

FORMULAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE LIGANTES NUMA MISTURA BETUMINOSA COM UMA TAXA DE RECICLAGEM ELEVADA

Liliana Abreu¹, Joel R.M. Oliveira² e Hugo M.R.D. Silva²

¹ Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal, email: id4217@alunos.uminho.pt,

² Universidade do Minho, Centro do Território, Ambiente e Construção (C-TAC), Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal

Sumário

Este trabalho visa o estudo de misturas recicladas com 50% de material fresado, no qual se faz uma análise mais exaustiva das características do ligante composto por material envelhecido e betume novo, ao qual se adicionou rejuvenescedor para avaliar a sua capacidade de regenerar as características do ligante resultante para se assemelhar a um betume novo convencional. Este estudo ainda apresenta a formulação da mistura reciclada, para se conseguir garantir que esta cumpre da melhor forma possível as exigências normativas impostas pelo caderno de encargos a outros tipos de misturas.

Palavras-chave: Reciclagem de misturas betuminosas a quente; elevadas taxas de reciclagem; caracterização do material fresado; formulação; rejuvenescedor.

1 INTRODUÇÃO

A necessidade cada vez mais vincada de reutilizar e tornar mais sustentável a vida em sociedade tornou cada vez mais comum o uso de misturas betuminosas recicladas (MBR). Ao tornar mais comum a reutilização de material fresado (MF), têm surgido diversas técnicas de reciclagem [1] e o seu consequente aperfeiçoamento. Estas técnicas podem ser divididas de acordo com a localização onde a reciclagem é realizada, com a temperatura a que as misturas são executadas e, por último, de acordo com o tipo de ligante utilizado [2].

Uma outra questão que se tem tornado um centro de atenção é a incorporação da maior percentagem de MF [3]. No entanto, a necessidade de incorporar cada vez mais material obriga a um estudo mais pormenorizado dos constituintes do MF, sabendo desde logo que o MF contém agregados e betume envelhecido e, uma vez que estes vão ser adicionados a uma nova mistura, é necessário conhecer as características da MBR. Como se pode ver pela Fig. 1., a MBR irá incorporar os diversos componentes do MF e novos materiais que serão adicionados, isto é, betume novo e agregados.

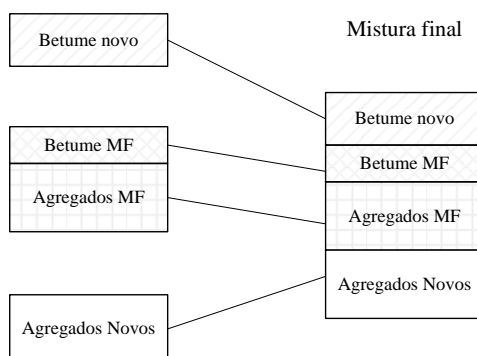


Fig. 1. Estrutura da Mistura final (adaptado de [4])

Além do estudo pormenorizado do MF, quando a percentagem de betume envelhecido adicionado é relativamente elevada, poderá ser necessário utilizar um rejuvenescedor de modo a conferir mais trabalhabilidade ao betume. A aplicação de rejuvenescedores tem sido cada vez mais usada [5, 6], tendo-se comprovado a sua eficácia. Neste estudo optou-se por usar um rejuvenescedor que permite maximizar a trabalhabilidade sem acrescentar custos à mistura final. Assim sendo, escolheu-se um óleo usado de motor (OUM) que já foi utilizado com sucesso no passado para esse fim [7].

No âmbito da reciclagem com elevada percentagem de RAP é fundamental estudar as propriedades do ligante resultante da conjugação do betume envelhecido com o betume novo, de modo a garantir um adequado desempenho das misturas resultantes no pavimento. De facto, o rejuvenescimento do betume irá permitir melhorar a flexibilidade do ligante e da mistura, o que irá resultar numa redução do custo do ciclo de vida desta solução. Desta forma, e devido à importância crescente de se reutilizar maiores quantidades de material fresado nos pavimentos, este estudo demonstra ter mais-valias objetivas a nível tecnológico e económico.

No sentido de perceber de que forma as características dos MF influenciam a formulação e as propriedades das misturas recicladas, procedeu-se a um estudo pormenorizado que permitiu determinar de que forma o betume se distribui no MF e de que forma a granulometria influencia as novas misturas. Por último, pretendeu verificar-se de que forma a adição de OUM influencia as propriedades do ligante e o consequente comportamento da mistura quando aplicada em obra.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais usados

No presente estudo os materiais usados podem ser subdivididos em material novo e materiais reutilizáveis. No que respeita a materiais reutilizáveis, estes centram-se no MF e no óleo usado de motor (OUM), que será utilizado de modo a atuar como rejuvenescedor no betume envelhecido. No MF é possível distinguir desde logo dois componentes, o betume envelhecido e os agregados. De modo a completar a mistura e proceder à correção granulométrica da mesma foram adicionados agregados e betume novo. De referir que se utilizou um betume convencional 35/50, que é um dos betumes mais utilizados em Portugal.

Material Fresado

O MF utilizado resultou da fresagem de uma camada de desgaste, com cerca de 15 anos de serviço e que apresentava fendilhamento por fadiga. Devido aos anos de serviço em que esteve exposto aos agentes climáticos, será de esperar que o betume presente no mesmo se encontre num estado avançado de envelhecimento. De referir ainda que uma vez que este material foi retirado do pavimento de uma autoestrada, os seus agregados são de boa qualidade, devido ao elevado nível de exigência dos cadernos de encargos deste tipo de obras.

Agregados e Betume novo

Os agregados novos utilizados para o estudo são essencialmente rochas ígneas (granito), à exceção do filer, que é de origem calcária. A escolha deste tipo de agregados deveu-se essencialmente à disponibilidade dos mesmos na região onde o estudo foi realizado. Sendo normal o MF apresentar uma percentagem elevada de finos [7], os agregados novos que foram utilizados foram escolhidos de modo a constituírem cerca de 40% de material grosseiro (6/14) e apenas 10% de material fino (4/6, 0/4 e filer).

No que respeita ao betume novo adicionado, escolheu-se um dos betumes mais utilizados Portugal (neste caso, o betume 35/50). Para proceder à caracterização do betume recorreu-se aos ensaios de penetração (EN 1426), ponto de amolecimento (EN 1427) e viscosidade dinâmica para uma gama de temperaturas entre os 110 e os 180 °C, utilizando um viscosímetro rotacional, de acordo com um procedimento definido por Silva et al. [8].

2.2 Caracterização do MF

De modo a produzir misturas com melhores características, e tendo por base os métodos apresentados em [9], optou-se por proceder à separação dos materiais recorrendo ao processo de aquecimento do fresado a 60 °C, seguido de uma desagregação mecânica (colocando o fresado a seco na misturadora de laboratório durante dois minutos), ao que se seguiu a separação em duas frações com recurso a um peneiro de 8 mm.

Para ser possível formular uma mistura convenientemente procedeu-se à caracterização do MF. Para tal, foram realizadas as granulometrias das suas frações, recuperações de betume (de modo a posteriormente ser feita a caracterização do mesmo) e procedeu-se à determinação do teor em ligante de modo a determinar a quantidade de betume novo a adicionar na MBR.

Análise granulométrica do MF

A análise granulométrica da mistura foi realizada de acordo com a EN 12697-2. De modo a ser possível analisar com maior pormenor a amostra, realizaram-se as granulometrias antes e após a determinação do teor em ligante. As amostras analisadas foram previamente submetidas ao processo de desagregação referido anteriormente.

Percentagem de ligante

Para proceder à determinação da percentagem de ligante presente no MF, utilizou-se o Método de ignição indicado na norma EN 12697-39, que tem por base a incineração do ligante. Este ensaio foi realizado em várias amostras de modo a verificar se existia uma boa homogeneidade em todo o MF.

Complementarmente optou-se por realizar este ensaio em amostras da fração fina e da fração grossa do MF, confirmando a existência de maior percentagem de betume no material fino. De referir que o teor em betume presente no MF é essencial para a formulação da mistura, uma vez que condiciona a quantidade de betume que deve ser adicionada à nova mistura. Uma outra questão que torna importante esta determinação é o facto de existir a possibilidade de não se utilizar a totalidade do MF, dada a elevada percentagem de finos.

Recuperação e caracterização do ligante

Com o intuito de caracterizar o betume presente no MF, procedeu-se à recuperação do betume, que passa essencialmente por três fases: a primeira tem como objetivo separar o betume dos agregados grossos, com a utilização de tolueno como solvente do betume; a segunda fase passa pela separação das partículas de pequena dimensão da mistura líquida (tolueno e betume), recorrendo-se a uma centrifugadora; a última passa pela separação entre o tolueno e o betume, com recurso a um evaporador rotativo segundo a norma EN 12697-3.

Para proceder à efetiva caracterização do betume, recorreu-se aos ensaios de penetração (EN 1426), anel e bola, que permite determinar o ponto de amolecimento do betume (EN 1427) e ao ensaio de viscosidade dinâmica.

2.3 Formulação da Mistura Betuminosa Reciclada (MBR)

No que diz respeito à formulação das misturas, e tendo em vista determinar qual a percentagem ideal de betume final das mesmas, utilizou-se o método de Marshall, estudando cinco percentagens de betume distintas (4,0; 4,5; 5,0; 5,5 e 6,0), cujos provetes foram sujeitos ao ensaio de Marshall (EN 12697-34), de acordo com as recomendações do Anexo Nacional da norma EN 13108-1. Optou-se por incorporar 50% de material fresado, em que 30% é material fino e 20% é material grosso, sendo necessário considerar a percentagem de betume que se encontra presente neste para determinar a quantidade de betume a adicionar em cada caso.

Para se poder aferir o efeito do rejuvenescedor nas propriedades da mistura reciclada realizou-se apenas um estudo de formulação, não diferenciando entre a mistura com betume aditivado e não aditivado, considerando-se a mesma percentagem ótima de betume para ambas as misturas.

2.4 Estudo de rejuvenescimento do betume

O processo de aditivação/rejuvenescimento do betume tem como objetivo tornar o betume presente na mistura final idêntico a um betume convencional. Assim sendo e assumindo como referência as características do betume novo adicionado, para a segunda mistura pretendeu obter-se um betume final com a mesma classe de penetração.

Por se tornar impraticável proceder à recuperação de uma quantidade elevada de betume envelhecido (presente no MF), nesta parte do estudo optou-se por substituir esse betume por um betume novo com características idênticas (neste caso, um betume 10/20), o que permitiu avaliar a influência da adição de diferentes percentagens de rejuvenescedor, para além de estudar as características do betume presente na mistura não aditivada.

Relativamente à aditivação do betume com OUM foram testadas duas percentagens (3 e 6%), sendo o betume final obtido pela mistura dos dois tipos de betume a 150 °C durante 5 minutos (digestão), após os quais se adiciona o OUM e se espera mais 5 minutos para recolher uma amostra homogénea.

2.5 Caracterização das misturas

Para avaliar o desempenho das duas misturas executadas, a primeira com a incorporação de MF e a segunda com incorporação de MF e betume aditivado com OUM, recorreu-se ao ensaio de sensibilidade à água (EN 12697-12). Este ensaio permite ter uma noção da forma como a adesividade do betume é condicionada, bem como até que ponto a adição de OUM pode comprometer a mistura quando submetida a condições climatéricas adversas.

3 ANÁLISE DE RESULTADOS

3.1 Caracterização do MF

Numa primeira fase e, de modo a verificar o efeito que o processo de desagregação tem sobre a mistura, recorreu-se à análise granulométrica antes e após o processo de desagregação (Fig. 2.). Analisando as curvas granulométricas obtidas, facilmente se conclui que existe uma diminuição significativa na dimensão máxima das partículas após o processo de desagregação, podendo-se concluir que esta é eficaz.

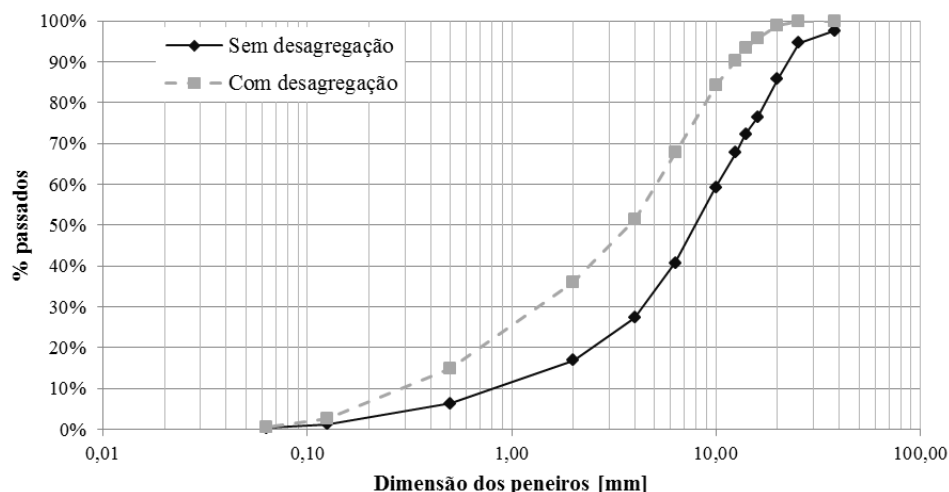


Fig. 2. Análise granulométrica do MF antes e após o processo de desagregação

Analisando a curva granulométrica do MF após o processo de desagregação, é possível verificar que ao considerar o peneiro 8 mm como o peneiro de separação entre a fração fina e a grossa apenas se obtém cerca de 30% de material grosso e 70% de material fino. De modo a respeitar a percentagem imposta para a adição destas frações, parte do material fino que foi separado não foi utilizado no estudo.

No que diz respeito à percentagem de ligante presente na amostra, realizou-se ensaios na amostra completa e nas amostras das frações fina e grossa. Obteve-se uma maior percentagem de ligante na fração fina, como se pode ver no Quadro 1, o que seria espectável, uma vez que são estas partículas que apresentam uma maior superfície específica.

Quadro 1. Percentagem de ligante presente no MF

Amostra	% de ligante
Fresado Total	5,4
Fração Fina	5,9
Fração Grossa	4,2

Após determinação da percentagem de ligante, recorreu-se novamente à análise granulométrica de modo a conhecer as verdadeiras dimensões dos agregados (Fig. 3.), uma vez que são estas as dimensões essenciais para a formulação da nova mistura. Analisando as curvas obtidas, é visível que na fração grossa estão presentes partículas de menores dimensões, o que é aceitável uma vez que é normal os agregados finos agregarem-se em partículas de maiores dimensões. No entanto, após a queima do betume (ligante que serve como aglomerador), as partículas conseguem separar-se.

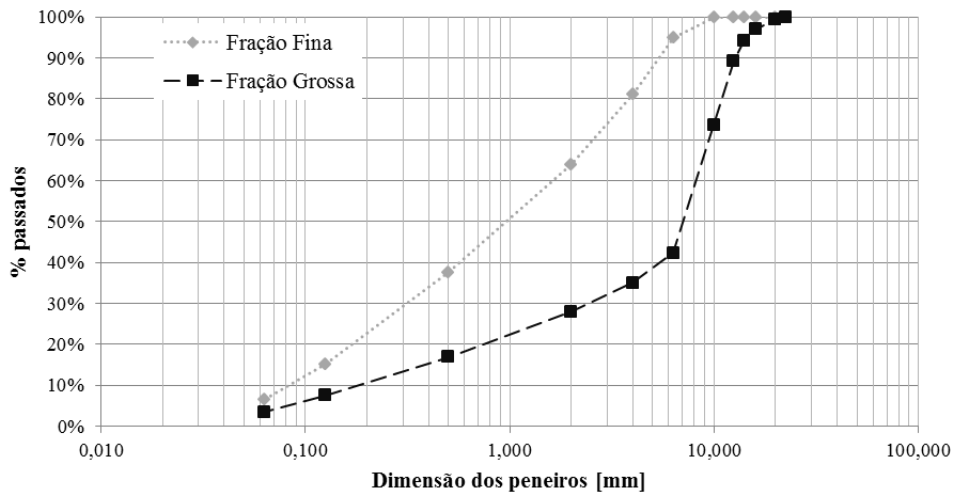


Fig. 3. Curvas granulométricas das frações fina e grossa após a incineração do betume

De modo a concluir a caracterização do MF, recorreu-se ao processo de recuperação de betume. A caracterização do mesmo encontra-se sintetizada na Fig. 4. e Fig. 5.. Analisando os resultados da penetração, é possível verificar que o betume presente na fração fina se encontra menos envelhecido. No caso do fresado total, seria de esperar que o valor da penetração fosse um pouco superior, contudo uma vez que o MF não é totalmente homogêneo podem existir pequenas diferenças no betume presente nas diferentes amostras ensaiadas.

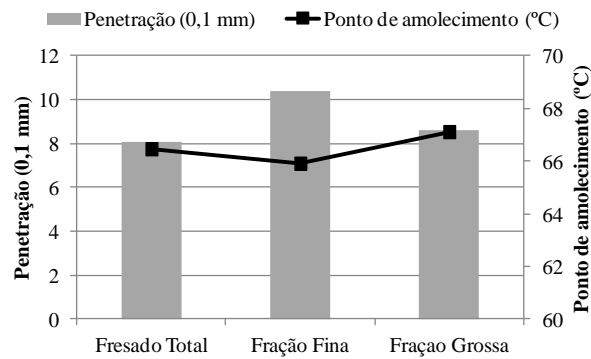


Fig. 4. Penetração e ponto de amolecimento dos betumes recuperados do MF

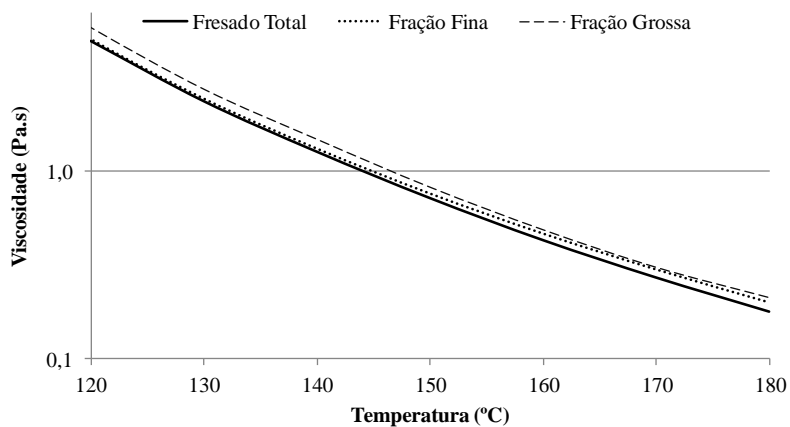


Fig. 5. Viscosidade dinâmica dos betumes recuperados do MF

No caso da análise de viscosidade e, tal como seria de esperar, não se observaram diferenças significativas entre as amostras de betume recuperado de cada fração, dadas as temperaturas elevadas a que o ensaio foi realizado.

3.2 Formulação da Mistura Betuminosa Reciclada (MBR)

Estudo de composição

No que respeita à formulação da MBR, de forma a manter a incorporação de 50% de material fresado, efetuaram-se de forma progressiva pequenas alterações nas percentagens de determinada dimensão de agregado. Observando o Quadro 2 é possível verificar que a percentagem de material fresado fino é sempre próximo dos 30% e do fresado fino próximo dos 20%. Quanto à percentagem de Pó 0/4 esta varia ligeiramente, de modo a otimizar o ajuste da curva granulométrica aos limites impostos pelo caderno de encargos para a mistura que está a ser formulada (AC 14).

Quadro 2. Resumo do estudo de composição das misturas estudadas pelo método de Marshall

		Percentagem de betume					
		4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	
Percentagem de cada material utilizado em cada mistura	Material Fresado	Fino	29,41 %	29,56 %	29,72 %	29,87 %	30,03 %
		Grosso	19,96 %	20,06 %	20,17 %	20,28 %	20,38 %
	Brita 6/14		38,10 %				
	Brita 4/6		5,00 %				
	Pó 0/4		4,54 %	4,28 %	4,02 %	3,75 %	3,49 %
	Filer		3,00 %				

Uma outra questão que é pertinente é a percentagem de betume, sendo conhecida a percentagem de betume presente em cada fração do MF. Conhecendo-se a percentagem de cada fração que vai ser adicionada é possível calcular a percentagem de betume novo que tem de ser adicionado. Os resultados estão sintetizados no Quadro 3.

Quadro 3. Percentagens de betume presente em cada componente da mistura

Percentagem de betume pretendida	Percentagem de betume presente		Percentagem de betume novo a adicionar
	Fração Fina	Fração Grossa	
4,0	1,8	0,8	1,4
4,5	1,8	0,8	1,9
5,0	1,8	0,8	2,4
5,5	1,8	0,8	2,9
6,0	1,8	0,8	3,4

Como é visível a percentagem de betume presente no MF mantém-se uma vez que se mantém a percentagem de cada fração a ser adicionada nas novas misturas.

Ensaio de Marshall

Após a produção das misturas, procedeu-se à compactação de 3 provetes cilíndricos que foram posteriormente ensaiados conforme indica a norma EN 12697-34. Os resultados desses ensaios encontram-se sintetizados nas Fig. 6. a Fig. 8.. Analisando os resultados e, tendo por base a norma anteriormente referida, é facilmente visível que a baridade aparente máxima ocorre para a percentagem de betume superior a 5,0%. Quanto ao volume de vazios e, considerando que este idealmente deverá ser de 4,0%, a percentagem de betume deve rondar os 5,1%. Por último a máxima estabilidade de Marshall dá-se para uma percentagem de betume abaixo dos 5,0%. Assim, é possível concluir que a percentagem ótima de betume é de aproximadamente 5,0%.

A condição de VMA superior a 14% verifica-se para todas as percentagens de betume testadas. Quanto à deformação Marshall, considerou-se aceitável a percentagem de 5,0%, uma vez que o maior aumento de deformação se dá para as percentagens superiores a 5,0%. Confirma-se assim que a percentagem ótima de betume a incorporar nas misturas deve ser de 5,0%.

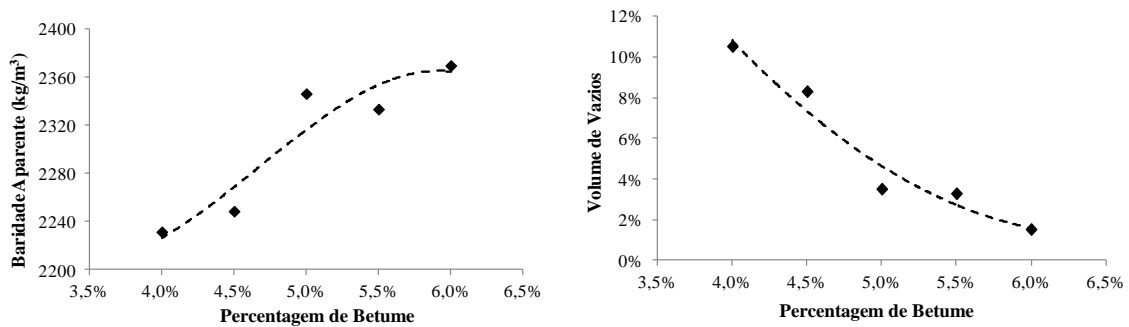


Fig. 6. Evolução da baridade aparente e do volume de vazios da mistura com a percentagem de betume

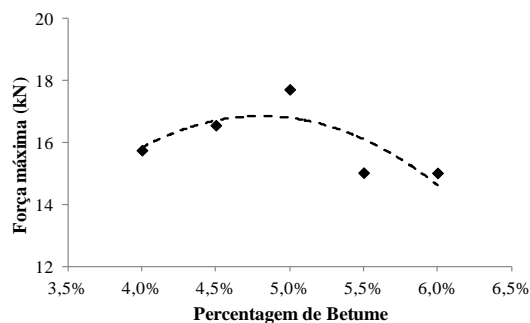


Fig. 7. Relação entre a percentagem de betume e a força máxima ou estabilidade da mistura

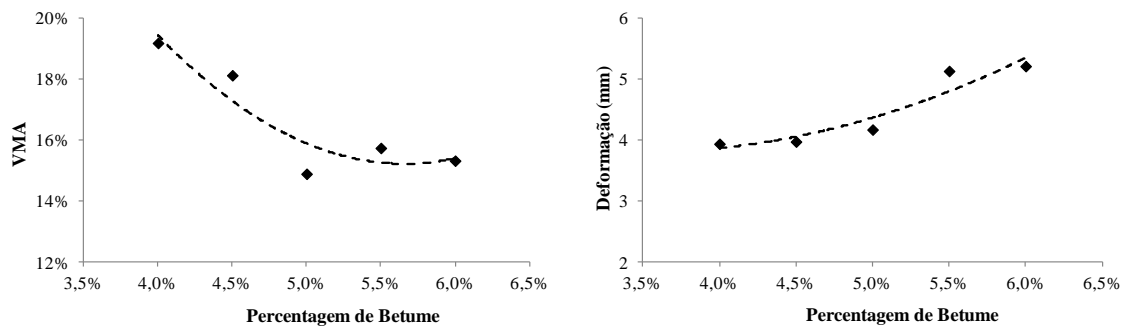


Fig. 8. Relação entre a percentagem de betume e os vazios no esqueleto de agregado (VMA) ou a deformação Marshall da mistura

3.3 Estudo de rejuvenescimento do betume

De modo a perceber qual a percentagem ideal de óleo a adicionar ao betume, optou-se por estudar cuidadosamente todos os betumes envolvidos no estudo. Numa primeira fase, analisaram-se os betumes comerciais (10/20 e 35/50), após o que se procedeu à mistura destes dois betumes para fabricar o betume de base (equivalente ao betume presente na mistura reciclada sem aditivação). Tendo em atenção a proporção que o betume envelhecido representa na mistura final (52,2%) voltou-se a analisar o betume obtido. Por último, foi adicionado o OUM, nas percentagens de 3,0% e 6,0%, tendo sido igualmente analisadas as características dos betumes resultantes. Os resultados estão resumidos nas Fig. 9. e Fig. 10.

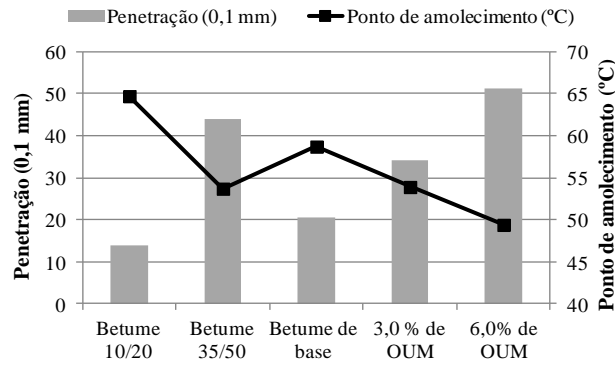


Fig. 9. Penetração e ponto de amolecimento dos betumes ensaiados

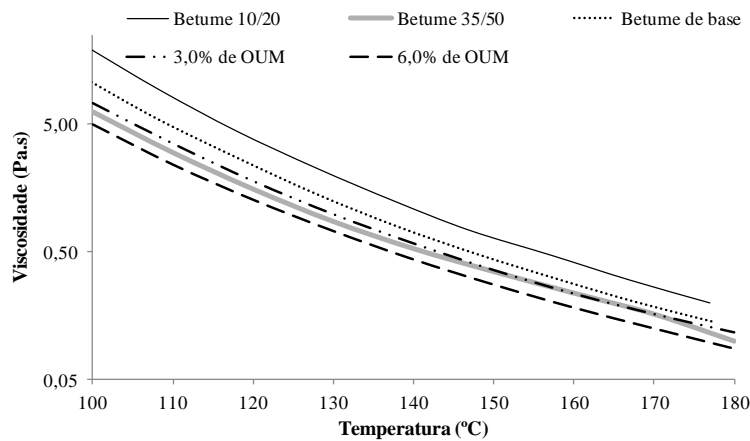


Fig. 10. Viscosidade dinâmica dos betumes estudados a diferentes temperaturas

Analisando os resultados de penetração dos betumes aditivados, é possível concluir que a percentagem ótima de OUM a utilizar é de cerca de 5,0%, de forma a obter um betume idêntico ao betume novo convencional, como é visível na Fig. 11. Apesar da percentagem ótima de OUM obtida na Fig. 11 ser ligeiramente inferior ao valor referido (5%), considerou-se adequado este valor de modo a precaver a existência de um betume envelhecido ligeiramente mais duro do que o betume 10/20 utilizado no estudo.

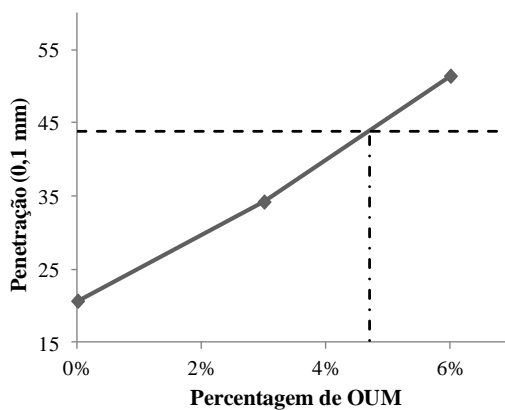


Fig. 11. Evolução da penetração face ao aumento da percentagem de OUM adicionado

3.4 Caracterização das misturas

Tal como referido anteriormente foram avaliadas duas misturas, com idêntica composição granulométrica e percentagem de betume, diferindo apenas na utilização ou não de OUM como rejuvenescedor do betume.

Após a produção das misturas, ambas foram compactadas em lajetas, das quais foram extraídos carotes que se submeteram ao ensaio de sensibilidade à água. De referir que no processo de produção das lajetas foi possível verificar que a mistura sem aditivos mostrou-se mais difícil de compactar do que a mistura com betume aditivado com OUM.

Analisando os resultados obtidos (Fig. 12.) e começando pela análise do ITSR é possível verificar que a mistura sem aditivos apresenta um valor de ITSR inferior, o que significa que esta mistura apresenta uma maior sensibilidade à água, sendo mais suscetível às condições climáticas. Analisando os resultados do volume de vazios verifica-se que a mistura com maior valor de ITSR possui um menor volume de vazios, o que pode ser explicado pela menor dificuldade em compactar essa mistura (como referido anteriormente). Por outro lado, foi possível obter uma melhor ligação entre o betume e os agregados dessa mistura, reduzindo a sua sensibilidade à água.

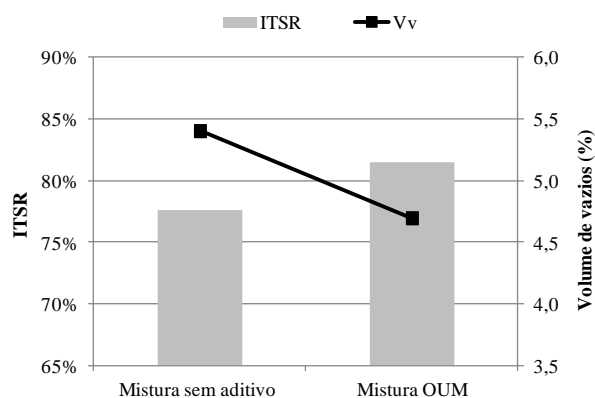


Fig. 12. Resumo dos resultados obtidos

Apesar da sua maior sensibilidade à água, é possível verificar que a mistura sem aditivos apresenta um valor de resistência à tração indireta (ITS) bastante superior (Quadro 4), função do betume mais duro presente na mistura final. Este resultado indicia um maior módulo de rigidez da mistura, que poderá aumentar a sua resistência à deformação permanente, mas reduzir a sua resistência ao fendilhamento por fadiga.

Quadro 4. Resumo dos valores de ITS

	ITS médio (kPa)	
	Provetes secos	Provetes molhados
Mistura sem aditivo	2232,14	1731,46
Mistura com 5% de OUM	1321,02	1076,83

4 CONCLUSÕES

Analisando os resultados obtidos e, começando pela caracterização do material fresado, é possível concluir que uma correta análise de todos os componentes pode influenciar significativamente a formulação da mistura final, nomeadamente, no que diz respeito à percentagem de betume presente na mistura, uma vez que esta varia de acordo com a fração de material que está a ser analisada. Por outro lado, fazendo uma separação do material fresado em diferentes frações é possível cumprir mais facilmente os limites especificados nos cadernos de encargos, passando eventualmente pela rejeição de parte de uma fração do material fresado. Isso tem implicações na percentagem de betume final da mistura influenciando a precisão do estudo de formulação.

Relativamente à aditivação de betume e, analisando os valores de penetração obtidos, é possível apurar que o OUM funciona realmente como um rejuvenescedor, sendo possível utilizar este aditivo com um valor comercial baixo, que substitui uma parte do betume novo (componente mais caro das misturas), aumentando assim a percentagem de material reciclado a ser adicionado na mistura e reduzindo o seu custo final.

Verificando os valores de sensibilidade à água, conclui-se que a mistura com OUM apresenta uma menor sensibilidade. No entanto, e analisando os valores de ITS em seco é possível constatar que a mistura com OUM apresenta resultados bastante baixos, o que significa que o seu módulo de rigidez será mais baixo do que a mistura sem aditivo.

Como conclusão final é possível verificar que a análise cuidada de todos os componentes dos materiais fresados associadas à utilização de rejuvenescedores que têm pouco valor comercial permite produzir misturas betuminosas com taxas de reciclagem elevadas, em alternativa às misturas betuminosas convencionais, contribuindo para dar um melhor fim a materiais que são considerados resíduos. No entanto, será necessário avaliar mais pormenorizadamente o comportamento das misturas finais, nomeadamente ao nível da sua resistência à deformação permanente e à fadiga.

5 AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional Fatores de Competitividade – COMPETE e por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto “PLASTIROADS” PTDC/ECM/119179/2010 e do Projeto Estratégico UI 4047 – 2011-2012 do Centro do Território, Ambiente e Construção.

Os autores gostariam ainda de agradecer à Pedreira “Bezerras, Lda.”, pelo fornecimento dos agregados, e às empresas Cepsa S.A., pelo fornecimento do betume, e Betominho, Sociedade de Construções S.A., pelo fornecimento do material fresado, materiais indispensáveis para a realização do presente estudo.

6 REFERÊNCIAS

1. Dinis-Almeida, M., J. Castro-Gomes, and M.d.L. Antunes, *Mix design considerations for warm mix recycled asphalt with bitumen emulsion*. Construction and Building Materials, 2012. **28**(1): p. 687-693.
2. Branco, F., P. Pereira, and L.P. Santos, *Pavimentos Rodoviários*, in *Pavimentos Rodoviários*, S. Edições Almedina, Editor 2005: Coimbra. p. 294 - 333.
3. Navaro, J., et al., *Observation and evaluation of the degree of blending of reclaimed asphalt concretes using microscopy image analysis*. Construction and Building Materials, 2012. **37**(0): p. 135-143.
4. Aravind, K. and A. Das, *Pavement design with central plant hot-mix recycled asphalt mixes*. Construction and Building Materials, 2007. **21**(5): p. 928-936.
5. Shen, J., S. Amirhanian, and B. Tang, *Effects of rejuvenator on performance-based properties of rejuvenated asphalt binder and mixtures*. Construction and Building Materials, 2007. **21**(5): p. 958-964.
6. Widyatmoko, I., *Mechanistic-empirical mixture design for hot mix asphalt pavement recycling*. Construction and Building Materials, 2008. **22**(2): p. 77-87.
7. Silva, H.M.R.D., J.R.M. Oliveira, and C.M.G. Jesus, *Are totally recycled hot mix asphalts a sustainable alternative for road paving?* Resources, Conservation and Recycling, 2012. **60**: p. 38-48.
8. Silva, H., et al., *Evaluation of the rheological behaviour of Warm Mix Asphalt (WMA) modified binders*, in *7th International RILEM Symposium on Advanced Testing and Characterisation of Bituminous Materials*, A. Loizos, et al., Editors. 2009: Rhodes, GREECE. p. 661-673.
9. Oliveira, J.R.M., et al., *Effect of Different Production Conditions on the Quality of Hot Recycled Asphalt Mixtures*. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2012. **53**(0): p. 266-275.