

# **A UTILIZAÇÃO DO BETUME MODIFICADO COM BORRACHA EM PORTUGAL: BALANÇO DE 5 ANOS DE EXPERIÊNCIA**

PAULO FONSECA

*GERENTE DA RECIPAV – ENGENHARIA E PAVIMENTOS, LDA.*

## **RESUMO**

Portugal foi pioneiro na Europa na utilização do Betume Modificado com Borracha (BMB) segundo a norma ASTM D 6114. Desde 1999, foram aplicadas mais de 30,000 ton de BMB o que equivale a mais de 350,000 ton de misturas betuminosas utilizadas, essencialmente, na reabilitação de pavimentos. Durante este período, foram aplicadas dois tipos de misturas betuminosas com BMB: uma Mistura Betuminosa Aberta utilizada na reabilitação funcional dos pavimentos e uma Mistura Betuminosa Rugosa utilizada quer para reabilitação funcional quer para reabilitação estrutural dos pavimentos. Paralelamente, foram ainda utilizadas, embora em menor escala, as membranas anti-propagação de fissuras do tipo SAMI.

Esta comunicação apresenta um resumo das principais características físicas do ligante BMB, das propriedades físicas, mecânicas e funcionais das misturas betuminosas utilizadas e dos parâmetros a utilizar, para efeitos do cálculo de pavimentos, segundo a lei de fadiga da Shell. São também apresentadas soluções de reforço que visam a obtenção de estratégias de reabilitação mais económicas.

## **1. Introdução**

A utilização do betume modificado com borracha (BMB) teve início nos EUA há cerca de três décadas e surgiu da necessidade em encontrar um produto eficaz no combate à propagação de fissuras. Em alguns estados dos EUA existem gradientes térmicos muito elevados que provocam o fenómeno denominado de fadiga térmica dos pavimentos. Numa primeira fase, a necessidade de encontrar um produto que permitisse selar convenientemente as fissuras resultantes desse tipo de ruína do pavimento, levou à primeira utilização do BMB. Mais tarde, e devido ao excelente desempenho que o novo produto patenteou, iniciaram-se as novas experiências com a utilização do BMB em revestimentos superficiais e, depois, em misturas betuminosas. Tal como em qualquer produto, os resultados das experiências produziram aperfeiçoamentos na técnica de fabrico e nas características físicas do BMB,

levando a que na última década surgisse a norma ASTM D 6114 que define e caracteriza o BMB.

Portugal foi pioneiro na Europa, em 1999, na utilização do BMB tal como definido nessa norma americana. Desde dessa data foram utilizados cerca de 30,000 ton de BMB a que correspondem cerca de 350,000 ton de mistura betuminosa aplicada na pavimentação de estradas e auto-estradas.

Ao longo destes últimos 5 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 físicas do ligante e das propriedades mecânicas e funcionais das misturas betuminosas com BMB.

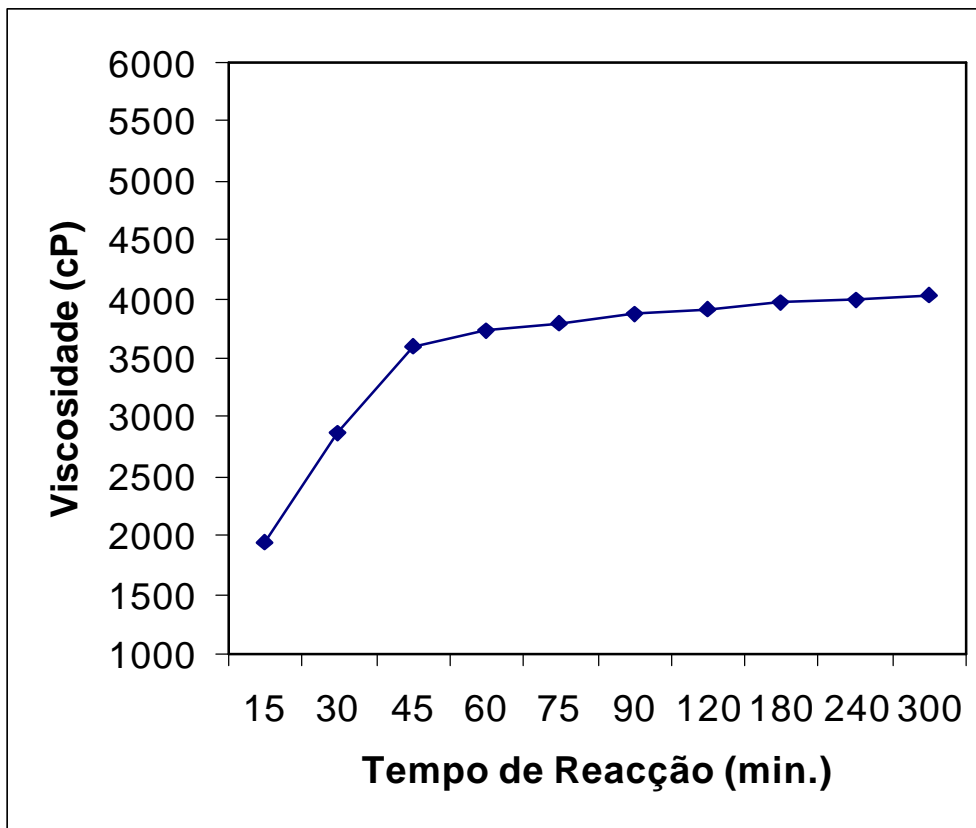
## **2. PROPRIEDADES FÍSICAS DO BMB**

O BMB hoje em dia utilizado em Portugal, incorpora percentagens de granulado de borracha da ordem dos 22% sobre o peso total do ligante. O granulado de borracha utilizado foi sendo sucessivamente modificado em termos de granulometria e forma das partículas com o intuito de se obter um melhor produto final e, em simultâneo, de o adequar à realidade dos equipamentos utilizados no nosso país para a produção do BMB.

A introdução do granulado de borracha no betume a altas temperaturas (185°C) provoca uma reacção físico-química através da qual se forma um sistema de três componentes: betume, “gel” e borracha. O denominado “gel” consiste na reacção química de parte da borracha com os maltenos do betume. A formação deste “gel”, que depende de vários factores, é responsável pela viscosidade que o produto final apresenta. Neste tipo de ligantes a viscosidade é função do tempo de reacção (Figura 1) sendo que o tipo de betume de base e o tipo de borracha irão controlar a evolução no tempo da viscosidade.

A experiência demonstra que com os materiais (betume, borracha e eventualmente aditivos) hoje em dia utilizados, a viscosidade mínima é obtida a partir dos 15 minutos e a evolução no tempo é bastante estável não existindo, desta forma, problemas com o armazenamento do BMB.

Cabe realçar que nem todos os betumes base utilizados produzem para o mesmo tipo de borracha, a mesma evolução no tempo da viscosidade. Os betumes com maiores percentagens de maltenos tendem a reagir mais rapidamente com a borracha. Até à data, foram estudados vários tipos de betume, bem como várias origens, o que nos leva hoje a conhecer com alguma fiabilidade os tempos de reacção para cada tipo de betume base utilizado.



**Figura 1 – Evolução da Viscosidade do BMB no tempo.**

As propriedades físicas do BMB geralmente obtidas são, em média, as seguintes:

**Quadro 1 – Propriedades físicas, médias, do BMB**

Propriedade	Método de Ensaio	Resultado Médio
Penetração com cone a 25°C, 100 g, 5s, (1/10 mm)	ASTM D 5	15
Temperatura de amolecimento anel e bola, (°C)	ASTM D 36 NP-34/1995	80
Resiliência a 25°C, (%)	ASTM D 3407	50
Viscosidade Brookfield, 175°C, 20 rpm (cP)	AASHTO TP 48	3000

## 2. AS MISTURAS BETUMINOSAS COM BMB

Desde a introdução do BMB em Portugal foram utilizadas duas misturas betuminosas: Mistura Betuminosa Rugosa e Mistura Betuminosa Aberta. A mistura betuminosa rugosa é geralmente utilizada com funções estruturais e funções funcionais. A mistura betuminosa aberta é mais utilizada em funções funcionais do tipo redução de ruído, aumento do atrito e, também, como interface anti-propagação de fissuras. No quadro 2 apresentam-se as principais características destas misturas betuminosas.

**Quadro 2 – Características das misturas betuminosas com BMB**

Propriedade	Método de Ensaio	Mistura Rugosa	Mistura Aberta
1- Ensaio Marshall <sup>(1)</sup>	ASTM 1559		
Número de Pancadas		75	50
VMA, mínimo		19	25
Porosidade, %	ASTM D 2726	4 – 6,5	9-15 <sup>(2)</sup>
2 - Resistência Conservada mínimo, %	ASTM D 1075	80	85
3 - Cântabro húmido, perda máxima, %	NLT 362		15
4 - Percentagem de BMB, sobre o peso total	ASTM D 6307	8,5% ± 0,5%	10% ± 0,5%

(1) A temperatura de fabrico da mistura para moldagem dos provetes deve ser de 175° C e a temperatura de compactação deverá estar situada entre os 140 e os 150° C.

(2) Os cálculos da porosidade devem ser efectuados com base em medições geométricas sobre os provetes. Os provetes para este tipo de mistura devem ser moldados com 1000 g.

Os valores da força de rotura e da deformação obtidos através do ensaio Marshall para a mistura betuminosa rugosa, médios, são os que se apresentam no quadro 3.

**Quadro 3 – Força de rotura e deformação**

Propriedade	Método de Ensaio	Mistura Rugosa
1- Ensaio Marshall	ASTM 1559	
Força de rotura, N, mínimo		12000
Deformação, mm, máximo		4

As curvas granulométricas das duas misturas betuminosas estão representadas no quadro 4.

**Quadro 4 – Fuso granulométrico das misturas betuminosas com BMB**

	Mistura Rugosa	Mistura Aberta
Peneiros ASTM (abertura da malha)	Fuso (% material passado)	Fuso (% material passado)
3/4" (19,0 mm)	100	100
1/2" (12,5 mm)	85 – 100	100
3/8" (9,5 mm)	70 – 85	90 – 100
Nº 4 (4,75 mm)	28 – 40	30 – 45
Nº 10 (2,00 mm)	12 – 20	6 – 10
Nº 40 (0,425 mm)	8 – 14	3 – 6
Nº 200 (0,075 mm)	2 – 5	2 – 3

Em termos de composição granulométrica estas duas misturas betuminosas incorporam sempre, no mínimo, 2% de filer comercial. De forma a não afectar o desempenho das misturas em serviço, não é admitida a incorporação do filer recuperado na mistura dos agregados. Este procedimento está não só ligado à natureza geológica dos agregados (especialmente os da família dos granitos) mas também à sua eventual contaminação com fuel proveniente do queimador do tambor secador.

Ainda em termos de formulação da mistura betuminosa, tem sido habitual recorrer-se ao ensaio de pista para avaliar a sua resistência às deformações permanentes e eventuais deformações plásticas. A conclusão que hoje se pode retirar, é que as misturas apresentam valores de deformação muito inferiores aos limites exigidos pela normativa Espanhola. Tendo presente que as características do ligante é que condicionam em grande medida a resistência da mistura às deformações permanentes, pode-se concluir que a elevada viscosidade que o BMB apresenta a 175°C (15 a 20 vezes superior que um betume modificado com SBS) permite obter uma mistura muito pouco deformável (Quadro 5).

**Quadro 5 – Resultados do ensaio de pista sobre misturas com BMB**

Propriedade	Método de Ensaio	Velocidade de deformação	Mistura Rugosa	Mistura Aberta
Ensaio de Pista	NLT – 173	V105-120 10 <sup>-3</sup> (mm/min)	1,5	3

Segundo a normativa Espanhola (PG-3 e OC 5/2001), os valores máximos para as velocidades de deformação V105-120 para a classe de tráfego mais elevada (T00) e para uma zona térmica mais quente são, para misturas betuminosas abertas, de  $12 \times 10^{-3}$  mm/min.

A elevada resistência às deformações permanentes de uma mistura com BMB é de facto uma das propriedades que a distingue de outros tipos de misturas com outro tipo de ligante. A incorporação de uma quantidade semelhante (da ordem dos 9%) de um outro tipo de ligante provocaria com certeza elevadas deformações nessa mistura.

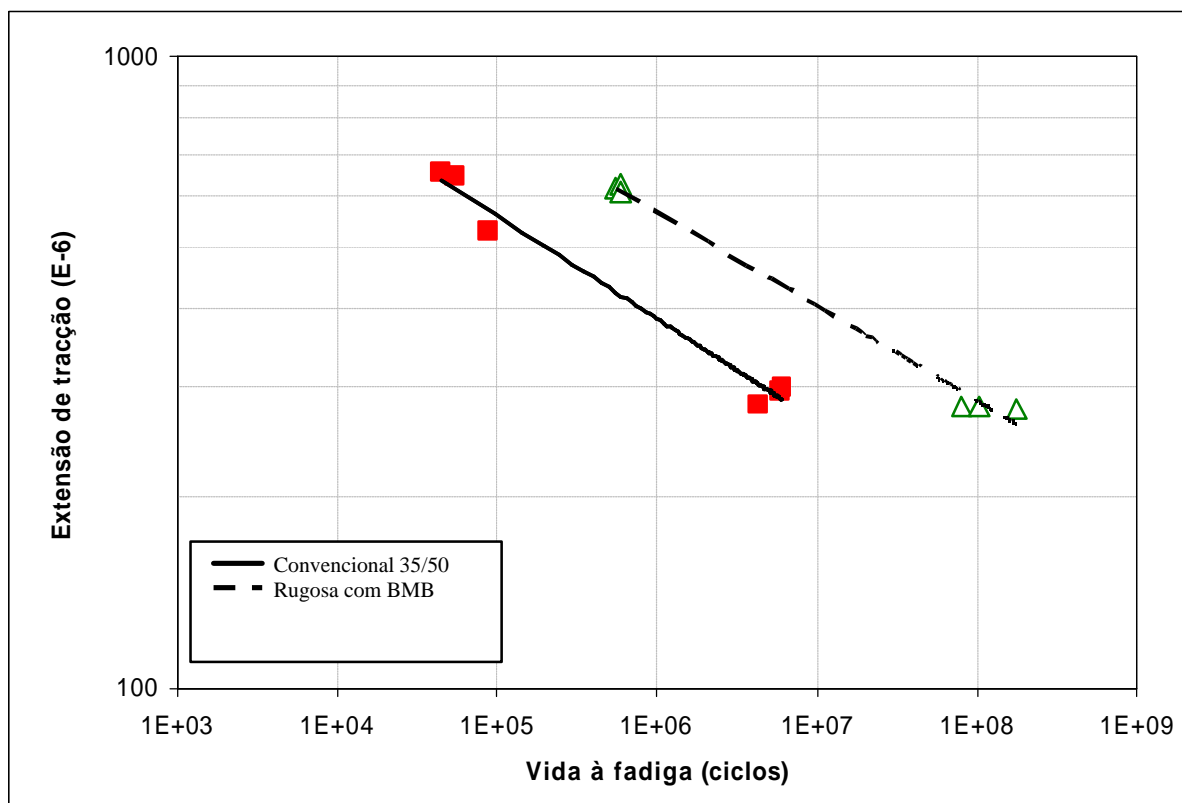
Em termos estruturais estas duas misturas betuminosas apresentam os seguintes valores característicos:

#### **Quadro 6 – Módulos de Deformabilidade das misturas com BMB**

	Método de Ensaio	Mistura Rugosa	Mistura Aberta
Módulo de Deformabilidade (20°, 10 Hz), MPa	AASHTO TP8-94	4000	2000

Tendo em conta a quantidade de ligante BMB incorporado nas misturas, os módulos de deformabilidade quando comparados com as misturas betuminosas convencionais são inferiores, embora como é de esperar, a vida à fadiga das misturas com BMB seja bastante superior. Como se pode observar na figura 2, para uma extensão de tracção de 300  $\mu$ m o número de ciclos de carga suportado por uma mistura rugosa com BMB é mais de 10 vezes superior ao suportado por uma mistura betuminosa convencional.

Esta elevada resistência à fadiga, proporciona indirectamente uma elevada resistência à propagação de fissuras. A resistência à propagação de fissuras tem sido avaliada em serviço em soluções sobre pavimentos em betão e sobre misturas betuminosas muito fendilhadas. Num caso particular, em Espanha, executou-se um trecho experimental, onde foram colocados 4, 5 e 6 cm de uma mistura betuminosa com BMB, directamente por cima de um pavimento constituído por lajes de betão sem passadores (método Californiano) com juntas transversais a cada 5 m. Após cerca de dois anos em serviço, os movimentos horizontais e verticais (devido à erosão a base) do pavimento em betão, na zona das juntas, ainda não induziram qualquer fissura na mistura betuminosa, mesmo na espessura de 4 cm.



**Figura 2 – Comparação da vida à fadiga: mistura convencional e rugosa com BMB**

Para efeitos de dimensionamento de pavimentos com a utilização de misturas betuminosas com BMB, a lei de fadiga da Shell (Figura 3) pode ser utilizada tendo as variáveis que representam o módulo de deformabilidade (E) e a que representa o teor volumétrico em betume ( $V_b$ ) os valores indicados no quadro 6 e quadro 7, respectivamente.

$$\epsilon_t = [ 0,856 \times V_b + 1,08 ] \times E^{-0,36} \times N^{-0,20}, \text{ com } N = NAEP_{130kN}$$

**Figura 3 – Lei de fadiga da Shell**

**Quadro 7 – Teores Volumétricos em betume nas misturas com BMB**

	Mistura Rugosa	Mistura Aberta
Teor Volumétrico em Betume, médio, (%)	17,5	19,2

Em termos de características funcionais as misturas betuminosas com BMB apresentam os resultados médios, em termos da profundidade média de textura superficial, indicados no quadro 8.

**Quadro 8 – Profundidade de textura nas misturas com BMB**

	Mistura Rugosa	Mistura Aberta
Profundidade de textura superficial, mínimo, (mm)	0,9	1,1

Em termos de ruído, os testes efectuados na A8 – Torres Vedras / Bombarral das Auto Estradas do Atlântico apontam para valores de redução de 5/6 dBA no caso da mistura aberta comparada com uma mistura rugosa convencional e para reduções de 8/10 dBA no caso da mistura aberta quando comparada com o BAC (Betão Armado em Contínuo).

Em termos ambientais, a utilização destas misturas betuminosas com BMB proporcionaram, até hoje, a reutilização/valorização de aproximadamente 700,000 pneus usados. Em termos médios a utilização destas misturas permite a reutilização de 4,000 pneus por kilometro numa estrada com um perfil de 12 m e com uma espessura de mistura betuminosa de 5 cm.

### **3. ESTRATÉGIAS DE REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS USANDO O BMB**

Ao longo destes últimos 5 anos, a experiência aponta para a utilização das misturas com BMB em situações onde existam dificuldades na limitação da extensão de tracção ao nível das misturas betuminosas, na reabilitação de pavimentos em estado de ruína por fadiga das misturas betuminosas ou sobre pavimentos com bases tratadas com cimento ou constituídos por betão de cimento.

Um dos principais problemas colocados na reabilitação de pavimentos está associado à reflexão de fendas dos pavimentos existentes (flexíveis, semi-rígidos ou rígidos). Nestes casos, as medidas vulgarmente utilizadas têm uma eficácia relativa e não contribuem em nada para a futura capacidade estrutural do reforço. Com a utilização das misturas betuminosas com BMB, nomeadamente a mistura rugosa, assegura-se uma eficaz “barreira” contra a propagação de fendas, e ao mesmo tempo, ganha-se em termos de contribuição estrutural o que torna estas soluções mais económicas do que as soluções tradicionais.

Em termos de reabilitação de pavimentos em estado de ruína por fadiga, a utilização das misturas betuminosas com BMB acompanhadas pela eventual aplicação prévia de uma SAMI (revestimento superficial com BMB), têm evidenciado uma excelente relação custo/benefício. Nestas aplicações, e ao contrário das misturas betuminosas convencionais, não é necessário



fresar as zonas em pior estado de fendilhamento, desde que globalmente, o pavimento apresente uma deformação aceitável face às características mecânicas das misturas betuminosas com BMB a utilizar.

A este nível é de referir que, atendendo à menor rigidez e à elevada resistência à fadiga que este tipo de misturas apresenta, as espessuras de reforço são sempre menores do que as espessuras das misturas convencionais.

Do mesmo modo, a experiência tem demonstrado que a combinação deste tipo de misturas com as técnicas de reciclagem de pavimentos in-situ com cimento tem um comportamento notável, mesmo quando se utilizam espessuras de mistura betuminosa com BMB da ordem dos 3 cm directamente sobre esses materiais tratados com cimento. Este facto, deve-se à excelente resistência à propagação de fissuras que este tipo de misturas apresenta.

Também na reabilitação de pavimentos, a mistura betuminosa aberta ou a SAMI, têm sido utilizadas como sistema ou membranas anti-propagação de fendas colocadas em camadas intermédias do novo pavimento. Este foi o caso da reabilitação do IP5/A22 entre a Guarda e Vilar Formoso. No caso da reabilitação do pavimento em BAC da A8 – Torres Vedras / Bombarral a SAMI foi utilizada como membrana anti-propagação de fendas, e ao mesmo tempo, como medida de impermeabilização do pavimento existente. A mistura betuminosa aberta foi utilizada como camada de desgaste.

A mistura betuminosa aberta também tem sido utilizada com o intuito de reabilitar as características funcionais de pavimentos, nomeadamente ao nível do atrito e da redução de ruído. Ao nível do ruído, tal como já foi referido atrás, a mistura betuminosa aberta apresenta características assinaláveis, sendo de prever que num futuro próximo e com base em estudos que estão a decorrer, se possa chegar a uma mistura do tipo poroelástica e maximizar a redução de ruído no contacto pneu/pavimento.

#### **4. CONCLUSÕES**

Do exposto, podem assinalar-se as seguintes principais conclusões:

- A experiência de 5 anos em Portugal de utilização do BMB e das misturas betuminosas com BMB, permitem hoje ter um perfeito conhecimento das propriedades físicas e mecânicas do ligante e das misturas betuminosas com BMB. Os mais de 280 km de estradas pavimentadas em Portugal, Espanha, Alemanha e Áustria atestam, e ao mesmo tempo servem para reconhecer, as potencialidades de utilização do BMB.

- A utilização de altas percentagens de BMB (da ordem dos 9%), e de altas concentrações em granulado de borracha (da ordem dos 22%), permitem obter misturas betuminosas com excelentes propriedades mecânicas, nomeadamente elevada resistência à propagação de fendas, elevada resistência à fadiga, e paralelamente, elevada resistência às deformações permanentes. Devido às altas percentagens de ligante, estas misturas apresentam, também, uma elevada resistência ao envelhecimento por acção dos raios UV. Em relação a este aspecto, vale a pena referir que o granulado de borracha reage e fixa os maltenos que constituem a fracção volátil dos betumes.
  
- As características funcionais da mistura betuminosa aberta, nomeadamente a redução de ruído, permitem a sua aplicação nas ambientalmente designadas zonas sensíveis, e ao mesmo tempo, proporcionam uma redução de custos com as barreiras acústicas.
  
- Em termos ambientais, a utilização das misturas betuminosas com BMB, proporcionaram até hoje, a reutilização/valorização de aproximadamente 700,000 pneus usados. Em termos médios, a utilização destas misturas permite a reutilização de 4,000 pneus por kilometro, numa estrada com um perfil de 12 m e com uma espessura de mistura betuminosa de 5 cm.

## **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Gallego, J., de los Santos, L. (2003) – “Mezclas bituminosas fabricadas con betunes de alto contenido de caucho. Aplicación al recrecimiento de un pavimento rígido en la A-7”. Revista de Obras Públicas, nº 34. Diciembre 2003. Madrid. ISSN 0034-8619.

Universidade do Minho (2004) – “Comparação do comportamento mecânico de misturas betuminosas com diferentes agregados e betumes”. Laboratório de Pavimentos Rodoviários. Guimarães, 2004.

Universidade do Minho (2004) – “Avaliação do módulo de deformabilidade e resistência à fadiga de uma mistura betuminosa rugosa com BMB e inertes de diorito aplicada na A2 – Beneficiação Palmela/ Marateca. Laboratório de Pavimentos Rodoviários. Guimarães, 2004.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil (2003) – “Caracterização do betume modificado com borracha utilizado na beneficiação do pavimento da A8 – Torres Vedras Sul / Torres Vedras Norte”. Núcleo de Materiais Plásticos e Compósitos. Lisboa, 2003

Laboratório Nacional de Engenharia Civil (2003) – “Caracterização final dos pavimentos do IC1 – Nó de Viana / Nó da Meadela (1.<sup>a</sup> fase) e do IP9”. Núcleo de Infra-estruturas de Transportes. Lisboa, 2003.

Autoestradas do Atlântico – “Avaliação do efeito do pavimento no ruído de tráfego rodoviário – Relatórios de ensaios pavimento BMB versus pavimento BBR e pavimento BMB versus pavimento BAC”. Certiprojecto. Lisboa 2004.

Arizona Department of Transportation (1996) – “Standard Specifications for Road and Bridge Construction”. ADOT. Arizona, 1996.