

ASPHALT RUBBER: PRIMEIROS RESULTADOS EM ITÁLIA

FELICE A. SANTAGATA

PROFESSOR, UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

INÊS ANTUNES

DOUTORA EM ENGENHARIA CIVIL, ASPHALT RUBBER ITÁLIA

FRANCESCO CANESTRARI

PROFESSOR, UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

EMILIANO, SANTAGATA

DOUTORANDO, UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

RESUMO

Desde o final de 2006 que a tecnologia de modificar um betume com borracha de pneus reciclada através de processo wet, denominada *asphalt rubber*, também se encontra disponível no mercado italiano.

Este artigo centra-se na caracterização mecânica e prestacional preliminar das misturas betuminosas com betume de borracha (BMB) utilizadas nas primeiras aplicações na Itália. Apresentam-se os resultados da caracterização das misturas em laboratório e de medições de ruído efectuadas in situ. Para avaliar o comportamento mecânico das BMB, estas foram submetidas a ensaios dinâmicos de tracção indirecta (Indirect Tensile Stiffness Modulus Test - ITSM), Fadiga (Indirect Tensile Fatigue Test - ITFT), ensaios de carga repetida (Repeated Loading Axial Test - RLAT) e provas de deformação permanente (Wheel Tracking Test - WTT). A comparação dos resultados obtidos para as misturas BMB com os de outras misturas betuminosas disponíveis no mercado italiano demonstra que a utilização de betume de borracha melhora significativamente as propriedades mecânicas de uma mistura betuminosa, sugerindo potenciais aplicações vantajosas também na realidade rodoviária italiana.

1. INTRODUÇÃO

As últimas duas décadas caracterizam-se pelo priorado da consciência ambiental. Recentes eventos climáticos (e não só), à escala mundial, mostram como se tardou a adquirir esta consciência. O transporte rodoviário, nas suas várias vertentes, tem vindo a inflectir nessa direcção, através da utilização racional de materiais reciclados nas mais díspares soluções técnicas.

Um dos resíduos, disponível em grandes quantidades, que tem vindo a ser reutilizado com sucesso na área da pavimentação rodoviária é o granulado de borracha de pneus reciclada (PFU). A utilização deste tipo de material com uma granulometria específica através da tecnologia denominada **Asphalt Rubber** (AR) constitui grande interesse, não só pelos aspectos ambientais que lhe são inerentes, mas também de um ponto de vista puramente técnico. De facto, a modificação de betumes com borracha, fortemente condicionada pelo seu processo de produção (temperatura, natureza do betume e da borracha, duração da mistura e reacção betume - borracha), origina uma melhoria das prestações mecânicas e funcionais das misturas betuminosas, nomeadamente com o aumento da rigidez e da resposta elástica. No que respeita às características funcionais das misturas BMB, podemos salientar a redução significativa do ruído de circulação de tráfego, a diminuição da distância de travagem e a redução dos efeitos de *splash and spray*.

2. PRODUÇÃO DE ASPHALT RUBBER NA ITÁLIA

Seguindo os óptimos resultados de uma tecnologia já amplamente difundida nos USA, África do Sul, Austrália e em diversos países da Europa (na qual Portugal foi pioneiro) [1] [2], a sociedade italiana **Asphalt Rubber Itália** decidiu adquirir um equipamento móvel da *D&H Equipment* para a produção de betume modificado com borracha no Verão de 2006 (Figura 1). Em Itália nos últimos cinco anos tem vindo a estudar-se diversas opções com o método dry mas o panorama nacional exigia uma tecnologia controlada que pudesse garantir uma determinada performance (superior) constante no tempo.



Figura 1 - Equipamento móvel de produção de AR

Na produção do ligante Asphalt Rubber, a borracha de pneu reciclada é misturada a altas temperaturas (190°C) ao betume natural durante pelo menos uma hora através de equipamento especializado de acordo com a normativa ASTM D 6114-97 (2002). Durante este processo controlado, denominado “wet process”, as partículas de borracha absorvem e fixam a fracção malténica do betume (que seria destinada a perder-se no tempo devido a fenómenos de oxidação e à acção dos raios UV) formando um gel betume - borracha.

É esta reacção que conduz a um aumento da viscosidade e da elasticidade às temperaturas de exercício do ligante e conseqüente redução da sensibilidade térmica e incremento da resistência à fadiga, à deformação permanente e aos fenómenos de envelhecimento.

Após diversos estudos preliminares, chegou-se a uma formulação de AR que consiste num betume base de classe de penetração 50/70 modificado com cerca 18% de granulado de borracha ambiental que deve respeitar os requisitos da Tabela 1.

Tabela 1 - Requisitos do betume modificado com borracha

Parâmetro	Normativa	Unidade	Valores pedidos
Penetração a 25°C	UNI EN 1426	dmm	25-75
Ponto de amolecimento	UNI EN 1427	°C	≥ 54
Resiliência a 25 °C	ASTM D 3407	%	≥ 20
Viscosidade dinâmica 175°C, (20 rot/min)	UNI EN 13302	mPa·s	1500- 5000
Valores após RTFOT^(*)			
Volatilidade	UNI EN 12607-1	%	≤ 0,8
Penetração residual a 25°C	UNI EN1426	%	≥ 60
Incremento ponto amolecimento	UNI EN1427	°C	≤ 12
(*) Rolling Thin Film Oven Test (UNI EN12607-1)			

Uma das dificuldades apontadas à utilização deste material é a baixa estabilidade ao armazenamento (traduzida pela prova de Tuben Test [3]) o que faz com que o ligante tenha que ser produzido perto da central de produção de misturas betuminosas e significa ter que deslocar frequentemente o equipamento móvel de produção de AR. Quando se trata de uma quantidade pequena de material, o que acontece frequentemente nesta fase de difusão da tecnologia, esta deslocação agrava significativamente os custos. Assim, a Asphalt Rubber Itália desenvolveu um sistema de fornecimento de betume modificado com borracha utilizando cisternas dotadas de sistema de aquecimento com óleo diatérmico e agitadores (como na Figura 2) que permitem fornecer pequenas quantidades de AR. Este sistema é particularmente útil numa realidade como aquela italiana em que existem mais de 650 produtores de misturas betuminosas.



Figura 2 – Cisterna para transporte de BMB

Foram estudados dois tipos de misturas BMB. A curva gap graded incorpora uma percentagem de AR de 7,5 a 8,5% em peso e tem uma percentagem de vazios de 5 a 8%, enquanto que a curva open graded, utiliza 8,5 a 9,5% de AR e tem 12 a 18% de vazios. Preliminarmente a cada aplicação com asphalt rubber efectua-se um estudo em laboratório para determinar as curvas granulométricas optimizadas das misturas de forma a apresentarem um esqueleto mineral que seja constituído por um determinado número de vazios que permita incorporar as quantidades de BMB indicadas acima.

A tal propósito e para assegurar o controlo de qualidade destas misturas, a empresa estabeleceu uma colaboração com o CIRS (*Centro Interuniversitario sperimentale di Ricerca Stradale e aeroportuale*) na qual estão também previstas múltiplas iniciativas de investigação.

3. RESULTADOS ITALIANOS

A mistura BMB com granulometria gap graded foi aplicada numa camada de desgaste, pela primeira vez na Itália, em Outubro de 2006, no curso da realização de dois trechos experimentais na Província de Pistoia (S.R. 663 e S.R. 435) (Figura 3).



Figura 3 – Primeiras aplicações de BMB gap graded, em Pistoia e em Imola

A esta primeira experiência, com resultados óptimos, seguiram-se diversas intervenções no decorrer de 2007, nas regiões da Toscana e Emilia Romagna. Em particular, até Agosto 2007, a Asphalt Rubber Itália srl produziu cerca de 2.000 t de Asphalt Rubber gap graded e 500 t de open graded, realizados mediante o emprego de cerca 200 t de ligante Asphalt Rubber. Tal produção permitiu utilizar 40 t de borracha, o que corresponde aproximadamente a 400 t de PFU, que estavam destinados à descarga.

3. 1 Caracterização Mecânica Das Misturas BMB

Para caracterizar mecanicamente as misturas com asphalt rubber, durante a fase de construção das primeiras secções na Itália retiraram-se várias amostras de material directamente da central de misturas betuminosas.

No laboratório da Università Politécnica delle Marche executou-se um estudo detalhado destas misturas [4] através de um programa experimental que incluiu provas de *Indirect Tensile Stiffness Modulus Test* (ITSMT), para determinar a capacidade de carga; *Indirect Tensile Fatigue Test* (ITFT), para caracterizar a resistência à fissuração de fadiga; *Repeated Loading Axial Test* (RLAT) e *Wheel Tracking Test* (WTT), para avaliar a resistência à deformação permanente.

Este estudo inclui uma comparação detalhada das propriedades mecânicas da BMB com as de outras misturas actualmente presentes no mercado italiano, entre estas, uma mistura tradicional, um drenante, uma mistura com betume de alto módulo e uma Splitt Mastix, para melhor enquadrar a óptima performance das BMB.

Na Tabela 2 apresentam-se a curva granulométrica da mistura rugosa gap graded (ARFC) e o conteúdo de ligante. O agregado utilizado para esta mistura BMB gap é de **natureza calcária**.

Tabela 2 – Características da Mistura BMB Gap graded

Dimensão	Agregados	Rubber	Gap graded
mm	% passante	% passante	% passante
25	100.0	100.0	100.0
15	99.6	100.0	100.0
10	83.9	100.0	75.0 - 100.0
5	42.0	100.0	35.0 - 50.0
2	23.1	100.0	18.0 - 28.0
0.42	11.6	23.1	4.0 - 13.0
0.177	7.8	0.0	2.0 - 9.0
0.074	5.2	0.0	1.0 - 6.0
AR	8.6 % em peso agregados		7.5 % - 9.0 %
Borracha	18.0 % no betume		15.0 % - 22.0 %

A mistura AR open graded foi executada com 9,2% de AR em peso, com agregados basálticos e com 12,8% de vazios. A Figura 4 representa a curva granulométrica desta mistura.

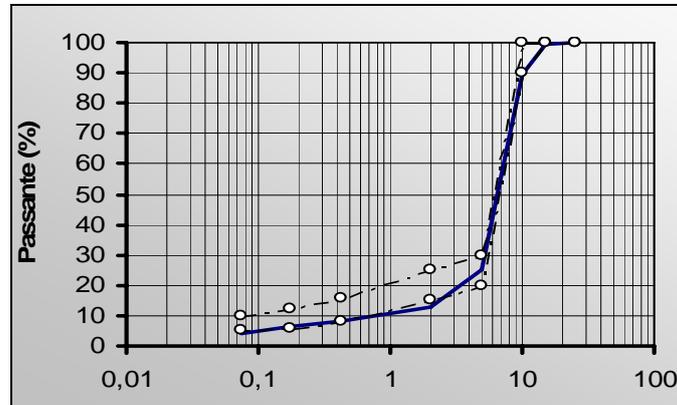


Figura 4 – Curva Granulométrica da mistura AR open graded

As provas para a determinação do Módulo de Rigidez das misturas BMB, ITSMT, foram executadas à temperatura de 20°C de acordo com a norma EN 12697-26, Anexo C, considerando dois eixos perpendiculares, em 6 provetes cilíndricos confeccionados na giratória, utilizando um equipamento dinâmico do tipo NAT.

Os resultados em laboratório permitiram atribuir à mistura BMB gap graded um valor médio de módulo ITSM a 20°C de 5867 MPa, com um desvio standard s de 474. Este valor, quando comparado com os de outras misturas betuminosas, demonstra que a mistura BMB gap graded apresenta um desempenho comparável com a de um Splitt Mastix e com a de um alto módulo, ambos fabricados com betume modificado SBS hard, adequados para estradas sujeitas a tráfego intenso de pesados. A capacidade de carga da mistura BMB é ainda mais notável uma vez que a sua curva continha apenas agregados calcários.

A Figura 5 representa a Master curve dos valores de módulo de rigidez para a mistura BMB open graded a diversas temperaturas (10, 20, 30°C) e frequências de carga (2, 3, 4 Hz).

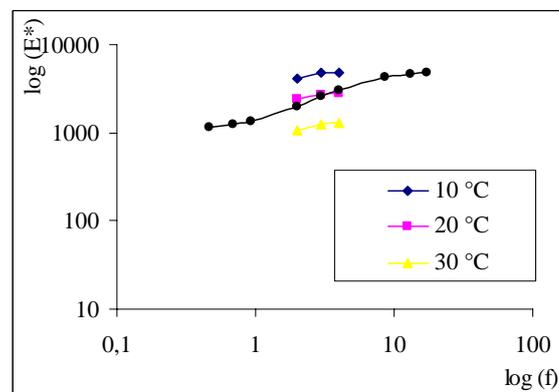


Figura 5 - Master curve da mistura betuminosa BMB open graded

Da análise desta curva maestra pode-se afirmar que a mistura BMB open graded é pouco sensível às variações de frequência reduzida, uma vez que o módulo de rigidez assume valores num intervalo bastante estreito, comparativamente aos valores determinados para as curvas maestras de outros materiais. Esta tendência implica uma menor susceptibilidade às mudanças de solitação, seja em termos de frequência que de temperatura.

As provas de resistência à fadiga, ITFT, tal como as de módulo de rigidez ITSM, foram executadas a uma temperatura de 20°C, de acordo com a EN 12697-24, Anexo E, aplicando 3 níveis de stress diferentes e 2 repetições. A Figura 6 mostra as lei de fadiga para a mistura BMB gap graded em termos de tensão inicial versus número de ciclos de falha onde, como falha, se entende o ponto de flexão da lei de deformação permanente dos materiais [5].

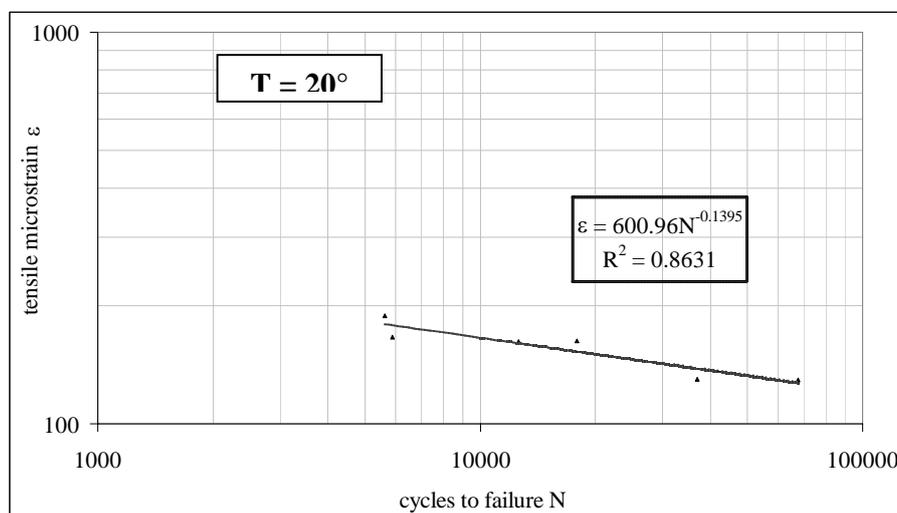


Figure 6 - Lei de fadiga da mistura BMB gap graded a 20°C

Os valores apresentados para a mistura com asphalt rubber são comparáveis aos disponíveis na literatura para misturas Splitt Mastix e modificadas SBS e superaram amplamente os apresentados para misturas tradicionais executadas com betumes não modificados, em especial para baixos níveis de tensão [4]. É importante ressaltar que o declive reduzido da linha de fadiga da BMB indica que para além de um elevado número de ciclos, este material betuminoso mantém uma vida à fadiga maior para um determinado valor inicial de esforço.

A mistura BMB open graded também apresentou ótima performance com um valor de Modulo elástico médio de 2353 MPa e 218 de extensão e .

Estes resultados confirmam as expectativas, de facto, dada a elevada viscosidade da AR pode utilizar-se elevadas incorporações deste ligante nas misturas betuminosas e por isso a resistência à fadiga destas misturas é substancialmente superior, podendo suportar até 10 vezes mais aplicações de carga, para o mesmo nível de extensão, do que uma mistura betuminosa convencional.

É esta característica principal na qual assenta o *Manual para a Redução de Espessuras de pavimentos da CALTRANS*, que preconiza uma redução da espessura da camada a mais de metade [6].

A prova de deformação permanente RLAT foi realizada a 30°C de acordo com a especificação BS DD 226, em provetes confeccionados com compactador giratório. O teste WTT foi executado seguindo a BS 598-110 a 60°C para um intervalo de 45 min ou até se atingir uma profundidade de rodeiras de 8 mm.

As amostras de dimensão 305 × 305 mm² foram confeccionadas com um roller compactor como previsto na EN 12697-33. A Tabela 3 sintetiza os resultados médios das provas de RLAT e WTT.

Tabela 3 - Resultados das provas de deformação permanente

	WTT @ 60° C			RLAT @ 30° C		
	Prof. Rodeira (mm)	Rut Rate (mm/h)	R ²	Esforço Final (strain)	Strain Rate (strain/ciclo)	R ²
BMB Gap	0.41	0.27	0.9923	2753	0.46	0.9995

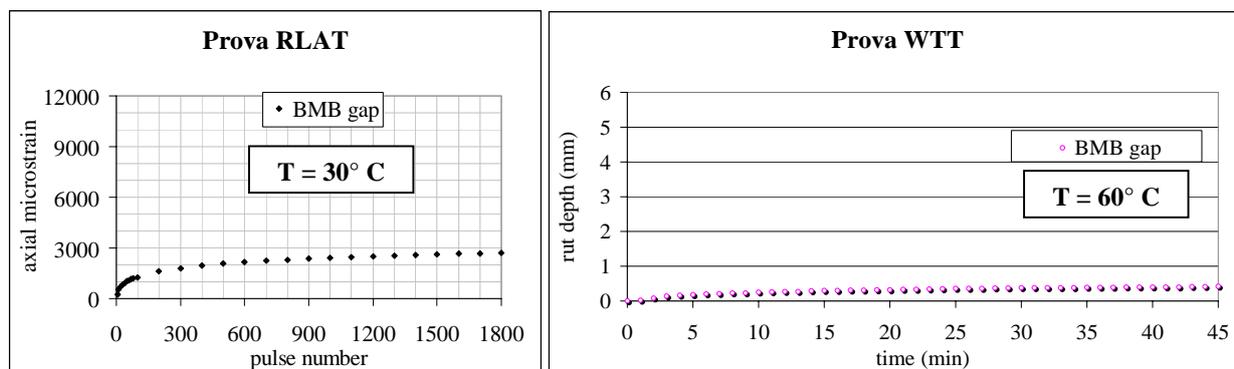
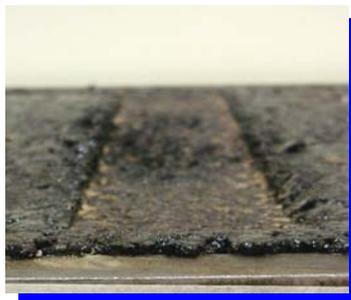


Figura 7 - Resultados experimentais das provas RLAT e WTT para a BMB gap graded.

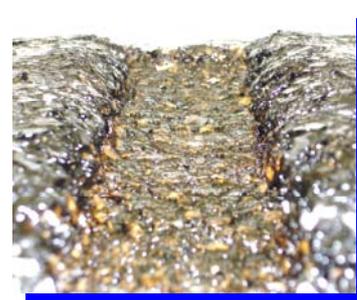
No que se refere à deformação permanente determinada através da prova WTT, constata-se que a mistura BMB gap graded não apresenta praticamente nenhuma deformação, comportamento ainda mais evidente observando a Figura 7 onde está representada a profundidade das rodeiras ao longo do tempo e a Figura 8 onde se mostram os resultados de uma mistura tradicional e de mistura betuminosa fechada realizada com betume modificado.



Asphalt Rubber



Modificato Hard



Bitume 70/100

Figura 8 – Amostras após WTT a 60°C

3.2 Abatimento do Ruído

O estudo fonométrico das misturas BMB reporta-se à construção de um trecho experimental em Florença (Figura 9) onde foi executada uma campanha experimental para avaliar e comparar as prestações acústicas das misturas BMB, gap e open graded, quando sujeitas a condições análogas de tráfego. Nesta óptica, estão previstas medições periódicas de ruído ambiental in situ, cujos resultados podem ser interpretados em função do tráfego relevado, com CPX (Close Proximity Method).



Figura 9 – Via Erbosa em Florença

O objectivo deste estudo foi comparar a mistura gap com a open graded para perceber as diferenças em ambiente urbano (velocidades baixas). Os resultados, em termos absolutos, foram muito satisfatórios para ambas as curvas, principalmente tendo em conta que as velocidades de escoamento são bastante baixas e os níveis de tráfego são bastante significativos (também no que respeita o número de pesados).

A Figura 10 mostra um esquema das secções de prova que interessaram este estudo.

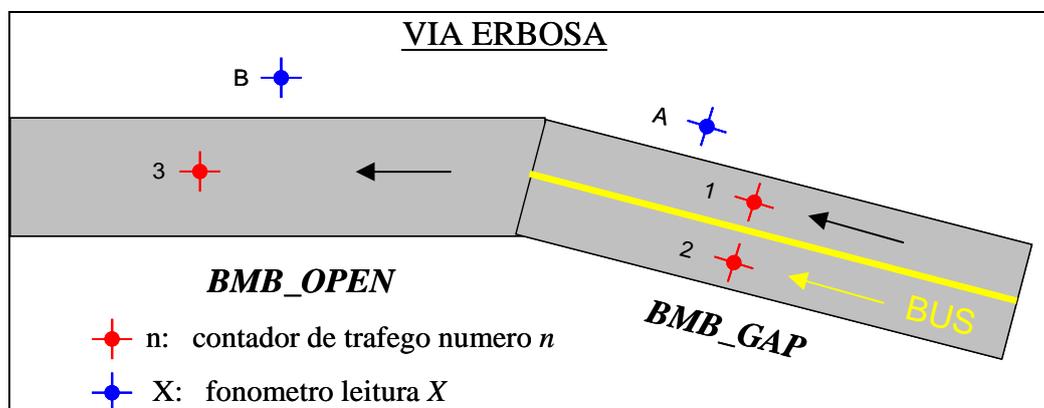


Figura 10 – Esquema do estudo fonométrico

Na Tabela 4 encontram-se as médias das medidas efectuadas.

Tabela 4 - Resultados das medidas de ruído

Mistura	N veiculos por dia		Total veic/dia	Veloc média Km/h	Ruido noite dBA	Ruido dia dBA	Diferença N-D dBA
	Veiculo<6m	Veiculo>6,5m					
AR gap	5522	561	6083	40	57,9	65,1	7,2
AR open	5472	112	5584	43	56,3	63,2	6,9
Diferença de ruido entre as misturas BMB gap e BMB open					1,6	1,9	0,3

Considerando que as duas secções são muito semelhantes pode fazer-se uma análise entre a diferença de ruído medido para a curva gap e para a curva open. Como se esperava, tendo em conta a percentagem de vazios e uma maior presença de ligante, a curva open tem sempre um nível de ruído inferior ao da curva gap, demonstrando permitir um maior abatimento do ruído. No entanto, observa-se que durante o dia esta diferença é mais significativa. Para velocidades baixas a curva open apresenta um ruído inferior em cerca de 2 dBA, enquanto que aumentando a velocidade de escorrimento da secção a diferença diminui para 1,6 dBA. Esta diferença mete em evidência a capacidade da mistura open de absorver as vibrações de ruído produzidas pelo motor dos veículos, dada a elevada percentagem de vazios. Esta capacidade é inferior para a mistura gap, mas esta mistura demonstra uma boa prestação no que respeita a diminuição do ruído de rotulamento, aproximando-se dos resultados obtidos para a mistura BMB open.

Tratando-se de um ambiente urbano a população apercebeu-se deste melhoramento e decidiu expressar a sua aprovação recolhendo assinaturas para solicitar a utilização deste material em futuras reabilitações. A este propósito foi publicado um artigo no jornal “Il Repórter di Firenze” N°11 de Maio de 2007.

4. CONCLUSÕES

No que respeita a caracterização mecânica das misturas BMB salientam-se os resultados obtidos nas provas de tracção indirecta que demonstram a elevada capacidade de carga, traduzida num alto valor de módulo de rigidez, em particular para a mistura gap. Apesar da sua elevada rigidez, as misturas BMB também responderam muito bem no que se refere à resistência à fadiga (cracking), apresentando uma resistência muito superior à de outras misturas com betumes modificados. O que indica que este material é particularmente indicado na reabilitação de pavimentos fissurados.

No que diz respeito à deformação permanente, as BMB demonstraram elevada resistência à formação de rodeiras (rutting) não obstante o seu elevado conteúdo de ligante.

Esta performance excepcional confirma os resultados disponíveis na vasta bibliografia internacional sobre a tecnologia Asphalt Rubber e permite inserir este material entre os melhores disponíveis no mercado italiano, com a vantagem de manter estes resultados ao longo do tempo, com respectivas vantagens económicas.

Na construção de pavimentos novos a utilização de misturas betuminosas com BMB resulta numa óptima relação custo/benefício em várias aplicações, podendo-se utilizar estes materiais em espessuras inferiores em pavimentos flexíveis onde o critério condicionante seja a limitação da extensão de tracção na camada de base.

Durante o próximo ano está prevista uma campanha de provas experimentais nas secções testes realizadas na Itália, com vista a determinar a redução do ruído com misturas BMB open graded e as prestações funcionais destas misturas, nomeadamente no que respeita as características superficiais das BMB (aderência e CAT).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Antunes I., Giuliani F., Sousa J.B., Way G., “*Asphalt Rubber: Il Bitume Modificato con Polverino di Gomma di Pneumatico Riciclata*”, Varirei- V International Congress of Valorization and Recycling of Industrial Waste, L’Aquila 2005
- [2] G. B. Way, “*OGFC Meets CRM. Where the rubber meets the rubber 15 years durable success*”, 2003
- [3] Antunes I., Giuliani F., Sousa J. B., “*Chemical Modification of Asphalt Rubber with Polyphosphoric Acid*”, Asphalt Rubber 2006 Conference, San Diego, Outubro 2006
- [4] Santagata F. A., Canestrari F. , Pasquini E., “*Mechanical Characterization of Asphalt Rubber – Wet Process*”, 4th International SIIV Congress, Palermo, Setembro 2007
- [5] Kaloush K. E., Witczak M.W., “*Tertiary Flow Characteristic of Asphalt Mixtures*”, Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, vol. 71, pp 248-280
- [6] Van Kirk, Holleran, “*Reduced thickness asphalt rubber concrete leads to cost effective pavement rehabilitation*”, Asphalt Rubber 2000, Vilamoura 2000