

EFEITO DO USO DE DIFERENTES TIPOS DE EMULSÕES NO ESTUDO DE MICROAGLOMERADOS BETUMINOSOS A FRIO

Caroline F.N. Moura ¹, Joel R.M. Oliveira ¹, Hugo M.R.D. Silva ¹

¹ Universidade do Minho, Departamento de Engenharia de Civil, ISISE, 4800-058 Guimarães, Portugal; email: id8972@alunos.uminho.pt

Sumário

O microaglomerado betuminoso a frio é uma tecnologia de conservação preventiva que envolve a aplicação de uma mistura de emulsão modificada, agregado, filer e água, à temperatura ambiente. Embora seja uma técnica amplamente utilizada, necessita de estudos sobre o processo de formulação e a composição ideal da mistura. Este estudo tem como objetivo avaliar a influência do tipo de emulsão betuminosa na formulação de microaglomerados. Assim, foram preparadas diversas misturas variando o tipo de emulsão e a percentagem de água e cimento. Constatou-se que a formulação de microaglomerados é uma tarefa complexa de um sistema com múltiplas interações químicas.

Palavras-chave: Emulsão betuminosa; mistura betuminosa a frio; microaglomerado; características superficiais.

1 INTRODUÇÃO

As misturas betuminosas produzidas a frio desempenham um papel importante na construção e conservação de pavimentos flexíveis sustentáveis e ecológicos. A sua popularidade tem vindo a aumentar devido ao seu baixo impacto no meio ambiente e à consequente maior sustentabilidade, por comparação com as tecnologias de pavimentação a quente. Nesse contexto, a técnica de microaglomerado betuminoso a frio deve ser destacada. Esta é uma tecnologia de conservação preventiva que envolve a aplicação de uma mistura de emulsão modificada, agregado com uma granulometria apropriada, filer (na maior parte dos casos, cimento), água e eventuais aditivos à temperatura ambiente [1, 2].

De acordo com Dash e Panda [3] embora a tecnologia de mistura a frio tenha várias vantagens como segurança, economia de energia, inexistência de emissão de gases nocivos e facilidade na colocação da mistura de pavimentação em diferentes condições atmosféricas, ainda não foi suficientemente investigada. O mesmo ocorre com o microaglomerado betuminoso a frio, que embora seja uma técnica amplamente utilizada, ainda carece de mais estudos sobre métodos de formulação e avaliação do desempenho.

Neste sentido, este trabalho, tem como finalidade perceber qual a influência que a utilização de diferentes tipos de emulsão na formulação de misturas de microaglomerado tem na definição da quantidade de água e cimento.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os microaglomerados betuminosos a frio são misturas compostas basicamente por emulsão, agregado, filer e água. Segundo Bhargava et al. [1], como o desempenho do microaglomerado é significativamente influenciado pela qualidade dos materiais utilizados, entender o comportamento e os parâmetros que influenciam as propriedades de cada componente é fundamental para garantir a durabilidade da mistura.

Os materiais utilizados neste trabalho foram o agregado basáltico, nas frações 0/6 e 0/8, cimento Portland como filer, água e três tipos de emulsão betuminosa modificada.

2.2 Caracterização dos agregados

Os agregados para camadas superficiais devem cumprir os requisitos definidos na Norma Europeia EN 13043 que especifica as propriedades e métodos de ensaios adequados para a caracterização dos mesmos. Para se conhecer bem as propriedades dos agregados e perceber a influência do seu comportamento no fabrico da mistura, foram efetuados ensaios de análise granulométrica, resistência ao desgaste, massa volúmica e absorção de água.

2.2.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada de acordo com a Norma Portuguesa NP EN 933-1, e permitiu determinar a curva granulométrica dos agregados selecionados e consequentemente perceber se os mesmos estão de acordo com as especificações do caderno de encargos da Infraestruturas de Portugal [4].

Para a realização do ensaio foram obtidas amostras das frações 0/6 e 0/8 dos agregados através do método de esquadramento. Inicialmente as amostras foram secas em estufa a 110 °C por 24 h. Após a secagem a amostra foi pesada e colocada na coluna de peneiros da série europeia com malhas cuja abertura está compreendida entre 10 mm e 0,063 mm.

2.2.2 Resistência ao desgaste

O ensaio de resistência ao desgaste por atrito em meio húmido dos agregados é especificado pela Norma Europeia EN 1097-1 e é expresso através do coeficiente micro-Deval, que reflete a resistência ao desgaste das partículas de agregado. O coeficiente micro-Deval é determinado em função da porção da amostra original de 500 g reduzida a uma dimensão inferior a 1,6 mm, após um período de desgaste de 120 minutos. O ensaio baseia-se na medição do desgaste produzido pelo contacto entre os agregados e uma carga abrasiva, no interior de um tambor rotativo na presença de água durante esse tempo.

2.2.3 Massa volúmica e absorção de água

A determinação da massa volúmica e da absorção de água foi realizada conforme preconizado na NP EN 1097-6. Para a realização do ensaio os agregados foram lavados em cima do peneiro com abertura de 0,063 mm e posteriormente obteve-se a sua massa volúmica e absorção de água pelo método do picnómetro.

2.3 Caracterização das emulsões

Neste projeto foram utilizados dois tipos de emulsões (C60BP4 e C65BP4), ou seja, ambas modificadas com polímeros e da classe 4 para o índice de rotura, mas uma com 60%±2% e outra com 65%±2% de teor de ligante. No entanto, foram usadas três emulsões distintas, sendo duas provenientes de Itália, designadas por C60BP4_IT e C65BP4_IT, e uma de Portugal, designada por C60BP4_PT, escolhida de acordo com a indicação do caderno de encargos da Infraestruturas de Portugal [4] para utilização em microaglomerados betuminosos a frio.

2.3.1 Recuperação do ligante por evaporação

Para a recuperação do ligante de cada emulsão recorreu-se ao procedimento especificado na norma EN 13074-1. Segundo esta norma, a recuperação passa por evaporar toda a água contida na emulsão para poder posteriormente caracterizar o ligante residual. O procedimento consistiu em espalhar uma quantidade de massa conhecida de emulsão num tabuleiro e expor o tabuleiro com a emulsão à temperatura ambiente em condições normais de laboratório durante 24 horas. Passado esse tempo levou-se o tabuleiro à estufa a 50 °C por mais 24 horas. No final desse período retirou-se o tabuleiro da estufa e deixou-se arrefecer até atingir a temperatura ambiente, para depois se recolher todo o betume residual. De referir que o tabuleiro foi forrado com papel vegetal, o que não está definido em norma, para facilitar a retirada do ligante recuperado, tendo o cuidado de esticar e prender o papel para não haver rugas.

Após a recuperação do betume, como forma de se conhecer suas propriedades que podem influenciar as misturas, foram realizados ensaios de caracterização do mesmo, como penetração a 25 °C (EN 1426), temperatura de amolecimento (EN 1427), viscosidade dinâmica (EN 13302), coesão (EN 13589), recuperação elástica (EN 13398) e determinação do módulo de corte complexo no reómetro de pratos paralelos (EN 14770).

2.3.2 Índice de rotura

O índice de rotura é um número adimensional que corresponde à quantidade de carga de referência, em gramas, necessária para coagular 100 g de emulsão betuminosa. Para determinar o índice de rotura, de acordo com a Norma EN 13075-1 a uma quantidade especificada de emulsão betuminosa é adicionado um filer de referência a uma taxa uniforme com uma agitação constante. Quando se observa a rotura completa da emulsão, a quantidade de carga adicionada é determinada por pesagem, sendo o valor do índice de rotura igual à massa de filer (em gramas) multiplicada por 100 e dividida pela quantidade de emulsão (em gramas). Visto que o filer utilizado no ensaio foi do tipo Sikaisol, ao valor anterior aplica-se um fator de conversão de 1,3.

2.3.3 Adesividade das emulsões betuminosas aos agregados

O ensaio foi realizado com base na Norma Europeia EN 13614. Inicialmente pesou-se 200 g de agregados que foram lavados e deixados em estufa a 110 °C por 2 horas. Posteriormente, os agregados foram adicionados a uma quantidade de emulsão correspondente a 10 g de betume residual e misturados com uma espátula. A mistura foi então espalhada num tabuleiro forrado com papel vegetal e levada à estufa a 60 °C onde permaneceu por 24 h. Após esse período, a mistura foi transferida para um copo de vidro com 300 ml de água a 60 °C e novamente levada a estufa a 60 °C por 24 h. Por fim, foi avaliada a superfície do agregado revestida com emulsão.

2.4 Formulação das misturas

Na formulação de microaglomerados betuminosos a frio estabelece-se a composição da mistura de agregados e posteriormente determina-se a proporção ótima da emulsão betuminosa, água e cimento para obter-se uma boa trabalhabilidade da mistura e adequado comportamento mecânico e funcional durante a vida útil do pavimento. Nesse sentido, foram utilizados diferentes procedimentos de formulação da mistura, com o intuito de se verificar qual a percentagem ótima de água e de filer (cimento), para cada emulsão betuminosa estudada.

A preparação dos agregados consistiu em peneirá-los com a utilização do peneiro de 2 mm, para separar a parte grossa, acima de 2 mm, da parte fina do material (abaixo dessa dimensão).

As etapas para a preparação das misturas foram sempre as mesmas. Primeiro, foram adicionados 51 g do agregado fino, depois água, em quantidades variáveis entre as diferentes misturas estudadas, misturando até molhar todos os agregados de forma homogénea. Em seguida foi adicionado o cimento, também em quantidades variáveis entre misturas, sendo misturado de forma homogénea. Posteriormente foram adicionados 49 g do agregado grosso, e novamente água, em quantidades variáveis, misturando sempre até toda a mistura ficar homogénea. Por último foram adicionadas 12 g de emulsão. Para se poder aferir a influência do tipo de emulsão, esta quantidade foi mantida constante entre as várias misturas avaliadas.

Para determinar a quantidade ideal de água, foi realizado um ensaio, denominado “ensaio da pizza”, que consiste em moldar uma amostra da mistura em formato de pizza. Após 30 minutos, a pizza deve ser partida a meio e ter a sua superfície com cor preta e seu interior com coloração acastanhada. Após 60 minutos, toda a pizza deve apresentar coloração preta. Se não atingir a coloração desejada no tempo determinado, a quantidade de água deve ser reduzida.

Para verificar a quantidade ideal de cimento, foi realizado o “ensaio da bola”, que consiste em moldar a restante amostra da mistura em formato de bola, apertando sempre entre as mãos para tirar todo o excesso de água. Após 60 minutos, a bola deve ser deixada cair no chão de uma altura de 1,50 m e não deve partir-se. Se a bola se partir, a quantidade de cimento deve ser aumentada.

2.5 Ensaio de consistência

O ensaio de consistência tem como objetivo determinar o teor ideal de água para avaliar o potencial de trabalhabilidade e segregação da mistura de microaglomerado. No caso deste estudo, este ensaio teve como objetivo aferir se a quantidade de água determinada através do ensaio da pizza, se reflete no teor ideal de água para cada mistura.

O ensaio foi realizado de acordo com a Norma Europeia EN 12274-3. Para este ensaio deve utilizar-se um cone de 75 mm de altura e diâmetro de 40 mm e 90 mm na parte superior e inferior, respetivamente, uma espátula e

uma chapa metálica graduada em oito círculos concêntricos, cada um aumentando o raio em 10 mm. O ensaio consiste em preparar 400 g de mistura e vertê-la no cone, que está posicionado no centro da chapa metálica. Imediatamente, o cone é removido e a amostra pode circular livremente. O espalhamento da mistura é então medido em 4 pontos cujas direções diferem de 90° e a média dos 4 valores é denominada como consistência. A mistura que fornece um fluxo de 25 mm a 35 mm durante o ensaio de consistência é considerada como tendo trabalhabilidade apropriada [5].

3 RESULTADOS

3.1 Caracterização dos agregados

3.1.1 Análise granulométrica

Para se determinar a composição granulometria dos microaglomerados, a curva granulométrica da mistura de agregados estudados deve ser ajustada aos fusos granulométricos determinados pelo caderno de encargos da Infraestruturas de Portugal [4]. Para o ajuste ao fuso foram considerados o basalto 0/6 e 0/8. Por razões de limitações nas quantidades de material disponível, apenas foi possível estudar uma mistura de microaglomerado, de entre as três alternativas apresentadas no caderno de encargos da Infraestruturas de Portugal [4]. Assim, selecionou-se a mistura da 2ª aplicação num microaglomerado duplo, cujo melhor ajuste ao fuso granulométrico preconizado se apresenta na Fig. 1.

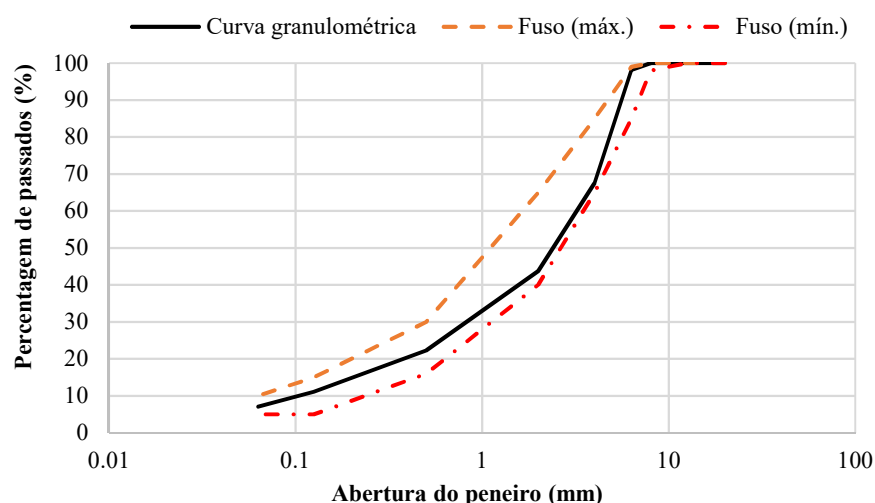


Fig. 1: Ajuste granulométrico da mistura de agregados ao fuso especificado para o estudo.

3.1.2 Resistência ao desgaste

O valor do coeficiente MDE do agregado basáltico em estudo (compreendida entre as dimensões de 4 mm e 6,3 mm) é de 9,7%. Este valor é significativamente mais baixo do que o valor limite de 25% estabelecido no caderno de encargos da Infraestruturas de Portugal [4], o que demonstra a adequabilidade deste agregado para o fim pretendido.

3.1.3 Massa volúmica e absorção de água

Os resultados do ensaio de massa volúmica e absorção de água dos agregados de basalto estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1. Resultados do ensaio de massa volúmica e absorção de água dos agregados.

Características	Unidade	Resultado
Massa volúmica aparente das partículas	Mg/m ³	2,78
Massa volúmica das partículas saturadas com a superfície seca	Mg/m ³	2,70
Massa volúmica das partículas secas em estufa	Mg/m ³	2,65
Absorção de água	%	1,85

3.2 Caracterização das emulsões betuminosas

3.2.1 Características do ligante recuperado por evaporação

Após a recuperação do betume por evaporação foram realizados os ensaios de caracterização do mesmo, cujos resultados estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2: Resultados dos ensaios de caracterização do betume recuperado das emulsões estudadas.

Características	C65BP4_IT	C60BP4_IT	C60BP4_PT
Penetração a 25 °C (0,1 mm)	53	53	116
Temperatura de amolecimento (°C)	56,6	63,2	50,0
Coesão (J/cm ²) a 5 °C	1,6	0,46	0,61
Recuperação elástica (%) a 25 °C	51	64	63

Em relação à norma NP EN 13808 de 2016, relativa às emulsões betuminosas catiónicas, os betumes recuperados das emulsões italianas podem ser classificados como pertencendo à classe 3 (≤ 100) e o betume recuperado da emulsão portuguesa é um betume da classe 4 (≤ 150). Em relação ao resultado da temperatura de amolecimento, o betume da emulsão C65BP4_IT pertence à classe 3 ($T_{A\&B} > 55$ °C), o betume da emulsão C60BP4_IT pertence à classe 2 ($T_{A\&B} > 60$ °C) e o betume da emulsão C60BP4_PT pertence à classe 5 ($T_{A\&B} > 46$ °C).

Com base nos resultados de coesão, verifica-se que o betume recuperado da emulsão C65BP4_IT apresenta um valor superior a 1 J/cm² à temperatura de 5 °C, correspondente à classe 4 da norma NP EN 13808, enquanto o betume recuperado da emulsão nacional apresentou um resultado superior a 0,5 J/cm² nas mesmas condições de ensaio (classe 5). O betume recuperado da emulsão italiana C60BP4_IT não atingiu o valor mínimo de coesão estabelecido para esta temperatura de ensaio, sendo por isso de uma classe de desempenho inferior. Os resultados do ensaio de recuperação elástica mostram que os betumes recuperados das três emulsões estudadas pertencem à classe 5 (com um valor superior a 50%).

A Fig. 2 apresenta o resultado do ensaio de viscosidade dinâmica e a Fig. 3 o resultado do ensaio de reologia. Com base nos resultados de viscosidade dinâmica, é possível concluir que o comportamento a temperaturas elevadas (acima de 100 °C) dos betumes das emulsões C65BP4_IT e C60BP4_PT é semelhante, enquanto o betume da emulsão C60BP4_IT tem um comportamento distinto, apresentando valores de viscosidade superiores para todas as temperaturas estudadas.

Em relação ao ensaio de reologia, verifica-se um comportamento algo distinto entre os três betumes recuperados estudados, havendo uma diminuição mais acentuada do módulo de corte complexo com o aumento da temperatura no caso do betume da emulsão C65BP4_IT, aproximando-se dos valores apresentados pelo betume da emulsão C60BP4_PT nas temperaturas mais elevadas, enquanto o betume da emulsão C60BP4_IT apresenta uma diminuição menos acentuada da rigidez com o aumento da temperatura.

Verifica-se que, apesar de todas as emulsões terem sido classificadas pelos produtores como pertencendo à classe 4 no que diz respeito ao índice de rotura (BP4), o tipo de ligante envolvido no seu fabrico apresentou características distintas em todos os ensaios realizados, o que poderá justificar comportamentos distintos nos resultados obtidos no estudo de formulação das misturas.

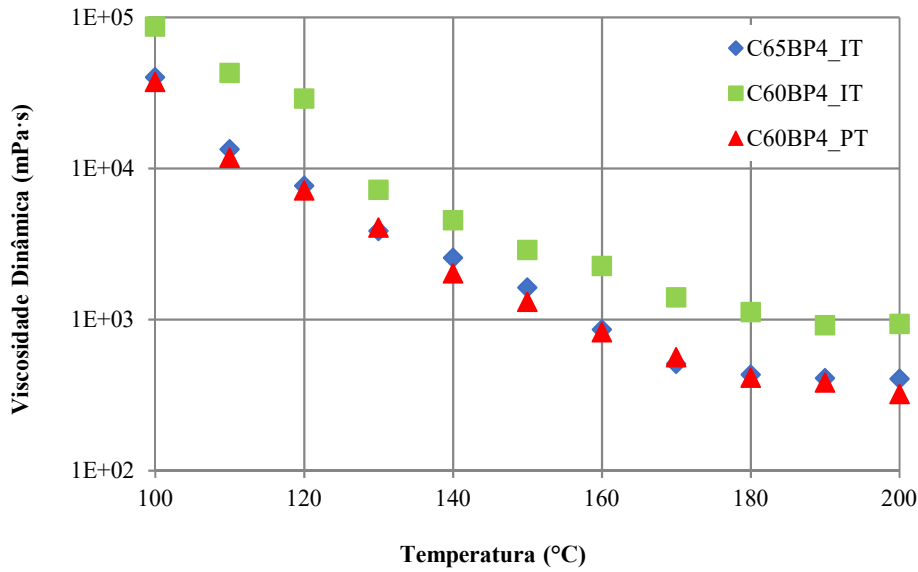


Fig. 2: Resultados do ensaio de viscosidade dinâmica do betume recuperado das emulsões estudadas.

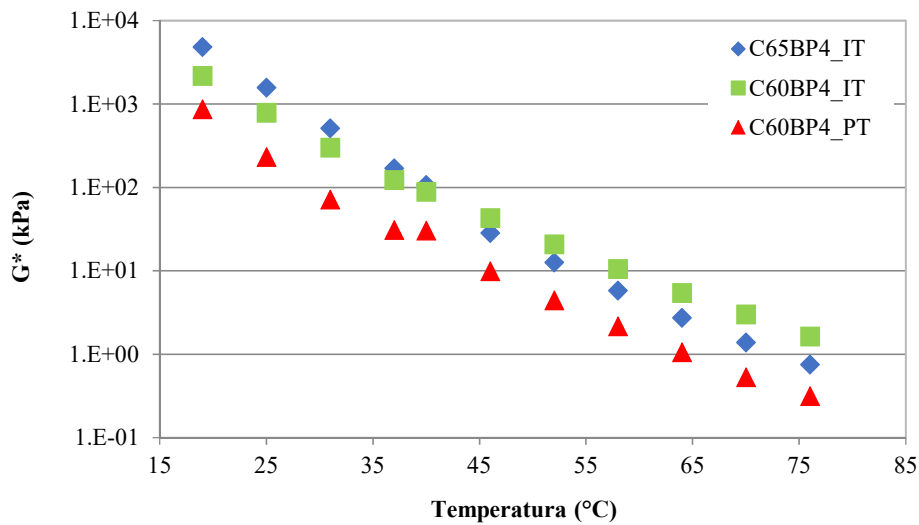


Fig. 3: Resultados de módulo de corte complexo do betume recuperado das emulsões estudadas.

3.2.2 Índice de rotura

O índice de rotura apresentado pelas emulsões foi de 121,9 para a emulsão C65BP4_IT, 158,3 para a emulsão C60BP4_IT e de 131,0 para a emulsão C60BP4_PT. Assim, todas as emulsões cumprem os valores especificados na norma NP EN 13808:2016 para a classe 4, cujos valores de índice de rotura devem estar compreendidos entre 110 e 195.

3.2.3 Adesividade de emulsões betuminosas

O resultado de adesividade para as emulsões C65BP4_IT e C60BP4_PT foi de 90% e para a emulsão C60BP4_IT de 75%. Em relação à norma NP EN 13808, de acordo com este parâmetro, a emulsão C60BP4_IT pode ser classificada como pertencendo à classe 2 ($\geq 75\%$), enquanto as emulsões C65BP4_IT e C60BP4_PT como pertencendo à classe 3 ($\geq 90\%$).

3.3 Formulação das misturas

Como referido anteriormente, a formulação das misturas foi um processo iterativo, onde se variou a quantidade de água e de filer (cimento) com a finalidade de se encontrar a formulação ideal da mistura para cada emulsão estudada.

3.3.1 Mistura produzida com a emulsão C65BP4_IT

A primeira composição realizada com a emulsão C65BP4 proveniente de Itália, consistiu em adicionar 10% de água, após a adição do agregado grosso e de 2,0% de cimento. Porém, verificou-se um excesso de água na mistura, tornando-a muito líquida e a pizza não modificou sua cor ao final de 30 minutos, além de não adquirir consistência, partindo-se em diversos pedaços. Além disso, a bola partiu-se em diversos pedaços ao cair ao chão.

Na segunda tentativa, foram adicionadas 8% de água, sendo 4% adicionadas ao agregado fino e outros 4% após a adição do agregado grosso. Verificou-se que a adição de água em duas fases deixa a mesma mais consistente e sem a aparência de excesso de água. Porém, com essa quantidade de água, a pizza só alterou a cor ao fim de mais de 2 h. A quantidade de cimento foi aumentada para 2,5% e a bola já não partiu ao ser deixada cair ao chão.

Dessa forma, preparou-se uma nova mistura, considerando os mesmos 2,5% de cimento e diminuindo a quantidade de água para 6%, sendo misturadas 3% no agregado fino e 3% após a adição do agregado grosso. Essa configuração resultou numa mistura mais consistente, obtendo-se sucesso nos dois ensaios, ou seja, a pizza curou após 1 h e a bola não se partiu ao cair no chão. A Fig. 4 apresenta a mistura antes e depois da realização dos ensaios.



Fig. 4: Amostras preparadas com a emulsão C65BP4_IT antes e depois dos testes da pizza e da bola.

3.3.2 Mistura produzida com a emulsão C60BP4_IT

Uma vez que na composição da mistura realizada com a emulsão C65BP4_IT se verificou que a quantidade ideal de água seria cerca de 6% e a quantidade de cimento seria 2,5%, a primeira configuração realizada com a emulsão C60BP4_IT consistiu em adicionar essas mesmas quantidades de água e de cimento. Porém, verificou-se que a quantidade de água não era suficiente, resultando numa mistura com uma trabalhabilidade insuficiente.

Na segunda tentativa, foram adicionados novamente 2,5% de cimento e 8% de água, sendo 4% adicionadas ao agregado fino e 4% após a adição do agregado grosso. Com essa quantidade de água verificou-se que a mistura ficou mais fluida, permitindo a moldagem das amostras, quer para o ensaio da pizza, quer para o da bola, e os resultados obtidos nesses ensaios foram satisfatórios.

3.3.3 Mistura produzida com a emulsão C60BP4_PT

A primeira composição estudada com a emulsão C60BP4_PT foi realizada com as quantidades definidas na emulsão anterior, por se tratar de uma emulsão da mesma classificação. Portanto, foram adicionados 2,5% de cimento e 8% de água, sendo 4% adicionadas ao agregado fino e 4% após a adição do agregado grosso. Assim, verificou-se que a quantidade de cimento foi suficiente, mas a quantidade de água foi excessiva e a pizza levou mais de 1 h para mudar de cor tanto por dentro, quanto por fora.

Dessa forma, foi preparada uma nova mistura, considerando os mesmos 2,5% de cimento e diminuindo a quantidade de água para 6%, sendo misturadas 3% no agregado fino e 3% após a adição do agregado grosso. Essa configuração resultou em uma mistura mais consistente e a pizza alterou a sua cor no tempo esperado.

3.4 Ensaio de consistência

O ensaio de consistência foi realizado da mesma forma para todas as misturas estudadas, sendo realizado mais de uma vez para cada mistura, até encontrar a quantidade de água ideal para cada formulação. Os resultados obtidos neste ensaio para as misturas produzidas com cada emulsão betuminosa estudada são apresentados em seguida.

3.4.1 Emulsão C65BP4_IT

Para o ensaio foram preparadas 400 g de mistura com a mesma configuração estipulada no capítulo anterior, ou seja, 51% de agregado fino, 49% de agregado grosso, 2,5% de cimento, 12% de emulsão e 6% de água.

A Fig. 5 apresenta o resultado do ensaio para essa emulsão, onde se verifica que a mistura espalhada, em três pontos situados em direções perpendiculares permaneceu em 25 mm, confirmando que a quantidade de 6% de água é a ideal para misturas com esse tipo de emulsão.



Fig. 5: Resultado do ensaio de consistência da mistura preparada com a emulsão C65BP4_IT.

3.4.2 Emulsão C60BP4_IT

Para este ensaio foram preparadas novamente 400 g de mistura com a mesma configuração estipulada no capítulo anterior, ou seja, 51% de agregado fino, 49% de agregado grosso, 2,5% de cimento, 12% de emulsão e 8% de água. Porém, a mistura espalhada, não ultrapassou o segundo círculo em três pontos situados em direções perpendiculares, confirmando que a quantidade de 8% de água é insuficiente para ter uma mistura com trabalhabilidade adequada.

Dessa forma, foi preparada uma nova mistura, aumentando a quantidade de água para 9%. A Fig. 6 apresenta o resultado do ensaio para essa nova configuração da mistura, na qual se verifica que a mistura espalhada permaneceu por volta de 30 mm em três pontos situados em direções perpendiculares, confirmando que a quantidade de 9% de água é a ideal para misturas com esse tipo de emulsão.

3.4.3 Emulsão C60BP4_PT

Para o ensaio foram preparadas 400 g de mistura com a mesma configuração estipulada no capítulo anterior, ou seja, 51% de agregado fino, 49% de agregado grosso, 2,5% de cimento, 12% de emulsão e 6% de água. Porém, a mistura espalhada ultrapassou o terceiro círculo em três pontos a 90°, confirmando que a quantidade de 6% de água é demasiada para a mistura.



Fig. 6: Resultado do ensaio de consistência da mistura preparada com a emulsão C60BP4_IT.

Dessa forma, foi preparada uma nova mistura, diminuindo a quantidade de água para 5%. A Fig. 7 apresenta o resultado do ensaio para essa nova composição, verificando-se que a mistura espalhada permaneceu entre 25 mm e 30 mm em três pontos situados em direções perpendiculares, confirmando que a quantidade de 5% de água é a ideal para misturas com esse tipo de emulsão.



Fig. 7: Resultado do ensaio de consistência da mistura preparada com a emulsão C60BP4_PT.

3.5 Composição das misturas após o ensaio de consistência

O Quadro 3 apresenta a composição final das misturas de acordo com as emulsões estudadas. Observa-se que todas as misturas ficaram com a mesma percentagem de filer, nesse caso cimento, na sua composição final.

Quadro 3: Composição final das misturas de microaglomerado betuminoso a frio.

Tipo de emulsão	Agregado fino (%)	Agregado grosso (%)	Emulsão (%)	Cimento (%)	Água (%)
C65BP4_IT	51	49	12	2,5	6,0
C60BP4_IT	51	49	12	2,5	9,0
C60BP4_PT	51	49	12	2,5	5,0

Em relação à quantidade de água, as misturas ficaram com percentagem diferentes. Observa-se que, apesar de terem a mesma classificação quanto ao índice de rotura, as emulsões C60BP4_IT e C60BP4_PT tiveram quantidades ótimas de água significativamente diferentes na composição final da mistura. As diferenças entre as emulsões, já evidenciam na Subsecção 3.2 quando se fez a caracterização das mesmas, evidenciaram que o tipo de

betume e de polímero utilizados em cada uma, as faziam diferir significativamente umas das outras, apresentando comportamentos distintos, o que pode ter influenciado a determinação da quantidade de água ótima na formulação final das misturas.

4 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo verificar a influência do tipo de emulsão betuminosa na composição ótima (quantidade de água e de cimento) utilizada na formulação de misturas de microaglomerado betuminoso a frio, uma técnica de pavimentação normalmente utilizada na conservação e reabilitação de pavimentos rodoviários. Salienta-se que a eficiência desta técnica depende das condições atmosféricas aquando do espalhamento bem como do estado do pavimento e da sensibilidade e experiência do operador. Neste estudo laboratorial foram utilizados basalto, como agregado, cimento, como filer, água e três emulsões betuminosas, sendo duas provenientes de Itália e uma emulsão nacional. Assim, produziram-se misturas de microaglomerado utilizando sempre o mesmo agregado e o mesmo tipo de cimento, variando-se o tipo de emulsão e as quantidades de água e de cimento para o estudo de formulação das misturas.

Concluiu-se que os três tipos de emulsão em análise obrigaram a utilizar a mesma quantidade de cimento (2,5%) para cumprir os valores especificados para os ensaios realizados neste trabalho. Por outro lado, a quantidade de água a adicionar à mistura variou com o tipo de emulsão utilizada. Observou-se que não é fácil encontrar a formulação ideal para misturas de microaglomerados betuminosos a frio, pois é um sistema fortemente influenciado pela composição dos agregados e principalmente das emulsões betuminosas, que são modificadas, resultando num processo com interações e reações químicas que são de difícil interpretação. Isso pode ser verificado através da comparação dos resultados das misturas preparadas com as emulsões C60BP4_IT e C60BP4_PT, que originam composições diferentes apesar de serem da mesma classe (quer em termos de teor em ligante, quer em termos de índice de rotura).

5 AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho gostariam de agradecer aos Técnicos do Laboratório de Transportes da Universidade do Minho, em particular ao Eng. Carlos Palha pela colaboração na preparação e realização de alguns dos ensaios. Adicionalmente, agradece-se às empresas (Basalti Orvieto, Valli Zabban, ITERCHIMICA e Galp) pelo fornecimento dos agregados e emulsões betuminosas utilizadas neste trabalho.

6 REFERÊNCIAS

1. N. Bhargava, A.K. Siddagangaiah, T.L. Rynthiang, State of the art review on design and performance of microsurfacing, *Road Materials and Pavement Design*, 21(8), pp. 2091-2125, 2020.
2. M. Zalnezhad, E. Hesami, Effect of steel slag aggregate and bitumen emulsion types on the performance of microsurfacing mixture, *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 7(2), pp. 215-226, 2020.
3. S.S. Dash, M. Panda, Influence of mix parameters on design of cold bituminous mix, *Construction and Building Materials*, 191, pp. 376-385, 2018.
4. Infraestruturas de Portugal, *Caderno de Encargos Tipo Obra: 14.03–Pavimentação Características dos materiais. vol. V*, Almada, 2014.
5. AUSTROADS, *Determination of Optimum Amount of Added Water for Bituminous Slurry (Consistency Test)*, pp. 5, 2018.