

AVALIAÇÃO DO EFEITO DO PAVIMENTO NO RUÍDO DE TRÁFEGO RODOVIÁRIO.

CARLOS GUERRA

AUTO-ESTRADAS DO ATLANTICO, S.A..

FERNANDO PALMA RUIVO

DIRECTOR TÉCNICO, CERTIPROJECTO, Lda. – DIVISÃO DE ACÚSTICA APLICADA

RESUMO

Pretende-se com esta comunicação, apresentar os resultados dos ensaios de caracterização acústica de diferentes tipos de pavimento e a respectiva comparação. Para o efeito foram seleccionados alguns trechos da A8, de modo a possibilitar a recolha simultânea de dados acústicos em diferentes tipo de pavimento.

Assim foram executados alguns ensaios comparativos entre pavimento rígido em betão armado contínuo (BAC) e pavimento flexível com mistura betuminosa incorporando betume modificado a partir de borracha reciclada de pneus (BMB). Foram ainda ensaiados dois pavimentos flexíveis diferentes, um em betão betuminoso tradicional (BB) e outro com mistura betuminosa incorporando betume modificado a partir de borracha reciclada de pneus (BMB).

1. INTRODUÇÃO

O ruído provocado por um veículo tem fundamentalmente três componentes a originada pelo motor, o efeito aerodinâmico e o contacto do pneu com a via.

A velocidade de circulação condiciona a contribuição de cada uma das componentes para o ruído originado pelo veículo. A baixas velocidades predomina o efeito do ruído do motor, enquanto que para altas velocidades, como no caso das auto-estradas, o efeito do contacto pneu/pavimento é a principal causa do ruído.

A redução dos níveis sonoros originados pelo tráfego rodoviário pode ser obtida por três vias: na fonte (emissão dos veículos), na recepção (isolamento de fachadas) ou no percurso de propagação do ruído (barreiras acústicas).

Neste contexto, torna-se importante o desenvolvimento de soluções que visem reduzir os níveis de ruído próprios dos mecanismos de contacto dos pneus dos veículos com a superfície da via, através da utilização pavimentos em que as camadas de desgaste possuam características de baixa emissão sonora.

A investigação desenvolvida neste domínio conduziu à utilização de “pavimentos drenantes”, e mais recentemente à utilização de pavimentos integrando betume modificado com borracha reciclada de pneus.

2. A EXPERIÊNCIA DA AUTO-ESTRADAS DO ATLANTICO NA APLICAÇÃO DE PAVIMENTOS BMB

A A8- Auto-estrada do Oeste, entre Lisboa e Caldas da Rainha, foi construída ao longo de vários anos por diferentes entidades, que adoptaram vários tipos de pavimento.

No final dos anos 80 abriu ao tráfego o Lanço Lisboa/Loures (7 km), em pavimento flexível. Posteriormente, ao durante dos anos 90 foram sendo inaugurados os trechos situados entre Loures e as Caldas da Rainha, tendo sido adoptado pavimento rígido entre Loures e o Bombarral (52 km), enquanto que entre o Bombarral e as Caldas da Rainha (25 km) a escolha recaiu sobre o pavimento flexível.

As misturas betuminosas utilizando betume modificado com borracha reciclada de pneus (BMB) foram utilizados, a título experimental, pela primeira vez pela Auto-estradas do Atlântico na A8 no Sublanço Frielas / Loures, em Setembro de 2001.



Figura 1 – Pavimentos na A8

Posteriormente, em 2003, foram novamente utilizadas na repavimentação da totalidade do Sublanço Torres Vedras Sul / Torres Vedras Norte, em face das vantagens apresentadas por este tipo de misturas na reabilitação de pavimentos antigos, nomeadamente no bom comportamento à fadiga, deformações permanentes e formação de rodeiras, no retardamento

da fendilhação por reflexão de fendas e na possibilidade de executar camadas de espessura reduzida.

No quadro 1 são apresentados de forma resumida as zonas da A8- Auto-estrada do Oeste, onde foi aplicado pavimento incorporando betume modificado a partir de borracha reciclada de pneus (BMB)

Quadro 1 – Misturas betuminosas utilizando BMB aplicadas na A8

Sublanço	Ano	Extensão (km)	Área (m2)	Espessura (cm)	Ton
Frielas / Loures	2001	2,7	30.763	2,5	1.602
Malveira / Torres V. Sul	2003	2,6	52.292	2,5	2.615
Torres V. Sul / Torres V. Norte	2003	5,7	134.400	2,5	6.720
Bombarral / Caldas da Rainha	2003	1,4	23.669	2,0	947
Torres V. Norte / Bombarral	2004	3,7	84.975	2,5	4.499

A percentagem de betume BMB utilizada no fabrico das misturas pode variar entre 7,0% e 10,0%, de acordo com o tipo de pavimento que se pretende obter. O teor de borracha incorporada no betume será da ordem dos 20%.

No caso concreto das empreitadas realizadas na A8, a composição do BMB aplicado foi a que se apresenta no quadro 2.

Quadro 2 – Composição das misturas betuminosas utilizadas

Sublanço	Tipo de Betume	% de Betume	% de Borracha	Tipo de Inerte
Frielas / Loures	50/70	9,0 %	18,0 %	Basalto
Malveira / Torres V. Sul	35/50	9,5 %	20,0 %	Seixo britado
Torres V. Sul / Torres V. Norte	35/50	9,5 %	20,0 %	Seixo britado
Bombarral / Caldas da Rainha	35/50	9,5 %	20,0 %	Seixo britado
Torres V. Norte / Bombarral	35/50	9,0 %	20,0 %	Basalto

As fórmulas de trabalho das misturas betuminosas foram estabelecidas com base em estudos de formulação realizados pelo Método Marshall. Os resultados são apresentados no quadro 3

Quadro 3 – Resultados dos ensaios Marshall

Sublanço	Baridade (g/cm³)	Porosidade (%)	VMA (%)	Resistência conservada (%)
Frielas / Loures	2,08	15,0 %	33,2 %	85,0 %
Malveira / Torres V. Sul	2,00	18,0 %	24,2 %	91,8 %
Torres V. Sul / Torres V. Norte	2,00	18,0 %	24,2 %	91,8 %
Bombarral / Caldas da Rainha	2,00	18,0 %	24,2 %	91,8 %
Torres V. Norte / Bombarral	2,14	14,5 %	33,2 %	83,6 %

3. ENSAIOS REALIZADOS

Para avaliar de forma quantificada os benefícios, em termos de poluição sonora, da utilização de diferentes camadas de desgaste em vias de circulação rápida e a sua importância como medida de minimização do ruído de tráfego rodoviário, efectuaram-se ensaios acústicos para comparação do ruído gerado nos pavimentos flexíveis utilizando betume modificado com borracha reciclada de pneus (BMB), nos pavimentos rígidos de betão armado contínuo (BAC) e nos pavimentos flexíveis em betão betuminoso tradicional (BB).

Os ensaios foram realizados na Auto-Estrada A8, onde existem diversas secções dos tipos de pavimentos referidos, conforme descrito anteriormente.

A metodologia dos ensaios teve por base a medição simultânea dos níveis sonoros apercebidos à mesma distância da via, em zonas com pavimentos diferentes (BMB vs. BAC e BMB vs. BB) mas onde o tráfego apresentasse as mesmas características (mesmos veículos, à mesma velocidade).

3.1- Ensaio do pavimento B.M.B. versus B.A.C.

Foram seleccionados vários troços da Auto-Estrada A8 onde fosse possível a recolha simultânea de dados acústicos correspondentes à circulação rodoviária nos dois tipos de pavimento em ensaio, e que cumprissem os seguintes requisitos:

- Mesmas características do tráfego nas secções de pavimento em comparação (veículos iguais e mesmo volume de tráfego, velocidades e relação de caixa semelhantes);
- Velocidade dos veículos elevada ($v > 100$ km/h) e constante (sem acelerações ou travagens);
- Tráfego contínuo e regular;
- Local em campo aberto para evitar o efeito de reflexões sonoras;
- Ausência de outras fontes de ruído relevantes além do tráfego na via em análise.

As medições dos níveis sonoros foram realizadas seguindo os procedimentos da normalização aplicável em vigor (NP 1730, 1996 - “Acústica–Descrição e medição do ruído ambiente”). Efectuaram-se cinco ensaios comparativos, em datas e locais distintos, que se apresentam no quadro 4.

Quadro 4 - Data e localização dos ensaios realizados

	1º ensaio	2º e 3º ensaios	4º e 5º ensaios
Data	10 Setembro de 2003	10 Setembro de 2003	13 Novembro 2003
Local	km 22+000 a 22+400	km 20+500 a 20+700	km 42+150 a 42+350
Sentido	Lisboa / Leiria	Leiria / Lisboa	Leiria / Lisboa

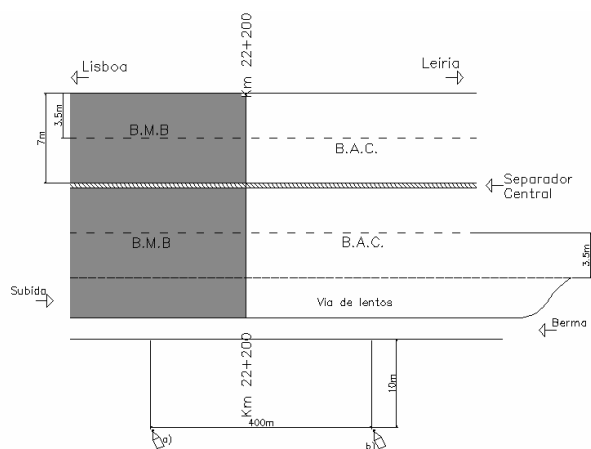
Na figura 7 são apresentados os pormenores dos pavimentos ensaiados:



Figura 7 – Pormenor dos pavimentos ensaiados BAC e BMB (4º e 5 Ensaio)

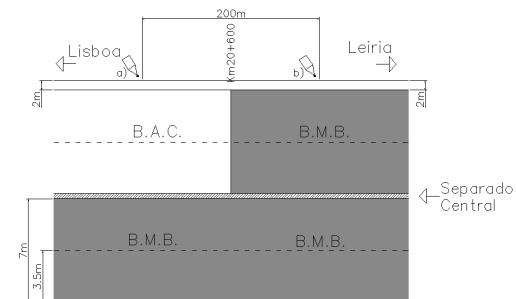
As medições foram efectuadas em secções adjacentes da via abrangendo os dois tipos de pavimentos em análise, à mesma distância da berma, e em posições próximas desta para que os níveis sonoros registados não sofressem a influência de factores estranhos aos mecanismos de geração do ruído de tráfego, tais como a acção do vento, da humidade ou da temperatura do ar, a absorção sonora do terreno, etc.

Nas figura 3, 4 e 5 apresentam-se os esquema dos ensaios realizados.



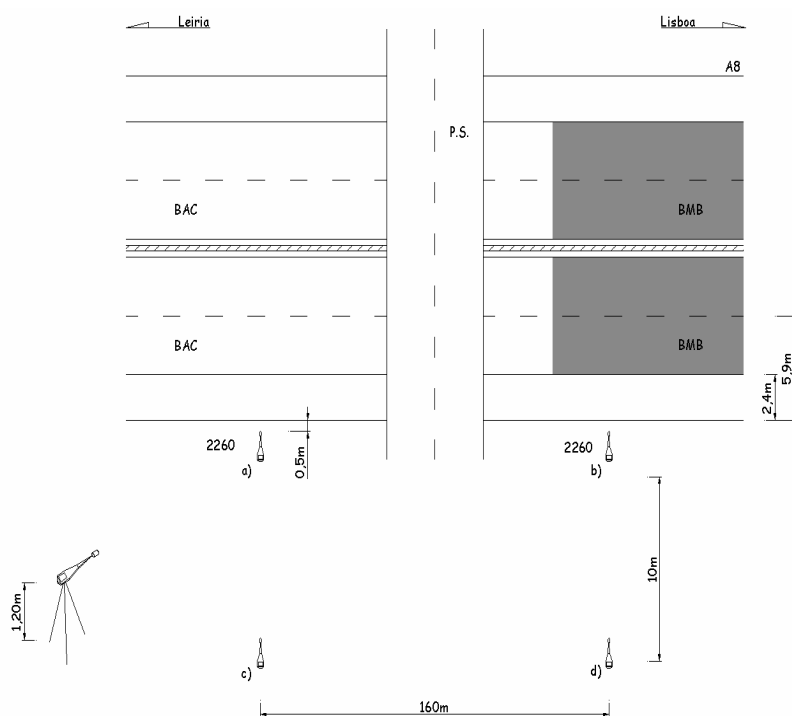
a) e b) sonómetros de registo principal

**Figura 3 – Esquema do 1º Ensaio
(km 22+000 a 22+400)**



a) e b) sonómetros de registo principal

**Figura 4 – Esquema do 2º e 3º Ensaios
(km 20+500 a 20+700)**



a) e b) sonómetros de registo principal
c) e d) sonómetros de controle

Figura 5 – Esquema do 4º e 5º Ensaios (km 42+150 a 42+350)

Na figura 6 são apresentadas fotografias com pormenores da medição dos níveis sonoros nos pavimentos BAC e BMB.



Figura 6 –Pormenores da medição de níveis sonoros no pavimento BAC e no BMB (4º e 5º ensaios)

No quadro 5 são apresentados os níveis sonoros LAeq registados em cada ensaio:

Quadro 5 - Níveis sonoros LAeq registados nos ensaios

	Distancia ao eixo da faixa (m)	LAeq, em dB(A)		
		BMB	BAC	?
1º Ensaio	20,0	63,3	74,3	11,0
2º Ensaio	8,5	70,9	80,2	9,3
3º Ensaio	8,5	70,4	80,1	9,7
4º Ensaio	6,5	72,6	80,6	8,0
5º Ensaio	6,5	73,5	82,3	8,8

A análise dos espectros de frequências correspondentes às medições efectuadas (no 1º Ensaio não foi efectuada análise espectral) permite concluir que os espectros correspondentes ao pavimento BAC apresentam maior intensidade nas frequências médias e altas (acima dos 1000 Hz).

Na figura 7 é apresentado o gráfico comparativo dos espectros de frequências correspondentes aos 2º e 3º ensaios.

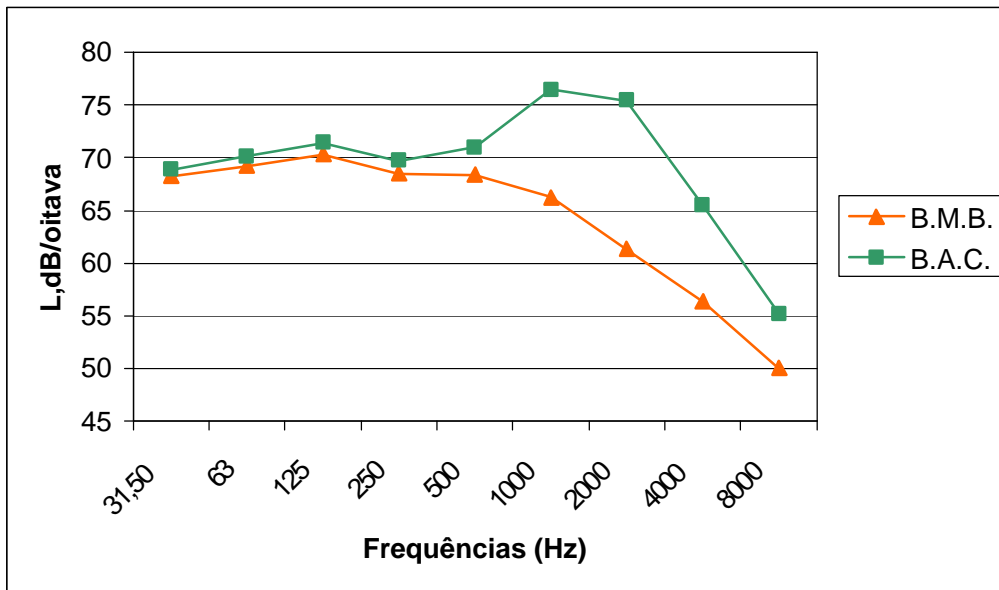


Figura 7 – Gráfico comparativo (2º e 3º Ensaio)

Na figura 8 é apresentado o gráfico comparativo dos espectros de frequências correspondentes aos 4º e 5º ensaios.

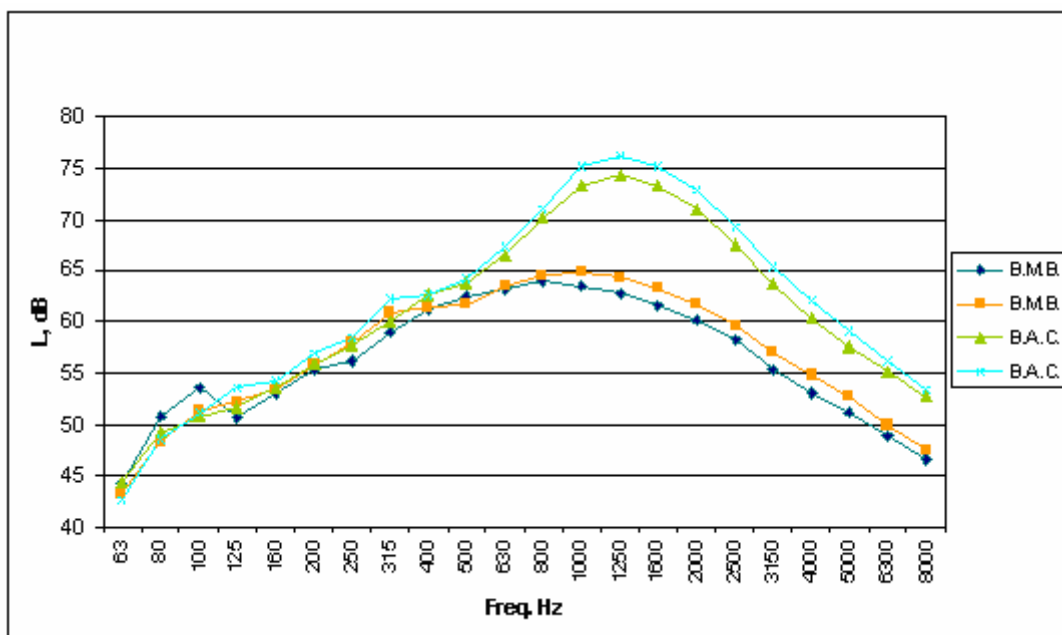


Figura 8 – Gráfico comparativo (4º e 5º Ensaio)

Os resultados obtidos nos cinco ensaios efectuados apresentam-se bastante coerentes, pelo que são considerados esclarecedores dos objectivos propostos.

Da análise dos gráficos comparativos apresentados resulta evidente que a circulação rodoviária nas zonas com pavimento BAC se apresenta mais ruidosa, em média cerca de 8/10 dB(A), do que a circulação sobre o pavimento BMB.

Conclui-se de forma objectiva que existem diferenças médias da ordem de 8 a 10 dB(A) entre os níveis sonoros próprios resultantes da interacção pneus/pavimento nos revestimentos de piso ensaiados, o que aponta claramente para o interesse na utilização de camadas de desgaste em BMB como uma medida eficaz para redução do ruído de tráfego em vias rápidas e minimização dos impactes acústicos decorrentes.

3.2 Ensaio do pavimento BMB versus BB

Em complemento dos ensaios descritos acima, e por forma a avaliar as características acústicas de camadas de desgaste com betume modificado com borracha reciclada de pneus (BMB) relativamente a camadas de desgaste em betão betuminoso tradicional (BB), efectuaram-se medições do ruído de tráfego, entre o km 73+100 e o km 73+250 da Auto-Estrada A8 (nas proximidades do Nó de Óbidos), onde existem secções dos tipos de pavimentos referidos. Este ensaio foi realizado no dia 4 de Março de 2004, usando os procedimentos e equipamentos utilizados para os ensaios anteriores, na figura 9 são apresentados pormenores das zona em análise.

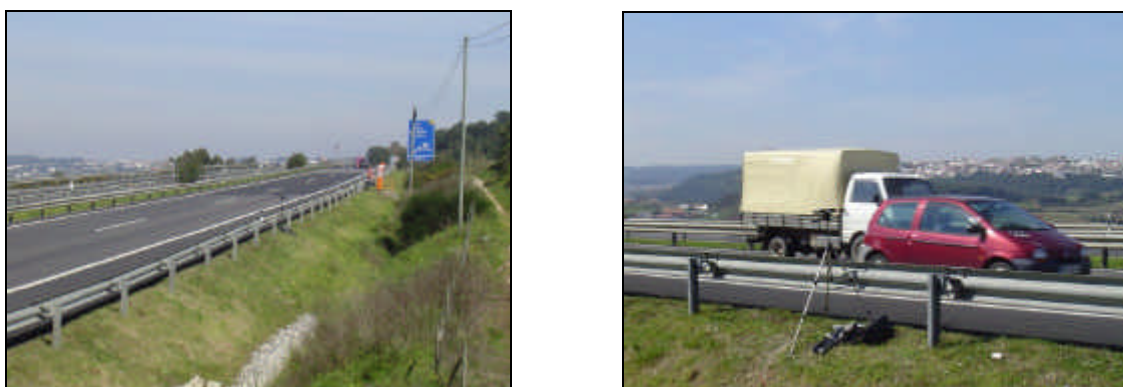


Figura 9 – Vista geral e pormenor do ensaio do BB / BMB

Efectuaram-se dois ensaios no mesmo local, consistindo cada ensaio na medição dos níveis sonoros LAeq, em dB(A), junto de cada secção de pavimento em análise, através de amostragens com duração de 30 min., seguindo os procedimentos da normalização aplicável (NP 1730, 1996 - “Acústica - Descrição e medição do ruído ambiente”).

Será importante referir que, o sublanço onde foi realizado este ensaio entrou em exploração em 1995, pelo que o pavimento original em betão betuminoso tradicional (BB), já apresenta alguma degradação superficial.

Os sonómetros foram colocados à mesma distância do eixo da faixa de rodagem do sentido Lisboa – Leiria ($d = 6,5\text{m}$), em secções da via com as camadas de desgaste em apreciação (BMB e BB), e a distâncias suficientemente afastadas entre si.

Na figura 10 esquematiza-se a localização dos pontos de medição relativamente à via e às secções de pavimentos em análise e apresentam-se pormenores dos pavimentos interessados.

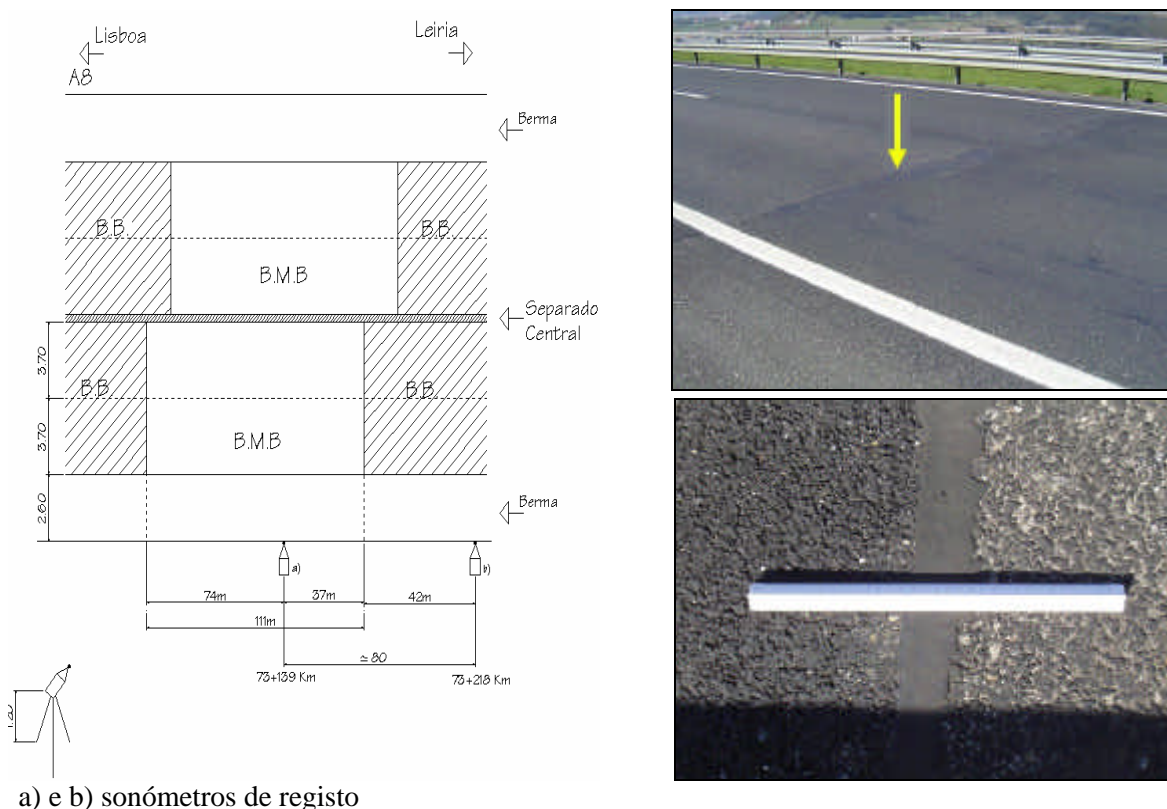


Figura 10 – Esquema do ensaio e pormenor da transição entre os dois tipos de pavimento BMB / BB

No quadro 6 são apresentados os níveis sonoros LAeq registados em cada ensaio:

Quadro 6 - Níveis sonoros Laeq registados nos ensaios

	Distancia ao eixo da faixa (m)	LAeq, em dB(A)		
		BB	BMB	?
1º Ensaio	6,5	79,1	73,5	5,6
2º Ensaio	8,5	78,6	73,5	5,1

Resulta evidente que a circulação rodoviária nas zonas com pavimento BB se apresenta mais ruidosa cerca de 5/6 dB(A) do que a circulação sobre pavimento BMB.

O gráfico apresentado na figura 11 permite comparar directamente os espectros de frequências correspondentes ao 1º e 2º ensaios.

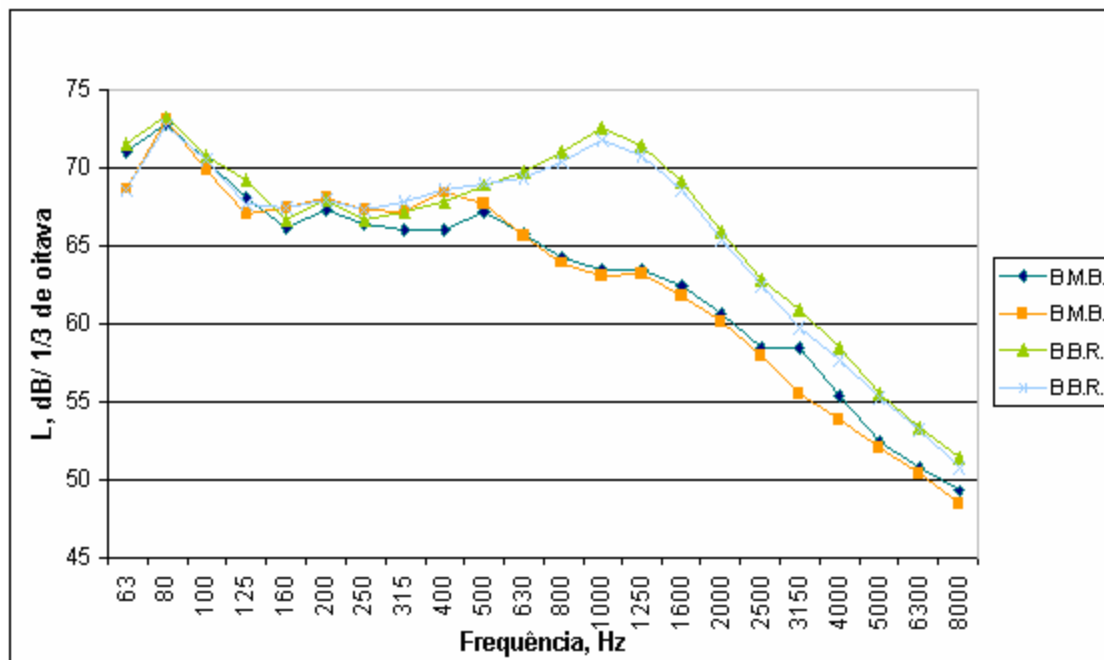


Figura 11 – Gráfico comparativo dos espectros de frequência

Constata-se que a composição espectral correspondente ao ruído com origem no pavimento BMB apresenta uma redução gradual dos níveis sonoros a partir dos 500 Hz, enquanto que no pavimento BB essa redução só se verifica a partir dos 1000 Hz.

Observam-se ainda, nas bandas de 800 Hz a 2 kHz, níveis notoriamente mais elevados no pavimento BB do que no BMB (cerca de + 10 dB na banda de 1 kHz).

Os resultados obtidos permitem concluir que, nas mesmas condições de tráfego (volumes, percentagens de pesados, velocidades de circulação), existem diferenças médias da ordem de 5 a 6 dB(A) entre os níveis sonoros globais gerados em cada revestimento de piso ensaiado, apontando claramente para a vantagem na utilização de camadas de desgaste em BMB como uma medida eficaz para redução do ruído de tráfego em vias rápidas, com minimização dos impactes acústicos provocados.

4- CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, podemos concluir que o pavimento incorporando betume modificado com borracha de pneus reciclado, apresenta vantagem importantes relativamente ao pavimento rígido em betão armado continuo e mesmo em relação ao pavimento flexível tradicional, pelo que será mais uma solução a considerar na minimização do ruído originado pelo tráfego rodoviário.