

RECICLAGEM DE PAVIMENTOS UTILIZANDO BETUME MODIFICADO COM BORRACHA

JORGE PAIS

PROFESSOR AUXILIAR DA UNIVERSIDADE DO MINHO, GUIMARÃES

PAULO PEREIRA

PROFESSOR CATEDRÁTICO DA UNIVERSIDADE DO MINHO, GUIMARÃES

MANUEL MINHOTO

PROFESSOR ADJUNTO, INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA, BRAGANÇA

RESUMO

A reciclagem tem vindo a ser utilizada como uma nova estratégia na reabilitação de pavimentos em que cada vez mais se limitam as quantidades de material a levar a vazadouro por exigências legislativas relacionadas com a preservação do ambiente. Também a escassez de novos materiais leva a que as estratégias de reabilitação de pavimentos utilizem de forma mais premente a reciclagem dos materiais antigos e degradados.

Além da reciclagem dos materiais existentes nos pavimentos, a reciclagem de resíduos também tem sido uma prática corrente da sociedade tendo já chegado aos pavimentos através da reciclagem de pneus usados cuja borracha depois de granulada é utilizada para modificar o betume utilizado nas misturas betuminosas.

Uma das técnicas mais promissoras para a reabilitação de pavimentos faz uso das misturas betuminosas com betume modificado com borracha. O desempenho destas misturas tem mostrado bons resultados, tanto em laboratório como in situ, quando aplicadas na reabilitação de pavimentos.

A utilização de betume modificado com borracha na reciclagem de misturas betuminosas de pavimentos conduz a que o ligante final da mistura betuminosa reciclada seja a mistura de um betume (tendencialmente convencional) envelhecido com um betume de elevado desempenho (betume modificado com borracha). O ligante resultante encontrar-se-á entre estes dois betumes e o desempenho da mistura reciclada será melhor que o das misturas convencionais mas inferior ao das misturas com betume modificado com borracha.

Deste modo, este trabalho apresenta a avaliação do desempenho de uma mistura betuminosa reciclada com betume modificado com borracha em termos de resistência à fadiga correlacionando-se estes resultados com as características do ligante reciclado.

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho é apresentado um estudo de reciclagem de misturas betuminosas utilizando como novo ligante um Betume Modificado com Borracha (BMB) de pneus. A parte do projecto resumida neste trabalho apresenta os resultados da formulação da mistura betuminosa reciclada, nomeadamente as características do ligante resultante da reciclagem de mistura betuminosa e as características mecânicas da mistura betuminosa, avaliadas através do seu desempenho à fadiga.

A reciclagem a quente em central de misturas betuminosas é realizada pela adição de novos materiais à mistura betuminosas fresada do pavimento. Esta adição é necessária principalmente para correcção da curva granulométrica dos agregados sendo esta correcção feita com quantidade de material novo da ordem dos 30 a 70%. A mistura betuminosa reciclada apresenta um ligante que corresponde à mistura do ligante existente com um novo ligante.

No caso da reciclagem com BMB, o ligante final será a mistura do ligante envelhecido e duro existente na mistura betuminosa e do BMB a adicionar. As características do ligante final são diferentes das atribuídas ao BMB pelo que a mistura reciclada não terá um desempenho idêntico ao das misturas betuminosas com BMB, às quais se atribui um elevado desempenho à fadiga e à propagação de fendas.

Deste modo, neste trabalho apresenta-se a formulação do BMB a utilizar na reciclagem e as características previsíveis do ligante final da mistura reciclada. Esta caracterização será apenas realizada pela adição do betume recuperado do material fresado com o BMB uma vez que a recuperação do betume da mistura reciclada afigura-se pouco eficiente devido à presença de borracha no betume o que faz com que este material não seja de possível extracção.

Além disto, o ligante final da mistura reciclada não será uma mistura perfeita do betume do material fresado com o BMB, pelo que a caracterização a obter para o ligante final será apenas indicativa podendo não representar adequadamente o ligante final.

Para a realização deste estudo foram estudadas duas misturas fresadas de pavimentos em serviço e definidos os BMBs a utilizar em cada caso de modo a permitir obter uma mistura betuminosa com características idênticas às misturas com BMB. Os BMBs a utilizar na

reciclagem resultaram da adição de granulado de borracha a dois betumes, um 35/50 e outro 50/70.

Para avaliação do desempenho das misturas recicladas foram realizados ensaios de fadiga a misturas com várias percentagens de ligante de modo a estudar a influência da quantidade de ligante na formulação das misturas betuminosas.

2. CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL FRESADO

Para este estudo foram utilizadas duas misturas betuminosas fresadas de pavimento em serviço as quais foram objecto de caracterização física em termos de percentagem de betume e curva granulométricas dos agregados. O betume das misturas foi ainda recuperado e caracterizado de modo a obtenção da sua penetração, temperatura de amolecimento e viscosidade aparente.

As misturas betuminosas fresadas de designação F1 e F2 apresentaram uma percentagem de betume respectivamente de 5.9% e 5.0% enquanto que o betume recuperado destas misturas apresenta as características indicadas no Quadro 1. Apesar dos betumes originais destas misturas serem do tipo 35/50 o envelhecimento a que estiveram sujeitos transformou-os em betumes do tipo 10/20, ou seja, relativamente duros.

Quadro 1 – Características do betume recuperado do material fresado

Fresado	Penetração (mm/10)	Temperatura de amolecimento (°C)	Viscosidade (cP)
F1	12	68	275
F2	18	65	313

A granulometria dos agregados dos dois fresados em estudo foi obtida após incineração do betume da mistura betuminosa tendo-se obtido as curvas granulométricas indicadas na Figura 1, apresentando-se nesta figura o fuso utilizado para as misturas betuminosas com BMB a que a mistura betuminosa reciclada deve respeitar. Pela análise das curvas granulométricas pode observar-se que o material fresado apresenta uma quantidade de material fino muito superior ao limite máximo do fuso da mistura com BMB pelo que o agregado de correcção deverá ser principalmente grosso.

O cálculo da taxa de reciclagem permitiu concluir que o material F1 pode ser utilizado numa percentagem de 30% e o material F2 pode ser usado numa percentagem de 45% na mistura

reciclada. Com estas taxas de reciclagem, as misturas recicladas apresentam as curvas granulométricas apresentadas na Figura 2, as quais se enquadram no fuso especificado.

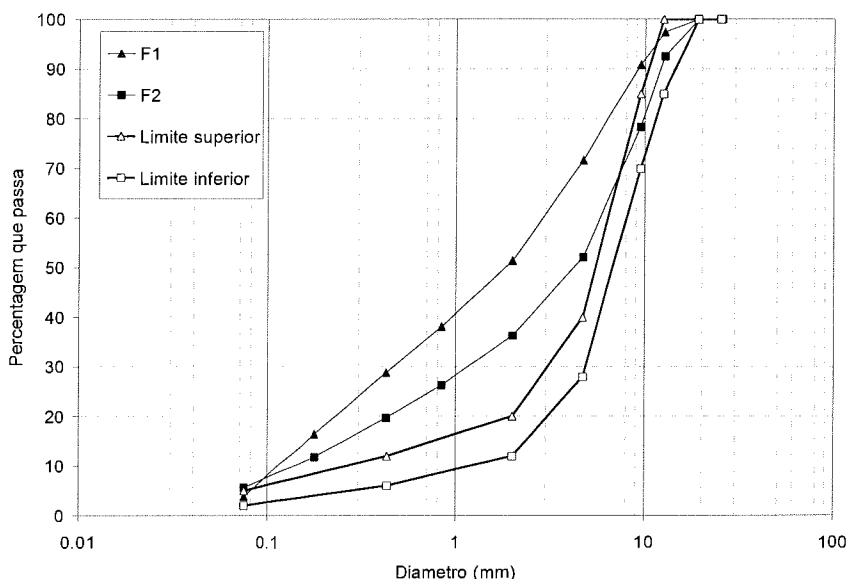


Figura 1 – Curva granulométrica das misturas fresadas e fusos a utilizar

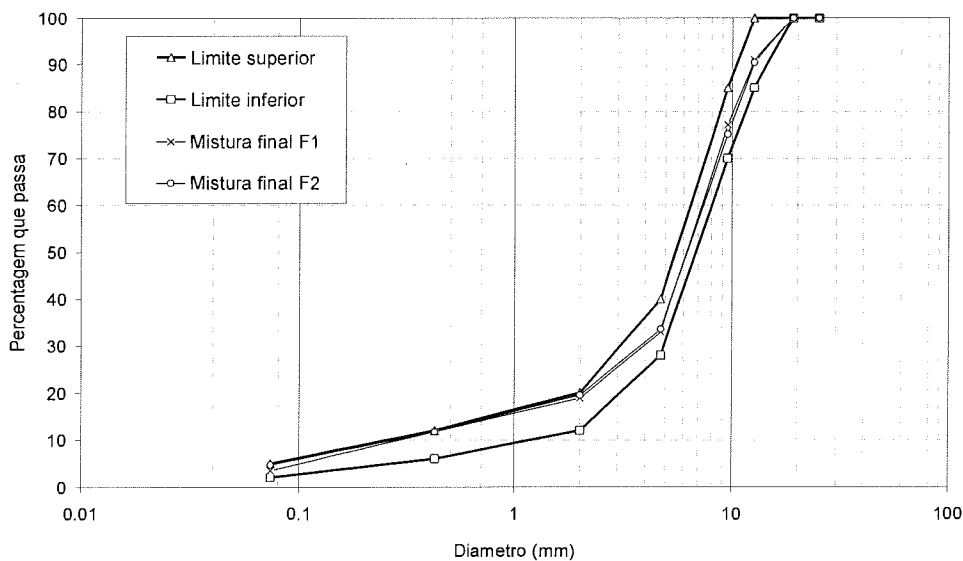


Figura 2 – Curva granulométrica das misturas recicladas

3. PREVISÃO DO COMPORTAMENTO DO LIGANTE RECICLADO

O betume a utilizar na reciclagem das misturas betuminosas será um betume modificado com borracha produzido em laboratório utilizando como betume base betumes do tipo 35/50 e

50/70. A borracha de pneus a utilizar na produção do BMB é do tipo criogénica com dimensões entre 0.18 e 0.6 mm.

A formulação do BMB a utilizar na reciclagem foi realizada para os dois betumes em estudo e para as percentagens de 18, 20, 22 e 24% para o betume 50/70 e para as percentagens 18, 19, 20 e 21% para o betume 35/50.

A formulação do BMB é realizada variando a percentagem de borracha até se obter um BMB cujas características (penetração, temperatura de amolecimento, resiliência e viscosidade) se encontrem dentro dos limites especificados para este produto. A principal limitação prende-se com a viscosidade que por questões de utilização nas centrais de misturas betuminosas deve estar limitada a 5000 cP.

De acordo com os resultados da formulação de BMB (Figura 3) é possível concluir que ao betume 50/70 pode ser adicionado 22% de borracha e ao betume 35/50 pode ser adicionado 20% de borracha, obtendo-se respectivamente os betumes com a designação A3 e B3.

Estes dois betumes (A3 e B3) apresentam uma viscosidade inferior a 5000 cP, uma penetração ligeiramente superior a 20 mm/10, o que o torna num betume relativamente duro enquanto que a temperatura de amolecimento se encontra acima dos 70 °C.

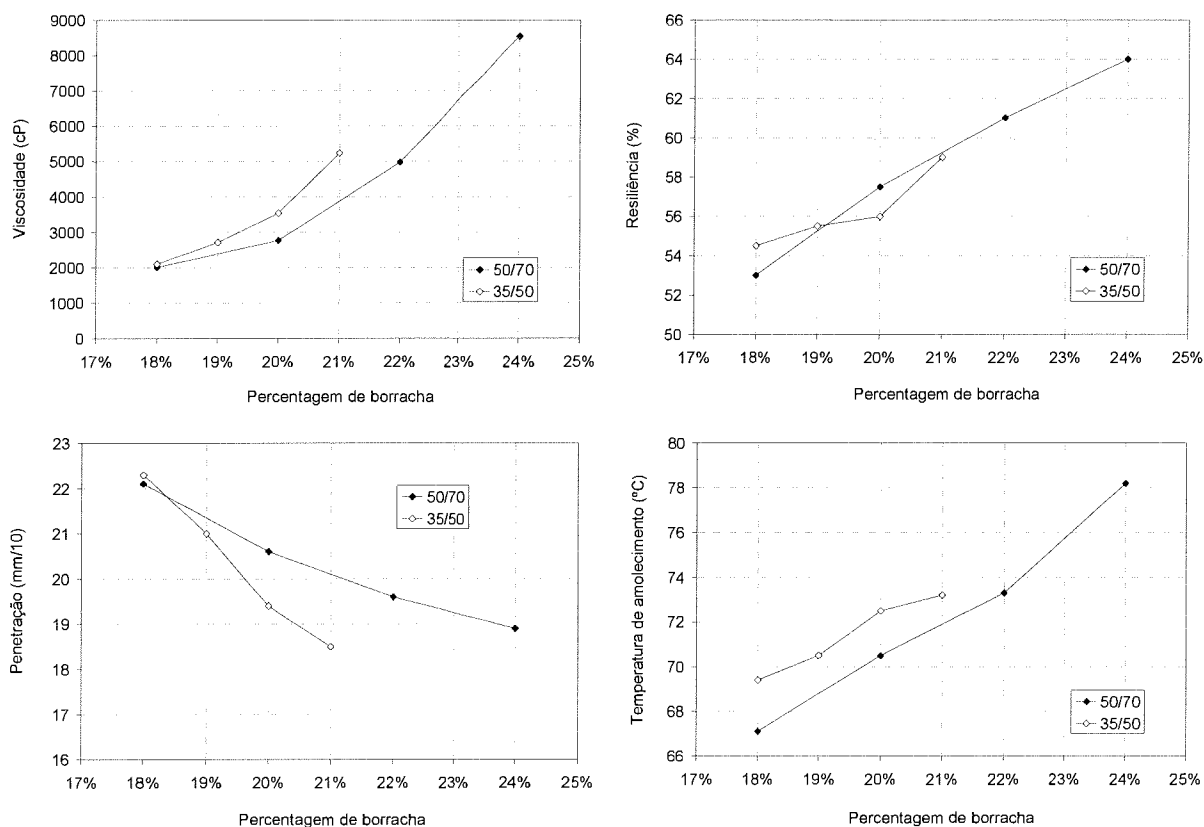


Figura 3 – Formulação do BMB

A utilização destes BMBs (A3 e B3) na reciclagem das misturas betuminosas produzirá um betume que é a mistura deste BMB com o betume existente no material fresado. A taxa de reciclagem influenciará as características do betume final como se observa na Figura 4 em que se apresenta as características do betume final função da taxa de reciclagem.

A análise da caracterização do betume reciclado permite concluir que apesar do betume existente no fresado ser mais duro que o BMB a adicionar ao fresado, a temperatura de amolecimento, a resiliência e a viscosidade do betume reciclado diminui com o aumento da taxa de reciclagem. Em relação à penetração, o aumento da taxa de reciclagem do fresado F1 torna o betume final mais duro, não se verificando influência no fresado F2 uma vez que este apresenta uma penetração semelhante à do BMB. Estes factos podem ser justificados pela interação (digestão) que se verifica quando o betume do fresado é adicionado ao BMB.

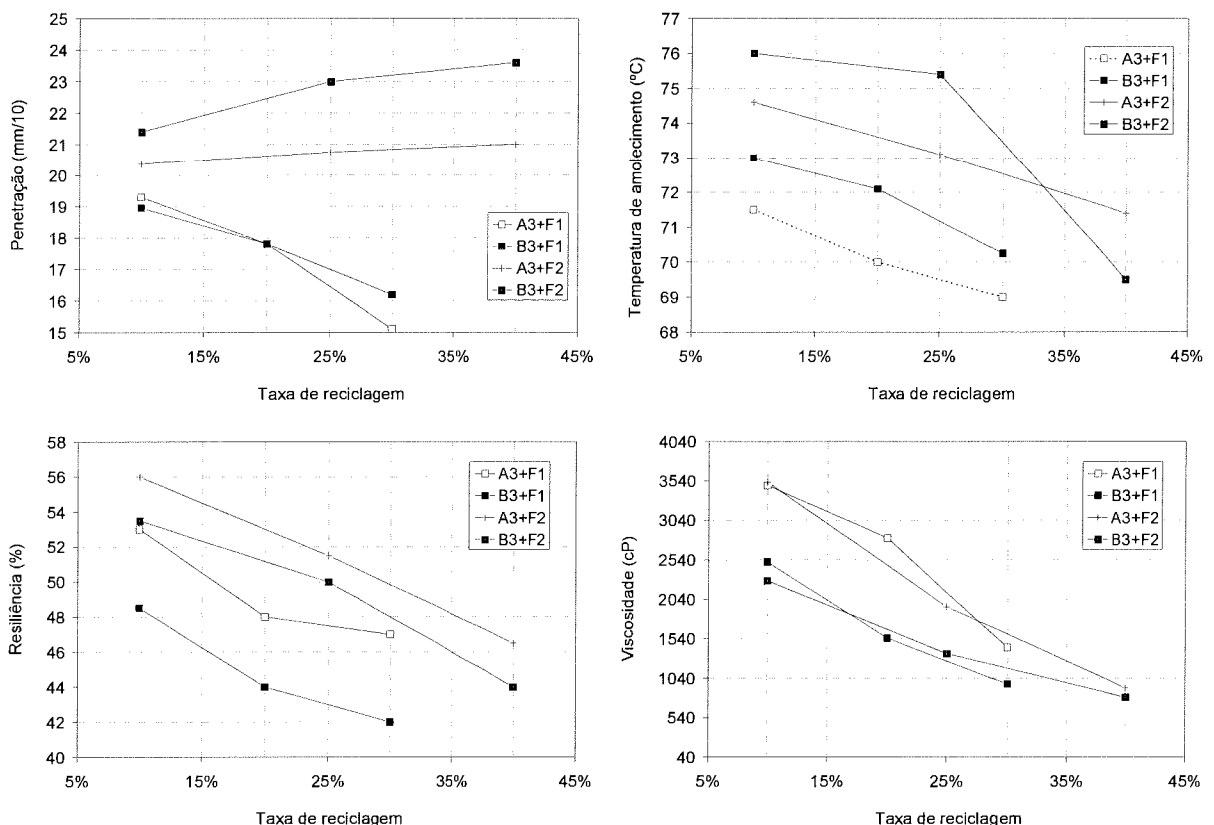


Figura 4 – Características do betume das misturas recicladas

Tendo por base os resultados obtidos, o estudo do comportamento mecânico das misturas betuminosas recicladas foi realizado para o caso do fresado F1, o qual foi utilizado com uma

taxa de reciclagem de 30%, tendo-se utilizado como betume de correcção o BMB B3, produzido com betume 35/50 e 20% de borracha.

3. COMPORTAMENTO DA MISTURA RECICLADA

A mistura betuminosa reciclada obtida a partir de 30% de fresado F1 e BMB B3, o qual tem como betume base o betume 35/50 e 20% de borracha, foi caracterizada avaliando-se o módulo de deformabilidade e a resistência à fadiga para 5 percentagens de betume (8.5, 9.0, 9.5, 10.0 e 10.5%). Este estudo foi realizado de forma idêntica a um estudo Marshall substituindo o ensaio Marshall por ensaios de desempenho (módulo de deformabilidade e resistência à fadiga).

O módulo de deformabilidade da mistura betuminosa foi obtido através do ensaio de flexão em 4 pontos, com carregamento sinusoidal repetido, sobre provetes com a dimensão de 5.1 x 6.3 x 38.0 cm, de acordo com o preconizado na norma AASHTO TP8-94, tendo-se aplicado uma extensão máxima de tracção na base dos provetes de 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 ensaio de 20 °C.

Os resultados em termos de módulo de deformabilidade e ângulo de fase são apresentados nas Figuras 5 e 6 onde se pode observar a diminuição do módulo de deformabilidade com o aumento da percentagem de betume da mistura betuminosa. O ângulo de fase segue uma tendência inversa à do módulo de deformabilidade.

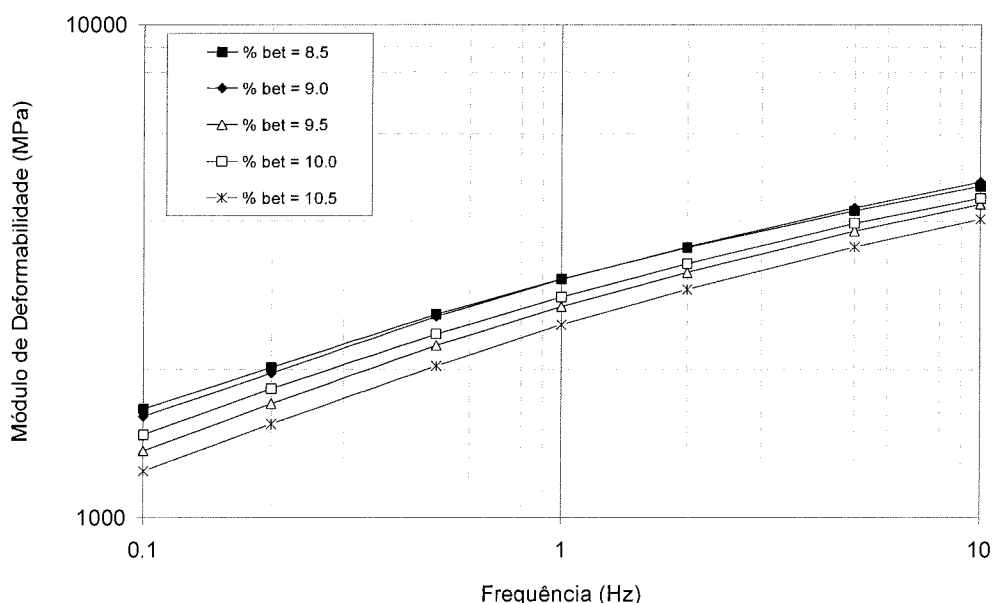


Figura 5 – Módulo de deformabilidade das misturas betuminosas

Em termos numéricos verifica-se que para 10 Hz o módulo de deformabilidade varia desde 4000 MPa para a mistura com 10.5% de betume até 4700 MPa para a mistura com 8.5% de betume, conforme se observa no Quadro 2.

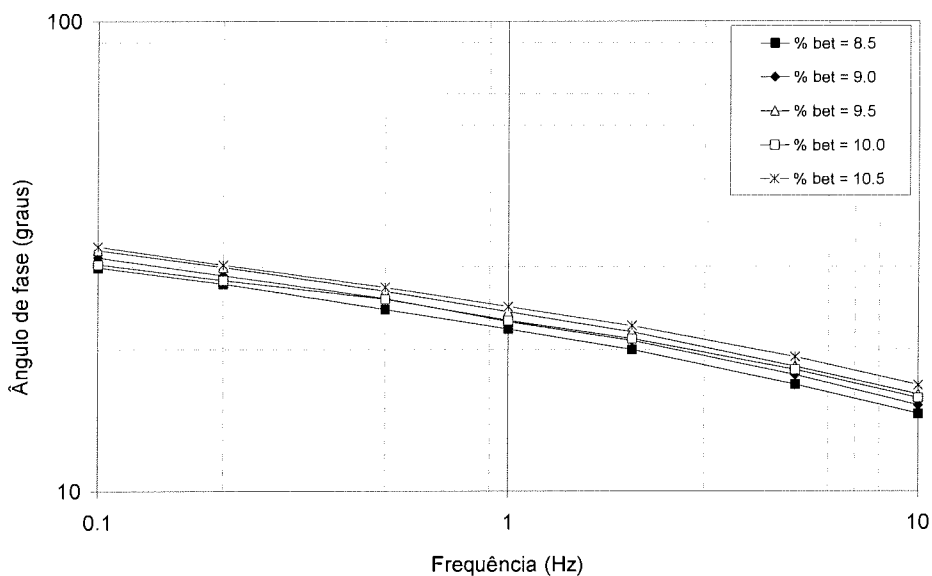


Figura 6 – Ângulo de fase das misturas betuminosas

Quadro 2 – Módulo de deformabilidade e ângulo de fase para 10 Hz

% betume	Módulo de deformabilidade (MPa)	Ângulo de fase (°)
8.5	4703	14.6
9.0	4794	15.2
9.5	4326	16.0
10.0	4450	15.8
10.5	4035	16.8

A resistência à fadiga da mistura betuminosa foi obtida recorrendo a ensaios de fadiga por flexão em quatro pontos com carregamento sinusoidal repetido, sobre provetes com a dimensão de 5.1 x 6.3 x 38.0 cm, de acordo com a norma AASHTO TP8-94, conduzidos a 20 °C, sendo a frequência de aplicação de cargas de 10 Hz. Os ensaios foram desenvolvidos em controlo de deslocamento tendo-se realizado até 3 repetições para cada um dos 3 níveis de níveis de extensão ensaiados (400×10^{-6} , 600×10^{-6} e 800×10^{-6}), obtidos através de um carregamento sinusoidal sem período de repouso.

Para as misturas com 9.0%, 9.5% e 10.0% de betume apenas foram aplicados dois níveis de extensão, os quais permitiram obter uma lei de fadiga com elevada precisão como se pode observar na Figura 7. A análise desta figura permite concluir que, como seria de esperar, o aumento da percentagem de betume da mistura betuminosa aumenta a resistência à fadiga.

Este facto permite que em termos de formulação da mistura betuminosa se defina a percentagem de betume de modo a que a mistura betuminosa tenha uma resistência à fadiga compatível com o tráfego que vai solicitar o pavimento. No entanto, esta escolha deve também ser baseada na resistência à deformação permanente da mistura betuminosa para assegurar que esta não apresentará cavado de rodagem excessivos para o tráfego de projecto.

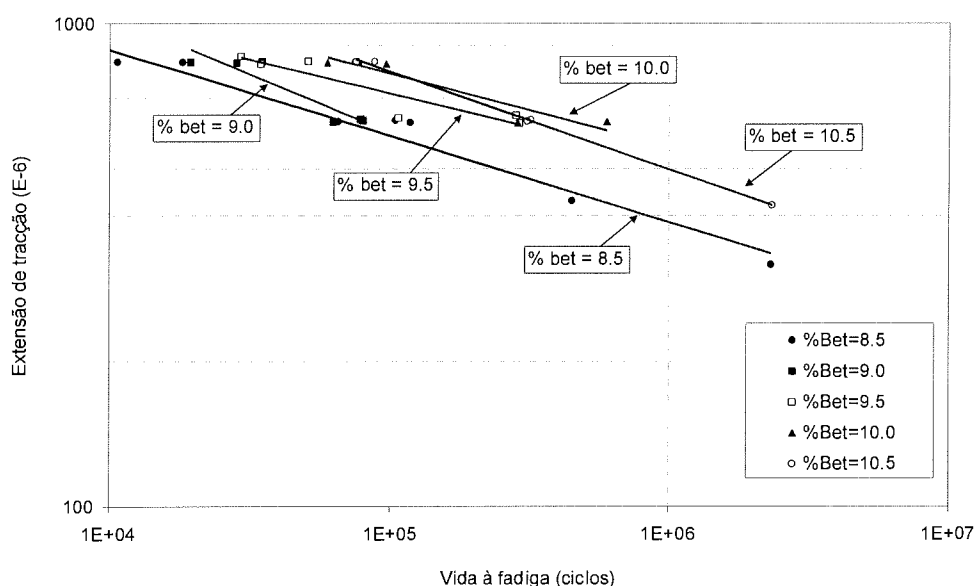


Figura 7 – Lei de fadiga das misturas betuminosas

Os resultados dos ensaios de fadiga foram também expressos em termos de lei de fadiga, de acordo com a Equação 1, tendo-se obtido as leis indicadas no Quadro 3.

$$N = a * \left(\frac{1}{\varepsilon} \right)^b \tag{1}$$

sendo: N = número de aplicações de carga até à rotura;

ε = extensão de tracção (10^{-6});

a, b = coeficientes determinados experimentalmente.

Para descrever o comportamento das misturas betuminosas são ainda utilizadas as variáveis N_{100} (resistência à fadiga para a extensão de 100×10^{-6}) e ε_6 (extensão para uma resistência à fadiga igual a 1×10^6), variáveis estas incluídas também no Quadro 3.

Quadro 3 – Coeficientes das leis de fadiga das misturas betuminosas

% betume	a	b	R ²	N ₁₀₀	ε_6
8.5	9.764E+19	5.419	0.966	1.42E+09	382
9.0	7.246E+14	3.574	0.865	5.16E+07	302
9.5	3.834E+22	6.163	0.859	1.81E+10	491
10.0	1.653E+22	5.940	0.895	2.18E+10	537
10.5	2.130E+19	4.941	0.998	2.79E+09	498

O desempenho da mistura reciclada com várias percentagens de betume foi ainda comparado com o desempenho típico das misturas com BMB verificando-se que a reciclagem permitiu obter uma mistura betuminosa com desempenho idêntico, ou até superior, ao obtido nas misturas com BMB, tal como se observa na Figura 8.

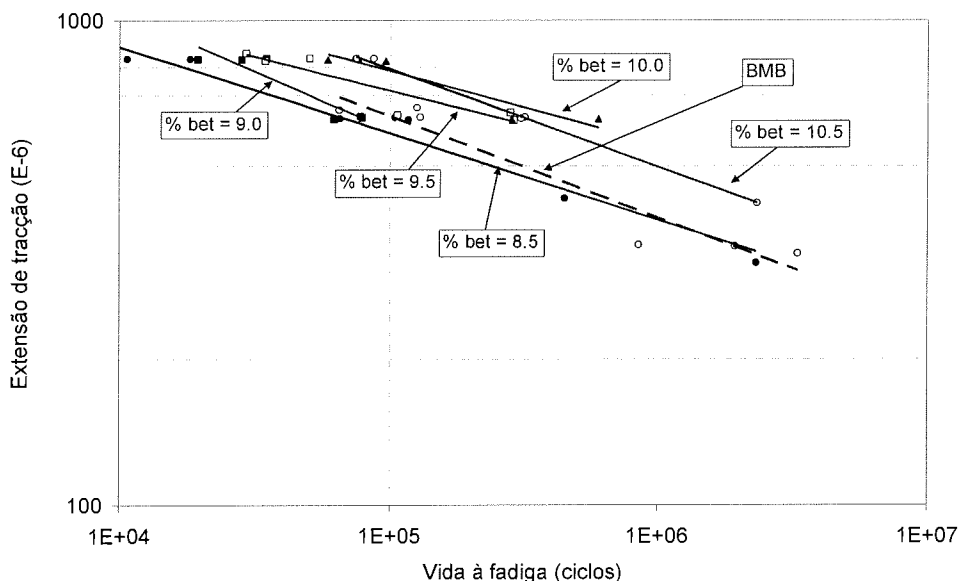


Figura 8 – Comparação do desempenho da mistura reciclada com o típico das misturas com BMB

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o estudo da reciclagem de misturas betuminosas utilizando como betume de correcção um betume modificado com borracha de pneus. Durante este trabalho foram apresentados os resultados da formulação do BMB a adicionar ao fresado e das características previsíveis do ligante final da mistura reciclada.

A mistura reciclada foi caracterizada recorrendo à avaliação do módulo de deformabilidade e da resistência à fadiga para várias percentagens de betume correspondentes à formulação da mistura betuminosa reciclada.

O desempenho da mistura betuminosa reciclada apresentou-se tendencialmente melhor que o desempenho típico das misturas com BMB potenciando este tipo de reciclagem. No entanto, um estudo da resistência à deformação permanente deverá ser realizado para limitar a percentagem de betume correspondente à formulação da mistura betuminosa reciclada.