

Universidade do Minho

[CN-22]

Dias, T., Pereira, P.A.A., **Pais, J.C.**

“Estudo da reabilitação de uma camada drenante”

3º Congresso Rodoviário Português, Lisboa, 24 – 26 de Novembro de  
2004

## **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].

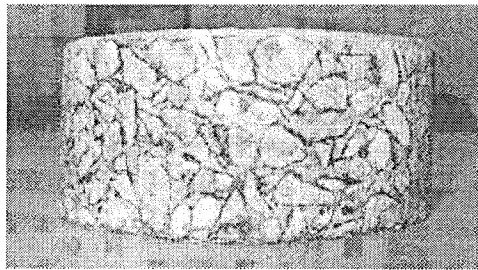


Figura 1 – Carote retirado de uma laje de mistura betuminosa preenchida com calda

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).

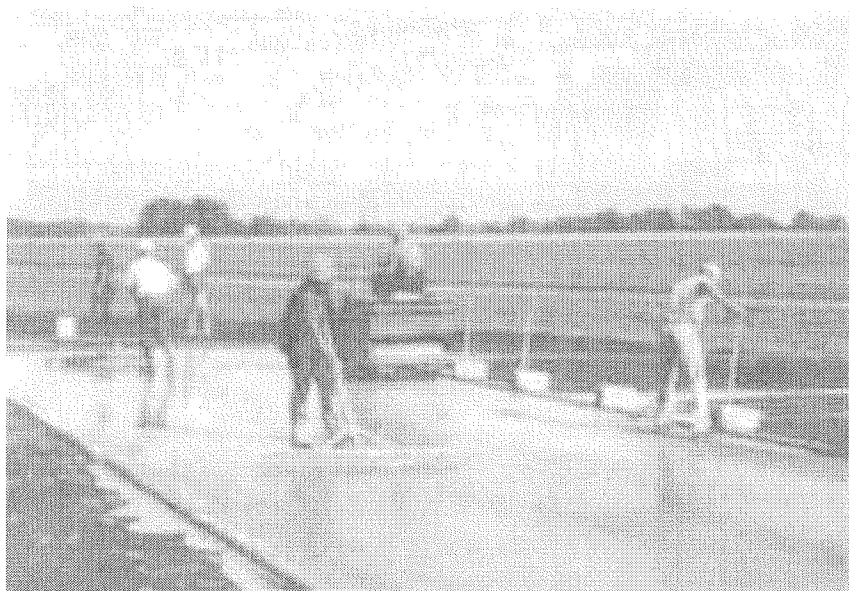


Figura 2 – Aplicação da calda de cimento na camada porosa

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 rehabilitada 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  $100 \times 10^{-6}$ . 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  $30^\circ$  (mistura drenante sem preenchimento) para  $10^\circ$  (mistura drenante com preenchimento de calda).

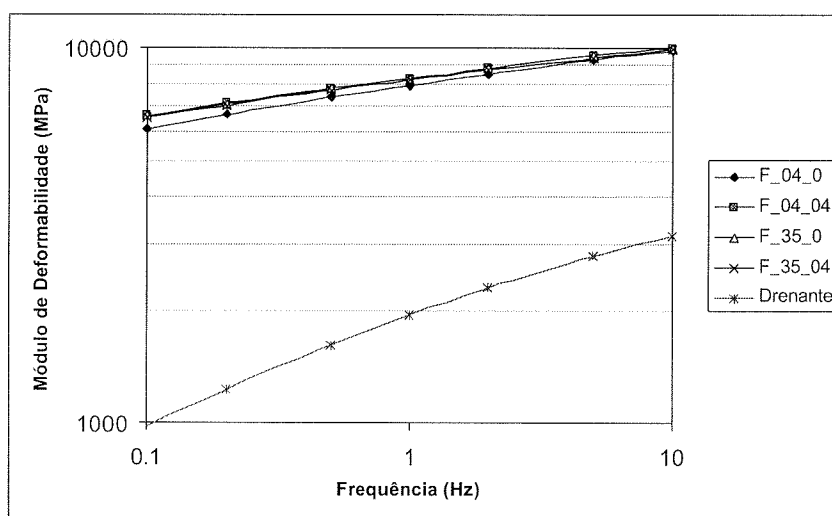


Figura 4 – Módulo de deformabilidade das misturas betuminosas estudadas

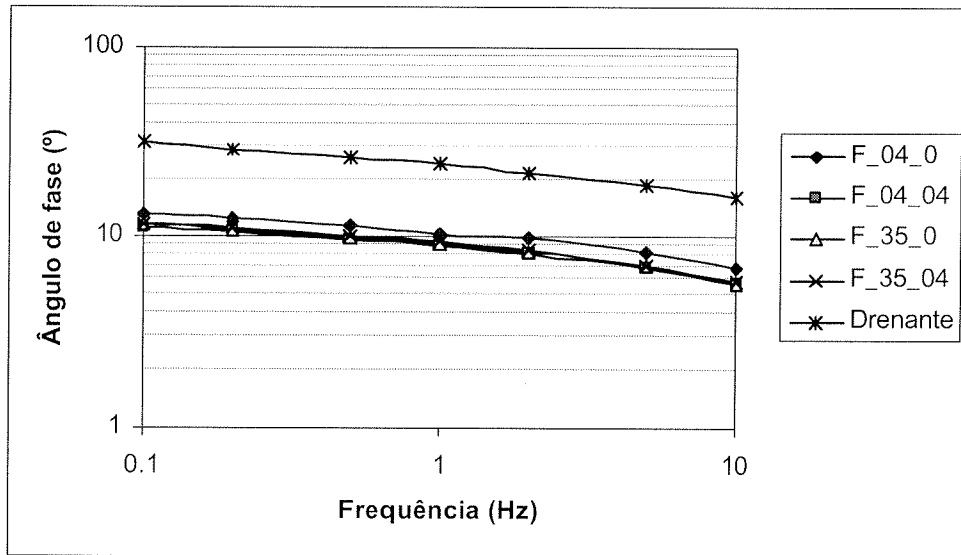


Figura 5 – Ângulo de fase das misturas betuminosas estudadas

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.

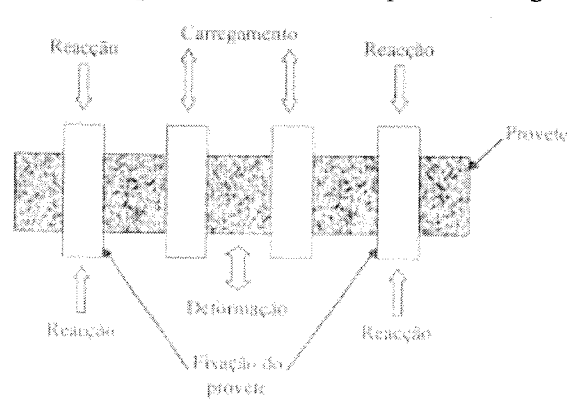


Figura 6 – Esquema de carregamento e funcionamento estrutural do ensaio de flexão em quatro pontos



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.

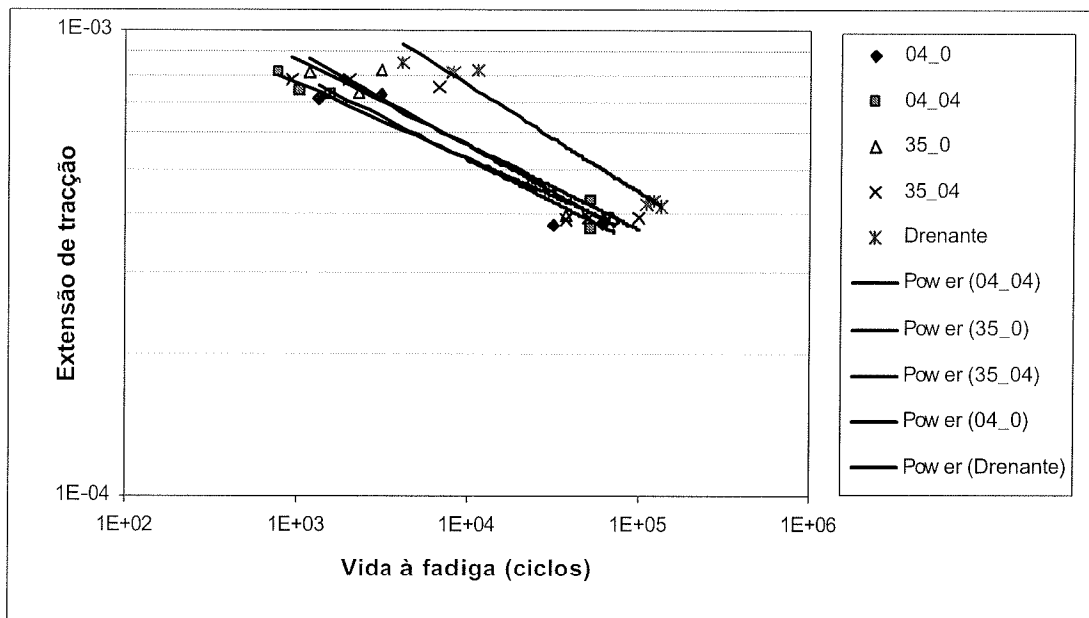


Figura 7 – Vida à fadiga para mistura drenante preenchida com as quatro caldas e sem preenchimento

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.

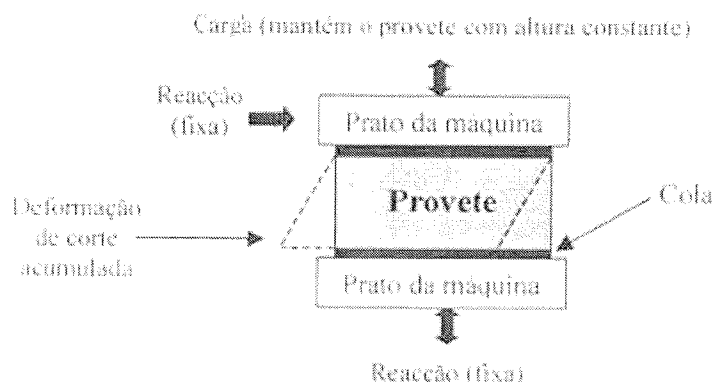


Figura 8 – Esquema do ensaio de corte a altura constante

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 €/m<sup>2</sup>, já para outra solução encontra-se um valor aproximado de 2 €/m<sup>2</sup>, 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.