

COMPORTAMENTO RESILIENTE DE MISTURAS ASFÁLTICAS DE MÓDULO ELEVADO

Luciana Rohde
Jorge Augusto Pereira Ceratti
Washington Peres Núñez
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESUMO

São apresentados alguns resultados de pesquisa laboratorial de projeto de dosagem e de comportamento mecânico de misturas asfálticas de módulo elevado para camadas estruturais de pavimentos. Este tipo de mistura é caracterizado por utilizar agregados com granulometria densa e ligantes de baixa penetração. Foram dosadas duas misturas asfálticas utilizando ligantes diferentes para uma mesma distribuição granulométrica. Essas misturas foram comparadas a uma mistura de controle empregando ligante convencional. As propriedades mecânicas foram avaliadas através de ensaios de compressão diametral cíclico por cargas repetidas para determinação do módulo de resiliência e de resistência à tração por compressão diametral. Os resultados mostram que as misturas estudadas apresentam excelente comportamento resiliente aliado à elevada resistência à tração. As misturas asfálticas de módulo elevado são solução muito utilizada para pavimentos com elevado volume de tráfego, especialmente na França, por serem muito resistentes às deformações permanentes apresentando bom comportamento à fadiga.

ABSTRACT

This paper presents some laboratory tests results of mixture design and mechanical behavior of high modulus asphalt concrete (HMAC) employed in road base courses. It is a dense-graded asphalt mixture using hard-grade asphalt. The mixtures analyzed in this study have the same type of aggregate and gradation, differing in the content and type of the binder used. To evaluate the mechanical properties, the mixtures were submitted to tests as dynamic indirect tension test (resilient modulus) and indirect tensile test (tensile strength). The results show that the mixtures analyzed present excellent resilient behavior in addition to high tensile strength. The HMAC is a well-known solution for high volume roads, especially in France, presenting better results in terms of rutting and fatigue cracking than conventional mixtures.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sócio-econômico de um país está diretamente ligado à qualidade da infraestrutura existente. No Brasil a malha rodoviária pode ser considerada elemento fundamental, visto que cerca de 54% do transporte de cargas é realizado pelo modal rodoviário (IBGE, 2001). Logo, o aumento da densidade de rodovias pavimentadas é um condicionante para a diminuição do custo operacional do transporte e a decorrente redução nos custos finais dos bens e serviços. Não deve subestimar-se igualmente o efeito da melhoria das condições de rolamento dos pavimentos no aumento da competitividade dos produtos nacionais no exterior. Finalmente, mas não menos importante, uma rodovia com boas condições de tráfego é essencial para a qualidade de vida dos cidadãos.

Observa-se que menos de 10% da malha viária nacional (165.000 km) é pavimentada (GEIPOT, 2001), com predomínio de pavimentos flexíveis com revestimentos asfálticos. O custo inicial das obras, as facilidades construtivas, a disponibilidade de usinas asfálticas e o domínio dos processos construtivos, são fatores que colaboram para a manutenção dessa tendência na construção de novos pavimentos ou na recuperação estrutural de antigos.

Devido à crescente agressividade do tráfego e o aumento do número de veículos pesados que circulam nos itinerários mais importantes da rede rodoviária nacional, as soluções de projeto vêm considerando estruturas de pavimentos espessas, freqüentemente com elevadas

espessuras de camadas betuminosas. Todavia, a utilização de pavimentos flexíveis cada vez mais espessos, e incorporando elevadas quantidades de materiais betuminosos, não têm permitido evitar a degradação estrutural das camadas ao longo do tempo de serviço.

Outra alternativa de projeto que vem sendo adotada com grande frequência é o emprego de misturas asfálticas com desempenho elevado. Uma solução que tem sido utilizada nas últimas décadas é a modificação de ligantes asfálticos convencionais através da incorporação de polímeros, resultando em aumento na resistência à fadiga e redução de deformações permanentes, visando aumentar a vida útil de pavimentos submetidos a volumes de tráfego de crescente magnitude.

A utilização de misturas betuminosas inovadoras em camadas de pavimentos representa um desafio. A literatura científica tem destacado experiências bem sucedidas com novos tipos de misturas asfálticas, como o SMA (*stone mastic asphalt* ou *stone matrix asphalt*), originado na Alemanha no final dos anos 60 (EAPA, 1998), e as misturas “*enrobé à module élevé*” (EME) e “*béton bitumineux à module élevé*” (BBME) desenvolvidas na França a partir dos anos 80 (Carof e Corté, 1994).

Este artigo apresenta resultados preliminares da pesquisa realizada pelo Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LAPAV-UFRGS), com o objetivo de estudar novos tipos de misturas asfálticas que apresentam elevado módulo de resiliência e elevada durabilidade, para emprego em camadas de base de pavimentos rodoviários com elevado volume de tráfego. A pesquisa faz parte de um projeto que é realizado em conjunto com o CENPES-Petrobrás, USP, COPPE-UFRJ, UFC e UFSC.

2. MISTURAS ASFÁLTICAS DE MÓDULO ELEVADO

Nos anos 80 começou a ser desenvolvida na França uma família de misturas betuminosas para camadas estruturais de pavimentos rodoviários, apresentando características superiores às das misturas convencionais em relação aos mecanismos de ruína tradicionalmente considerados no dimensionamento (trincamento por fadiga e deformação permanente excessiva). Essas misturas, denominadas Misturas de Módulo Elevado, por serem muito rígidas, derivam-se de misturas convencionais, como o concreto asfáltico, diferenciando-se pela utilização de asfaltos duros com penetração a 25°C entre 10 e 25 décimos de milímetro e temperaturas de amolecimento anel e bola (T_{AB}) entre 60 e 85°C (MARSOT, 1993). As misturas de módulo elevado empregadas na França nas camadas de rolamento e de ligação são conhecidas como BBME caracterizando-se por apresentar elevada resistência às deformações permanentes. As misturas do tipo EME, empregadas naquele país nas camadas de ligação e de base por apresentarem macrotextura insuficiente para camadas de revestimento, proporcionam maior proteção às camadas subjacentes.

De acordo com a normalização francesa NF P 98-140 (AFNOR, 1992) as misturas de módulo elevado geralmente usadas em camada de base - denominadas “*enrobés à modulé élevé*” (EME) - são de dois tipos: EME classe 1 e EME classe 2. As dosagens em betume são da ordem de 5 % ou menos no primeiro caso, e variam em geral entre 5,5 e 6 % no segundo caso. Não existem faixas granulométricas especificadas, a granulometria pode ser estabelecida de acordo com a necessidade do projeto. Existem recomendações quanto ao diâmetro máximo do agregado, fixados em 10, 14 ou 20 mm, sendo então as misturas designadas EME 0/diâmetro máximo (EME 0/14, por exemplo).

Os EME classe 2 apresentam um teor de asfalto maior em relação ao concreto asfáltico convencional, isto leva a um volume de vazios menor e a um bom comportamento à fadiga. A rigidez do ligante utilizado garante um módulo elevado e uma boa resistência às deformações, podendo resultar em redução das espessuras das camadas do pavimento. Essa classe de misturas é mais utilizada por apresentar características superiores às das misturas da classe 1 (SETRA, 1997). O teor de ligante mínimo na mistura é definido a partir da especificação de módulo de riqueza (k) empregando a equação 1. Para misturas da classe 2 o k deve ser no mínimo 3,4.

$$teor_{deligante} = k \times \alpha \times \sqrt[5]{\Sigma} \quad (1)$$

em que k : módulo de riqueza;

α : coeficiente de correção em função da densidade do agregado

Σ : superfície específica calculada utilizando a equação 2 [m²/kg]

$$\Sigma = 0,25G + 2,3S + 12s + 135f \quad (2)$$

em que G : porcentagem da mistura de agregados com diâmetro maior que 6,3 mm

S : porcentagem da mistura de agregados com diâmetro entre 6,3 e 0,315 mm

s : porcentagem da mistura de agregados com diâmetro entre 0,315 e 0,08 mm

f : porcentagem da mistura de agregados com diâmetro menor que 0,08 mm

Por apresentarem melhor comportamento se comparadas às misturas da classe 1, optou-se por trabalhar com misturas da classe 2. Neste artigo todas as características apresentadas são referentes a misturas dessa classe com granulometria 0/14 (*diâmetro mínimo/diâmetro máximo*), designadas misturas de módulo elevado - MME.

A metodologia francesa de projeto de misturas asfálticas é muito diferente da metodologia adotada no Brasil, especialmente em relação aos ensaios utilizados para caracterizar a mistura. Os ensaios na fase de projeto têm por objetivo determinar o volume de vazios, a sensibilidade à água e desempenho mecânico. Para a determinação destas características são empregados ensaios com o compactador de cisalhamento giratório (PCG), Duriez a 18°C, afundamento de trilha de roda (ATR), módulo complexo, tração direta e fadiga.

Na abordagem francesa para projetos de misturas asfálticas, o principal objetivo do emprego da PCG é prever o volume de vazios da mistura em campo, imediatamente após a compactação, quando o pavimento é liberado para tráfego. A norma francesa NF P 98-252 estabelece os procedimentos do ensaio com a PCG. A mistura asfáltica é colocada em moldes de 160mm de diâmetro na mesma temperatura de compactação em campo (em torno de 150°C). A compactação é obtida através da ação simultânea de compressão vertical estática de 0,6 MPa e ação cisalhante resultante do movimento de rotação imposto à amostra que gera uma superfície cônica de revolução com ângulo de 1°. A velocidade de rotação empregada é 30 rpm. A altura da amostra é medida continuamente durante o ensaio. O resultado do ensaio é a curva de volume de vazios *versus* o número de giros. Cada resultado de ensaio é a média de três determinações.

O ensaio Duriez é utilizado para avaliar a sensibilidade à água das misturas asfálticas resultantes do ensaio com PCG. O ensaio é realizado em amostras cilíndricas com diâmetro de 80 ou 120 mm preparados por compactação estática de 12 MPa. A resistência à compressão simples é determinada a 18°C e velocidade de carregamento de 1 mm/s em duas

condições: em corpos de prova mantidos em imersão em água a 18°C durante 7 dias (resistência r) e em corpos de prova estocados por 7 dias na condição seca (resistência R). A sensibilidade à água é avaliada pelo valor da razão r/R .

O Simulador de Tráfego Circular (*Wheel tracking rut tester*) desenvolvido pelo LCPC (*Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*) é empregado para avaliar o comportamento das misturas de módulo elevado na França seguindo a metodologia descrita na norma francesa NF P 98 253-1. Os ensaios são realizados à temperatura de 60°C em placas retangulares de 0,50×0,18 m e 50 ou 100 mm de espessura preparadas com a mistura projetada. Uma carga vertical de 5 kN é aplicada por um pneu com pressão de inflação de 600 kPa a uma frequência de um ciclo por segundo (ciclo = ida e volta), podendo ser ensaiadas duas amostras ao mesmo tempo. O resultado do ensaio corresponde à média das deformações ocorridas em duas amostras em função do número de ciclos de carga, expressada como uma porcentagem da espessura inicial da placa.

Dois ensaios diferentes podem ser utilizados para determinar o módulo de deformação das misturas asfálticas segundo a metodologia francesa: o de módulo complexo e o de tração direta. O ensaio de módulo complexo solicita amostras trapezoidais à flexão em dois pontos. O ensaio é realizado geralmente a seis temperaturas (entre -10°C e 40°C) e a quatro frequências (30, 10, 3 e 1 Hz) para cada temperatura. A carga aplicada no topo da amostra é fixada para que o ensaio seja realizado no regime elástico. A partir de medidas de carregamento e deslocamentos é construída a curva mestra da mistura estudada. O valor característico considerado nas normas de misturas é o valor do módulo complexo obtido a 15°C e 10 Hz.

O ensaio de tração direta é realizado em amostras cilíndricas com diâmetros variando entre 50 e 160 mm (diâmetro $\geq 4 \times$ diâmetro máximo do agregado) e altura variando entre 2 e 3 vezes o diâmetro empregando um equipamento para ensaios reológicos. Os corpos de prova são submetidos à tração direta segundo uma lei de carregamento do tipo da equação 3, controlada por um microprocessador.

$$\varepsilon(t) = a \times t^n \quad (3)$$

em que ε : deformação axial;

t : tempo;

n : velocidade de deformação, em geral constante ($n=1$).

O módulo é avaliado a diferentes temperaturas (entre -10°C e 15°C) e diferentes tempos de carregamento (entre 1 e 1000 segundos) sendo determinado a partir das medidas das cargas e dos deslocamentos. O valor característico considerado nas normas é obtido a 15°C e 0,02 s. O valor especificado é o mesmo que o do módulo complexo a 15°C e 10 Hz. A perda de linearidade a grandes deformações, que pode ser relacionada à resistência ao trincamento por fadiga, pode ser investigada com este tipo de ensaio. É geralmente descrita como a redução do módulo secante, a 0°C, entre 50 e 500 micro-deformações para um tempo de carregamento de 30 s (Corté e Serfass, 2000).

O ensaio de fadiga em laboratório tem por objetivo caracterizar o desenvolvimento do trincamento devido a solicitações repetidas de tração na base das camadas asfálticas que leva à degradação por fadiga. O ensaio consiste em solicitar uma amostra trapezoidal (mesmas

dimensões das utilizadas no ensaio de módulo complexo) à flexão repetida, no modo de deformação controlada. É realizado para três níveis de deformação (6 amostras por nível) à temperatura de 10°C e frequência de 25 Hz, correspondendo às condições médias em que os pavimentos são solicitados. Ocorre uma redução da rigidez da mistura em função dos danos causados pela repetição dos ciclos de carga. O ensaio prossegue até que a rigidez da mistura seja reduzida à metade, considerando esta redução do módulo como critério de ruptura. O resultado é a curva de fadiga, na qual se determina a deformação admissível correspondente a 1 milhão de ciclos, ϵ_6 , sendo considerada como o valor característico do comportamento da mistura em fadiga.

As especificações francesas para misturas de módulo elevado classe 2, com granulometria 0/14 a serem atendidas são as seguintes:

- A espessura média das camadas deve variar entre 7 e 13 cm, com espessura em todos os pontos da camada maior que 6 cm.
- O módulo de riqueza (k) deve ser superior a 3,4.
- O volume de vazios no ensaio de compactação empregando a PCG após 100 giros não deve exceder os 6%.
- A razão r/R obtida no ensaio Duriez a 18°C não deve ser inferior a 0,75.
- O ATR (afundamento nas trilhas de roda) expresso em porcentagem da espessura de uma placa de 10 cm submetida a 30000 ciclos de carga no simulador de tráfego circular à temperatura de 60°C para volume de vazios entre 3 e 6% não deve superar 7,5%.
- O módulo complexo a 15°C e 10 Hz para volume de vazios entre 3 e 6% deve ser no mínimo 14000 MPa. Este valor também é adotado para o resultado do ensaio de tração direta a 15°C e 0,02 s para a mesma variação do volume de vazios.
- A deformação no ensaio de fadiga relativa a 10^6 ciclos a 10°C e 25 Hz para volume de vazios entre 3 e 6% não deve ser menor que $130 \mu_{def}$ ($1 \mu_{def} = 10^{-6}$ m/m).

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

A pesquisa realizada buscou projetar misturas asfálticas de módulo elevado com comportamento similar ao das misturas francesas empregando equipamentos utilizados tradicionalmente no Brasil. As seguintes etapas foram seguidas: caracterização dos materiais (agregados e ligantes), dosagem de misturas de alto módulo, determinação das propriedades mecânicas e análise de resultados.

A dosagem das misturas de alto módulo seguiu a metodologia Marshall, fazendo-se adicionalmente determinações do módulo de resiliência e da resistência à tração das misturas nos diferentes teores experimentais de ligante.

Para caracterizar mecanicamente as misturas estudadas determinou-se o módulo de resiliência, adotando a metodologia descrita na norma DNER ME 133/94, e a resistência à tração na compressão diametral, segundo os procedimentos da norma DNER ME 138/94, à temperatura de 25°C.

3.1 Materiais

3.1.1 Agregado

O material pétreo utilizado na pesquisa foi fornecido pela empresa Brita Mineração e Construção de sua unidade industrial na cidade de Dois Irmãos/RS. É uma rocha basáltica

básica da formação Serra Geral, semelhante à encontrada em outros pontos do estado e considerada a mais representativa desta região do país. O agregado empregado apresenta as seguintes características: perda de massa por abrasão no equipamento de Los Angeles de 17%, absorção de água de 1,67% e densidade efetiva de 2,92. A composição granulométrica adotada segue recomendações francesas e encontra-se representada na Figura 1, ficando dentro dos limites propostos pela metodologia SUPERPAVE não passando pela zona de restrição, também podendo ser enquadrada nas Faixas B e C do DNER.

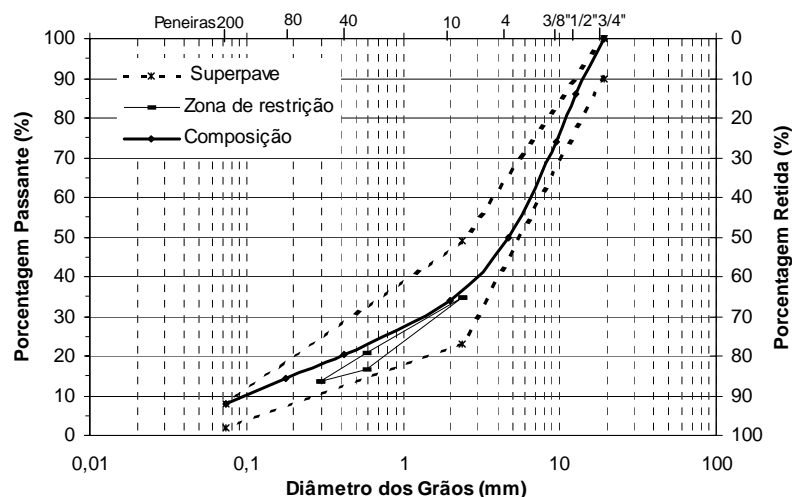


Figura 1: Composição granulométrica adotada

3.1.2 Ligantes

Algumas propriedades dos três tipos de ligantes utilizados para a dosagem das misturas de módulo elevado avaliadas neste trabalho são apresentadas na Tabela 1. Foram empregados cimento asfáltico convencional, produzido em escala industrial e empregado tradicionalmente em misturas asfálticas, e ligantes duros especiais, descritos a seguir:

- CAP 50/60 – produzido na Refinaria Alberto Pascoalini em Canoas/RS.
- AMP EVA, asfalto modificado por Estireno-Vinila-Acetado – produzido em reator batelada a partir do asfalto da Refinaria Duque de Caxias com adição de 7,5% de EVA.
- RASF – resíduo asfáltico produzido por desasfaltação a propano na Refinaria Duque de Caxias no Rio de Janeiro/RJ.

Tabela 1: Propriedades dos ligantes

PROPRIEDADES	CAP 50/60	AMP EVA	RASF
Penetração a 25°C, 100 g, 5 s [0,1 mm]	55	28	9
Ponto de amolecimento [°C]	53,0	68,8	62,0
Viscosidade Brookfield a 60°C [p]	3256	5040	4950
Viscosidade Brookfield a 135°C [p]	2450	3050	1455
Massa específica [g/cm ³]	1,010	1,013	1,060

Observa-se que os ligantes empregados não satisfazem os limites de penetração preconizados pelas especificações francesas para uso em misturas asfálticas de módulo elevado (10 e 25 décimos de mm).

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para a determinação do teor ótimo de ligante das três misturas estudadas além de considerar os aspectos volumétricos, o módulo de resiliência e a resistência à tração, buscou-se trabalhar com volume de vazios próximos para as três misturas. A Tabela 2 apresenta os valores de volume de vazios (V_v), teor de asfalto, densidade aparente (D_{ap}), relação betume/vazios (RBV), fluência (F) e estabilidade Marshall (E).

Tabela 2: Resultados dos ensaios Marshall

PARÂMETRO	MISTURAS		
	CAP 50/60	AMP EVA	RASF
Teor de ligante (%)	5,0	5,5	5,5
D_{ap}	2,60	2,58	2,59
V_v (%)	2,57	2,55	2,79
RBV (%)	76,0	84,6	82,8
E (kgf)	1971	2297	2125
Fluência (mm)	3,16	4,09	3,87

Em sua tese de doutorado Capitão (2003) apresenta resultados dos parâmetros Marshall referentes a MME comercializadas na França com valores de estabilidade de 17,8 kN (1815 kgf) e fluência variando entre 5,3 e 7,5 mm. Segundo o autor, em Portugal, os limites especificados para a estabilidade e fluência Marshall são, respectivamente, um mínimo de 16 kN (1632 kgf) e um máximo de 4 mm.

É importante destacar que o ensaio Marshall, apesar de questionado em razão da dificuldade de interpretação das tensões que ocorrem durante a determinação da estabilidade e fluência e por apresentar grande dispersão de resultados, ainda é uma referência no Brasil.

A caracterização mecânica das misturas foi realizada empregando os ensaios de módulo de resiliência (MR) e resistência à tração (RT). O MR é um parâmetro importante para o dimensionamento racional de pavimentos, sendo relacionado ao projeto da mistura. É definido como a razão entre a tensão de tração e a correspondente deformação específica recuperável, quando as misturas asfálticas são submetidas a ciclos de carga de baixa duração. Por outro lado, a RT é associada ao comportamento estrutural das misturas quanto à vida de fadiga.

A Figura 2 apresenta os valores médios de três determinações do MR para as misturas estudadas. Observa-se que o MR das amostras de MME com 5,5% de RASF é muito superior ao das amostras moldadas com 5,5% de AMP EVA (>2vezes). Tendo em vista que a distribuição granulométrica do agregado é a mesma para as misturas estudadas, bem como o teor de ligante, fica evidenciado que a maior rigidez da mistura com RASF é devida unicamente às características do ligante.

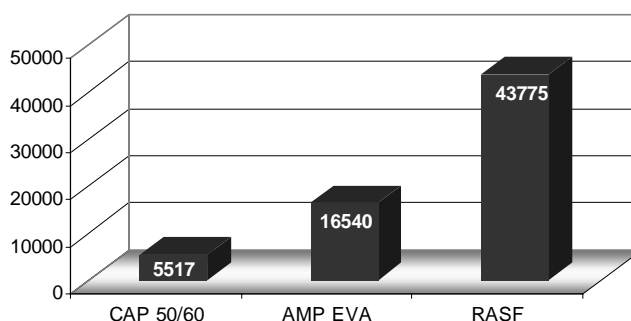


Figura 2: Valores de módulo de resiliência (MR) das misturas estudadas

Com relação aos ensaios de resistência à tração por compressão diametral mesma tendência é seguida, com a mistura com RASF apresentando o maior valor. A Figura 3 apresenta os valores médios de três determinações da resistência à tração para as misturas estudadas.

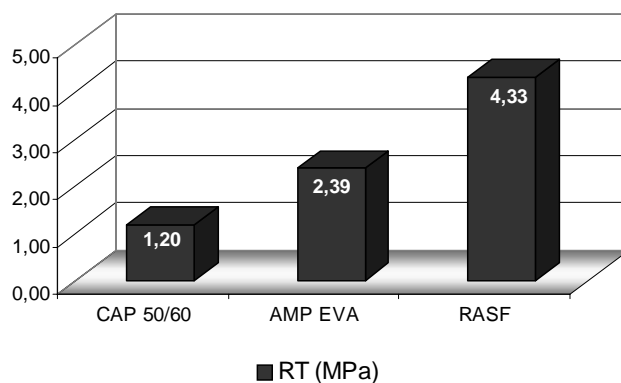


Figura 3: Valores de resistência à tração (RT) das misturas estudadas

A relação existente entre o MR e a RT de uma mistura asfáltica pode ser relacionada à sua flexibilidade, neste sentido, menores valores de MR/RT indicam misturas mais flexíveis. A Figura 4 apresenta os valores de MR/RT para as misturas estudadas.

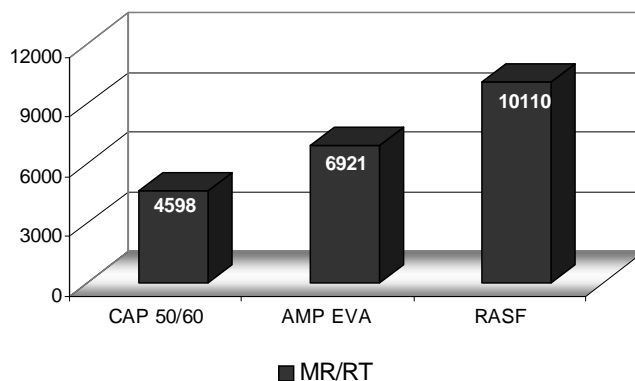


Figura 4: Relação MR/RT das misturas estudadas

As misturas asfálticas de módulo elevado têm como principal objetivo aumentar a rigidez da

camada, porém deve ocorrer um equilíbrio entre a rigidez e a flexibilidade, buscando atingir elevada rigidez garantindo boa flexibilidade para resistir à fadiga. As amostras de MME moldadas com AMP EVA apresentam menor valor para MR/RT em comparação às amostras com RASF, indicando uma tendência a maior flexibilidade da mistura. Cabe ressaltar que esta relação é apenas um indicativo do comportamento quanto à flexibilidade, que pode ser relacionada à resistência à fadiga da mistura. Para ser possível afirmar que as misturas com AMP EVA apresentam melhor comportamento à fadiga são necessários ensaios de fadiga, específicos para a avaliação deste parâmetro.

5. ANÁLISE PARAMÉTRICA

Uma análise paramétrica utilizando o programa computacional FEPAVE foi realizada com o objetivo de comparar uma estrutura alternativa empregando MME como camada de base à uma estrutura convencional prevista para a duplicação de uma importante rodovia federal com volume de tráfego elevado.

A estrutura convencional proposta no projeto é composta por uma camada de 80 cm de areia como reforço do subleito, seguida de uma camada de 20 cm de macadame seco e uma camada de 18 cm de brita graduada simples, a camada de rolamento é composta por 18 cm de CBUQ convencional. Como alternativa a esta estrutura, considerou-se a manutenção das camadas de areia e macadame seco seguidas por uma camada de 5 cm de CBUQ convencional e uma camada de 12 cm de MME com ligante RASF. O revestimento desta estrutura alternativa não apresenta papel estrutural, sendo necessário apenas para garantir proteção à camada subjacente e conforto ao rolamento, nesse sentido avaliou-se o uso de uma camada de 5 cm de CBUQ, que poderia ser substituída por outras alternativas, como, por exemplo, um microrevestimento.

A análise realizada permitiu comprovar que a estrutura alternativa, mais esbelta que a convencional proposta, garante comportamento superior quanto às deflexões, deformações e tensões de tração e tensão vertical no topo do subleito. Uma estimativa do custo por quilômetro das estruturas foi feita adicionalmente, sendo possível concluir que, além de apresentar melhor comportamento, a alternativa proposta resulta em redução de 5% no custo de implantação em relação à estrutura convencional.

6. CONCLUSÃO

Os resultados desta pesquisa indicam um grande potencial de uso de misturas de módulo elevado em estruturas de pavimentos brasileiros, de forma a conduzir a desempenho superior ao das estruturas convencionais, podendo também representar redução dos custos dos pavimentos executados com este tipo de material.

Agradecimentos

A CAPES e ao CNPq pela bolsa de doutorado concedida ao primeiro autor deste trabalho e a Petrobrás pelo fornecimento dos ligantes asfálticos utilizados nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFNOR (1992) *NF P 98-140 - Enrobés hydrocarbonés-Couches d'assises: enrobés à module élevé*, Association Française de Normalisation, França.
- CAPITÃO, S. (2003) *Caracterização mecânica de misturas betuminosas de alto módulo de deformabilidade*. Tese de doutorado, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.

- CAROF, G. e J-F. CORTÉ (1994) Les enrobés à module élevé. *Revue Général des Routes et des Aérodrômes*, RGRA, França, Spécial chaussées d'autoroutes, p. 47-8.
- CORTÉ, J-F. e J-P. SERFASS (2000) *The French Approach to Asphalt Mixtures Design: a Performance-Related System of Specifications*, Communication au TRB, Washington.
- EAPA (1998) *Capas superficiais de elevada resistencia – Los argumentos a favor de SMA*. European Asphalt Pavement Association, Breukelen, Holanda.
- GEIPOT (2001) *Anuário Estatístico dos Transportes – 2001*. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, Ministério dos Transportes, Brasília, DF.
- IBGE (2001) *Estatísticas do Século XX*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Brasília, DF.
- MARSOT, A. (1993) Enrobés à haut module et liants modifiés. *Revue Général des Routes et des Aérodrômes*, RGRA, França, n° 711, p. 39-41.
- SETRA (1997) *Les enrobés à module élevé*. Note d'information du SETRA, França, n° 96.

Endereço dos autores:

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Av. Osvaldo Aranha, 99 – 3º andar
CEP 90035-190 – Porto Alegre, RS, Brasil

Fone: (51) 3316-3659
E-mail: lurohde@yahoo.com.br
lapav@ppgec.ufrgs.br