

NOVA TECNOLOGIA DE REJUVENESCIMENTO DE BETUMES, EFETIVA E SUSTENTÁVEL

Vitor Gomes¹

¹Arizona Chemical, Transistorstraat 16, 1322CE Almere, Holanda
Email: vitor.gomes@azchem.com <http://www.arizonachemical.com>

Sumário

A reutilização de materiais fresados de misturas betuminosas envelhecidas em novas misturas betuminosas é reconhecida como sendo uma solução sustentável com benefícios económicos e ambientais. No entanto esta reutilização cria alguns desafios técnicos para manter o necessário desempenho final, requerendo assim uma tecnologia específica para mitigar as desvantagens inerentes á utilização de ligantes envelhecidos.

Este artigo descreve e apresenta resultados de uma nova tecnologia para rejuvenescimento de betumes envelhecidos permitindo assim a reutilização de RA na produção de novas misturas betuminosas, mantendo o desempenho final equivalente ao de uma mistura betuminosa virgem.

Palavras-chave: Mistura betuminosa; Mistura Betuminosa Recuperada; Reciclagem; Reutilização; Rejuvenescimento; Ligante envelhecido; Resíduos de Construção e Demolição

1 INTRODUÇÃO

Os recursos naturais existentes são limitados assim como a energia produzida até certo ponto. Felizmente, os profissionais e a indústria estão a trabalhar no sentido de reutilizar ou reciclar os materiais de forma a não comprometer as gerações futuras. A reutilização ou reciclagem ajuda a prevenir a utilização desnecessária de recursos naturais reduzindo também as emissões de CO₂, relacionadas com a produção de materiais virgens, reduzindo assim a contribuição para o aquecimento global.

Na Europa, principalmente, existe uma consciencialização crescente relativa a estes aspetos que se traduz em diretivas Europeias que fomentam o reaproveitamento de materiais no fim de vida. É o caso da diretiva Europeia 2008/98/EC, “The Waste Framework Directive (WFD)”[1], transposta em Portugal pelo Decreto-Lei n.73/2011 [2], de 17 de Junho, que alterou o regime geral da gestão de resíduos. A WFD no seu artigo 10 (decreto-Lei 73/2011, artigo 7º) define objetivos ambiciosos para 2020: “Um aumento mínimo para 70 % em peso relativamente à preparação para a reutilização, a reciclagem e outras formas de valorização material, incluindo operações de enchimento que utilizem resíduos como substituto de outros materiais, resíduos de construção e demolição não perigosos, com exclusão dos materiais naturais definidos na categoria 17 05 04 da Lista Europeia de Resíduos (LER)”.

A WFD no artigo 28 (decreto-Lei 73/2011, artigo 7) define também o “Princípio da hierarquia dos resíduos”, uma hierarquia para a gestão de resíduos que define ordens de prioridades conforme o disposto na figura 1.

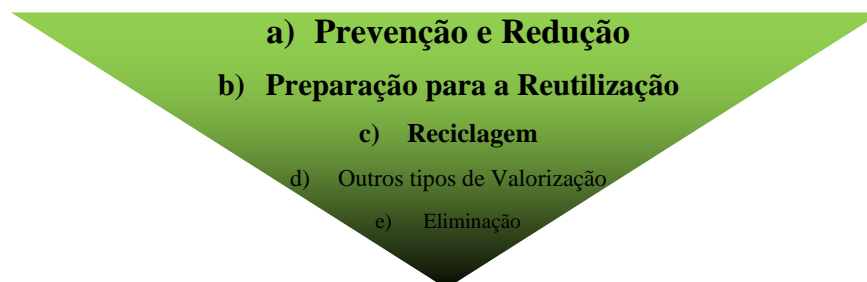


Figura 1 – Princípio da Hierarquia dos Resíduos [3]

A gestão de resíduos tem um papel fundamental numa economia circular, estabelecendo uma hierarquia que tem como objetivo principal encorajar as melhores opções para o ambiente [4]. Avançar para uma economia circular mais evoluída é essencial para ir de encontro á agenda estabelecida na estratégia Europeia 2020 [5]. Um sistema de economia circular mantém o valor acrescentado nos produtos durante o maior tempo possível prevenindo resíduos. Os recursos são mantidos na economia mesmo após “fim de vida” para que sejam produtivamente usados consecutivamente gerando continuamente valor acrescentado, conforme ilustrado na figura 2.



Figura 2 – Fases principais do modelo de Economia Circular [5]

Adicionalmente, em Portugal, e através também do Decreto-Lei 73/2011 (artigo 7º), com vista á concretização das metas acima apresentadas, sempre que tecnicamente exequível, é obrigatória a utilização de pelo menos 5% de materiais reciclados ou que incorporem materiais reciclados relativamente á quantidade total de matérias-primas usadas em obra, no âmbito da contratação de empreitadas de construção e manutenção de infraestruturas.

As Misturas Betuminosas (MBs) classificadas com o código LER 17 03 02 poderão se reutilizadas na produção de novas MBs. Para obter esta classificação há que garantir que a Mistura Betuminosa (MB) não contém alcatrão, caso contrário será classificada com um código diferente e considerada um resíduo perigoso. Hoje em dia a presença de alcatrão em MBs pode ser rapidamente aferida, por exemplo recorrendo ao método expedito “Pak-Marker”, facilitando assim a seleção de MBs para reutilização.

Em Portugal, a utilização de Resíduos de Construção e Demolição (RCDs) provenientes da fresagem de camadas betuminosas está quase na totalidade restringida á reciclagem de MBs a quente em central [6]. O LNEC publicou em 2009 a Especificação E 472 [7] que “*fornece recomendações e estabelece requisitos mínimos para o fabrico e aplicação de MBs recicladas a quente em central, utilizando MBs recicladas*”. A especificação define também taxas máximas de reutilização deixando em aberto, no entanto, a utilização de taxas superiores às previstas caso se apliquem produtos rejuvenescedores que devem ser validados através de um estudo de formulação que inclua a avaliação das características do ligante recuperado da MB final e também ensaios de desempenho da MB final. A reutilização de MBs recuperadas (RA) em novas MBs permite ganhos a nível económico e ambiental, caso se mantenha o desempenho da MB final. O objetivo deste artigo é apresentar uma nova tecnologia para o rejuvenescimento do betume constituinte da Mistura Betuminosa Recuperada (RA), baseada no tratamento direto do RA com o aditivo “Sylvaroad™ RP1000 Performance Additive”. Ao longo deste artigo será utilizada preferencialmente a terminologia Europeia RA (EN13108-8), para identificar as Misturas Betuminosas Recuperadas, em vez da terminologia Portuguesa MBR (LNEC E472), no entanto ambas são equivalentes.

2 NÍVEIS DE UTILIZAÇÃO DE MBR NA EUROPA [8]

No quadro 1, são apresentados números oficiais da “European Asphalt Pavement Association” (EAPA) no que diz respeito á reutilização de RA na Europa. Pode-se constatar que a reciclagem de RA ainda tem um longo caminho a percorrer e que apenas países como a Holanda, Alemanha, Suécia, Dinamarca e França estão no nível ou pelo mesmo próximo do nível de 70% de reciclagem, estabelecido para 2020 pela WFD.

Quadro 1 – Reutilização/Reciclagem de RA na Europa, Segundo dados de 2013 da EAPA [8]

Country	Available reclaimed asphalt (tonnes)	% of available reclaimed asphalt used in				% of the new hot and warm mix production that contains reclaimed material
		hot and warm recycling	half warm recycling	cold recycling	unbound layers	
Austria	750.000	95		3	2	
Belgium	1.500.000	61	No data	No data	No data	51
Czech Republic	1.450.000	18	0	25	20	10
Denmark	790.000	83			17	58
Finland	860.000					20
France	6.900.000	64	No data	No data	No data	>65
Germany	11.500.000	90			10	No data
Greece	No data					0,03
Great Britain	4.000.000-5.000.000					
Hungary	88.000	80	0	10	10	20
Iceland	15.000					3,0
Ireland	150.000					
Italy	10.000.000	20				
Luxembourg	300.000	90	0	10	0	50
Netherlands	4.500.000	76				70
Norway	686.268	21	0	5	74	20
Romania	22.000	20	20	20	30	10
Slovakia	26.000	90	0	5	5	
Slovenia	26.000	26	0	20	54	5
Spain	205.000	85			7	8
Sweden	900.000	80	5	5	10	70
Switzerland	1.370.000	48	17	15	8	27
Turkey	1.200.000	3		1	96	1

É urgente elevar o nível de reciclagem de RA e, acima de tudo, aumentar o nível de reutilização de RA em novas MBs, de acordo com o princípio da hierarquia dos resíduos gerando assim o valor acrescentado máximo.

3 GUIA PARA A RECICLAGEM DE MISTURAS BETUMINOSAS A QUENTE EM PORTUGAL, LNEC E 472 – 2009 [7]

Para facilitar a valorização de RCDs, foram criadas pelo LNEC especificações técnicas para diversas aplicações que traduzem potencialmente as utilizações mais comuns do sector da construção civil. Relativamente á reutilização de misturas betuminosas foi elaborada a Especificação LNEC E 472 – 2009, “Guia para a reciclagem de misturas betuminosas a quente em central”. No Quadro 2 são apresentadas as propriedades e requisitos para as Misturas Betuminosas Recuperadas (RA).

Quadro 2 – Propriedades e requisitos para Mistura Betuminosas Recuperadas (RA) [7]

Requisitos de conformidade (EN 13108-8)		Misturas betuminosas recuperadas			
Propriedade ⁽¹⁾	Norma de ensaio	MBR1	MBR2	MBR3	
Presença de matéria estranha na mistura betuminosa recuperada	EN 12697-42	F1	F5	F5	
Ligante presente na mistura betuminosa recuperada	Tipo de ligante ⁽¹⁾	Betume (tradicional) ou Betume Modificado	Betume (tradicional) ou Betume Modificado	Betume (tradicional), Betume Modificado ou Betume Duro	
	Características do ligante recuperado	EN 12697-3 ou EN 12697-4 ou EN 1426 ou EN 1427	P15 ou S70 ⁽²⁾ ou P ≥ 15 × 10 ⁻¹ mm ou S ≤ 70 °C ⁽³⁾	P15 ou S70 ⁽²⁾ ou P ≥ 15 × 10 ⁻¹ mm ou S ≤ 70 °C ⁽³⁾	Pdec ou Sdec ⁽⁴⁾ ou Declarar a natureza e as propriedades do ligante ⁽³⁾
Dimensão máxima das partículas da mistura betuminosa recuperada	EN 933-1+A1:2005	32 mm	32 mm	32 mm	
Agregado da mistura betuminosa recuperada	Granulometria média	EN 933-1+A1:2005	Valores a declarar	Valores a declarar	Valores a declarar
	Dimensão máxima, D	EN 933-1+A1:2005	Valor a declarar	Valor a declarar	Valor a declarar
Percentagem média de ligante na mistura betuminosa recuperada	EN 12697-1	Valor a declarar	Valor a declarar	Valor a declarar	
Teor de água máximo da mistura betuminosa recuperada	EN 12697-14	5 %	5 %	5 %	

P Penetração a 25 °C do ligante presente na mistura betuminosa recuperada.

S Temperatura de amolecimento pelo método de anel e bola do ligante presente na mistura betuminosa recuperada.

(1) Ver EN 12597.

(2) Requisito a aplicar no caso de o tipo de ligante presente na mistura betuminosa recuperada ser um betume de pavimentação (tradicional).

(3) Requisito a aplicar no caso de o tipo de ligante presente na mistura betuminosa recuperada ser um betume modificado de pavimentação.

(4) Requisito a aplicar no caso de o tipo de ligante presente na mistura betuminosa recuperada ser um betume de pavimentação (tradicional) ou um betume duro de pavimentação.

As propriedades mais difíceis de cumprir são as do tamanho máximo das partículas e do teor em água máximo, que exigem uma correta gestão do RA, após fresagem do pavimento. Poderá ser necessário fragmentar o RA e armazenar num local com cobertura de forma a limitar o teor em água do material.

Relativamente á presença de matéria estranha no RA é expectável que, principalmente em Portugal, e hoje em dia, a maioria dos RA sejam classificados como F1 uma vez que as fresagens incidem maioritariamente sobre a camada de desgaste, no entanto, a sua determinação terá sempre que fazer parte do plano de controlo de qualidade do RA. A mesma especificação define também o campo de aplicação e taxas máximas de utilização de RA no fabrico de MBs recicladas a quente.

É de realçar que embora sejam apresentadas taxas máximas de incorporação, consoante a utilização no tipo de camada do pavimento e também de acordo com a classificação dos RA, segundo o disposto no quadro 3, é também permitida a utilização de taxas superiores caso sejam utilizados produtos rejuvenescedores e desde que o estudo de formulação inclua a avaliação das características do ligante recuperado da MB final e também ensaios para determinação do desempenho da MB final, resistência á fadiga, deformações permanentes e envelhecimento.

Quadro 3 – Campo de aplicação e taxas máx. incorporação de RA no fabrico de MBs recicladas a quente [7]

Classificação das misturas betuminosas recuperadas (EN 13108-8)	Campo de aplicação	Taxa máxima de incorporação ⁽¹⁾
MBR1	Camadas de desgaste	10 % ⁽²⁾
	Camadas de regularização, de ligação e de base	50 % ⁽²⁾
MBR2	Camadas de regularização, de ligação e de base	25 % ⁽²⁾
MBR3	Camadas de regularização, de ligação e de base	10 % ⁽²⁾

(1) Admitem-se taxas de incorporação superiores, recorrendo eventualmente a produtos rejuvenescedores, desde que o estudo de formulação seja complementado com ensaios para avaliação das características do ligante recuperado na mistura final e do desempenho desta mistura, nomeadamente no que se refere à resistência à fadiga, às deformações permanentes e ao envelhecimento.

(2) Para além de obedecer a este critério, a taxa de incorporação de misturas betuminosas recuperadas é condicionada pelo processo de fabrico (ver secção 4.2), pelos resultados do estudo de formulação da mistura e pelas características do ligante recuperado da mistura final.

No entanto, o correto rejuvenescimento do betume do RA nem sempre é de fácil aplicação ou obtenção, principalmente á escala de uma central betuminosa com produções acima das 100Ton/h e com ciclos de mistura inferiores a 1 minuto. Tendo em conta todos estes fatores foi desenvolvida uma nova tecnologia específica para o rejuvenescimento dos betumes dos RAs e que será apresentada de agora em diante neste artigo.

4 REJUVENESCEDOR BASEADO NA QUÍMICA DO PINHO

Devido às modificações químicas induzidas pelo envelhecimento, o betume endurece e torna-se frágil. As modificações mais significativas incluem a perda de maltenos, que amolecem e baixam a viscosidade, e o aumento de asfaltenos e polares aromáticos, principalmente devido a oxidação. Historicamente, as soluções existentes apenas corrigem a perda de amolecimento mas não conseguem quebrar as associações intermoleculares fortes criadas pela polaridade crescente dos asfaltenos. Por esta razão, um aditivo de base biológica foi concebido com a finalidade de redistribuir e estabilizar os elementos composicionais do betume envelhecido.

Esta tecnologia consiste na aplicação de um aditivo específico diretamente sobre o RA, rejuvenescendo o betume constituinte. O aditivo é produzido a partir do material base “Crude Tall Oil” (CTO) que é um coproduto do processo químico “Kraft” que visa a separação da celulose para a produção de papel. Este “óleo crude” é posteriormente refinado em três frações fundamentais conhecidas como “TOFA”, “Rosin” e “Pitch”. Adicionalmente, e para produtos especificamente estudados para determinados fins, reações químicas são efetuadas, que podem ser mais ou menos extensas em número e em tempo, de forma a obter produtos finais com as características desejadas. É o caso do aditivo “Sylvaroad™ RP1000 Performance additive” especificamente estudado e desenvolvido para o rejuvenescimento de betumes envelhecidos. O quadro 4 sumariza as propriedades do aditivo que, sendo efetivo no restauro das propriedades do betume envelhecido, foi concebido especificamente para ser seguro, estável, miscível, duradouro, bio-renovável e sustentável. Adicionalmente, a capacidade do aditivo para mobilizar o betume envelhecido foi já demonstrada em estudos anteriores [9] [10].

Quadro 4 – Propriedades do aditivo

Propriedades	Problema endereçado	Propriedades do aditivo
Saúde	Seguro para humanos e para o ambiente	O aditivo é classificado como não perigoso pela "Hazardous communications regulations" [11]
Ponto de fulgor	Risco de explosão na central betuminosa	O aditivo tem um ponto de fulgor acima dos 280°C, minimizando riscos
Volatilidade	Aditivos não devem evaporar na central betuminosa e no pavimento ao longo da vida	O aditivo tem menor perda de massa (pequena quantidade de compostos orgânicos voláteis) do que o betume virgem, á temperatura de fabrico
Consistência	Como os betumes envelhecidos do RA têm muita variabilidade, o aditivo tem de ter qualidade consistente para assegurar a consistência da mistura final	O aditivo é feito de matéria-prima refinada, purificada com recções químicas subsequentes de forma a cumprir especificações consistentes
Miscibilidade	O produto deve ser totalmente miscível com o betume, em dosagens de utilização, temperaturas de serviço e vida do pavimento	Estudos em placas de mármore demonstraram que o aditivo é miscível e não exsudarà do pavimento
Estabilidade térmica	O produto não deverá decompor-se na central, sob compactação ou após longa exposição no pavimento	O aditivo não decompõe-se na central betuminosa e mantém-se estável, para temperaturas normais de produção
Estabilidade oxidativa	O produto não deve perder eficiência com oxidação	O aditivo foi concebido para manter a eficiência após as condições de envelhecimento "RTFOT" e PAV"
Sustentabilidade	É desejável que o produto seja derivado de matérias-primas sustentáveis	O aditivo é, aproximadamente, composto por 90% de matérias-primas bio-renováveis
Não alimentar	O produto não deve ser derivado de alimentos ou possíveis fontes de alimentação	As matérias-primas não competem com a indústria de cadeia alimentar

5 EFEITO DA DOSAGEM SOBRE UM BETUME ENVELHECIDO

Inicialmente, foi realizado um estudo de dosagem para demonstrar o efeito estável do aditivo rejuvenescedor sobre as propriedades de betumes envelhecidos, extraídos e recuperados de MBs envelhecidas, em função da dosagem aplicada. Esse estudo, e á imagem do que se utiliza na Europa, baseou-se na penetração, temperatura de amolecimento anel e bola, viscosidade e propriedades após envelhecimento. As dosagens variaram entre 1% e 10% da massa do betume envelhecido.

5.1 Penetração, Temperatura Anel&Bola, Viscosidade

Nas figuras 3 e 4, são apresentados os resultados obtidos. Pode-se constatar que o efeito do aditivo é visível mesmo para dosagens baixas.

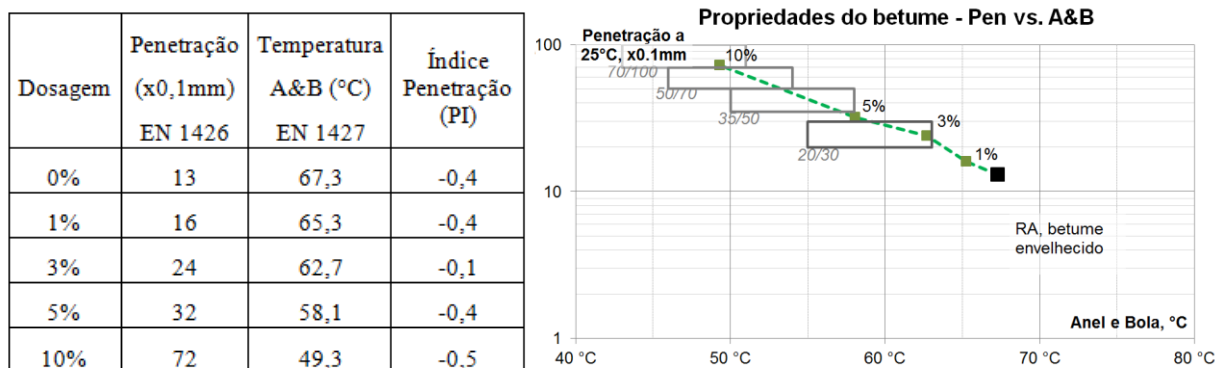


Figura 3 – Penetração vs Temperatura de Amolecimento vs Dosagem do Aditivo aplicada

Dosagem	Viscosidade (MPa/s) EN13302			
	90°C	135°C	150°C	180°C
0%	90400	1858	850	213
1%	70080	1625	693	195
3%	43750	1340	620	170
5%	32130	1160	545	153
10%	13230	755	310	105

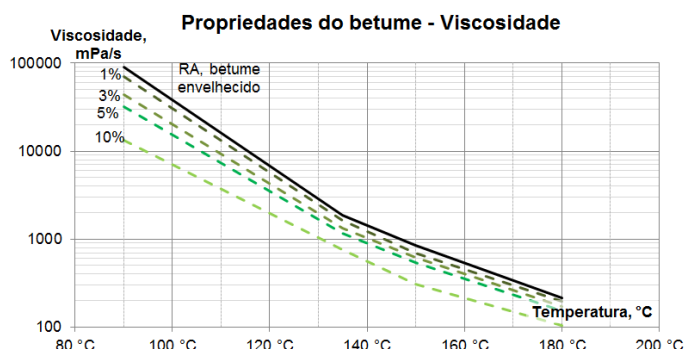


Figura 4 – Viscosidade do betume envelhecido em função da dosagem do Aditivo aplicada

Pode-se concluir que, de grosso modo, uma dosagem de 5% recupera o betume envelhecido em 2 classes de penetração. Como exemplo, aplicando uma dosagem de 5% do aditivo num betume 20/30 obter-se-ia no final o equivalente a um betume 50/70. Analisando o gráfico das viscosidades da figura 4, pode-se igualmente concluir que aplicar o aditivo diretamente no betume envelhecido do RA permite reduzir a temperatura de mistura em cerca de 10°C, para uma dosagem de 5%, devido ao efeito de redução da viscosidade do aditivo.

5.2 Após Envelhecimento

De forma a garantir a eficiência do aditivo sobre as propriedades do betume do RA, após o envelhecimento induzido pela produção em central e vida no pavimento, é necessário avaliar as propriedades sobre esse mesmo betume após envelhecimento simulado, e normalizado, em laboratório através dos métodos RTFOT e PAV. Foram comparados um betume envelhecido, distinto do utilizado no ponto 5.1 deste artigo devido a insuficiência de amostra, um betume virgem 40/60, o betume envelhecido tratado com 5% de aditivo e também uma mistura com 75% de betume envelhecido tratado (5% aditivo) e 25% de betume virgem 40/60. A dosagem de aditivo de 5% foi selecionada de forma a rejuvenescer o betume envelhecido para a classe de penetração 40/60 equivalente á do betume virgem. O rácio de 75% de betume envelhecido com 25% de betume foi selecionado porque é um rácio normal para percentagens de reuso de RA entre 70% e 80%, percentagens altas mas correntemente adotadas na Europa. Os resultados obtidos são apresentados no quadro 5 e na figura 5.

Quadro 5 – Variação das propriedades com o envelhecimento em laboratório

		RA	40/60	RA+5% adit.	RA(+5% Adit)+40/60
Fresco	Pen (0,1mm)	21	47	42	41
	R&B (°C)	66	52	56	56
Após RTFOT (EN12607-1)	Pen (0,1mm)	---	35	36	35
	R&B (°C)	---	57	59	58
	Variação de massa (%)	---	-0,35	0,01	-0,18
	Penetração residual (%)	---	76	86	84
	Variação A&B	---	6	2	2
Após RTFOT (EN12607-1) + PAV (EN14769)	Pen (0,1mm)	---	28	29	29
	A&B (°C)	---	64	64	64
	Variação de massa (%)	---	-0,47	-0,47	-0,46
	Penetração residual (%)	---	60	71	71
	Variação A&B	---	12	7	8

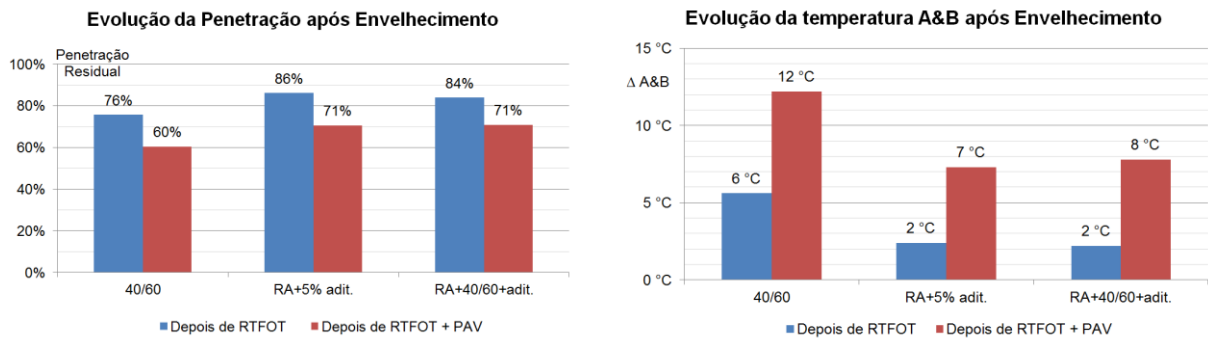


Figura 5 – Evolução da penetração e Temp. Amolecimento A&B após Envelhecimento

De forma resumida, pode-se dizer que amostras que contêm betume de RA tratado com o aditivo apresentaram menor variação das propriedades após envelhecimento, ainda menos do que o observado com o betume virgem, por um lado devido à menor suscetibilidade do betume envelhecido a oxidação adicional mas também devido à estabilidade do aditivo. O efeito do aditivo persiste assim após produção em central, aplicação e vida no pavimento.

6 CASO PRÁTICO EM ITÁLIA

De forma a validar a utilização do aditivo à escala real, apresentam-se abaixo resultados de trechos experimentais em Itália. São comparadas duas misturas betuminosas, uma com 30% de RA sem aditivos e a segunda com 50% de RA tratado diretamente na cinta de alimentação do tambor secador com 4% de “Sylvaroad™ RP1000 Performance additive”. Em laboratório, estas misturas com maior conteúdo em RA foram projetadas para se equivalerem a uma MB virgem, em termos de granulometria e conteúdo em betume. O objetivo principal é aumentar o conteúdo de RA em novas MBs cumprindo com as especificações Italianas: “Azienda Nazionale Autonoma Strade” (ANAS, 2010 [12]) e “Autostrade per Italia S.p.A.” (2008) [13]. Os valores limites das especificações Italianas são apresentados em conjunto com os resultados obtidos e baseiam-se fundamentalmente em resultados de ensaios de tração indireta.

6.1 Efeito sobre Penetração e Temperatura de Amolecimento

De forma expedita, em laboratório, foi aferido o efeito da dosagem do aditivo no betume envelhecido, penetração e temperatura de amolecimento anel e bola, extraído do 12RA 0/8 separado e armazenado na central betuminosa para utilização nos trechos experimentais.

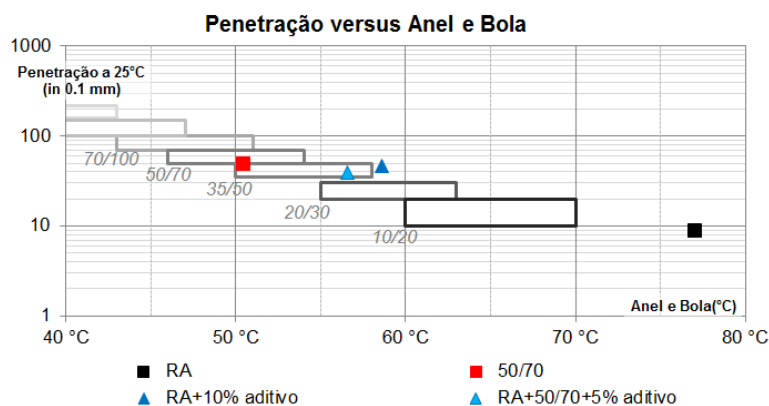


Figura 6 – Recuperação da penetração e Anel e Bola com a utilização do aditivo

6.2 Trechos experimentais

De acordo com os resultados obtidos, quer sobre os betumes, quer expeditamente sobre as MBs em laboratório, foi definida uma dosagem de 4% de aditivo para tratamento do betume envelhecido. É de realçar que o objetivo principal é a validação do desempenho das MBs através de ensaios correntes de controlo de qualidade efetuados sobre carotes extraídas do pavimento.

Este trecho experimental foi realizado em 16 de Setembro de 2014. A central betuminosa é do tipo descontínua com alimentação de RA diretamente no início do tambor-secador, capaz de produzir MBs com conteúdos em RA até 50%. O tambor-secador é patenteado e protege os agregados e RA de entrarem em contacto direto com a chama limitando o envelhecimento acelerado do betume do RA.

O RA foi tratado diretamente na cinta transportadora, figura 7, antes de entrar em contacto com os restantes materiais. As MBs produzidas pela empresa foram transportadas e aplicadas na via rápida SS77, entre Colfiorito e Foligno.



Figura 7 – Tratamento da MBR com aditivo

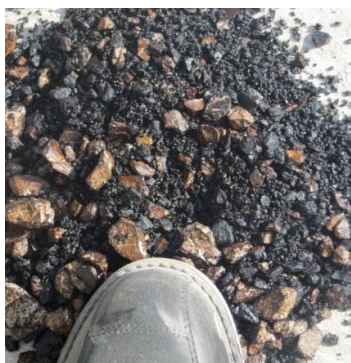


Figura 8 – 50%MBR+50% agreg. virgens (sem bet. Virgem), recolhidos no elevador



Figura 9 – Compactação em obra

A obra situava-se a cerca de 20 minutos de distância da central betuminosa. As MBs produzidas foram aplicadas na camada de base, aproximadamente 30min após produção, com uma espessura média de 10cm. De forma a avaliar o desempenho final das MBs produzidas, foram extraídas carotes do pavimento para ensaio, de acordo com o controlo corrente de qualidade adotado em Itália, e segundo as especificações em vigor. As granulometrias obtidas, figura 10, apesar de algumas variações, são próximas, permitindo uma comparação final. No quadro 6 e figura 11, são apresentados os restantes resultados obtidos nos ensaios sobre as carotes.

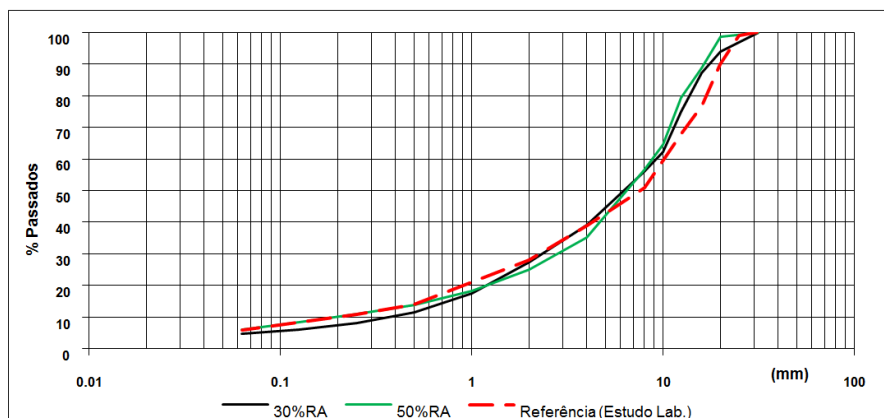


Figura 10 – Granulometria das misturas betuminosas produzidas

Este método de controlo direto das MBs produzidas e aplicadas foi selecionado de forma a suprimir possíveis variáveis existentes entre a produção de misturas em laboratório em comparação com as produzidas em central betuminosa, mais especificamente, evitar a dúvida sempre existente se os betumes, novo e envelhecido, misturam da mesma forma em laboratório em comparação com o que sucede na central betuminosa.

Quadro 6 – Carotes, resultados obtidos

Parâmetro	Norma	Especificação	30%RA	50%RA (4% aditivo)
Temperatura média de aplicação (°C)	---	---	160	140
Conteúdo em betume (%)	EN12697-1	4,0 a 4,8	4,1	4,4
Contribuição de betume do RA (%) (% em betume do RA = 5,7%)	EN12697-1	---	1,71	2,85
Vazios (%)	EN12697-8	4 a 9	8,1	8,3
ITS – Res. Tração Indireta (MPa)	EN12697-23	0,75<ITS<1,35	0,58	1,09
ITC* – Coeficiente de Tração Indireta (MPa)	EN12697-23 +esp. Ital.	>70	36	92
ITSM – Módulo de rigidez, Tração Indireta (MPa)	EN12697-26	---	3341	7538

* O ITC é usado em Itália como um parâmetro mecânico, $ITC = (\pi \cdot d \cdot ITS) / (2 \cdot dv)$, sendo d o diâmetro, ITS a R. Tração Indireta e dv a deformação vertical.

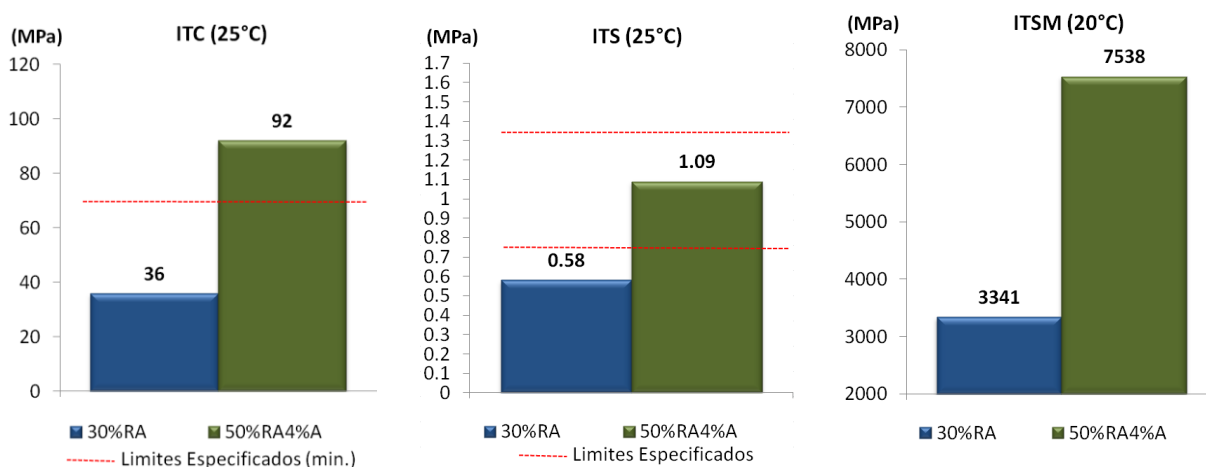


Figura 11 – Resultados dos ensaios das carotes, ITS, ITC, ITSM

As carotes extraídas da MB com 50%RA tratado com 4% de aditivo cumpriram com todas as especificações em vigor, validando o objetivo principal destes trechos experimentais. Adicionalmente, a MB com 30%RA falhou rotundamente em cumprir com as especificações, destacando-se assim a necessidade de reativar devidamente o betume envelhecido do RA antes da sua utilização em novas MBs. Os vazios das carotes embora cumprindo os máximos especificados são relativamente elevados o que não é totalmente surpreendente devido á elevada percentagem de RA utilizada, embora se esperasse que com o uso do aditivo os vazios diminuíssem, no entanto poderá ser muito bem resultado da mais baixa temperatura de aplicação desta MB devido às variações na produção.

6.3 Trabalho futuro

Serão extraídos e recuperados para ensaio os betumes constituintes das carotes ensaiadas, de forma a avaliar as propriedades dos betumes correspondendo-as com os resultados obtidos nas MBs. Este trabalho será objeto de

uma futura publicação. Adicionalmente e devido às diferenças substanciais encontradas entre ambas as MBs, e apesar do acréscimo em RA de 30% para 50%, e devido ao uso do aditivo na MB com 50%RA, um estudo adicional será efetuado para confirmar o efeito mobilizador do aditivo sobre o betume envelhecido, quer devido á química específica do aditivo quer também ao facto do aditivo ser aplicado diretamente sobre o RA, que aparenta ser a única teoria plausível que justifica a diferença de resultados obtidos.

7 CONCLUSÕES

O objetivo deste artigo é apresentar uma nova tecnologia para o rejuvenescimento de betumes de RA de forma a permitir a sua reutilização ou reciclagem de forma sustentável. Foram apresentados resultados sobre o efeito do aditivo diretamente sobre betumes envelhecidos e também resultados obtidos sobre uma MB produzida em central betuminosa e aplicada numa via rápida em Itália. Foi efetuada igualmente uma comparação com uma MB com 30%RA mas sem qualquer tratamento. Os ensaios foram realizados sobre carotes extraídas do pavimento de forma a eliminar possíveis dúvidas sobre a influência da mistura de betume virgem com betume envelhecido nas propriedades finais das MBs.

A MB com 30%RA não cumpriu com as especificações em vigor, por larga margem, talvez devido á falta de tratamento do betume envelhecido do RA, não estando este, possivelmente, totalmente ativo (efeito “black rock”) e assim não contribuindo na sua totalidade para o desempenho da MB final. Apesar do acréscimo em 20% de RA, de 30% para 50%, o mesmo não se verificou na mistura com 50% de RA tratado com 4% de aditivo, validando assim esta tecnologia segundo as especificações em vigor e abrindo possivelmente o caminho a novos limites máximos de utilização de RA em novas MBs.

8 AGRADECIMENTOS

Este artigo contém resultados de trechos experimentais em Itália cuja organização e pós- avaliação foi coordenada e realizada pela “Università Politecnica delle Marche”, mais especificamente, pelos Professores Maurizio Bocci, Andrea Grilli e Edoardo Bocci.

ARIZONA CHEMICAL™, o logotipo ARIZONA CHEMICAL, e SYLVAROAD™ são marcas registradas, nos Estados Unidos da América e/ou em outros países, da Arizona Chemical Company, LLC. © Copyright 2015 Arizona Chemical Company, LLC. Todos os direitos reservados.

9 REFERÊNCIAS

1. “Waste Framework Directive” (2008/98/EC);
2. Decreto-lei 73/2011 de 17 de Junho;
3. JRC Scientific and Technical Reports, “Supporting Environmentally Sound Decisions for Waste Management. A technical Guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Lyfe Cycle Assessment (LCA) for Waste Experts and LCA Practitioners.”
4. European Commission COM (2015) 614/2, “Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the Eropean Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Closing the Loop – An EU Action Plan for the Circular Economy.”
5. <http://www.europarl.europa.eu/news/pt/news-room/20151201STO05603/Economia-circular-a-import%C3%A2ncia-de-reutilizar-produtos-e-materiais>
6. G. Fernandes, S. Capitão, L. Picado-Santos, Utilização de Resíduos de Construção e Demolição em Pavimentos Rodoviários, Congresso Rodoviário Português, 2013.
7. LNEC, “Guia para a reciclagem de Misturas Betuminosas a Quente em Central”, Especificação LNEC E 472, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2009.
8. EAPA report, “Asphalt in figures 2013”;

9. Rejuvenecimiento del ligante viejo para su reutilización en mezclas bituminosas con alta tasa de asfalto recuperable (RA). Grady W, Silverberg R, Severance R, Porot L, Broere D, Gomes V, (2014) Jornada Nacional ASEFMA, Comunicación 34
10. Hot recycling of reclaimed asphalt using Bio-based additive, Bocci M, Grilli A, Bocci E, 8th International RILEM SIB Symposium.
11. The Hazard Communication Standard (HCS), Occupational Safety & Health Administration, United States Department of Labor, www.osha.gov/dsg/hazcom/
12. ANAS (2010) Capitolato speciale di appalto, Parte 2ª Norme tecniche per pavimentazioni stradali/autostradali Autostrade per l'Italia (2008) Capitolato speciale di appalto, parte seconda, opere civili.
13. Autostrade per l'Italia. Capitolato speciale di appalto, parte seconda, opere civili. 2008.