistura em duas fases (EAPA, 2005) e a aplicação de betume espuma no sistema de duplo tambor (Fitts, 2008), com reduções de 10 a 30 °C.

Relativamente às misturas betuminosas semi-temperadas (MBST), estas utilizam normalmente água ou vapor para reduzir a viscosidade do ligante, sendo produzidas com

betume-espuma a 90-100 °C (van de Ven, 2007) ou emulsões a 70-115°C (Prowell et al., 2007). As MBST podem também ser produzidas com um produto químico concebido para promover o envolvimento dos agregados, a aderência e a trabalhabilidade, chamado Evotherm[®] (Hurley e Prowell, 2006), no qual a maioria da água é retirada da mistura em forma de vapor quando a emulsão é misturada com os agregados. A redução da temperatura de fabrico (na ordem de 30 °C) através do uso de agentes aerogéneos baseia-se na utilização de água que está quimicamente ligada ao betume e que é libertada durante a fase de mistura, devido à adição de zeólitos (Hurley e Prowell, 2005). A utilização de aditivos orgânicos também é uma alternativa para redução da temperatura de fabrico das misturas devido a não ser adicionada água à mistura para redução da viscosidade. Neste grupo de aditivos referem-se as ceras parafínicas, nomeadamente o processo Sasobit[®] (Sasol, 2004), e os compostos de éster de baixo peso molecular ou aditivos que contêm agentes tensoactivos, como o aditivo Cecabase[®] (CECA, 2008).

A redução da temperatura de produção em central tem por consequência uma redução significativa do consumo de combustível (APAO, 2003), com a correspondente redução dos custos e da produção de emissões (Figura 2) que contribuem para a ocorrência de problemas de saúde, de odores, e de gases com efeito de estufa (Stroup-Gardiner e Lange, 2002).



Figura 2: Diferença nas emissões de fumos e gases observados na central durante a descarga das misturas betuminosas para o camião: a) MBQ (150 a 160°C); b) MBT (120 a 140°C)

Neste contexto, as reduções tipicamente esperadas são: i) 30 a 40% de CO₂ e SO₂; ii) 50% de compostos orgânicos voláteis; iii) 10 a 30% para o CO; iv) 60 a 70% para os óxidos de azoto; v) 20 a 25% para poeiras. A poupança na quantidade de combustível consumido no queimador e nos dispositivos de aquecimento dos agregados também pode estar próxima de 35%. A redução da exposição ao fumo por parte dos trabalhadores é outra importante vantagem das BMT, com reduções de 30 a 50% em relação às MBQ (D'Angelo et al., 2008).

Para que as MBT sejam definitivamente aceites é essencial que o seu desempenho seja pelo menos tão bom como o das MBQ. Considerando o ciclo de vida do pavimento, se as misturas temperadas não tiverem um desempenho tão bom como as misturas a quente, a longo prazo não haverá benefícios ambientais ou a poupança energética. Neste sentido, vários autores têm estudado o desempenho de aditivos redutores da temperatura do ligante (Silva et al., 2009) e das misturas (Hurley e Prowell, 2008; Button, 2007) para maximizar o seu comportamento.

Apesar das diversas vantagens associadas às misturas temperadas, também existem preocupações (Hurley and Prowell, 2006) associadas ao seu desempenho. Assim, este estudo foi levado a cabo no sentido de tentar responder a algumas questões que continuam em aberto relativamente a uma avaliação comparativa do desempenho das MBT com as convencionais.

ESTUDO LABORATORIAL DAS MISTURAS BETUMINOSAS TEMPERADAS

Formulação

No presente estudo foram estudadas três misturas betuminosas de forma a avaliar as características das MBT vs MBQ e a sua tecnologia de produção. Uma delas foi uma MBQ convencional (mistura de controlo) tipicamente utilizada na rede viária portuguesa (AC14 surf 50/70), enquanto as outras duas foram as “novas” MBTs com a mesma composição mas utilizando diferentes tipos de aditivos comerciais, Sasobit[®] e Cecabase[®].

O Sasobit[®] é uma cera sintética “Fischer-Tropsch (F-T)”, criada a partir do processo de “gaseificação do carvão”, e que tem sido usado como auxiliar de compactação e redutor de temperatura. É um aditivo orgânico de baixo ponto de amolecimento que altera quimicamente a curva de viscosidade/temperatura do ligante (Button et al., 2007). É completamente solúvel no betume a 115°C, resultando numa solução homogénea com o betume base. Assim, a temperatura de fabrico e compactação da mistura pode reduzir-se em 10-30 °C (Sasol, 2004).

O Cecabase[®] é um aditivo que misturado com o betume permite a redução da temperatura de aplicação em cerca de 50 °C, sem qualquer efeito no desempenho da mistura. Comparando com o processo de produção convencional, o uso deste aditivo reduz o consumo de energia em cerca de 20 a 50% e diminui significativamente a emissão de poeiras. Segundo os produtores, a incorporação deste aditivo na produção de MBT (2 a 4 kg por tonelada de ligante) possibilita a redução das temperaturas de aplicação para os 120 °C, garantindo as mesmas propriedades das misturas convencionais produzidas a 160-180 °C (CECA, 2008).

Neste estudo, a percentagem de aditivo e as temperaturas de produção e de compactação, foram as únicas variáveis. Os outros parâmetros de composição (tipo de agregados, curva granulométrica, tipo e percentagem de ligante) foram idênticos nas três misturas estudadas. A porosidade também deveria ser constante. No entanto, este parâmetro volumétrico é muito dependente da temperatura de produção, sendo um parâmetro utilizado para seleccionar ou validar a temperatura óptima de produção das MBT em central. Considerando as premissas anteriores, a formulação da mistura (selecção dos materiais constituintes, agregados sieníticos e betume, curva granulométrica e percentagem de ligante), foi somente determinada sobre a MBQ, sendo os resultados finais obtidos considerados para todas as misturas estudadas. Uma vez que estas misturas foram também usadas para a execução de um trecho experimental, as características dos agregados e o ligante, de penetração 50/70, foram impostas pelo Caderno de Encargos do Dono de Obra. As suas principais propriedades resumem-se nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Características dos agregados utilizados

Características determinadas	Especificações seguidas	Agregado 8/14	Agregado 4/10	Areia Lavada 0/4	Pó 0/5	Filer
Desgaste LA, Granulometria B (%), LNEC E 237	máx. 30%	27	---	---	---	---
Índice de lamelação (%), B.S.812	máx. 25%	14	12	---	---	---
Índice de alongamento (%), B.S.812	máx. 25%	25	14	---	---	---
Equivalente de areia (%), LNEC E 199	mín. 60%	---	---	83	73	---
Peso específico das partículas (g/cm ³) - NP 591	---	2,53	2,54	2,58	2,52	2,71
Absorção de água (%), NP 591	máx. 2%	1,0	1,0	1,0	1,9	---

Tabela 2: Características do ligante 50/70

Penetração (0,1mm) - EN 1426	Temperatura Anel e Bola (°C) - EN 1427
52	51,9

A Figura 3 apresenta o fuso granulométrico imposto para a MBQ e a curva granulométrica obtida após a combinação dos agregados para cumprir os parâmetros estabelecidos.

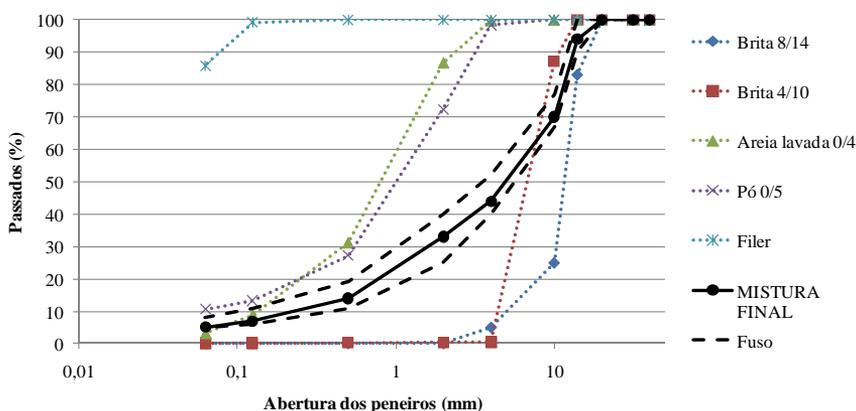


Figura 3: Fuso e curva granulométrica das misturas estudada

Durante a formulação Marshall observou-se que todos os parâmetros estavam de acordo com as especificações portuguesas e a percentagem óptima de ligante foi de 5%. Executou-se um estudo adicional, constituído pelos ensaios de sensibilidade à água (ITSR) e resistência à deformação permanente (WTS air) sobre misturas com a percentagem óptima determinada anteriormente e com uma variação de $\pm 0,5\%$ (Tabela 3). A análise dos resultados confirmou o valor óptimo da percentagem de ligante (5%) determinado pelo método Marshall.

Tabela 3: Resultados dos ensaios complementares

% BETUME		4,5	5,0	5,5
WTS air	(mm/10 ³)	0,06	0,08	0,09
ITSR	(%)	39,9	47	41,9
Vv provetes	(%)	4,4	3,5	2,7

Seleção do Conteúdo de Aditivo

A seleção do conteúdo óptimo de aditivo das MBTs baseou-se na caracterização (penetração, ponto de amolecimento e viscosidade dinâmica) de várias amostras de ligantes modificados, cujo método utilizado é descrito em detalhe em Silva et al. (2009). Baseados nas especificações dos produtores de aditivo, foram adicionados 2, 3 e 4% de Sasobit[®] e 0,2, 0,3 e 0,4% de Cecabase[®] ao betume convencional (50/70). Os resultados obtidos permitiram concluir que a adição até 0,4% de Cecabase[®] ao betume original não altera a sua classificação, enquanto a adição de Sasobit[®] modifica significativamente as suas propriedades (podendo ser classificado como um betume mais duro, tipo 35/50).

Ao avaliar a evolução da viscosidade dinâmica com a temperatura para os diferentes tipos de betumes antes e após modificação, verificou-se que a adição do Sasobit[®] reduziu a viscosidade dinâmica do ligante à temperatura de produção e aplicação. Após análise do limite de temperatura equivalente à linha de viscosidade para a mistura (0,2 Pa.s), foi possível concluir que a adição de 2% de Sasobit[®] permite a redução de 2 a 4 °C comparativamente aos betumes originais, enquanto os betumes modificados com 4% de Sasobit[®] apresentam reduções superiores (7 a 9 °C). Assim, a quantidade de Sasobit[®] seleccionada para continuação deste estudo foi de 4%. Relativamente ao aditivo Cecabase[®], os resultados da caracterização foram inconclusivos, optando-se por seleccionar a percentagem de 0,3% baseado nas indicações do produtor.

Seleção das Temperaturas de Mistura e Compactação

Para seleção e validação das temperaturas de produção das MBTs utilizou-se o ensaio de compactabilidade (EN 12697-10). Assim, foi estudado o comportamento das MBTs alterando a temperatura e comparando a porosidade com a obtida na MBQ. Para a realização deste ensaio foram moldados provetes com diferentes energias de compactação pelo compactador de impacto, nos quais se determinou a porosidade, cujos resultados se apresentam na Figura 4.

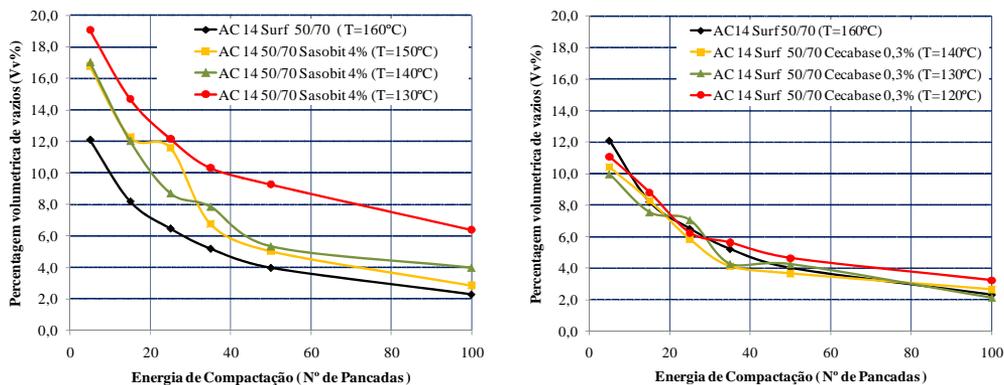


Figura 4: Resultados da compactabilidade a diferentes temperaturas

Pela análise dos resultados obtidos no ensaio de compactabilidade para a MBT com Sasobit[®], verificou-se que se pode reduzir a temperatura de fabrico até aos 140 °C sem comprometer os limites volumétricos estabelecidos. A comparação entre a porosidade da MBQ e das MBTs produzidas com Cecabase[®] permitiu concluir que é possível reduzir a temperatura de produção até 120 °C, sem variar significativamente a porosidade da mistura.

Características das MBTs – Validação em Laboratório

Depois de definidas as condições de produção das MBT, iniciou-se o estudo laboratorial para determinação das suas propriedades gerais e fundamentais. Na Tabela 4 é apresentado um resumo das características obtidas para as misturas estudadas. Verifica-se que as características das MBTs são análogas às da MBQ, podendo concluir-se que as condições de produção das MBT foram adequadamente seleccionadas.

Tabela 4: Características das misturas resultantes do estudo laboratorial

Tipo de Mistura	Norma de ensaio	MBQ 50/70	MBT 50/70 Sasobit [®]	MBT 50/70 Cecabase [®]
Percentagem de betume (%)	EN 12697-1	5,0	5,0	5,0
Baridade Máxima Teórica (kg/m ³)	EN 12697-5	2,420	2,409	2,401
Percentagem de Vazios (%)	EN 12697-8	3,0	3,5	3,0
ITSR (%)	EN 12697-12	47	42	52
WTS air (mm/10 ³)	EN12697-22	0,08	0,1	0,11

TRECHO EXPERIMENTAL E DESEMPENHO DA MISTURA

O trecho experimental realizou-se na região do Algarve, junto ao Autódromo Internacional do Algarve, numa extensão de cerca de 1600 m. A obra foi realizada durante o mês de Dezembro, com temperaturas usualmente inferiores às desejáveis para as operações de aplicação de misturas betuminosas. A semana anterior à realização do trecho experimental foi muito chuvosa, pelo que os agregados para a realização das misturas não se encontravam completamente secos. Considerou-se este cenário possível para uma produção normal das

MBT e assim sendo o trecho foi executado como planeado. Assim, também foi possível aferir se esta tecnologia pode ser usada em condições menos favoráveis. No dia da execução a temperatura do ar estava um pouco acima dos 10°C no início dos trabalhos da manhã, e aumentou ligeiramente ao longo do dia. Dada a proximidade da central de produção e do trecho, o tempo de transporte não se mostrou relevante para reduzir a temperatura das misturas antes da sua aplicação e compactação.

Produção das misturas betuminosas

Devido a restrições técnicas relacionadas com a entrega dos ligantes modificados (a ter em consideração em trabalhos futuros), não foi possível produzir todas as misturas no mesmo dia. A mistura convencional foi produzida a 165 °C, sendo que os agregados que estavam extremamente molhados necessitaram de ser aquecidos a 175 °C. De salientar que a central iniciou neste dia a produção com esta mistura, tendo existido algumas dificuldades na regulação do queimador da central. Com base nos resultados laboratoriais já apresentados, considerou-se uma temperatura de 140 °C para a MBT com Sasobit® e de 125 °C para a MBT com Cecabase®. De referir que na produção destas MBT a redução final da temperatura das misturas, conseguiu-se à custa de um abaixamento da temperatura dos agregados, sendo que a temperatura do ligante aditivado se manteve a 155 °C.

Relativamente ao tempo de mistura necessário para a produção das misturas betuminosas, aumentou-se em cerca de 10% o tempo de amassadura de forma a garantir um correcto envolvimento dos agregados nas MBTs. Na produção das misturas foi ainda controlado de uma forma aproximada o consumo de combustível gasto no aquecimento dos agregados. Assim, foi possível observar que estes foram de cerca de 6,0 kg/ton na MBQ, sendo de 4,5 kg/ton na MBT com Sasobit® e de 4,0 kg/ton na MBT com Cecabase®. A central de produção estava equipada de um pirómetro óptico de medição em contínuo da temperatura de produção das misturas betuminosas, instalado junto à zona de descarga para o “skip”. Na Figura 5, apresentam-se as temperaturas medidas para as três misturas em estudo.

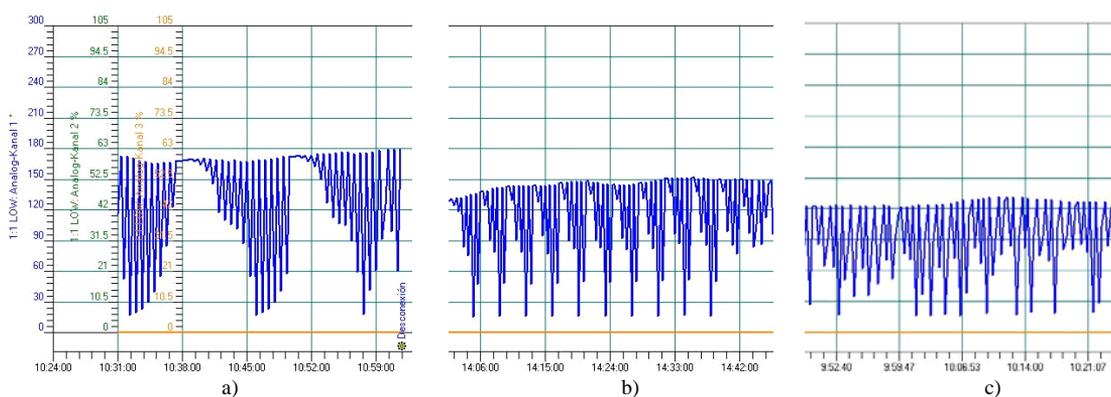


Figura 5: Registo das temperaturas obtido directamente do equipamento da central de produção: a) mistura convencional, b) mistura com Sasobit®; c) mistura com Cecabase®

Aplicação das Misturas Betuminosas

Foi considerada a mesma metodologia de aplicação e compactação para as três misturas, que consistiu no espalhamento com uma pavimentadora Vogelle 2000, e a compactação com cilindros de rasto liso (Hamm HD90) e de pneus (Hamm GRW18). A compactação da MBQ ocorreu numa gama de temperaturas entre 145 e 160°C, sendo que as MBTs com Sasobit® e Cecabase® foram compactadas, respectivamente, entre 120-135°C e 100-125°C.

A metodologia adoptada permitiu a execução de uma espessura constante e de acordo com o preconizado no projecto, conforme foi possível confirmar pelos carotes executados (12 por cada mistura), e cujos resultados se apresentam na Tabela 5. Da análise efectuada pode concluir-se que as três misturas apresentam em obra idênticas características volumétricas para as temperaturas de compactação utilizadas.

Tabela 5: Características dos carotes retirados em obra

Propriedade avaliada	Norma de ensaio	MBQ 50/70	MBT 50/70 Sasobit®	MBT 50/70 Cecabase®
Espessura (cm)	EN 12697-1	5,1	5,0	5,1
Volume de vazios (%)	EN 12697-8	5,0	4,4	4,0
Grau de compactação (%)	EN 12697-6	97,4	97,1	97,7

Caracterização Final do Desempenho das Misturas

Neste trabalho, era fundamental validar em obra os resultados obtidos em laboratório, nomeadamente, ao nível das características volumétricas e do desempenho final das três misturas aplicadas. Assim, para cada mistura foram recolhidas amostras durante a produção para a confirmação da granulometria, percentagem de betume, baridade máxima teórica e volume de vazios (Tabela 6). Também se avaliou a sensibilidade à água, a resistência à deformação permanente no ensaio de pista (Tabela 6 e Figura 6) e o módulo de rigidez (Figura 7) das misturas compactadas em obra.

Tabela 6: Características volumétricas, resistência à deformação permanente e sensibilidade à água das misturas retiradas do pavimento

Tipo de Mistura	Norma de ensaio	MBQ (50/70)	MBT (50/70 Sasobit®)	MBT (50/70 Cecabase®)
Percentagem de betume	EN 12697-1	5,0	5,1	5,3
BMT (kg/m ³)	EN 12697-5	2418	2414	2407
Volume de vazios (%)	EN 12697-8	2,7	2,0	2,0
WTS air (mm/10 ³)	EN12697-22	0,25	0,69	0,29
ITSR (%)	EN 12697-12	85,8	85,2	67,0

Após análise dos resultados, verificou-se que a percentagem de ligante é similar para as três misturas em estudo, apesar da MBT com Cecabase® apresentar um valor ligeiramente superior. O índice de resistência conservada em tracção indirecta (ITSR) demonstrou que as misturas MBT apresentaram um melhor desempenho em obra, que pode estar relacionada com a presença de um ligante mais mole juntamente com a baixa porosidade das misturas. Adicionalmente, determinou-se a distribuição granulométrica dos agregados recuperados das misturas cujos resultados obtidos permitiram confirmar a curva dentro do fuso preconizado.

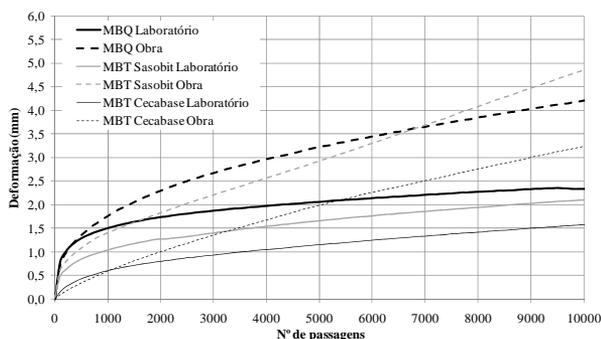


Figura 6: Comparação entre a resistência à deformação permanente das lajes produzidas em laboratório e retiradas do pavimento

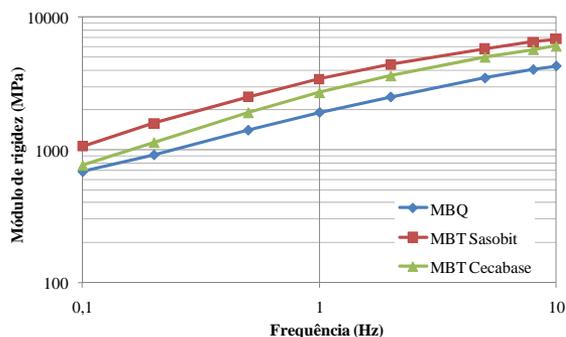


Figura 7: Módulo de rigidez das misturas retiradas do pavimento

Relativamente aos resultados do módulo de rigidez, verificou-se que as três misturas apresentam valores típicos das misturas betuminosas convencionais, embora as MBT tenham superado ligeiramente a MBQ. Isto confirma que é possível produzir MBT com características idênticas às das MBQ, desde que se garanta um eficiente controlo da qualidade.

Conforme relatado foram retiradas dos três sub-trechos, lajes para determinação da resistência à deformação permanente, cujos resultados obtidos foram os apresentados na Tabela 7. Comparando estes resultados com os obtidos no estudo de laboratório verificou-se que a resistência à deformação permanente é aproximadamente metade da obtida em laboratório, o que indicou a ocorrência de algum problema na fase de produção, nomeadamente a contaminação das misturas betuminosas com fuel.

Prowell and Hurley (2008) referiram a susceptibilidade de MBTs à contaminação com fuel, visto que é difícil ajustar os queimadores para baixas temperaturas de produção em conjunto com baixas taxas de produção, nomeadamente em trechos experimentais. Isto pode ser explicado por uma necessidade de um pré-aquecimento do fuel antes da produção de forma a remover eventuais condensações que possam provocar contaminação das misturas durante o aquecimento dos agregados. No caso do trecho experimental executado, para além de não ter sido executado o pré-aquecimento do fuel, os agregados estavam muito molhados o que, no entender dos autores, poderá ter agravado a contaminação sucedida. De forma a confirmar esta teoria, e uma vez que foram recolhidas em obra amostras dos ligantes à saída da cisterna de abastecimento, foram mais uma vez produzidas lajes em laboratório para confirmação dos valores da resistência à deformação permanente, que são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Valores da resistência à deformação permanente de lajes moldadas em laboratório com betume recolhido em obra

	Norma de ensaio	MBQ 50/70	MBT 50/70 Sasobit®	MBT 50/70 Cecabase®
Volume de vazios (%)	EN 12697-8	3,2	3,1	2,8
WTS air (mm/10 ³)	EN12697-22	0,1	0,12	0,14

Os resultados obtidos permitiram confirmar os valores da validação em laboratório, afastando a possibilidade de ter ocorrido algum problema na mistura do aditivo com o betume, e confirmando a contaminação com fuel das misturas produzidas no trecho experimental.

CONCLUSÕES

As principais conclusões deste trabalho foram as seguintes:

- O aditivo Cecabase® actua apenas na mistura do ligante com os agregados, uma vez que não tem influência na viscosidade do ligante, enquanto o Sasobit® reduz a viscosidade do ligante para as temperaturas de produção;
- Os ensaios de compactabilidade demonstraram que é possível reduzir a temperatura de produção em 20°C ou em 40 °C, respectivamente quando se utiliza o aditivo Sasobit® ou Cecabase®, sem aumento significativo da porosidade;
- A resistência à deformação permanente das misturas foi severamente afectada durante a produção em central, devido à contaminação com fuel no queimador aquando do aquecimento dos agregados, o que pode ser resolvido utilizando um tipo diferente de energia de aquecimento (por exemplo, gás natural);
- Os resultados obtidos com a tecnologia de MBT usada podem ser em geral considerados satisfatórios, embora estas misturas obriguem a um controlo de qualidade mais rigoroso, principalmente pela dificuldade de algumas centrais actuais conseguirem realizar um controlo adequado da temperatura de produção.

REFERÊNCIAS

- APAO (2003). Warm Mix Asphalt Shows Promise for Cost Reduction, Environmental Benefit, Centerline, Asphalt Pavement Association of Oregon, Salem.
- Button, J.W., Estakhri, C., Wimsatt, A. (2007). A Synthesis of Warm-Mix Asphalt, Report 0-5597-1, Texas Transportation Institute, Texas.
- CECA (2008). Green Road Formulation: Warm Mix Asphalt - Cecabase[®] RT, Arkema Group <http://www.cecachemicals.com/sites/ceca/en/business/bitumen_additives/warm_coated_material/warm_coated_material.page> (accessed on 4Nov08)
- D'Angelo, J., Harm, E., Bartoszek, J., Baumgardner, G., Corrigan, M., Cowsert, J., Harman, T., Jamshidi, M., Jones, W., Newcomb, D., Prowell, B., Sines, R., Yeaton, B. (2008). Warm-Mix Asphalt. European Practice. FHWA, U.S. Department of Transportation, AASHTO, NCHRP, Report FHWA-PL-08-007, Alexandria.
- EAPA (2005). Developments in Low Temperature Asphalt - EAPA Position Paper, Brussels.
- EAPA (2007). Environmental Guidelines on Best Available Techniques (BAT) for the Production of Asphalt Paving Mixes, European Asphalt Pavement Association, Brussels.
- Fitts, G. (2008). Warm Mix Asphalt. Experience in Texas, 32nd Annual Asphalt Conference, Asphalt Institute.
- Hurley, G., Prowell, B. (2006). Evaluation of Evotherm[®] for Use in Warm Asphalt Mixes. NCAT Report No. 06-02, Auburn University, Auburn.
- Hurley, G.C., Prowell, B.D. (2005). Evaluation of Aspha-Min[®] Zeolite for Use in Warm Mix Asphalt, National Center for Asphalt Technology, NCAT Report 05-04, Auburn.
- Hurley, G.C., Prowell, B.D. (2006). Evaluation of Potential Processes for Use in Warm Mix Asphalt, Journal Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 75, pp 41-90.
- Hurley, G.C., Prowell, B.D. (2008). Field Performance of Warm Mix Asphalt, TRB 2008 Annual Meeting, Washington D.C.
- Olard, F., Noan, C. (2008). Low Energy Asphalts, Routes Roads, 336/337, PIARC, p 131-45.
- Prowell, B.D., Hurley, G.C., Crews, E. (2007). Field Performance of Warm Mix Asphalt at the NCAT Test Track, Transportation Research Record 1998, pp. 96-102.
- Sasol (2004). The Bitumen Additive for Highly Stable Easily Compactable Asphalts, Sasobit[®] Product Information 124, Sasol Wax GmbH, Hamburg.
- Silva, H.M.D., Oliveira, J.R.M., Ferreira, C.I.G., Peralta, E.J. (2009). Evaluation of the rheological behaviour of warm mix asphalt (WMA) modified binders, Proceedings of the 7th International RILEM Symposium ATCBM, Rhodes, Greece.
- Stroup-Gardiner, M., Lange, C. (2002). Characterization of Asphalt Odors and Emissions, 9th International Conference on Asphalt Pavements, Copenhagen, Denmark.
- van de Ven, M.F.C., Jenkins, K.J., Voskuilen, J.L.M., van den Beemt, R. (2007). Development of (half) warm foamed bitumen mixes. state of the art, International Journal of Pavement Engineering, Vol. 8, No. 2, pp. 163-175.