

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE MISTURAS BETUMINOSAS A FRIO PARA A REPARAÇÃO RÁPIDA DE PAVIMENTOS

Maria de Lurdes Antunes¹, Ana Cristina Freire², Daniel Fernandes² e Francisco Costa Pereira³

¹Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Conselho Diretivo, Avenida do Brasil, n.º 101, 1700 Lisboa, Portugal

email: mlantunes@lneec.pt <http://www.lneec.pt>

²Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Núcleo de Infraestruturas Rodoviárias e Aeroportuárias, Avenida do Brasil, n.º 101, 1700 Lisboa, Portugal

³EP - Estradas de Portugal, SA

Sumário

Neste trabalho apresentam-se as principais ações desenvolvidas e os resultados alcançados num estudo realizado pelo LNEC, em parceria com a EP, tendo em vista a avaliação da qualidade de misturas betuminosas a frio para reparação rápida de pavimentos em trabalhos de conservação de emergência, e o estabelecimento de exigências para inclusão em caderno de encargos para o fornecimento daquele tipo de produtos.

O estudo realizado compreendeu o desenvolvimento de ensaios em laboratório e a observação do comportamento de misturas aplicadas em obra, a par da recolha de informação relativa à experiência das equipas da EP com a utilização destes produtos. Face aos resultados obtidos até ao presente, são propostos alguns métodos de ensaio para caracterização das misturas em apreço e fixadas as principais características a que devem obedecer.

Palavras-chave: *Conservação de emergência; Misturas betuminosas a frio.*

1 INTRODUÇÃO

As misturas betuminosas a frio de reparação rápida assumem um papel importante na garantia de um determinado nível de serviço nas redes rodoviárias, em virtude de se poderem aplicar em qualquer zona da rede, sob adversas condições climáticas e com um mínimo de exigência relativamente aos equipamentos necessários à sua aplicação, sendo por isso uma solução interessante para trabalhos de conservação de emergência.

Face à escassez de informação que permita o estabelecimento de critérios objetivos para a seleção de misturas a frio de reparação rápida de pavimentos, bem como à enorme variedade de produtos com diferentes características e diferentes comportamentos em obra, a EP - Estradas de Portugal, S.A estabeleceu um Protocolo com o LNEC, tendo em vista o estabelecimento de métodos de ensaio para a caracterização do desempenho de misturas betuminosas a frio de reparação rápida de pavimentos e de critérios de aceitação/rejeição deste tipo de produtos.

Para a concretização dos objetivos do estudo, para além da pesquisa bibliográfica, foram recolhidas informações junto das equipas da EP responsáveis pela execução de trabalhos de conservação sobre as condições de aplicação e a durabilidade das misturas geralmente utilizadas, e desenvolvido um programa experimental sobre um conjunto de misturas consideradas representativas de uma gama alargada de tipos de comportamento observados. Os resultados do programa experimental desenvolvido foram posteriormente confrontados com o comportamento percecionado pelos técnicos da EP [1] e com o desempenho de misturas aplicadas numa mesma obra, que constitui um troço experimental que se encontra em observação.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental estabelecido teve como principais objetivos o desenvolvimento de métodos de ensaio laboratorial e a avaliação do comportamento das misturas em estudo, tendo em atenção os seguintes aspetos, considerados essenciais para uma boa durabilidade das reparações:

- (i) Trabalhabilidade das misturas quer recentemente adquiridas, quer no final do respetivo prazo de armazenamento;
- (ii) Coesão da mistura recém-aplicada, especialmente em presença da água;

(iii) Comportamento mecânico das misturas após a cura.

Face à reduzida experiência relatada na bibliografia a este respeito, o projeto envolveu, numa fase exploratória, o estudo da aplicabilidade, a este tipo de produtos, dos ensaios habitualmente utilizados para a caracterização, em laboratório, do desempenho de misturas betuminosas, incluindo a avaliação do seu comportamento mecânico. Tal implicou o estudo de metodologias de compactação e cura de provetes em laboratório, que permitissem simular as condições de compactação e cura das misturas em obra.

Relativamente ao processo de compactação dos provetes, após a realização de diversas tentativas de compactação mais ligeira (como aproximação à compactação em obra), constatou-se que para um número de pancadas inferior a 20 era muito difícil obter provetes íntegros, apesar de se terem ensaiado diversos procedimentos de cura em laboratório. A partir de 20 pancadas, a baridade dos provetes tende a estabilizar, obtendo-se valores de baridades da mesma ordem de grandeza para as 20, 30 e 50 pancadas. Atendendo à experiência adquirida considerou-se que seria adequada a utilização do compactador Marshall aplicando 50 pancadas em cada topo, para a preparação em laboratório de provetes cilíndricos.

Uma dificuldade com que se deparou, para além do estabelecimento do processo de compactação, foi o facto de os provetes recém-compactados apresentarem uma fraca coesão, desagregando-se facilmente quando retirados dos moldes antes de 48 horas após o fabrico. Por outro lado, a cura acelerada a temperaturas superiores a 45°C também conduzia à desagregação da maioria dos provetes, devido ao facto de a generalidade dos ligantes betuminosos possuírem reduzidas temperaturas de amolecimento.

Assim, uma primeira fase dos trabalhos para avaliação das características relacionadas com o comportamento das misturas a médio prazo, consistiu no estabelecimento do processo de cura a adotar para provetes compactados, tendo-se concluído que a cura dos provetes durante 2 dias a 45°C no interior do molde, seguida de 5 dias a 45°C envolvidos em rede mosquiteira, era adequada, perfazendo assim um total de 7 dias de cura.

Relativamente à trabalhabilidade das misturas, apenas se encontraram referências a métodos de ensaio aplicados no Canadá, que se revelaram de difícil aplicação em Portugal [2]. Optou-se assim, por uma classificação qualitativa com base na experiência dos operadores, muito embora se esteja a prosseguir o estudo de metodologias de ensaio menos subjetivas, para utilização futura.

Procurou-se avaliar a coesão da mistura recém-aplicada através de ensaios de escovagem sobre provetes recentemente compactados (com 24 a 48 horas de cura à temperatura ambiente) previamente imersos em água, utilizando um procedimento semelhante ao preconizado na norma EN 12697-10 [3], utilizando água em substituição do combustível. Constatou-se que os provetes naquelas condições (1 a 2 dias à temperatura ambiente) não resistiam à imersão em água, desagregando-se por completo, pelo que esta metodologia de ensaio foi abandonada. No entanto, concluiu-se que a avaliação da afinidade entre o ligante e o agregado através de uma adaptação do ensaio referido na norma EN 12697-11 (método A) [4], poderá dar uma indicação importante relacionada com a resistência das misturas recém-aplicadas à ação da água.

Foram selecionados 5 tipos de misturas betuminosas a frio, todas elas destinadas à reparação rápida de pavimentos em zonas localizadas (tapagem de covas). De acordo com as informações prestadas pelos respetivos fornecedores, as misturas ensaiadas eram constituídas por agregados de elevada qualidade, filler (nalguns casos identificado como filler calcário), e 3 tipos de ligante betuminoso: emulsão betuminosa ECM-1 “modificada” (uma mistura); betume 50/70 ou 35/50 com aditivo “fluxante” (uma mistura); ou “ligante betuminoso (pen 100) diluído em álcool branco e xileno” (3 misturas).

Os ensaios foram realizados em duas fases, que corresponderam a 2 conjuntos de amostras: uma primeira fase, na qual se realizaram diversos ensaios em laboratório e se efetuaram aplicações em covas abertas por carotagem nos arruamentos do LNEC; uma segunda fase, na qual se repetiram os ensaios considerados como mais exequíveis e se efetuaram aplicações de tapagem de covas de um troço de estrada em serviço.

3 RESULTADOS DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO

3.1 Composição das misturas e caracterização dos seus constituintes

Tendo em vista a identificação dos constituintes das misturas betuminosas ensaiadas, foi efetuada a caracterização dos agregados recuperados por centrifugação, através da análise granulométrica e da determinação do índice de achatamento, absorção de água e coeficiente Micro-Deval da mistura de agregados recuperados, de acordo com os métodos descritos nas normas Europeias aplicáveis [5], [6], [7], [8].

Sobre as amostras das misturas betuminosas foi efetuada a determinação do *teor em água* bem como da baridade máxima teórica [9], e da percentagem de ligante solúvel na mistura [10]. Estas determinações foram efetuadas

para as amostras objeto de estudo nas duas fases, com exceção da determinação da baridade máxima teórica que foi determinada apenas na primeira fase. Relativamente ao *teor em água*, anota-se que os resultados obtidos se referem à massa de material evaporado após secagem dos provetes a massa constante, previamente à extração do betume, que poderá não ser apenas água.

Nos Quadros 1 e 2, e na Fig. 1. apresentam-se os resultados obtidos para os vários produtos em estudo.

Quadro 1. Características físicas e geométricas dos agregados recuperados das misturas betuminosas estudadas na primeira fase

Características		MBF1	MBF2	MBF3	MBF4	MBF5	CE EP*	VTRC**
Dimensão das aberturas dos peneiros (mm)	10	100	100	100	100	100	70 a 90	95 a 100
	8	100	100	100	100	100	---	---
	6,3	100	89	91	88	86	---	---
	4	38	46	27	30	29	10 a 35	55 a 80
	2	12	7	12	14	16	0 a 5	9 a 35
	1	7	3	9	9	10	---	---
	0,5	6	2	7	6	7	---	---
	0,25	5	1	5	5	5	---	---
	0,125	4	1	4	4	4	---	---
0,063	3,5	0,8	2,9	3,3	3	0 a 2	0 a 2	
Coeficiente micro-Deval (Ensaio realizado na fração 4/6,3 mm)		11	18	23	15	28	---	---
Absorção de água dos agregados (%)		0,8	1,0	0,6	0,4	0,8	---	---
Índice de Achatamento (FI)		22	15	8	22	23	---	---

* - Exigências do CE da EP para Misturas Abertas a Frio aplicadas em trabalhos de conservação corrente [10]

** - Recomendações do *Virginia Transportation Research Council* para MBF de reparação rápida [12]

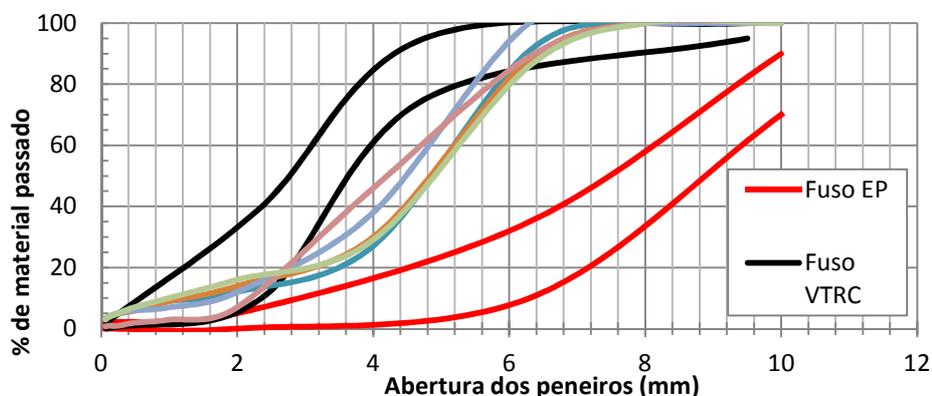


Fig. 1. Curvas granulométricas das misturas de agregados recuperados dos materiais em estudo e fusos granulométricos da EP e do VTRC

Quadro 2. Caracterização das misturas betuminosas e do ligante recuperado

Ensaio	1ª Fase					2ª Fase				
	MBF1	MBF2	MBF3	MBF4	MBF5	MBF1	MBF2	MBF3	MBF4	MBF5
Teor em água da mistura betuminosa (%)	0,352	2,021	0,065	0,611	0,370	0,097	2,224	0,256	0,89	5,042
Baridade máxima teórica (kg/m ³)	2484	2335	nd	2772	2436	nd	nd	nd	nd	nd
Percentagem de ligante betuminoso (%)	3,4	4,8	5,1	3,8	4,8	3,3	5,0	4,9	3,7	5,2
Tab (°C)	51	44	16,4(*)	45,6	23,6(*)	nd	nd	nd	nd	nd

nd – não determinado; Tab – Ponto de amolecimento pelo método do “anel e bola” do betume recuperado;

(*) A temperatura de amolecimento é inferior ao limite mínimo, de 28°C, preconizado na EN 1427 (2007).

Os resultados apresentados anteriormente indicam que as misturas ensaiadas possuem, no essencial, curvas granulométricas idênticas entre si, com dimensões máximas dos agregados da ordem de 8 mm, afastando-se expressivamente do fuso granulométrico indicado no CE da EP para “Misturas Abertas a Frio aplicadas em trabalhos de conservação corrente” [11], que corresponde a uma granulometria mais grosseira e contínua. As granulometrias obtidas encontram-se mais próximo do fuso preconizado pelo *Virginia Transportation Research Council* [12].

No que se refere à percentagem de ligante betuminoso observa-se que os valores obtidos para cada mistura na 1ª e na 2ª fase são da mesma ordem de grandeza, apesar dos valores de *teor em água* das misturas serem distintos. Anote-se que a quantificação da percentagem de ligante se efetuou após a secagem das amostras até massa constante, o que neste tipo de produtos é um importante passo a realizar, podendo implicar alguma demora.

3.2 Características relacionadas com o armazenamento, aplicação em obra e coesão da mistura recém-aplicada

A avaliação da estabilidade ao armazenamento é um fator relevante, uma vez que este tipo de misturas pode ser armazenado durante um período considerável, até à sua aplicação em situações de emergência. Assim, a generalidade das misturas são fornecidas com indicação de prazos de validade de 6 meses a um ano.

No decurso dos estudos realizados, observou-se que algumas das misturas apresentavam “escorrimento” do ligante após períodos de armazenamento da ordem de 6 meses com a embalagem fechada. Foram estudadas várias hipóteses de adaptação dos métodos de ensaio de drenagem dos ligantes utilizados em misturas betuminosas drenantes e SMA, para avaliar a estabilidade ao armazenamento, sem que se chegasse a resultados aceitáveis [1]. Face a esta situação, optou-se pela determinação da percentagem de ligante betuminoso residual de amostras retiradas do topo, centro e fundo dos baldes onde estas estavam armazenadas, como método para determinação da estabilidade ao armazenamento.

Quadro 3. Valores de teor de água e percentagem de ligante betuminoso residual das misturas estudadas

Parâmetro	Local de recolha da amostra	Identificação				
		MBF1	MBF2	MBF3	MBF4	MBF5
Percentagem de ligante betuminoso 1ª Fase (com período de armazenamento de 6 meses)	Topo da embalagem	3,7	4,8	4,5	2,0	4,1
	Centro da embalagem	3,4	5,0	4,7	2,1	4,0
	Fundo da embalagem	4,5	4,9	6,0	3,9	4,3
Percentagem de ligante betuminoso 2ª Fase (sem período de armazenamento)	Topo da embalagem	3,3	5,0	5,0	3,6	5,1
	Centro da embalagem	3,4	5,0	5,1	3,5	5,1
	Fundo da embalagem	3,4	4,8	5,0	3,8	5,2

Os resultados apresentados no Quadro 3 evidenciam que, ao fim de algum tempo de armazenamento (1ª Fase), se verifica uma migração do ligante betuminoso em profundidade em alguns dos produtos ensaiados, sendo também visível que todas as misturas se apresentavam homogêneas, no caso de não terem sido alvo de período de armazenamento (2ª Fase).

Face aos resultados apresentados considera-se que não é conveniente a ocorrência de diferenças na percentagem de ligante obtida em diversos pontos de uma mesma embalagem superiores ao valor usualmente estabelecido nos Cadernos de Encargos para a tolerância de fabrico das misturas ($\pm 0,3\%$). Estas diferenças verificaram-se em particular para as misturas MB1, MBF3 e MBF4, na avaliação efetuada durante a 1ª fase do estudo, que foi realizada após 6 meses de armazenamento. No entanto, os problemas derivados do escorrimento do ligante durante o armazenamento podem ser minimizados se previamente à aplicação da mistura, esta for homogeneizada pelo operador.

3.3 Coesão das misturas em presença da água

Considera-se que a manutenção da adesividade entre o ligante e o agregado em presença da água é uma característica essencial para a durabilidade deste tipo de materiais. Foram ensaiados diversos métodos para avaliação desta propriedade, referenciados na bibliografia americana, dos quais se destacam o VTM 13 [13] e a AASHTO TP41-94 **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**14]. A par destes métodos, foi ainda ensaiada uma adaptação do método descrito na parte A da norma EN 12697-11 [4], destinada à avaliação da afinidade entre ligantes betuminosos e agregados utilizados em misturas betuminosas a quente, que se verificou ser adequada para avaliação deste tipo de misturas [1].

No método descrito na parte A da EN 12697-11, a afinidade entre o agregado e o ligante é determinada pelo registo visual do nível de cobertura das partículas de agregado pelo ligante, após a agitação mecânica da mistura betuminosa na presença de água. Este ensaio é realizado à temperatura ambiente, sendo colocada água inicialmente à temperatura de 5°C, minimizando a formação de “grumos”, ou seja a associação de partículas, conforme preconizado na norma. O método utilizado no presente estudo foi, no entanto modificado relativamente ao estabelecido na norma, uma vez que se introduziu a mistura prefabricada nos recipientes, enquanto que o método preconizado na norma Europeia estabelece o fabrico de uma mistura de agregados com uma determinada percentagem de ligante para posterior avaliação da afinidade.

Na Figura 2 apresenta-se a evolução da percentagem de agregado revestido com ligante betuminoso ao longo do ensaio realizado para as amostras estudadas na 1ª e 2ª Fases.

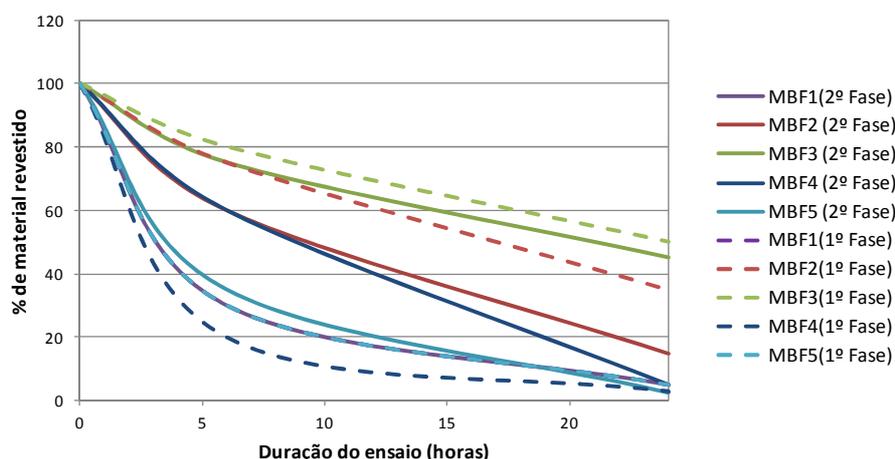


Fig. 2. Avaliação da afinidade entre o agregado e o ligante segundo o método da EN 12697-11 Parte A, modificado, das misturas estudadas

Os resultados apresentados na Figura 2 permitem constatar que existem diferenças significativas no comportamento exibido pelas misturas ensaiadas, destacando-se, por um lado, a mistura MBF3, que exibiu um comportamento excelente em ambas as fases e, por outro, as misturas MBF1 e MBF5, que apresentaram um comportamento significativamente pior.

3.4 Comportamento das misturas após cura

Face ao tipo de misturas em estudo, e ao tipo de aplicação a que se destinam, julgou-se oportuna a avaliação de propriedades mecânicas de provetes compactados de misturas betuminosas, submetidos a um processo de cura acelerada, e da eventual ação da água nas referidas propriedades. Os resultados desta avaliação destinavam-se a fornecer indicações sobre o comportamento da mistura a médio e a longo prazo.

Foram testados, durante a 1ª Fase do estudo desenvolvido, os seguintes métodos para ensaio de provetes cilíndricos preparados de acordo com o processo de compactação e cura descrito no capítulo 2:

- (i) Ensaios Marshall com temperatura do banho-maria de $(35 \pm 1)^\circ\text{C}$, em lugar dos 60°C estabelecidos na norma EN 12697-34+A1 [17];
- (ii) Ensaio Cântabro, para avaliação da coesão das misturas betuminosas pelos métodos preconizados na Norma Espanhola NLT 362/92 [15] e na Norma Europeia EN 12697-17 [16]; foram realizados ensaios a seco, e com imersão prévia em água a 35°C ;
- (iii) Ensaios de avaliação da sensibilidade à água em compressão diametral, de acordo com o método A da Norma Europeia EN 12697-12 [18].

Apesar das tentativas realizadas para desenvolver processos de compactação e cura dos provetes, os resultados obtidos em qualquer um dos ensaios anteriormente referidos não foram satisfatórios, uma vez que se obteve variabilidade excessiva para provetes de uma mesma mistura. Por outro lado, não foi possível obter provetes íntegros da mistura MBF3 para ensaio, sendo que esta mistura foi uma das que exibiu um melhor comportamento *in situ*, conforme se verá mais adiante. Por esta razão, optou-se por não incluir, para já, qualquer destes ensaios na proposta de especificação técnica para o fornecimento destes produtos.

4 COMPORTAMENTO DE MISTURAS APLICADAS EM OBRA

Durante a 2ª Fase do estudo foi efetuada a avaliação do comportamento das misturas em obra, através da sua aplicação num trecho experimental definido pela EP, que possuía algumas pequenas covas entretanto alargadas por auxílio de um martelo pneumático, procurando atingir apenas a camada superficial. Após a obtenção de um conjunto de covas de dimensões semelhantes, aplicaram-se as misturas para reparação rápida em estudo, sendo posteriormente efetuada a monitorização do seu comportamento ao longo do tempo.

As misturas foram aplicadas nas piores condições possíveis, ou seja na presença abundante da água e sem qualquer tipo de limpeza, (remoção dos finos), sendo que o tipo de compactação utilizada corresponde ao designado “*throw-and-roll*”, que consiste unicamente na passagem de um veículo sobre a zona intervencionada (Fig. 3) para compactação da mistura. Anote-se que este procedimento é frequentemente utilizado, tendo em conta a sua rapidez e exigência de pouca mão-de-obra qualificada.



Fig. 3. Aplicação das misturas betuminosas a frio de reparação rápida (sob condições adversas) “*throw-and-roll*”.

A metodologia de avaliação do comportamento das misturas betuminosas a frio de reparação rápida foi elaborada de acordo com a proposta apresentada por [12] que se baseia na avaliação dos seguintes tipos de degradações para cada quadrante:

Exsudação de betume (*bleeding*) – avaliação da percentagem de área onde se observa aglutinante libertado à superfície;

Assentamento (*dishing*) – medição da profundidade máxima da zona reparada, com uma régua de cerca de 1 metro de comprimento colocada perpendicularmente ao sentido do tráfego;

Desintegração dos bordos (*edge disintegration*) – avaliação da percentagem do perímetro da zona intervencionada onde se observam fissuras ou desprendimento de materiais;

Desagregação superficial (*ravelling*) – avaliação da perda de partículas à superfície, tendo em conta as suas dimensões e profundidade afetada;

Ondulação (*shoving*) - medição da diferença máxima entre cotas da superfície, com uma régua de cerca de 1 metro de comprimento;

Pelada (*missing patch*) - avaliação da percentagem da superfície reparada afetada pelo desaparecimento da mistura de reparação.

De acordo com a metodologia referida, cada reparação efetuada é dividida em quatro quadrantes sendo cada quadrante avaliado de forma independente, numa escala de 1 a 4, sendo 1 o valor correspondente a um mau desempenho e 4 o valor correspondente a um desempenho muito bom. Na Fig. 4 ilustra-se a aplicação da metodologia de avaliação mencionada.



Fig. 4. Divisão da reparação em quadrantes para avaliação

Adicionalmente foi considerado um outro critério de avaliação relacionado com a trabalhabilidade das misturas, que é sem dúvida uma característica fundamental para uma mistura de reparação mais eficaz e de aplicação mais rápida. Esta característica é classificada de acordo com a perceção do operador, tendo em atenção a dificuldade que sente, relativamente ao manuseamento do material durante a aplicação do produto. Neste caso, para facilitar a classificação, foram consideradas apenas 3 categorias de desempenho:

- - Mau desempenho;
- - Desempenho razoável;
- - Bom desempenho.

Uma vez realizada esta classificação, o desempenho da mistura quanto à sua trabalhabilidade na aplicação foi expresso numa escala de 1 a 4, através da multiplicação do resultado obtido por 4/3. Os critérios de classificação adotados encontram-se estabelecidos no Quadro 4.

Quadro 4. Critérios de avaliação estabelecidos para o desempenho de reparações

Indicador / escala	4	3	2	1
Exsudação (área afetada)	0% a 10%	10 a 30%	30% a 60%	> 60%
Assentamento (profundidade)	Não mensurável	< 6,4 mm	6,4 a 12,5 mm	> 12,5 mm
Desintegração dos bordos (perímetro afetado)	0% a 10%	10 a 30%	30% a 60%	> 60%
Desagregação superficial	Não existente	Perda de finos à superfície	Perda de partículas maiores à superfície	Perda de partículas em profundidade
Ondulação (Deformação máxima)	Não mensurável	< 12,5 mm	12,5 a 25 mm	> 25 mm
Pelada (área afetada)	0%	0% a 30%	30% a 60%	≥ 60%
Trabalhabilidade	Boa		Razoável	Má

A fim de comparar o desempenho global dos diversos produtos, aplicou-se um indicador de desempenho global (D), utilizando uma média ponderada dos valores atribuídos aos indicadores individuais, expressa em percentagem, utilizando a expressão seguinte [1].

$$D \approx \frac{(p1 \times Ex) + (p2 \times As) + (p3 \times Db) + (p4 \times De) + (p5 \times On) + (p6 \times Pe) + (p7 \times Tr)}{4} \times 100 \quad (\text{eq. 1})$$

Ex- O valor atribuído à exsudação;

As – O valor atribuído ao assentamento;

Db – O valor atribuído à desintegração dos bordos;

De – O valor atribuído à desagregação;

On – O valor atribuído à ondulação;

Pe – O valor atribuído á pelada;

Tr – O valor atribuído à trabalhabilidade;

p1 a p7 – Os valores atribuídos aos fatores de ponderação correspondentes a cada um dos indicadores anteriormente referidos, sendo: $\sum p_i = 1$

Os fatores de ponderação foram fixados com base na importância e incidência expectável das degradações, tendo-se atribuído um peso superior à desagregação superficial, desintegração dos bordos e pelada por se considerar que estes tipos de degradações ocorrem frequentemente nas misturas aplicadas em obra, sendo inclusive muitas das vezes as responsáveis por uma degradação precoce da zona intervencionada. Assim, foram adotados os seguintes fatores de ponderação Quadro 5 para as misturas em apreço.

Quadro 5. Critérios de avaliação do desempenho das reparações

Indicador	Fator de ponderação *	
Exsudação (área afetada)	p1	0,10
Assentamento (profundidade)	p2	0,10
Desintegração dos bordos (perímetro afetado)	p3	0,20
Desagregação	p4	0,20
Ondulação (Deformação máxima)	p5	0,10
Pelada (área afetada)	p6	0,20
Trabalhabilidade	p7	0,10

* Estes fatores de ponderação devem ser modificados tendo em atenção a importância atribuída ao comportamento em serviço.

As avaliações do desempenho das misturas betuminosas aplicadas foram efetuadas em quatro períodos distintos, o primeiro corresponde a duas semanas após a aplicação, o segundo sensivelmente a dois meses, o terceiro a quatro meses e o último a oito meses após a aplicação das mesmas.

Relativamente às condições climatéricas durante o período de avaliação, constatou-se ocorrência de alguma precipitação no primeiro mês após aplicação das misturas (abril), estando esta praticamente ausente nos meses subsequentes. As temperaturas verificadas, foram amenas e próprias para a época do ano verificando-se um aumento significativo da temperatura no mês de julho em que se verificaram valores médios da temperatura máxima de 27°C. Em relação ao tráfego existente no trecho experimental não se dispõe de informação suficiente para atribuir uma classe de tráfego.

Na Figura 5 apresentam-se os resultados da avaliação de desempenho de cada mistura betuminosa a frio de reparação rápida nos quatro períodos diferentes de avaliação, sendo possível observar a sua evolução ao longo do tempo.

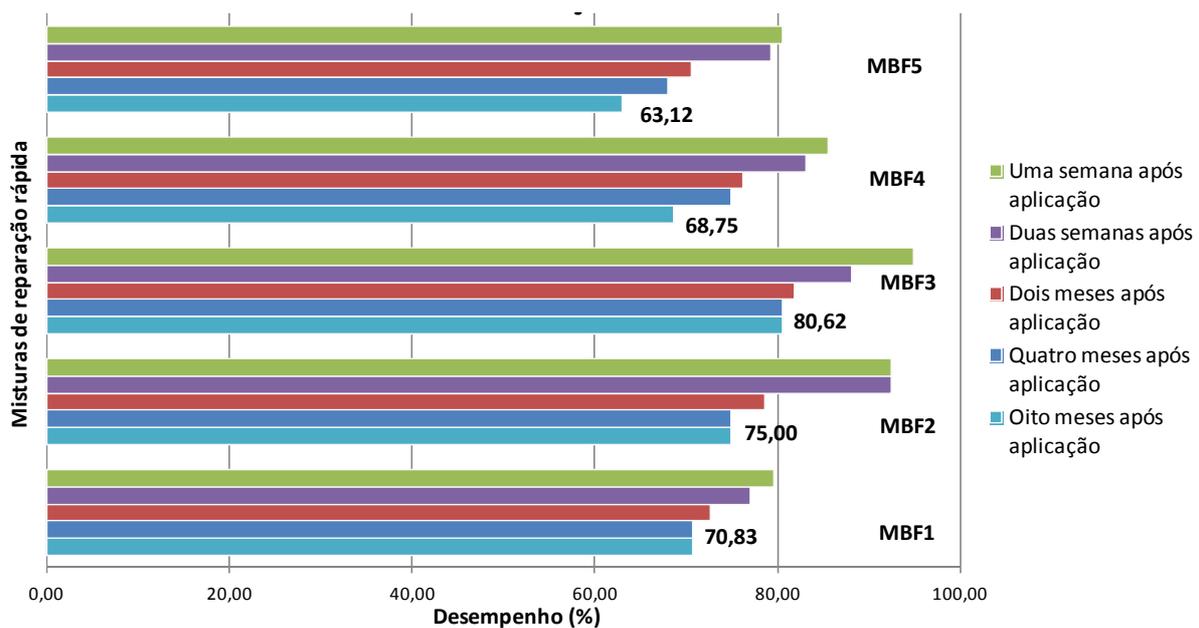


Fig.5. Desempenho global das misturas, aplicadas em condições de chuva

Através da observação do comportamento das misturas aplicadas em obra, verifica-se que a mistura MBF3 é aquela que apresenta um melhor comportamento, seguida da mistura MBF2, sendo que a mistura MBF5 é a que apresenta o pior comportamento.

Na Figura 6 apresenta-se o estado das covas preenchidas com as misturas MBF3 e MBF5, em abril e em novembro de 2012.

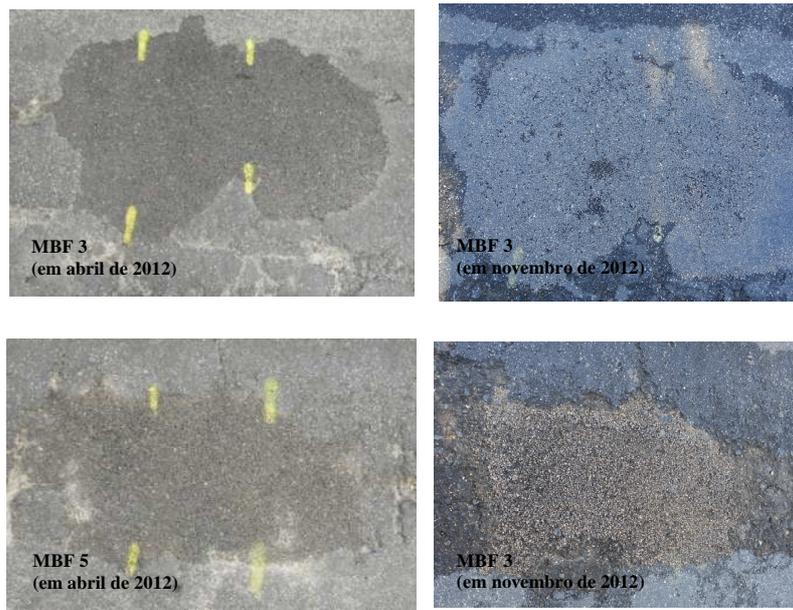


Fig. 6. Exemplo da avaliação das misturas betuminosas a frio de reparação rápida MBF3 e MBF5, aplicadas *in situ*

5 CONCLUSÕES

Os estudos realizados até ao presente indicam que existe uma relação direta entre o resultado obtido no ensaio de afinidade entre o ligante e o agregado e o comportamento em obra das misturas. Por outro lado, observa-se também que as misturas que se comportam melhor possuem percentagens de ligante residual acima de 4,8% (tipicamente da ordem de 5%).

Neste contexto, e tendo em atenção que não foi possível chegar a resultados aceitáveis nos ensaios em laboratório para caracterização do comportamento mecânico das misturas, considera-se que, a par das exigências habituais relativas à qualidade dos agregados utilizados no fabrico das misturas, estes produtos deverão obedecer às seguintes exigências:

- Mistura de agregados com uma granulometria descontínua, com dimensão máxima de 8 mm;
- Percentagem de ligante residual, obtida após secagem da mistura a massa constante, superior ou igual a 4,8%;
- Percentagem mínima de superfície de partículas revestidas obtida no ensaio de afinidade entre o ligante e os agregados de acordo com a norma EN 12697-11, método A modificado, estabelecida no Quadro 6

Quadro 6 Percentagem de superfície de partículas revestidas (mínimo)

Duração do ensaio (horas)		
0	6	24
100%	70%	30%

Tendo em vista uma correta utilização deste tipo de produtos, recomenda-se que a mistura seja cuidadosamente homogeneizada antes da sua aplicação na tapagem de covas.

6 REFERÊNCIAS

1. Antunes, M.L.; Freire, A. C.; Fernandes, D. – *Avaliação da qualidade de misturas betuminosas a frio para a reparação rápida de pavimentos – 1ª Fase*. LNEC, Relatório 220/2012; Proc 702/01/17639. Julho de 2012.
2. Tam, K. K., and Lynch, D. F. - *New Methods for Testing Workability and Cohesion of Cold Patching Materials* - Ontario Ministry of Transportation, Engineering Materials Office, Bituminous Section, (1987).
3. EN 12697-10:2001, Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt - Part 10: Compactability.
4. EN 12697-11:2005, Bituminous mixtures- Test methods for mix asphalt – Part 11: Determination of the affinity between aggregates and bitumen.
5. NP EN 933-1:2000, Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica por peneiração.
6. NP EN 1097-6:2003, Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água.
7. NP EN 933-3:2011, Ensaios das propriedades geométricas dos agregados Parte 3: Determinação da forma das partículas, Índice de achatamento.
8. EN 1097-1:2011, Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 1: Determination of the resistance to wear (micro-Deval).
9. EN 12697-5:2009, Bituminous mixtures- Test methods for mix asphalt – Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 5: Determination of the maximum density.
10. NP EN 12697-1:2010, Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para misturas betuminosas a quente - Parte 1: Percentagem de ligante betuminoso solúvel.
11. EP – Estradas de Portugal, Caderno de Encargos Tipo Obra 14.03 – Pavimentação, Estradas de Portugal S.A, Almada 2009
12. PROWEEL, Brian D.; FRANKLIN, Alan G. Final Report – Evaluation of cold Mixes for winter pothole repair, Virginia, Virginia Transportation Research Council. (1995).
13. Virginia Test Method – 13 Anti-Stripping Additive. Virginia Test Method Manual, Virginia Department of Transportation. (1993).
14. AASHTO TP 41-94, American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO Provisional Standards. Washington, DC (1995).
15. NLT 362/92, *Efecto del agua sobre la cohesión de mezclas bituminosas de granulometría abierta, mediante el ensayo cántabro de pérdida por desgaste*.
16. EN 12697-17:2004, Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 17: Particle loss of porous asphalt specimen
17. EN 12697-34:2004+A1:2007, Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt – Parte 34: Marshall test
18. EN 12697-12, 2008, Bituminous mixtures – Test method for hot mix asphalt. Part. 12 – Determination of the water sensitivity of bituminous specimens.
19. NP EN 13108-20:2008, Misturas betuminosas – Especificação de materiais. Parte 20 – Ensaios Tipo.
20. EN 1427:2007, Bitumen and bituminous binders - Determination of the softening point. Ring and Ball method.