

A UTILIZAÇÃO DO BETUME MODIFICADO COM BORRACHA (BMB) EM PORTUGAL: A EXPERIÊNCIA ADQUIRIDA AO LONGO DE 7 ANOS NAS OBRAS EM SERVIÇO

PAULO FONSECA

DIRECTOR GERAL, RECIPAV

RUI BARROS

DIRECTOR EXECUTIVO, NORVIA / PRONORSAN

RESUMO

Desde o ano de 1999 que Portugal se iniciou na utilização das misturas betuminosas com Betume Modificado com Borracha (BMB). Ao longo de 7 anos foram executadas várias obras sobre as quais foram retiradas diferentes experiências. Neste trabalho, são apresentados e discutidos os principais resultados da observação das obras em serviço, os resultados sobre as características mecânicas das misturas betuminosas utilizadas e as características funcionais actuais das várias camadas de desgaste onde se utilizou o ligante BMB.

1. INTRODUÇÃO

A introdução do Betume Modificado com Borracha (BMB) em Portugal em 1999 resultou da experiência acumulada ao longo de 30 anos da sua utilização nos EUA, África do Sul e Austrália. Durante esse período, foram efectuados inúmeros estudos baseados em casos práticos de aplicação deste material em estradas e auto-estradas, fazendo variar o volume de tráfego, as condições de fundação e as regiões climatéricas. Foram inclusivamente efectuados ensaios à escala real, nos EUA e África do Sul, para simular o comportamento das misturas betuminosas com BMB face às misturas betuminosas habitualmente utilizadas. Com base nos resultados desses estudos foram criadas as especificações de produto e manuais de utilização relativos às misturas betuminosas com BMB [1].

Em termos genéricos, o BMB é um ligante que incorpora entre 20 a 22% de granulado de borracha e que cumpre o especificado na norma ASTM D 6114-97 (2002) [2] e com a prEN 14023:2004 [3].

As misturas betuminosas com BMB vulgarmente utilizadas em Portugal são a Mistura Betuminosa Rugosa (MBR-BMB) [4] e a Mistura Betuminosa Aberta (MBA-BMB) [5].

2. A EXPERIÊNCIA PORTUGUESA

Portugal foi pioneiro na Europa, em 1999, na utilização do BMB tal como definido na norma americana. Desde essa data foram utilizados cerca de 37,000 ton de BMB a que correspondem cerca de 430,000 ton de mistura betuminosa aplicada na pavimentação de estradas e auto-estradas. No quadro 1 pode observar-se a penetração por tipo de Dono de Obra e também a internacionalização do produto essencialmente em Espanha, Alemanha e Áustria.

Quadro 1 – Penetração do BMB por Dono de Obra

| Dono de Obra | BMB (ton) | Mistura Betuminosa (ton) | Dono de Obra (%) |
|----------------------|------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Estradas de Portugal | 13.340 | 156.941 | 36% |
| Concessionárias | 4.570 | 50.777 | 12% |
| Câmaras Municipais | 2.430 | 28.588 | 7% |
| Outras Entidades | 2.560 | 30.117 | 7% |
| Europa | 14.000 | 164.706 | 38% |
| Total | 36.900 | 431.129 | |

Ao longo destes últimos 7 anos e de forma a acompanhar o desempenho das misturas betuminosas aplicadas, foram realizados vários ensaios em laboratório e em campo, que permitem agora um adequado conhecimento das propriedades estruturais e funcionais das misturas betuminosas com BMB.

Um dos factores de diferenciação destas misturas em relação às misturas convencionais está relacionado com as elevadas percentagens de ligante que este tipo de misturas incorpora, em relação ao peso total da mistura, variando de 8% para a MBR-BMB até 10,5% para a MBA-BMB. De seguida apresenta-se a estratégia de utilização das misturas betuminosas com BMB.

MBR-BMB:

Propriedades:

- Estrutural (Resistência à fadiga, propagação de fendas e ao envelhecimento, Baixa rigidez)
- Funcional (Macro-textura, ruído)

Utilização:

- Camada de desgaste (espessuras de 3 a 6cm);
- Camada de base ou de regularização;

MBA-BMB:

Propriedades:

- Funcionais (Propagação de fendas, Ruído, Macro-textura, Projecção de água, Resistência ao envelhecimento da mistura);

Utilização:

- Camada de desgaste (espessuras de 2,5 a 4 cm);
- Camada intermédia anti-propagação de fendas (espessuras de 2,5 cm) em sistemas multi-camadas;

3. PROPRIEDADES ESTRUTURAIS DAS MISTURAS BETUMINOSAS

3.1. Resistência à fadiga

Atendendo às características físicas do BMB e ao facto de se poderem utilizar elevadas incorporações deste ligante nas misturas betuminosas, a resistência à fadiga destas misturas é substancialmente superior quando comparada com uma mistura betuminosa convencional, podendo suportar, para o mesmo nível de extensão, cerca de 10 vezes mais aplicações de carga. Este facto constitui a razão principal pela qual é habitual considerarem-se reduções de espessura destas misturas que podem atingir os 50% quando se compara com um betão betuminoso convencional.

Na figura 1 pode observar-se as leis de fadiga características (EN 12697-26:10Hz, 20°C) para as duas misturas betuminosas resultantes de lajes retiradas dos pavimentos, comparando-se, em cada caso, com as leis de fadiga da Shell.

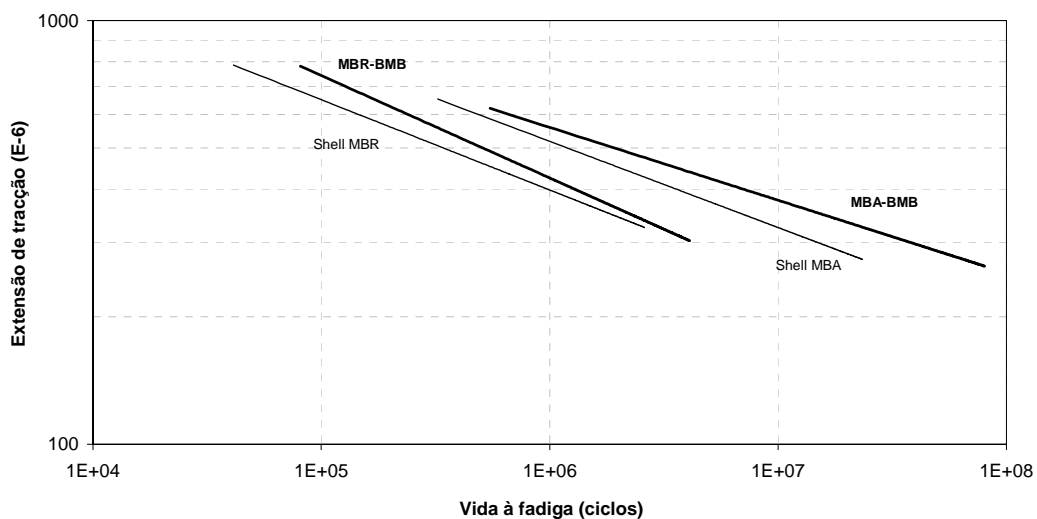


Figura 1 – Leis de fadiga características para as misturas betuminosas com BMB

No quadro 2 apresentam-se as principais características, do ponto de vista do dimensionamento de pavimentos, destas duas misturas betuminosas sendo ϵ_6 a extensão de tracção após a aplicação de 10^6 ciclos de carga.

Quadro 2 – Características intrínsecas das misturas betuminosas com BMB

| | Módulo de Deformabilidade (MPa) | Porosidade (%) | V_b - Teor volumétrico em betume (%) | ϵ_6 (μm) |
|----------------|--|-----------------------|---|---|
| MBR-BMB | 3800 | 4,5 a 6,5 | 17,5 | 420 |
| MBA-BMB | 2000 | 10 a 16 | 19,2 | 550 |

3.2. Resistência à formação de rodeiras

Atendendo ao facto das misturas exibirem elevadas incorporações de BMB poder-se-ia esperar uma elevada susceptibilidade à formação de rodeiras. Os vários ensaios de pista realizados segundo a norma NLT – 173 demonstraram que para ambas as misturas as velocidades de deformação $V_{120} - V_{105}$ são inferiores aos valores máximos admissíveis em Espanha, de 12 $\mu\text{m}/\text{min}$ para uma zona climatérica quente e para o maior volume de tráfego de pesados. Tendo presente que a resistência à formação de rodeiras é maioritariamente influenciada pelas características físicas do ligante, só a elevada viscosidade (4500 cP) e a temperatura de amolecimento anel e bola (superiores a 70°C) que o BMB patenteia proporcionam a obtenção de valores abaixo dos admissíveis. No quadro 3 apresenta-se os valores característicos obtidos nos ensaios de pista realizados.

Quadro 4 – Valores característicos do ensaio de pista das misturas com BMB

| | V₁₂₀-V₁₀₅ ($\mu\text{m}/\text{min}$) |
|----------------|--|
| MBR-BMB | 4 |
| MBA-BMB | 8 |

4. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS DAS MISTURAS BETUMINOSAS

As características funcionais das misturas betuminosas estão associadas a dois factores tidos como mais relevantes: a aderência e o ruído no contacto pneu/pavimento. Em relação ao ruído, vários estudos foram realizados tendo-se chegado à conclusão que a utilização da mistura MBA-BMB proporciona reduções de ruído na ordem dos 5 dB(A) quando comparada com as misturas betuminosas rugosas convencionais [6]. Em seguida, apresentam-se os estudos entretanto efectuados para avaliar o comportamento face à aderência pneu-pavimento.

4.1 A resistência ao deslizamento

Deleted: à derrapagem

A resistência ao deslizamento é o termo utilizado para descrever a contribuição da camada de desgaste no desenvolvimento da aderência pneu-pavimento. O ensaio para a medição da resistência ao deslizamento é realizado em condições normalizadas nas quais vários parâmetros são controlados para que os efeitos da camada de desgaste possam ser perfeitamente isolados. Uma vez que esta grandeza é alta em condições de tempo seco, o termo é quase sempre conectado com estradas molhadas;

Deleted: à derrapagem

Deleted: Deste modo,

Deleted: à

Deleted: rrapagem

Deleted: uma medida do atrito obtido

Deleted: sobre

A resistência ao deslizamento depende essencialmente de duas características fundamentais da camada de desgaste: a micro-textura e a profundidade de textura.

Deleted: à

Deleted: rrapagem

Deleted: (resistência ao deslizamento)

A micro-textura de uma mistura betuminosa aplicada em camada de desgaste depende essencialmente da estrutura mineralógica do agregado utilizado, após ser libertada a película de betume superficial que envolve os agregados.

A micro-textura da mistura betuminosa interage com o pneu de forma a gerar as forças de atrito e constitui o factor com maior relevância na resistência ao deslizamento a velocidades baixas.

Deleted: à

Deleted: derrapagem

Com a acção continuada do tráfego pesado a micro-textura das misturas betuminosas tende a diminuir e a resistência ao deslizamento decresce para um nível de equilíbrio que depende do volume desse tipo de tráfego e da resistência ao polimento do agregado utilizado.

Deleted: à

Deleted: derrapagem

Em climas temperados o processo de polimento é cíclico e a resistência ao deslizamento tem o seu nível mínimo durante o verão (devido ao envolvimento dos agregados pela sujidade resultante das poeiras, óleos, etc.) recuperando até um certo nível depois do inverno. Esta recuperação para o nível de equilíbrio depende da resistência do agregado ao polimento após vários ciclos climatéricos. Daqui resulta a elevada importância que constitui a determinação do coeficiente de polimento acelerado dos agregados a utilizar em camada de desgaste na fase da execução das obras.

Deleted: à

Deleted: derrapagem

Para além da micro-textura, a superfície de uma camada de desgaste apresenta também uma certa macro-textura que depende da forma dos agregados e dos espaços existentes entre eles. A atrás referida profundidade de textura é no fundo uma medida da macro-textura de uma determinada mistura betuminosa. Esta macro-textura é importante uma vez que proporciona caminhos mais ou menos rápidos para a drenagem da água da zona de contacto do pneu-pavimento. A forma da superfície do pneu pode ajudar neste processo, embora a maior contribuição provenha da macro-textura da mistura betuminosa. A elevada macro-textura

pode também gerar perdas de energia no pneu quando este derrapa tal como se tem observado em algumas misturas betuminosas drenantes.

4.2 Avaliação da resistência ao deslizamento nas misturas betuminosas com BMB em serviço

Deleted: micro-textura

A avaliação da resistência ao deslizamento foi efectuada recorrendo ao equipamento “Grip-Tester” tendo os valores obtidos sido corrigidos para os valores do ensaio SCRIM tido como padrão no Caderno de Encargos da EP. A correlação utilizada foi a recomendada pelo C.E.N 227 / WG5 – Surface Characteristics, em que $SCRIM = 0,89 \times Grip\ Number$ [6]. Segundo o CE da EP o valor do SCRIM não deve ser inferior a 0,40 quando a velocidade das medições sejam de 50 km/h.

Deleted: micro-textura (

Deleted:)

Os valores obtidos para as estradas em serviço encontram-se resumidos no quadro 5. Na Figura 2 apresenta-se um exemplo da variação desta grandeza ao longo do traçado da EN 104 Trofa / Azurara.

Quadro 5 – Valores da Resistência ao Deslizamento em estradas em serviço

| | Média (M) | Desvio Padrão (σ) | Valor característico (M- σ) | Tipo de Mistura | Ano de entrada em serviço | Tipo de agregado |
|--------------------------------|-----------|----------------------------|-------------------------------------|-----------------|---------------------------|------------------|
| EN 104 Trofa / Azurara | 0,55 | 0,05 | 0,50 | MBR-BMB | 1999 | Granítico |
| EN 105 Ermesinde / Sto. Tirso | 0,52 | 0,05 | 0,47 | MBR-BMB | 2000 | Granítico |
| EM 538 Avis | 0,77 | 0,07 | 0,70 | MBR-BMB | 2004 | Seixo Britado |
| IC1 Ourique / Santana da Serra | 0,66 | 0,05 | 0,61 | MBR-BMB | 2004 | Dioritos |

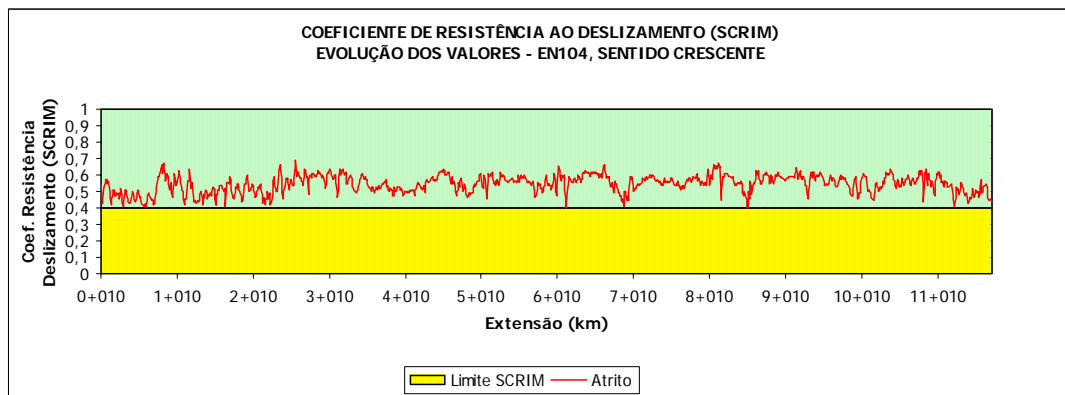


Figura 2 – Variação da Resistência ao Deslizamento na EN 104 Trofa / Azurara

Deleted: ¶

4.2 Avaliação da profundidade de textura nas misturas betuminosas com BMB em serviço

A textura superficial foi medida mediante equipamento laser e determinada de acordo com o procedimento estabelecido pela Norma ISO 13473-1. A correlação que se indica nesta norma, entre o valor calculado de MPD (Mean Profile Depth) com o valor obtido no ensaio volumétrico do círculo de areia, é a seguinte:

$$ETD \text{ (Estimated Texture Depth)} = 0,8 \times MPD + 0,2$$

O cálculo é efectuado a partir dos valores médios dos resultados da medição realizada, de 10 em 10 m, ao longo da rodeira no sentido crescente da quilometragem.

Segundo o CE da EP, a profundidade de textura, medida em termos do ensaio de altura de areia, varia consoante o tipo de camada de desgaste, devendo ser respeitados os valores apresentados no quadro 6.

Quadro 6 – Valores de altura de areia em função do tipo de camada de desgaste

| Tipo de mistura betuminosa | Altura de areia (mm) |
|-----------------------------------|----------------------|
| Betão betuminoso | Aa > 0,6 |
| Betão betuminoso drenante | Aa > 1,2 |
| Microbetão rugoso | Aa > 1,0 |
| Argamassa betuminosa | Aa > 0,4 |
| Mistura betuminosa de alto módulo | Aa > 0,4 |

Os valores obtidos para as estradas em serviço encontram-se resumidos no quadro 7. Na Figura 3 apresenta-se um exemplo da variação desta grandeza ao longo do traçado do IC1 Ourique / Santana da Serra.

Quadro 7 – Valores de Altura de Areia para as estradas em serviço

| | Média (M) | Desvio Padrão (σ) | Valor característico (M- σ) | Tipo de Mistura | Ano de entrada em serviço |
|--------------------------------|-----------|----------------------------|-------------------------------------|-----------------|---------------------------|
| EN 104 Trofa / Azurara | 1,45 | 0,27 | 1,18 | MBR-BMB | 1999 |
| EN 105 Ermesinde / Sto. Tirso | 1,38 | 0,15 | 1,23 | MBR-BMB | 2000 |
| EM 538 Avis | 1,77 | 0,28 | 1,49 | MBR-BMB | 2004 |
| IC1 Ourique / Santana da Serra | 1,52 | 0,22 | 1,30 | MBR-BMB | 2004 |

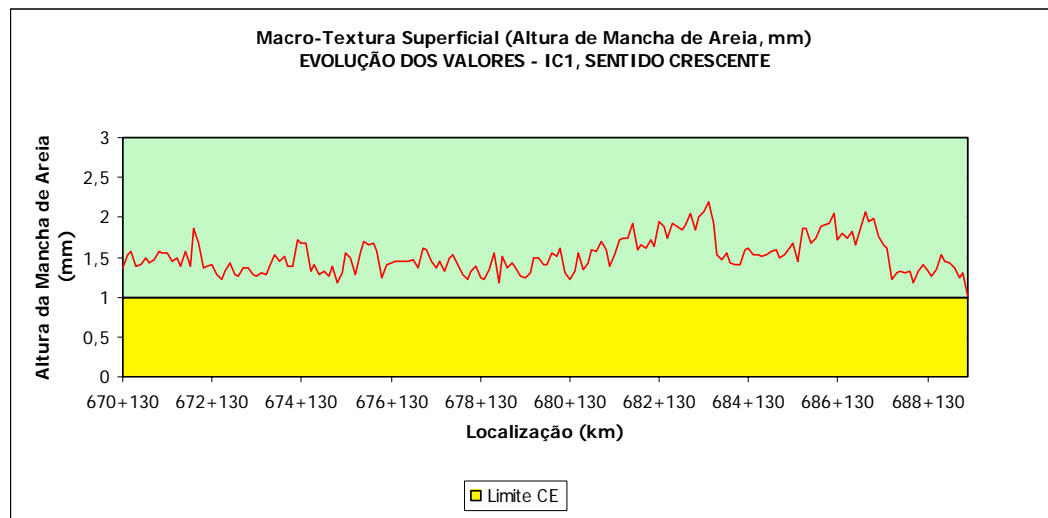


Figura 3 – Variação da Altura de Areia no IC1 Ourique / Santana da Serra

5. CONCLUSÕES

A experiência decorrente dos últimos 7 anos na utilização do BMB e das misturas betuminosas com este ligante permite hoje ter um conhecimento sustentado das características do ligante e das propriedades estruturais e funcionais das misturas betuminosas.

O ligante BMB, quando comparado com outros ligantes existentes no mercado, apresenta uma elevada viscosidade (cerca de 15 vezes superior para a mesma temperatura), uma baixa penetração e uma elevada temperatura anel e bola. Estas características físicas do BMB permitem uma elevada incorporação de ligante nas misturas betuminosas.

As misturas betuminosas com BMB caracterizam-se por apresentar uma elevada vida à fadiga, uma óptima resistência à propagação de fendas, uma elevada resistência ao envelhecimento e, mesmo com elevadas percentagens de BMB, exibem uma excelente resistência à formação de rodeiras. Em termos de características funcionais, a MBR-BMB apresenta valores de resistência ao deslizamento e de altura de areia muito superiores aos valores mínimos exigidos no CE da Estradas de Portugal para misturas do tipo rugosas. Outros estudos realizados, relativos à avaliação do ruído no contacto pneu/pavimento, apontaram para reduções de ruído da ordem dos 5 dB(A) quando se compara uma mistura MBA-BMB com uma mistura rugosa convencional.

As estratégias relacionadas com a utilização deste tipo de misturas, numa óptica de custo/benefício, apontam para a sua utilização sobre pavimentos existentes fissurados (sem a necessidade de tratamentos prévios), sobre bases tratadas com ligantes hidráulicos, sobre

pavimentos em betão de cimento e na reabilitação funcional de estradas com pavimentos muito flexíveis, com baixa capacidade de suporte. Outra estratégia funcional muito importante prende-se com a sua utilização nas denominadas zonas sensíveis do ponto de vista ambiental, nomeadamente no que respeita às medidas de mitigação do ruído.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar ao Eng.º João Espírito Santo da empresa Norvia – Consultores de Engenharia, SA o trabalho relacionado com o tratamento dos dados dos ensaios referentes à avaliação das características funcionais dos pavimentos em serviço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] – State of California Department of Transportation, Division of Engineering Services. – “Asphalt Rubber Usage Guide”. Janeiro 2003.

[2] – ASTM D 6114-97 (Reapproved 2002). – “Standard Specification for Asphalt-Rubber Binder”. 4 Páginas.

[3] – CEN prEN 14023: 2004. – “Bitumen and bituminous binders – Framework specification for polymer modified bitumens”. 24 Páginas.

[4] – Recipav. – “Cláusulas Técnicas Especiais. Mistura Betuminosa Rugosa com BMB: MBR-BMB”. 20 Páginas.

[5] – Recipav. – “Cláusulas Técnicas Especiais. Mistura Betuminosa Aberta com BMB: MBA-BMB”. 20 Páginas.

[6] – Certiprojecto/Autoestradas do Atlântico. – “Avaliação do Efeito do pavimento no ruído de Tráfego Rodoviário (II) – Relatório de Ensaio Pavimento BMB versus Pavimento BBR”. Abril 2004. 14 Páginas.

[7] – Barros, Rui. – “Medição do Coeficiente de Atrito com o Grip-tester”. III Congresso Rodoviário Português. 2004. 10 Páginas.