

# **MISTURAS BETUMINOSAS MODIFICADAS COM BORRACHA RECICLADA DE PENUS: LIGANTES COM ELEVADO CONTEÚDO DE BORRACHA**

PAULO FONSECA  
*DIRECTOR GERAL, RECIPAV*

## **RESUMO**

A utilização em Portugal de ligantes com elevado conteúdo de borracha (BMB) e por consequência de elevada viscosidade remonta ao ano de 1999. Ao longo de 7 anos foram pavimentados cerca de 350 km de estradas e auto-estradas, o que corresponde à utilização de aproximadamente 350.000 ton de mistura betuminosa. Neste trabalho, são apresentadas as características principais do BMB e das misturas betuminosas que incorporam este tipo de ligante, resultantes da observação das obras em serviço. Igualmente se descrevem as principais obras realizadas em 2006.

## **1. INTRODUÇÃO**

Em termos técnicos, a principal vantagem competitiva resultante da utilização do BMB, é a elevada viscosidade que este tipo de ligante apresenta, resultante de uma reacção físico-química da borracha com o betume. De facto, só com elevadas viscosidades é possível incorporar elevadas percentagens de ligante nas misturas betuminosas e, por conseguinte, obter uma elevada resistência à fadiga e à propagação de fendas, sem que se comprometa a resistência à deformação permanente dessas misturas.

Em termos funcionais, a utilização de misturas betuminosas com BMB apresenta também vantagens competitivas na redução de ruído, nos valores de atrito e de profundidade de textura que, nas obras em serviço, se constata estarem acima dos valores requeridos pelos vários Donos de Obra.

Do ponto de vista económico e tendo presente as características estruturais e funcionais já referidas, constata-se que a utilização destas misturas betuminosas em obras de reabilitação de pavimentos, representa custos de construção inferiores ou semelhantes quando se compara

com as misturas betuminosas convencionais, contrariamente ao que inúmeras vezes é percebido.

## 2. PROPRIEDADES DO BMB

Em termos genéricos, o BMB é um ligante que incorpora entre 20 a 22% de granulado de borracha, que cumpre o especificado na norma ASTM D 6114-97 (2002) [1] e que é fabricado em obra. O seu fabrico está certificado segundo as normas ISO 9001:2000 e OHSAS 18001:1999. As suas propriedades são as que se apresentam no Quadro 1.

O betume base poderá ser um betume de penetração 35/50 ou 50/70 dependendo das características mecânicas que se fixam para as misturas betuminosas, da temperatura de serviço e do tráfego a que vão estar sujeitas.

**Quadro 1 – Propriedades do BMB**

PROPRIEDADES		VALORES CARACTERÍSTICOS
EN 1426 - Penetração, a 25°C, 100g, 5s (0,1 mm)		> 20
EN 1427 - Temperatura de amolecimento, mínima [° C]		65
ASTM 2196 - 05 Viscosidade, a 175 °C, mínima [cP]		3000
EN 12606-1 - RTFOT	EN 12606-1 - Variação de massa após RTFOT, máxima [%]	+0,8
	EN 1426 - Penetração retida após RTFOT, a 25°C, 100g, 5s (%), mínima	65
	EN 1427 - Variação da temperatura de amolecimento após RTFOT, máxima [°C]	+35
EN 13398 - Recuperação elástica, a 25°C, mínima [%]		20

## 3. PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS MISTURAS BETUMINOSAS COM BMB

As misturas betuminosas com BMB vulgarmente utilizadas em Portugal são a Mistura Betuminosa Rugosa (MBR-BMB) [2] e a Mistura Betuminosa Aberta (MBA-BMB) [3]. Para

a MBR-BMB é habitual utilizar-se uma percentagem de BMB na mistura da ordem dos 8,5% sobre o peso total da mistura e para a MBA-BMB percentagens de BMB que rondam os 9,5 %.

### 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.

No Quadro 2, apresentam-se as principais características do ponto de vista do dimensionamento de pavimentos destas duas misturas betuminosas, sendo  $\epsilon_6$  a extensão de tracção após a aplicação de  $10^6$  ciclos de carga (EN 12697-26:10Hz, 20°C).

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

	<b>Módulo de Deformabilidade (MPa)</b>	<b>Porosidade (%)</b>	<b>V<sub>b</sub> - Teor volumétrico em betume (%)</b>	<b><math>\epsilon_6</math> (µm)</b>
<b>MBR-BMB</b>	3800	4,5 a 6,5	17,5	420
<b>MBA-BMB</b>	2000	12 a 18	19,2	550

Essa elevada incorporação de ligante permite por outro lado que as misturas betuminosas apresentem uma elevada resistência ao envelhecimento quando comparadas com as misturas betuminosas convencionais. Esta constatação é perfeitamente perceptível quando se realizam ensaios de fadiga, com e sem simulação do envelhecimento dos provetes. Os resultados da experiência nas obras em serviço permitem também concluir que a simulação do envelhecimento em laboratório traduz, com um elevado grau de confiança, o processo de envelhecimento a que as misturas são sujeitas em serviço [4].

### 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 (TMDA pesados > 2000 dia/sentido). Esta conclusão é válida quando se utiliza um betume base de penetração 35/50. No caso de se utilizarem betumes de penetração 50/70 as velocidades de deformação são, como é de esperar, ligeiramente superiores.

Tendo presente que a resistência à formação de rodeiras é maioritariamente influenciada pelas características físicas do ligante, só a elevada viscosidade (4000 cP) e a temperatura de amolecimento anel e bola (em geral superiores a 72°C quando o betume base apresenta uma penetração de 35/50) 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 para os dois tipos de betumes base referidos.

**Quadro 3 – Valores característicos do ensaio de pista das misturas com BMB**

	$V_{120}-V_{105}$ ( $\mu\text{m}/\text{min}$ )
<b>MBR-BMB</b>	4 a 8
<b>MBA-BMB</b>	8 a 20

#### **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 [5]. De seguida, apresentam-se os valores característicos das grandezas, que permitem avaliar o comportamento das misturas face à aderência pneu-pavimento. Estes valores, foram obtidos pela realização de ensaios em 2006 sobre várias misturas, estando algumas delas em serviço desde 1999.

##### **4.1 Resistência ao Atrito nas misturas betuminosas com BMB**

A avaliação da resistência ao deslizamento, é geralmente efectuada recorrendo ao equipamento “Grip-Tester”, sendo os valores obtidos corrigidos para os valores do ensaio SCRIM, tido como padrão no Caderno de Encargos da EP. A correlação geralmente utilizada é a recomendada pelo C.E.N 227 / WG5 – Surface Characteristics, em que  $\text{SCRIM} = 0,89 \times \text{Grip Number}$  [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.

Os valores característicos, obtidos nas estradas em serviço, encontram-se resumidos no Quadro 4. Os valores indicados são válidos para os tipos de agregados utilizados ou seja granitos, dioritos e seixo britado.

**Quadro 4 – Valores Característicos do Atrito em estradas em serviço**

	SCRIM
<b>MBR - BMB</b>	0,51
<b>MBA - BMB</b>	0,73

#### 4.2 Profundidade de textura nas misturas betuminosas com BMB

A textura superficial é em geral obtida 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 5.

**Quadro 5 – 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 característicos obtidos nas estradas em serviço encontram-se resumidos no Quadro 6.

**Quadro 6 – Valores Característicos de Altura de Areia**

	<b>Altura de Areia</b>
<b>MBR - BMB</b>	1,18
<b>MBA - BMB</b>	1,49

## **5. CASOS PRÁTICOS**

De seguida, apresenta-se uma súmula de vários projectos e ensaios realizados em algumas das obras executadas durante 2006.

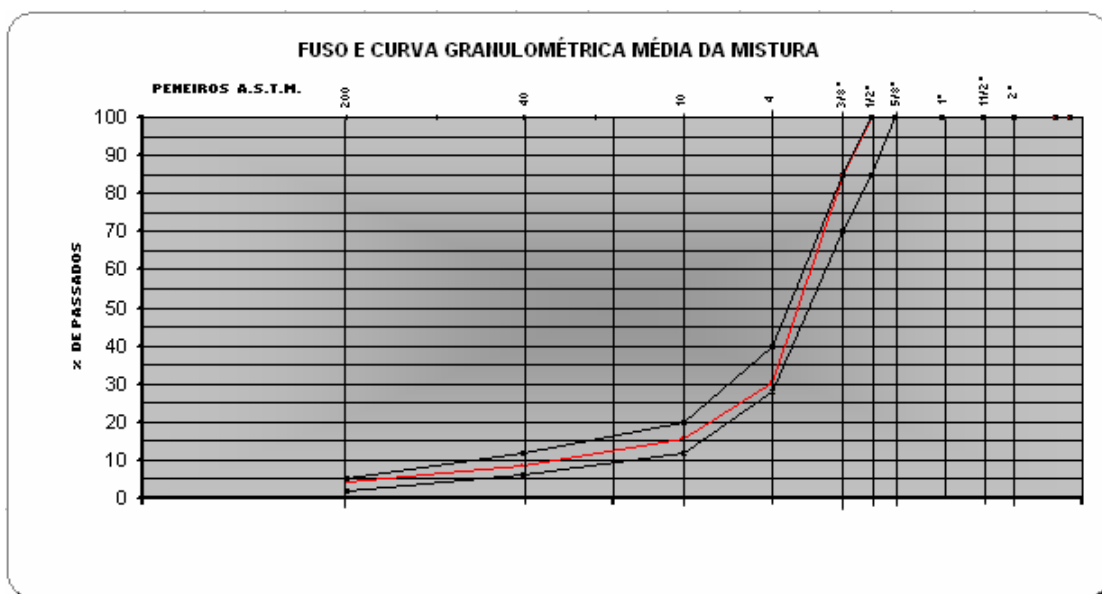
### **5.1 Obra: IP2 Estação / Limite do Distrito de Portalegre**

Trata-se de uma obra com cerca de 12 km, cujos trabalhos visaram a beneficiação do pavimento existente, que apresentava os seguintes tipos de patologias: fendilhamento muito acentuado, do tipo pele de crocodilo – em alguns casos com abertura superior a 5mm. Em alguns locais, nomeadamente no sentido Sul/Norte, o pavimento apresentava cavados de rodeira superiores a 1cm.

Atendendo aos ensaios de carga com FWD realizados, aos resultados dos poços e carotes e ao volume de tráfego de projecto da classe T5, o projecto preconizou a utilização de uma mistura betuminosa de regularização com 4 cm e a utilização de uma mistura betuminosa MBR-BMB com 3 cm de espessura. A utilização da MBR-BMB, visava garantir um adequado desempenho estrutural e a necessária resistência à propagação das fendas, que irão ser reflectidas do pavimento existente, bem como as adequadas características de superfície para o tipo de estrada a beneficiar.

Na figura 1, apresenta-se a curva granulométrica da mistura MBR-BMB utilizada. Atendendo à zona climática onde se insere a obra e ao módulo de deformabilidade requerido para este tipo de mistura, optou-se por utilizar como betume base um betume de penetração 35/50. A percentagem de BMB na mistura foi de 8,5% sobre o peso total da mistura e no Quadro 7 estão indicadas algumas das propriedades do ligante determinadas na Universidade do Minho.

No Quadro 8, apresenta-se um resumo do estudo de formulação dessa mistura.



**Figura 1 – Curva Granulométrica da mistura MBR-BMB**

**Quadro 7 – Propriedades do BMB utilizado**

PROPRIEDADES	VALORES OBTIDOS
ASTM D5 - Penetração, a 25°C, 100g, 5s (0,1 mm)	27,7
ASTM D36 - Temperatura de amolecimento, [° C]	71,2
ASTM 2196 - 05 Viscosidade, a 175 °C, [cP]	3990
ASTM D5329 Resiliência [%]	48

**Quadro 8 – Características da mistura MBR-BMB**

Características da Mistura MBR-BMB	Unidade	Valores Mínimos CE	Valores Obtidos
Baridade	g/cm <sup>3</sup>	-	2,26
Força de Rotura	N	12000	12391
Deformação	mm	< 4	4
Valor de VMA	%	19	20.3
Porosidade	%	4.5 a 6.5	5.0
Resistência Conservada	%	75	86

Após a entrada em serviço desta obra foram, realizados ensaios de carga com FWD. Na Figura 2, apresentam-se os resultados da campanha realizada antes da beneficiação da estrada, e outros após a sua conclusão. Desta comparação pode concluir-se que foram corrigidas as altas deformações que o pavimento apresentava e que foi alcançado um dos objectivos esperados que consistia na uniformização da capacidade estrutural do pavimento. O valor característico da deformação global do pavimento (valor lido no deflectómetro Df1) reduziu de 903 micron para 580 micron, o que é perfeitamente compatível com o tipo de misturas utilizadas.

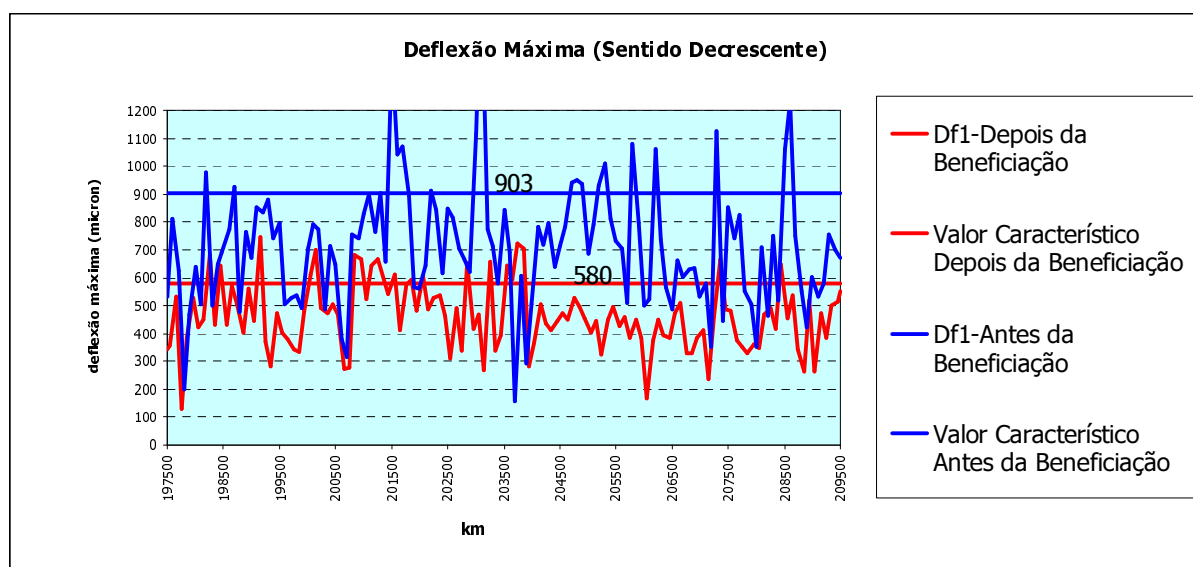


Figura 2 – Deflexão Df1 antes e depois da beneficiação do pavimento

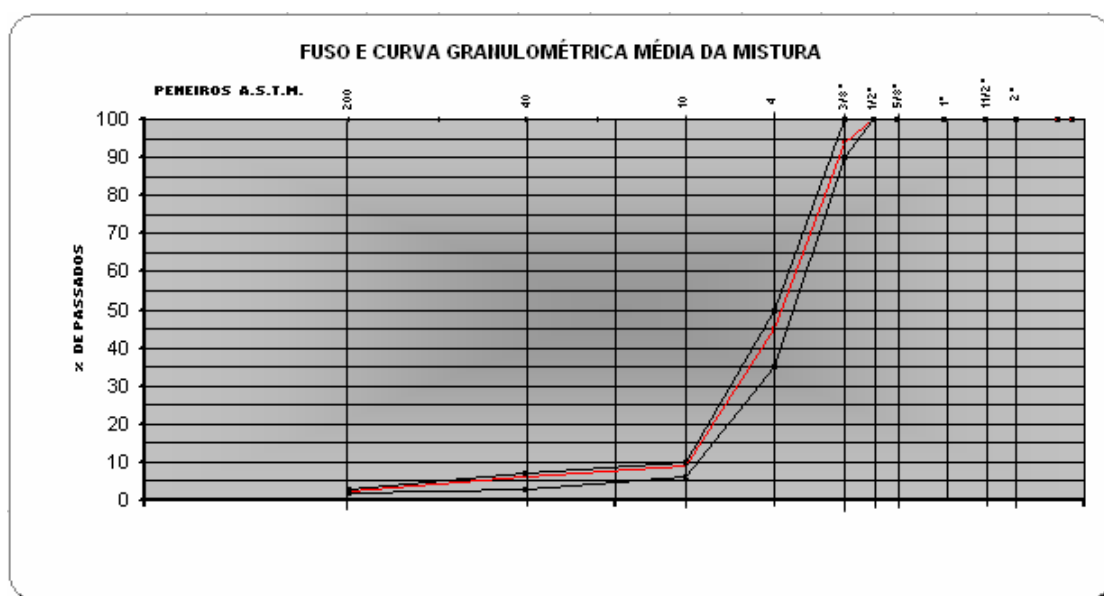
## 5.2 Obra: EN 14 Beneficiação L.D. Porto / Braga

Este projecto, com cerca de 24 km de extensão, visou essencialmente a reabilitação estrutural e funcional do pavimento existente. De acordo com os ensaios de carga com FWD efectuados ao pavimento a beneficiar, o valor característico da deflexão global do pavimento (Df1) era de 685 micron, valor que está um pouco acima do valor aceitável para o tipo e espessura das misturas betuminosas existentes. De qualquer forma, é um valor bastante mais baixo do que é normalmente encontrado nos projectos de beneficiação. Esta terá sido a razão pela qual o pavimento não apresentava problemas de deformação permanente, (o valor de Df5 era relativamente baixo) mas já apresentava um grau de fendilhamento relativamente elevado. As causas desse fenómeno podem estar relacionadas, entre outras, com o envelhecimento precoce das misturas betuminosas.

Para a reabilitação deste pavimento o projecto previa a utilização de uma mistura betuminosa aberta com BMB (MBA-BMB), com 3 cm de espessura, de forma a garantir a necessária resistência à propagação de fendas e, simultaneamente, actuar vincadamente ao nível das



características funcionais nomeadamente ao nível do ruído, projecção de água e resistência ao atrito. Nas zonas onde o fendilhamento apresentava um grau mais elevado e uma maior deformação global, o projecto previa a fresagem e a reposição dessas zonas com uma mistura betuminosa de regularização. Na Figura 3, apresenta-se a curva granulométrica da mistura utilizada. No Quadro 9, estão indicados os valores obtidos do controlo de qualidade da obra.



**Figura 3 – Curva Granulométrica da mistura MBR-BMB**

**Quadro 9 – Características da mistura MBA-BMB**

Características da Mistura MBR-BMB	Unidade	Valores Mínimos CE	Valores Obtidos
Nº de pancadas em cada extremo do provete	-	50	50
Baridade Aparente	g/cm <sup>3</sup>	-	2,06
Baridade máxima teórica	g/cm <sup>3</sup>	-	2,365
Percentagem de filer comercial	%	2	2,5
Percentagem de BMB	%	9	9
Valor de VMA	%	22	29
Porosidade	%	12 – 22%	13
Resistência Conservada	%	80	95
Perda por desgaste – Cântabro Húmido	%	20	4

Atendendo à curva granulométrica e à quantidade de ligante incorporada, constatou-se que os vazios desta mistura não são comunicantes entre si, pelo que, a mistura é de facto impermeável.

### 5.3 Obra: EN 1 Beneficiação Landiosa / Picoto

Nesta obra, a solução adoptada nas travessias urbanas foi a colocação da mistura betuminosa rugosa MBR-BMB com 6 cm, numa extensão aproximada de 8 km. A opção por esta solução, esteve relacionada com a manutenção da cota actual do pavimento, tendo em conta a restrição altimétrica relativa às cotas de soleira existentes. Neste caso, haveria duas opções viáveis: a demolição numa espessura de 18 cm do pavimento existente e a sua reconstrução, recorrendo a bases de alto módulo e a uma geo-grelha ou a uma fresagem de 6 cm e a colocação da mistura betuminosa MBR-BMB que, em muitos casos, está aplicada sobre cubos de granito ou sobre misturas com um elevado estado de fendilhamento. Mais uma vez, só a elevada deformabilidade deste tipo de misturas e a sua grande capacidade de resistir à propagação de fendas levou à adopção de uma solução mais económica. Convém ainda realçar que o tráfego previsto é um T2 com uma velocidade de circulação baixa (40 km/h), o que implica elevados tempos de carga sobre o pavimento.

Para além da perspectiva técnica e económica que levaram à adopção desta solução, há ainda a salientar a perspectiva ambiental que consiste na redução do ruído de circulação numa estrada que tem uma elevada ocupação marginal constituída essencialmente por habitações.

Na Figura 4 apresenta-se a curva granulométrica da mistura utilizada.

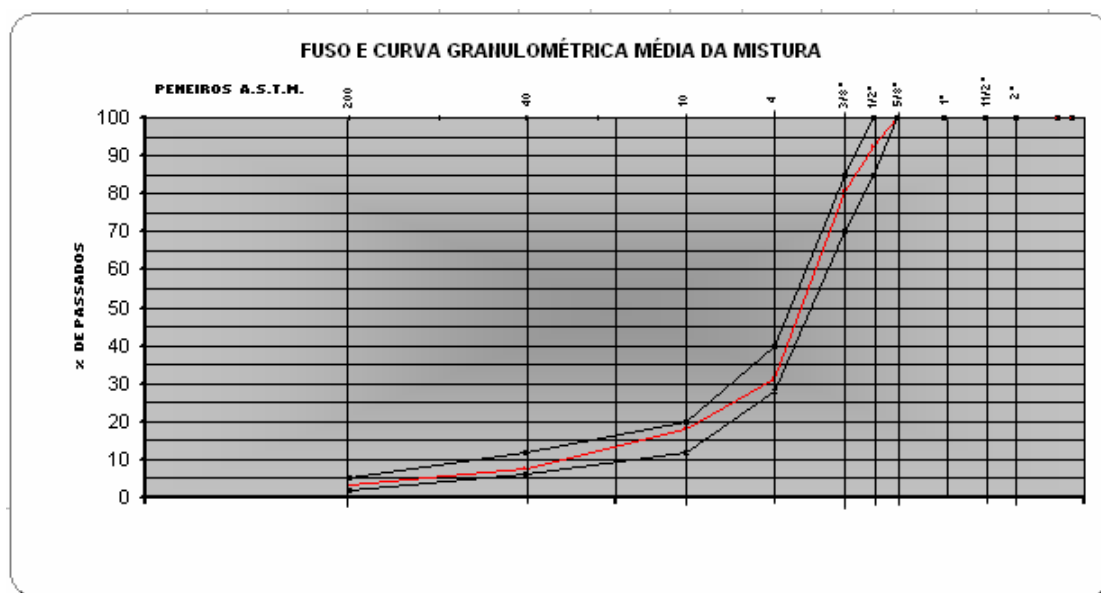


Figura 4 – Curva Granulométrica da mistura MBR-BMB

No Quadro 10 apresenta-se um resumo dos valores obtidos do controlo de qualidade da obra.

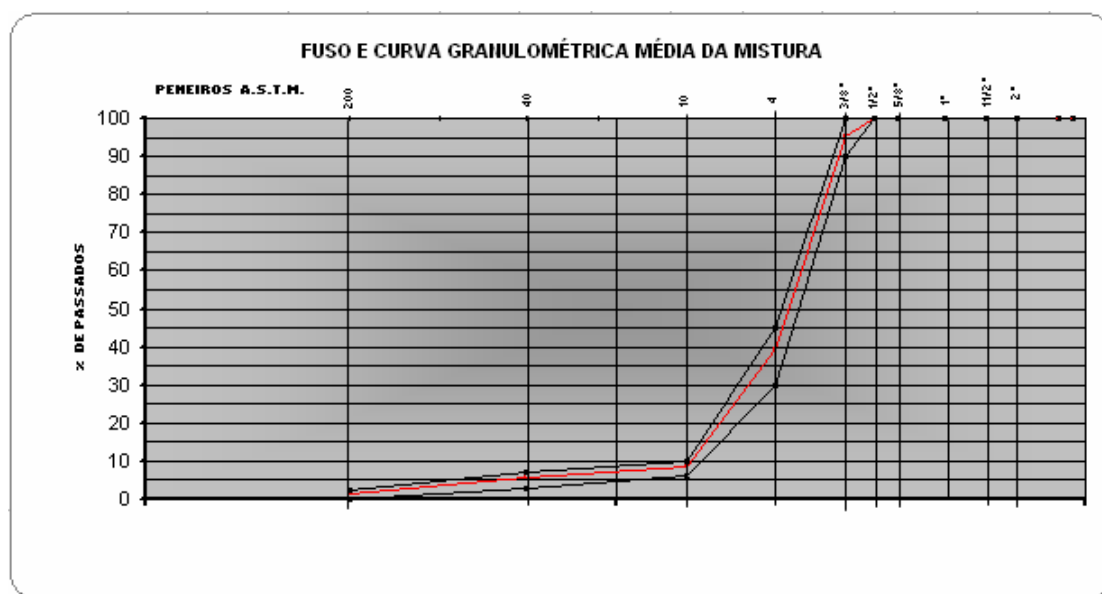
**Quadro 10 – Características da mistura MBR-BMB**

Características da Mistura MBR-BMB	Unidade	Valores Mínimos CE	Valores Obtidos
Baridade	g/cm <sup>3</sup>	-	2,23
Baridade máxima teórica	g/cm <sup>3</sup>	-	2,35
Percentagem de filer comercial	%	2	2
Percentagem de BMB	%	8,5	8,5
Força de Rotura	N	12000	14000
Deformação	mm	< 4	2,7
Valor de VMA	%	19	22,4
Porosidade	%	4.5 a 6.5	5.0
Resistência Conservada	%	75	85

### 5.3 Obra: A8 Delgada / São Mamede e A8 Torres Vedras / Bombarral

Seguindo a estratégia de conservação de pavimentos delineada pela empresa Auto Estradas do Atlântico, em 2006 foram beneficiados os lanços referidos numa extensão aproximada de 10 km. O projecto previa a utilização de uma mistura MBA-BMB numa espessura de 2,5 cm e com uma percentagem de ligante de 9,5%.

Na Figura 5, apresenta-se a curva granulométrica da mistura utilizada na primeira obra. No Quadro 11 apresenta-se um resumo dos valores obtidos do controlo de qualidade também da mesma obra.



**Figura 5 – Curva Granulométrica da mistura MBA-BMB**

**Quadro 11 – Características da mistura MBA-BMB**

<b>Características da Mistura MBR-BMB</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valores Mínimos CE</b>	<b>Valores Obtidos</b>
Nº de pancadas em cada extremo do provete	-	50	50
Baridade Aparente	g/cm <sup>3</sup>	-	2,10
Baridade máxima teórica	g/cm <sup>3</sup>	-	2,53
Percentagem de filer comercial	%	2	2
Percentagem de BMB	%	9,5	9,5
Valor de VMA	%	22	32
Porosidade	%	12 – 22%	17
Resistência Conservada	%	80	88
Perda por desgaste – Cântabro Húmido	%	20	15

## **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.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

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

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

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

[4] – Batista, Fátima; Antunes, Lurdes; Fonseca, Paulo – “Desempenho de Misturas Betuminosas com BMB Aplicadas em Portugal”. IIV Congresso Rodoviário Português. 2006.10 Páginas.

[5] – Certiprojecto/Autoestradas do Atlântico. – “Avaliação do Efeito do pavimento no ruído de Tráfego Rodoviário (II) – Relatório de Ensaios Pavimento BMB versus Pavimento BBR”. Abril 2004.14 Páginas.