

ESTUDO DA REABILITAÇÃO ESTRUTURAL DE UMA CAMADA DRENANTE

TERESA DIAS

AENOR – AUTO-ESTRADAS DO NORTE

PAULO PEREIRA

PROFESSOR CATEDRÁTICO, DEP. ENG. CIVIL DA UNIVERSIDADE DO MINHO

JORGE PAIS

PROFESSOR AUXILIAR, DEP. ENG. CIVIL DA UNIVERSIDADE DO MINHO

RESUMO

Neste artigo estão apresentadas as premissas metodológicas adoptadas no estudo da técnica de reabilitação estrutural de uma camada drenante. Foi realizado o estudo de materiais alternativos de reabilitação, que se baseia no estabelecimento de uma metodologia de formulação do material de enchimento da camada drenante e na sua caracterização física e mecânica, de modo a definir a composição óptima a utilizar “in situ”.

Fez-se, ainda, um breve estudo técnico-económico das soluções alternativas de reabilitação de uma camada drenante: substituição de camada drenante antiga por uma camada de reforço, após fresagem comparativamente à reabilitação estrutural da camada drenante existente. Em ambos os casos, após o tratamento escolhido (camada de reforço ou camada preenchida com calda), será ainda realizada uma nova camada de desgaste drenante, de modo a repor as condições iniciais de circulação.

1. INTRODUÇÃO

A camada drenante de um pavimento é essencialmente uma camada funcional, não lhe conferindo capacidade estrutural significativa. A sua boa funcionalidade está directamente relacionada com a capacidade de drenar a água que cai sobre o pavimento. Assim, por razões de manutenção da segurança de circulação, a função de drenagem é essencial que esteja sempre assegurada. Ao longo dos anos, a evolução de uma camada drenante, além do desgaste superficial, consiste na colmatação dos seus vazios, comprometendo a sua funcionalidade.

De modo a repor a sua capacidade drenante, pode-se realizar uma reabilitação funcional através de lavagem ou aspiração com meios apropriados. Alternativamente poder-se-á proceder à substituição da camada existente por uma nova, realizando-se a sua fresagem.

Uma solução possível, pode ser constituída pela manutenção da camada drenante existente após a realização de um tratamento que lhe confira capacidade estrutural, de modo a constituir suporte para nova camada drenante. Assim, a camada que inicialmente pouco contribuía para a resistência estrutural, passa a ter uma contribuição mais significativa. A transformação enunciada consistirá no preenchimento dos vazios da mistura drenante, com material a estudar, o qual deverá conferir à mistura um módulo superior.

Este estudo tem por principal objectivo o estudo das características dos materiais a utilizar na reabilitação estrutural de uma camada drenante existente, e na verificação da sua contribuição efectiva para a capacidade de suporte de um pavimento.

Em laboratório, procedeu-se ao estudo das formulações possíveis do material de preenchimento da camada drenante, à sua caracterização física e mecânica, a partir de provetes obtidos de lajetas retiradas de um pavimento, de modo a definir a composição óptima, a utilizar num trecho experimental.

2. REABILITAÇÃO DE MISTURAS BETUMINOSAS

Os pavimentos semi-flexíveis [1] são caracterizados pela existência, na sua superfície, de uma camada betuminosa porosa preenchida um material hidráulico. Este tipo de pavimento tem o potencial de combinar as melhores qualidades dos pavimentos flexíveis e rígidos, nomeadamente na ausência de juntas, que caracteriza os betuminosos, e na elevada vida útil e capacidade de carga dos pavimentos em betão. A principal desvantagem deste tipo de pavimento reside no facto de necessitar de duas fases de construção da camada superficial: uma em que a mistura betuminosa é compactada no pavimento e a segunda em que um material de enchimento é colocado sobre a mistura colmatando os seus vazios.

O material semi-flexível, usado nas camadas de desgaste, é composto por uma combinação de uma mistura betuminosa e uma calda hidráulica, na mesma camada. Este tipo de material é composto por uma mistura betuminosa aberta, contendo 25 a 35% de vazios, dentro da qual é vertida uma calda (Figura 1). O produto final combina as melhores qualidades dos pavimentos betuminosos (flexíveis) e de betão (rígidos), nomeadamente a flexibilidade e a ausência de juntas que caracteriza os flexíveis, e a elevada capacidade de carga e a resistência ao desgaste do betão. A camada betuminosa aberta preenchida com calda, protege as camadas inferiores e a sua elevada resistência reduz efectivamente o nível de tensões na camada de base. A rapidez

de construção desta camada e o período de tempo necessário para a entrada em funcionamento é um avanço significativo face aos pavimentos convencionais de betão [1]. Este tipo de camada de desgaste é normalmente aplicado com uma espessura de 30 e 60 mm [2].



Figura 1 – Carote retirado de uma laje de mistura betuminosa preenchida com calda

A construção da camada betuminosa aberta preenchida com calda, compreende duas fases, visto que é necessário deixar a camada betuminosa arrefecer antes de verter a calda pelos vazios. Sendo assim, normalmente é feita em dois dias consecutivos. A mistura betuminosa é aplicada usando uma espalhadora normal e é compactada usando cilindros de rolo sem vibração para evitar a formação de fendas e marcas no material. Logo que esta camada arrefeça, pode ser preenchida com a calda muito fluida [3]. A calda é espalhada na superfície, com a ajuda de espalhadores de borracha. Dependendo do material usado para produzir a calda e das especificações do fabricante, pode ser usado um cilindro leve de rolo com vibração de modo a que os vazios da camada fiquem completamente preenchidos com a calda. Depois do preenchimento dos vazios, a superfície deve ser tratada para lhe conferir certas propriedades, como aderência, durabilidade e aspecto (Figura 2).



Figura 2 – Aplicação da calda de cimento na camada porosa

Este tipo de camada é aplicada em áreas fortemente solicitadas, como pavimentos industriais, armazéns, centros de distribuição, oficinas, portos, estradas, terminais de autocarros, parques de veículos pesados, pavimentos de aeroportos, cais, pavimentos de hangares, terminais e outras áreas sujeitas a solicitações elevadas e lentas [1] e [3].

3. ESTUDO LABORATORIAL

O presente estudo pretende aferir uma solução possível de reabilitação de um pavimento flexível, que pode ser constituída pela manutenção da camada drenante existente após a realização de um tratamento que lhe confira capacidade estrutural, de modo a constituir suporte para nova camada drenante. Assim, a camada que inicialmente pouco contribuía para a resistência estrutural, passa a ter uma contribuição mais significativa para essa resistência. A transformação enunciada consistirá no preenchimento dos vazios da mistura drenante, com material a estudar, o qual deverá conferir à mistura um módulo superior. Deste modo, além da reabilitação funcional pela execução de uma nova camada drenante superior, dotar-se-á o pavimento de uma reabilitação também estrutural, conseguida à custa do preenchimento dos vazios existentes na camada drenante antiga.

Deste modo realizaram-se estudos laboratoriais para encontrar a calda de cimento melhor quer maximizando a resistência quer minimizando os custos.

3.1. Formulação da calda

A sequência dos trabalhos para formulação da calda passa pelas seguintes fases:

1. Formulação da calda (cimento+cinzas volantes+água+superplastificante);
2. Fluidez da calda, com o cone Marsh;
3. Realização de provetes de calda e ensaios de compressão;
4. Penetrabilidade nas lajes recolhidas “in situ”;
5. Impregnação de lajes recolhidas “in situ” e realização de ensaios de determinação do módulo e ensaios de fadiga.

Para se encontrar a calda mais adequada, realizaram-se várias formulações variando-se quer a razão água/cimento (0,30; 0,35 e 0,40) quer a razão cimento/cinzas volantes (0% e 40%). Estas composições foram vertidas na camada drenante de lajes 20x20cm recolhidas “in situ”, como se pode observar na Figura 3. Relativamente ao superplastificante foi fixado em 1% do ligante, com base em estudos realizados anteriormente.



Figura 3 – Lajes preenchidas com calda de cimento

Para as várias combinações de caldas foram realizados ensaios de fluidez, com recurso ao cone de Marsh e ensaios de compressão, aos provetes de calda 5x5cm, aos 7, 14 e 28 dias. Com base nestes ensaios e na penetrabilidade das caldas na camada drenante das lajes, foi possível seleccionar 4 caldas para estudo mais aprofundado. As caldas escolhidas foram as seguintes (Quadro 1):

Quadro 1 – Composição das caldas

Razão Água/Cimento	Tempo de penetração	% Cinzas volantes	Força aos 28 dias (kN)	Designação no estudo
0,35	70 seg	0%	~ 110	35_0
		40%	~ 100	35_04
0,40	45 seg	0%	~ 105	04_0
		40%	~ 95	04_04

As razões que conduziram a estas caldas foram:

- O tempo de penetração nas lajes em que aparentemente ambas as caldas são possíveis;
- A resistência à compressão aos 28 dias, com 40% de cinzas, aumenta consideravelmente, aproximando-se da calda sem cinzas (0%Cv), e daí a pertinência do estudo.

3.2. Caracterização mecânica da mistura betuminosa drenante reabilitada

As misturas betuminosas são caracterizadas pelo seu módulo de rigidez, coeficiente de Poisson e lei de fadiga, e em virtude do seu comportamento visco-elástico, é importante ainda

o conhecimento do seu ângulo de fase, que é caracterizado pelo desfasamento entre a resposta do material e a aplicação da carga.

Neste sentido, para a caracterização da mistura drenante reabilitada foram realizados provetes posteriormente ensaiados, tendo-se determinado o módulo, ângulo de fase, a vida à fadiga e deformações permanentes.

O módulo de deformação e ângulo de fase foram determinados recorrendo a ensaios de flexão em quatro pontos, sobre vigas prismáticas, realizados à extensão 100×10^{-6} . Os ensaios foram conduzidos em ordem decrescente de frequência, tendo-se aplicado 10, 5, 2, 1, 0.5, 0.2 e 0.1 Hz à temperatura de 20 °C.

O módulo de deformação e ângulo de fase foram determinados pela média de seis ensaios, para cada camada drenante preenchida com a respectiva calda.

Nas Figuras 4 e 5 apresentam-se respectivamente o módulo de deformabilidade e o ângulo de fase em função da frequência, para as misturas drenantes preenchidas pelas quatro caldas e para a mistura drenante sem preenchimento. Verifica-se que entre as quatro caldas não existem variações significativas quer no módulo, assim como no ângulo de fase. O módulo de deformabilidade eleva-se de 3000 MPa (mistura drenante sem preenchimento) para 10000 MPa (mistura drenante com preenchimento de calda). Já o ângulo de fase decresce de 30° (mistura drenante sem preenchimento) para 10° (mistura drenante com preenchimento de calda).

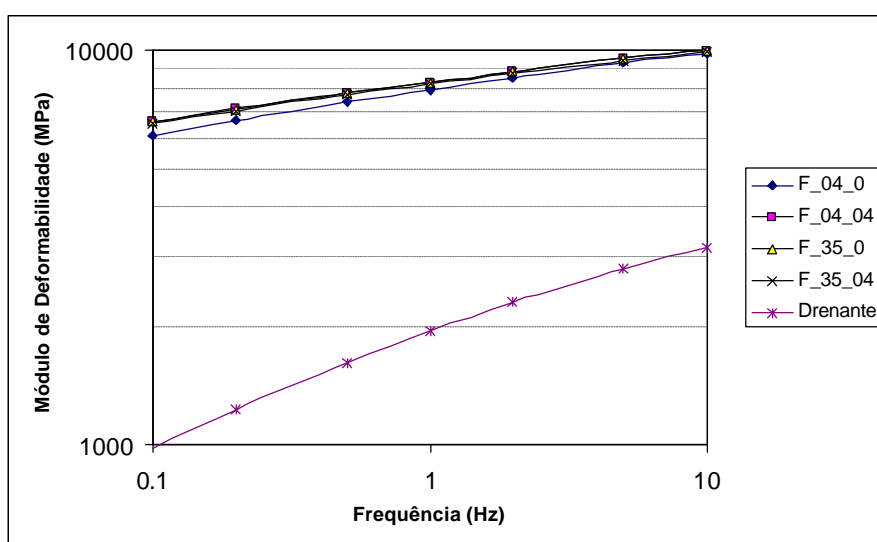


Figura 4 – Módulo de deformabilidade das misturas betuminosas estudadas

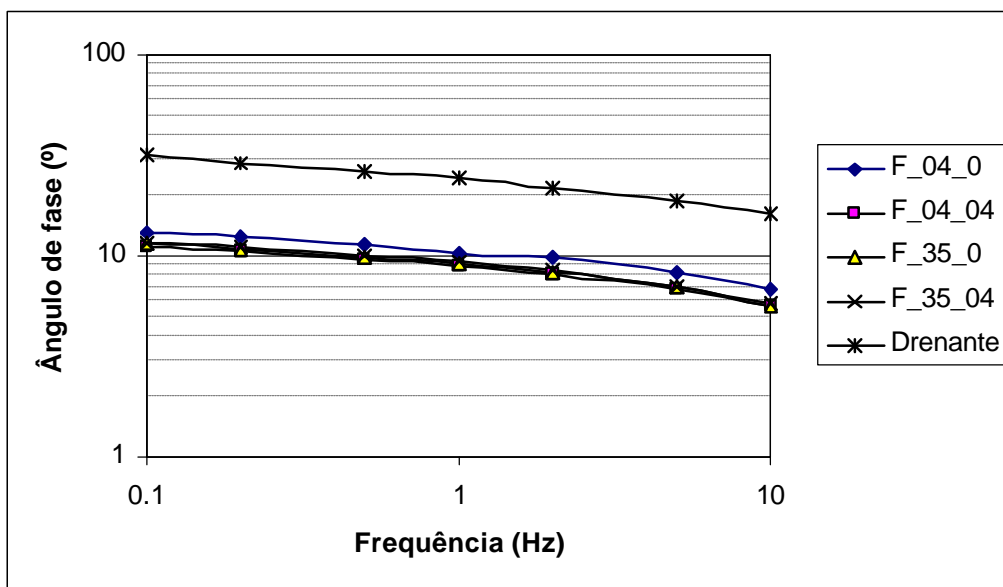


Figura 5 – Ângulo de fase das misturas betuminosas estudadas

A resistência à fadiga de misturas betuminosas é expressa, normalmente, por relações entre as tensões e/ou extensões de tracção e o número admissível de passagens de um determinado eixo que induz os valores dessas tensões e/ou extensões. Essas relações são geralmente estabelecidas a partir de ensaios laboratoriais de cargas repetidas, conduzidos a diferentes níveis de tensão ou extensão, devendo reproduzir tanto quanto possível as condições de funcionamento em serviço dos materiais.

O ensaio laboratorial utilizado no estudo do comportamento à fadiga foi o ensaio de flexão em quatro pontos, sobre vigas prismáticas. Este ensaio foi realizado a vários níveis de extensão até à ruína do provete. Neste caso, as vigas serão sujeitas a flexão pura entre os dois pontos de aplicação da carga, como se pode observar no esquema da Figura 6.

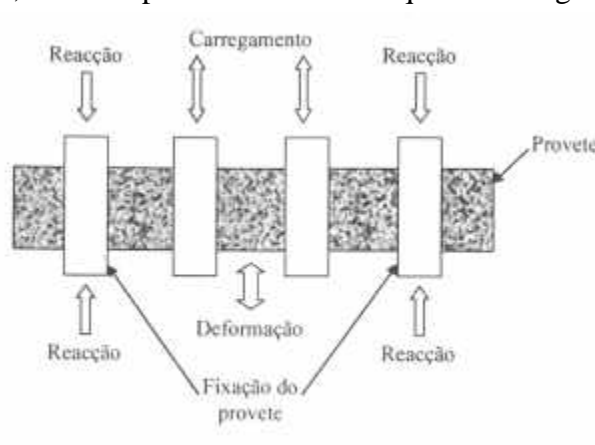


Figura 6 – Esquema de carregamento e funcionamento estrutural do ensaio de flexão em quatro pontos

Na Figura 7 apresentam-se os resultados dos ensaios de fadiga para as misturas drenantes preenchidas pelas quatro caldas e para a mistura drenante sem preenchimento. Verifica-se, novamente, que entre as quatro caldas não existem variações significativas no comportamento à fadiga, sendo este ligeiramente inferior ao verificado para a mistura drenante sem preenchimento.

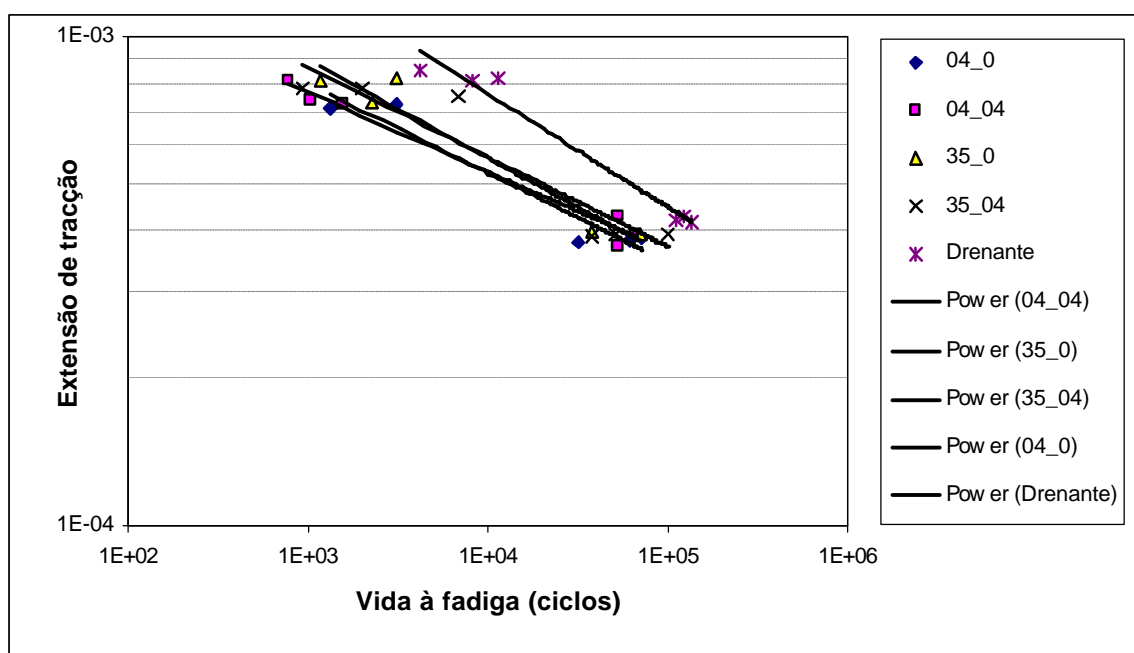


Figura 7 – Vida à fadiga para mistura drenante preenchida com as quatro caldas e sem preenchimento

Sousa *et al* [4] refere que as deformações permanentes se devem essencialmente a dois factores: (i) densificação da mistura devido à aplicação repetida das cargas dos veículos pesados; (ii) acção das tensões de corte que ocorrem junto da superfície dos pavimentos, por baixo dos flancos dos pneus.

O ensaio de corte a altura constante permite simular as condições “in situ” após a densificação da mistura, altura em que a mesma se torna instável. Deste modo, este ensaio deve ser realizado sobre provetes que possuam um volume de vazios idêntico ao valor crítico para a mistura se tornar instável.

Uma vez atingida a densificação da mistura, a melhor forma de estudar a resistência às deformações permanentes, por acção das tensões de corte, é efectuar o ensaio sem variação de volume (densificação ou dilatação). Neste sentido é utilizado o ensaio de corte a altura constante, da nomenclatura inglesa Repetitive Simple Shear Test at Constant Height (RSST-CH), no qual os topos do provete são colados aos pratos da máquina de ensaio, com se pode observar na Figura 8, para evitar movimentos laterais e as consequentes variações de volume.

Esta colagem é efectuada numa prensa desenvolvida para o efeito, permitindo alinhar os dois pratos e garantir que os mesmos fiquem paralelos.



Figura 8 – Esquema do ensaio de corte a altura constante

No Quadro 2 apresentam-se os resultados dos ensaios de corte para as misturas drenantes preenchidas pelas quatro caldas, verificando-se que o número de eixos necessários para provocar uma deformação permanente de 25 mm apresenta valores muito elevados comparativamente à vida à fadiga. Isto permite afirmar que as deformações permanentes não se verificam neste tipo de material.

Quadro 2 – Resultado do ensaio de corte a altura constante

Mistura	ESALs
35-04	4.86E+12
04-0	9.46E+14
04-04	8.93E+10
35-0	5.63E+13

Foi ainda realizado um estudo económico comparando soluções de reabilitação da camada drenante. Neste sentido, comparou-se uma solução tradicional, que consiste na fresagem da camada drenante antiga, aplicação de rega de colagem e execução de uma camada de reforço de 4 cm de espessura, com a solução em estudo, que consiste no preenchimento da camada drenante antiga com a calda de cimento.

Verificou-se através do dimensionamento de pavimentos que o número de eixos padrão, NAEP, suportado pelo reforço de 4cm era aproximado o admitido pela camada preenchida com a calda. Foi ainda obtido, com base numa pesquisa de mercado, o preço da solução tradicional, que é aproximadamente 6,5 €/m², já para outra solução encontra-se um valor aproximado de 2 €/m², pelo que se pode concluir que a solução em estudo é, pelo menos, três vezes mais económica, aliando-se ainda o facto de ambientalmente ser mais vantajosa, pois não é necessário o depósito do material proveniente da fresagem.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado um estudo de reabilitação de uma mistura betuminosa drenante recorrendo ao preenchimento dos seus vazios com calda de cimento, tendo-se estudado o comportamento da mistura betuminosa reabilitada para 4 possibilidades de calda.

Os resultados obtidos permitem observar um comportamento semelhante das misturas para as quatro caldas, mas diferente do verificado para a mistura drenante sem preenchimento dos vazios.

O módulo de deformabilidade das misturas reabilitadas é da ordem dos 10000 MPa (10 Hz) enquanto que para a mistura drenante sem preenchimento é aproximadamente de 3000 MPa. O ângulo de fase decresce de 30° (mistura drenante sem preenchimento) para 10° (mistura drenante com preenchimento de calda).

Verifica-se ainda que as misturas preenchidas com calda apresentam um menor comportamento à fadiga que a mistura sem preenchimento, sendo esta diminuição devida ao aumento do módulo de rigidez.

Deste modo pode-se concluir que a calda mais económica, ou seja, com uma elevada razão água/cimento (0,40) e uma percentagem de cinzas maiores (%40), conduz a bons resultados, podendo ser utilizada com sucesso na reabilitação estrutural de misturas betuminosas drenantes.

O estudo económico realizado permitiu concluir que a solução de reabilitação estrutural é, pelo menos, três vezes mais económica, aliando-se ainda o facto de ambientalmente ser mais vantajosa, pois não é necessário o depósito do material proveniente da fresagem.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] – Setyawan, A., 2003. Development of Semi-Flexible Heavy-Duty Pavements. PhD thesis. University of Leeds. Leeds.
- [2] – Densit a/s, 2000. Densiphalt Handbook. Aalborg.
- [3] – Zoorob, S. E., Hassan, K. E. & Setyawan, A., 2002. Cold mix, cold laid semi-flexible Grouted Macadams, mix design and properties. 4th European Symposium on Performance of Bituminous and Hydraulic Materials in Pavements. Nottingham.
- [4] – Sousa, J. B., Solaimanian. M. & Weissman, S. L., 1994. SHRP-A-698: Development and Use of Repeated Shear Test (Constant Height): Superpave Mix Design Tool. Strategic Highway Research Program. National Research Council. Washington D.C.