

Estudo laboratorial sobre os efeitos de diferentes formas de adição de cal a concreto asfáltico

Laboratory study on the effects of different ways to add lime to asphalt mixes

André L. Bock¹, Diego Hartmann¹, Jaelson Budny¹, Luciano P. Specht¹ & Jorge A. P. Ceratti²

¹Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, RS
e-mail: andrebock.eng@gmail.com, luspecht@gmail.com

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS
e-mail: ceratti@adufgrs.ufrgs.br

RESUMO:

Esta pesquisa avaliou em laboratório a dosagem Marshall, o comportamento mecânico e de adesão/coesão de cinco misturas em concreto asfáltico (CA), denominadas de mistura de “Referência” (sem adição de cal), mistura com adição de cal sob a forma de filer “Cal/Filer”; mistura de cal ao agregado graúdo seco “Cal/Agregado Seco”; mistura de cal ao agregado graúdo úmido “Cal/Agregado Úmido”; mistura de cal sob a forma de calda no agregado graúdo “Cal/Calda”. Foi substituído 1,0% do pó-de-pedra pela mesma quantidade de cal. Com a análise dos dados obtidos pode-se concluir que a adição de cal calcítica, com elevado teor de hidróxido de cálcio, altera de maneira substantiva e positiva as propriedades das misturas de concreto asfáltico; as formas de incorporação que tratam com cal o agregado graúdo são as mais eficientes. A prática atual de adição de cal como melhorador de adesividade na forma de filer, prática corrente no Brasil, não foi a forma mais satisfatória de adição.

ABSTRACT:

This study evaluated the Marshall mix design, the mechanical behavior and adhesion/cohesion of five asphalt concrete (AC) mixtures, denominated “Reference” mixture (without lime incorporation), mixture with an incorporation of lime as filler “Lime filler”; mixture of lime on dry aggregate “Lime dry aggregate”; mixture of lime in wet aggregate “Lime wet aggregate”; mixture of lime as slurry on the aggregate “Lime slurry”. 1.0% of the rock dust (basalt filler) was substituted by the same amount of lime. With the data analysis it was concluded that the addition of lime with high content of calcium hydroxide, change substantive and positive way to the properties of asphalt concrete mixtures, the samples with lime incorporated on coarse aggregate shown better results. The current practice of adding lime to improve the adhesiveness as filler, practice in Brazil, was not the most satisfactory way of addition.

1. INTRODUÇÃO

O desempenho de um pavimento está condicionado a uma complexa combinação de fatores: materiais utilizados, técnicas construtivas, ação climática e do tráfego e ao programa de manutenção e restauração. O alto custo dos materiais envolvidos tem, nos últimos anos, motivado pesquisadores a buscar e investigar novos materiais, bem como novas combinações buscando materiais que possuam um bom desempenho e custos relativamente baixos [1]. A utilização de

novos materiais e novas técnicas têm sido estudadas nos principais centros de pesquisa do mundo buscando melhorar a qualidade das misturas e atenuar o problema da degradação prematura dos revestimentos.

Uma adequada infra-estrutura viária com revestimento asfáltico em bom estado de conservação além de proporcionar benefícios diretos aos usuários como a melhoria dos níveis de conforto e segurança, ainda possibilita a redução dos custos operacionais dos veículos, incrementa o progresso sócio-econômico do país,

repercutindo positivamente na qualidade de vida, estruturação espacial das comunidades, além de promover o escoamento da produção agrícola e industrial, incrementando assim às riquezas nacionais.

As misturas asfálticas constituem o material de uso mais difundido no Brasil, sendo responsáveis por cerca de 98% dos revestimentos de nossos pavimentos [2]. A malha rodoviária brasileira se constitui em um dos maiores patrimônios públicos do nosso país; todavia dado seu estado de degradação e a incapacidade dos gestores públicos em manterem esta malha em bom estado, ela não tem trazido aos usuários todos os benefícios esperados. A malha rodoviária brasileira é de aproximadamente 1.603.131 km, dos quais apenas 196.280 km são pavimentados [3].

A degradação de pavimentos está associada a várias patologias, dentre elas: deformações permanentes excessivas, fissuras de fadiga e de retração térmica e desagregações. As duas primeiras estão mais relacionadas com o tráfego atuante e a estrutura do pavimento, enquanto as duas últimas com as características dos materiais utilizados e as condições climáticas atuantes [4].

Os pavimentos asfálticos brasileiros têm tido seu comportamento comprometido devido ao aumento do volume de veículos e do excesso de cargas, causando deterioração prematura e, em consequência, aumento nos custos dos transportes [5]. Devido a sua enorme importância, os pavimentos merecem uma atenção especial quanto ao seu desempenho, sempre buscando novas alternativas a fim de melhorá-lo.

O crescimento do tráfego comercial rodoviário, no Brasil e em quase todos os países em desenvolvimento, impõe o desafio de aumentar-se a vida útil de pavimentos, torna-se cada vez mais importante que um pavimento atenda aos requisitos de alta durabilidade e segurança, proporcionando tranquilidade e conforto ao usuário. Além disso, a relação custo-benefício é um fator que exerce forte influência na escolha do revestimento asfáltico. A opção por uma alternativa de alta durabilidade reduz os custos de manutenção e de operação das vias durante o tempo de serviço.

Com o aumento do custo dos materiais de construção, entre eles os derivados de petróleo, a redução da disponibilidade de materiais naturais, aliado às novas exigências/limitações ambientais

impostas na construção e manutenção de pavimentos, é imprescindível que os pesquisadores procurem materiais que possam apresentar bom desempenho com custo relativamente baixo. Assim, muitos modificadores têm sido desenvolvidos para melhorar as propriedades dos ligantes, gerando grandes benefícios para a engenharia rodoviária e aos usuários.

Contudo, o uso de ligantes especiais implica em maiores custos iniciais, apresentando ainda dificuldades de transporte, armazenamento e incorporação à mistura. Além disso, o crescente preço do petróleo tem enfatizado a importância do estudo de materiais de pavimentos que possam atender situações específicas e apresentar uma relação custo/benefício atrativa. As novas exigências de desempenho dos pavimentos flexíveis, tanto funcionais quanto estruturais, têm motivado pesquisas a respeito da utilização de modificadores em ligantes asfálticos. Dentre as frações minerais que compõem as misturas asfálticas a fração filler tem merecido destaque, dada sua influência sobre as propriedades do mástique [6].

Estudos recentemente publicados nos Estados Unidos [7] dão conta que a incorporação de cal em misturas asfálticas, além de melhorar a adesividade agregado-ligante e enrijecer o ligante asfáltico e a própria mistura (o que a torna mais resistente às deformações permanentes), retarda o trincamento (seja este ocasionado por fadiga ou por baixas temperaturas), altera favoravelmente a cinética da oxidação e interage com produtos da oxidação, reduzindo seus efeitos deletérios.

A cal hidratada melhora substancialmente cada uma dessas propriedades tanto se usada sozinha, quanto em conjunto com modificadores poliméricos, contribuindo na formação de pavimentos que apresentarão elevado desempenho por muitos anos [8]. Assim, análises de custo de ciclo de vida, como a realizada por Hicks e Scholz [9] demonstram que a cal também é economicamente vantajosa.

Neste contexto, a presente pesquisa tem como objetivo avaliar as influências que diferentes formas de incorporação de cal promovem na dosagem, no comportamento mecânico e na adesão/coesão das misturas asfálticas.

2. METODOLOGIA

2.1. Planejamento da Pesquisa

Esta pesquisa refere-se ao estudo de revestimentos asfálticos do tipo concreto asfáltico (CA), levando em consideração diferentes formas de adição de cal. O planejamento do experimento contempla a dosagem Marshall de cinco misturas em concreto asfáltico denominadas de mistura de “Referência” (sem adição de cal), mistura com adição cal sob a forma de filer “Cal Filer”; mistura de cal ao agregado graúdo seco “Cal Agregado Seco”; mistura de cal ao agregado graúdo úmido “Cal Agregado Úmido”; mistura de cal sob a forma de calda ao agregado graúdo “Cal Calda” para determinação das propriedades volumétricas, verificação do comportamento mecânico (ensaio de resistência à tração por compressão diametral e ensaio de módulo de resiliência) e das propriedades coesivas/adesivas (ensaio Cantabro e de adesividade através do ensaio Lottmann Modificado).

O concreto asfáltico foi projetado seguindo as recomendações do Asphalt Institute [10] e de acordo com ASTM D6926-04 e ASTM D 6927-05 [11, 12]. A faixa adotada foi a IV B, com tamanho máximo de granulares de 19mm (mistura densa – faixa IV B do Instituto do Asfalto). As amostras foram preparadas manualmente com compactação de 75 golpes por face da amostra, adotou-se o volume de vazios (VV) de 4% como critério de dosagem. Foi substituído 1,0% do pó-de-pedra, o qual incluía o filer de basalto, pela mesma quantidade de cal.

Após a determinação do teor de ligante de projeto para cada mistura foram moldadas as amostras para verificar o comportamento mecânico (ensaio de resistência à tração por compressão diametral R_t , ensaio de módulo de resiliência M_r) e para verificação das propriedades de abrasão e de adesividade das misturas (ensaios Cantabro (Pm) e Lottmann).

Foram moldadas um total de 90 amostras tendo suas respectivas quantidades e ensaios a que foram submetidos descritas na Tabela 1.

2.2. Materiais Utilizados

Os agregados minerais utilizados nesta pesquisa constituem-se de rocha basáltica da formação Serra

Geral e areia de várzea, coletadas na região de Ijuí e Santa Maria (RS), respectivamente. A massa específica real do grão é de $3,033\text{kN/m}^3$ para o agregado graúdo e de $2,973\text{kN/m}^3$ para o agregado miúdo. O índice de lamelaridade da mistura é de 21,8%.

A cal utilizada no estudo foi uma cal calcítica produzida no estado de Minas Gerais com massa específica média de $2,294\text{g/cm}^3$. Esta escolha fundamentou-se no fato de que no Rio Grande do Sul apenas são produzidas cales dolomíticas, com baixos teores de hidróxido de cálcio - Ca(OH)_2 [8]. A bibliografia internacional, especialmente a estadunidense, indica sempre o emprego de cales com elevados teores de hidróxido de cálcio para a obtenção de melhores resultados referentes à melhoria de adesividade das misturas asfálticas.

O ligante asfáltico utilizado neste estudo foi o CAP 50/70, produzido na Refinaria Alberto Pasqualini, em Canoas (RS). Esse é o tipo de ligante asfáltico convencionalmente empregado em obras de pavimentação no Rio Grande do Sul.

As propriedades do ligante estão descritas na Tabela 2.

2.3. Ensaios Realizados

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral (R_t) ou ensaio brasileiro (DNER-ME 138/94) [13], consiste na aplicação de um carregamento de compressão em amostras cilíndricas; o carregamento é aplicado em planos paralelos, diametralmente opostos. Esta configuração de carga gera um plano de tensões de tração, razoavelmente uniforme no plano perpendicular ao da aplicação da carga. A medida resultante é a resistência à tração.

O módulo de resiliência (M_r) é medido a partir da aplicação do carregamento dinâmico com tempo de 0,1s e 0,9s de repouso, a amostra sofre deformações horizontais, que são medidas através de um LVDT, ligado a um microcomputador. O equipamento utilizado é composto por uma estrutura metálica, um pistão que proporciona um carregamento repetido pulsante com auxílio de um dispositivo pneumático acoplado a um regulador de tempo e frequência de 1Hz. O ensaio é realizado em duas direções: após a execução do ensaio a amostra é rotacionada em 90° e o ensaio é novamente

conduzido. O ensaio é preconizado pela norma DNER-ME 133/94 [14].

A metodologia Cantabro foi selecionada para avaliar a perda de massa por desgaste ou abrasão (Pm). Este ensaio, desenvolvido para avaliar misturas abertas, foi criado e normalizado, inicialmente, no Centro de Estudos de Carreiras na Espanha (CEC 325/86) [15] e, posteriormente, normalizado no Brasil, sob as normas DNER – ES 383/99 [16] e DAER – EL 215/01 [17]. Consiste em submeter amostras (uma por vez) de concreto asfáltico a 300 revoluções (33rpm), dentro da máquina de abrasão Los Angeles, sem as esferas metálicas. A perda de massa por desgaste é calculada através da diferença de massa das amostras antes e depois do ensaio. Este ensaio avalia de maneira indireta a coesão, a resistência à abrasão e a resistência à desagregação de misturas asfálticas.

O ensaio Lottman Modificado (AASHTO T 283-89 ou ASTM D4867) [18,19] avalia as propriedades de adesividade em misturas asfálticas, considerando o efeito deletério da água, em amostras com volume de vazios de aproximadamente 7% ($\pm 1\%$). A análise é feita pela relação entre a resistência à tração de amostras com condicionamento prévio e amostras sem condicionamento. Esta relação é denominada Resistência Retida à Tração (RRt).

As amostras para a realização dos ensaios de Resistência à Tração e Módulo de Resiliência foram condicionadas à temperatura de 25°C. Para o ensaio de desgaste Cantabro foram adotadas as temperaturas de condicionamento de 25°C e 45°C. Estes ensaios foram realizados no Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - LAPAV/UFRGS.

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1. Resultados da Dosagem Marshall

Os resultados da dosagem Marshall das cinco misturas de CA com diferentes formas de incorporação de cal estão apresentados na Tabela 3. Na Figura 1 são apresentados os teores de ligante das cinco misturas de CA.

Com a análise dos dados verifica-se que, todas as misturas com incorporação de cal apresentam

uma redução importante no teor de ligante. A maior redução em relação à mistura de Referência (sem adição de cal) ocorreu com a mistura Cal/Calda (14,47%).

Essa redução possibilita economia de ligante e conseqüentemente uma redução de custos de produção da mistura; dependendo do custo da cal e do ligante na região de abrangência do projeto esta redução pode levar a produção de misturas com custo equivalente ou até mesmo menores do que misturas sem cal.

3.2. Resultados dos Ensaio de Caracterização Mecânica das Amostras

Os resultados dos ensaios são apresentados com filtragem e sem filtragem de dados. A filtragem de dados foi realizada com o objetivo de se analisar os dados de forma mais representativa. Determinou-se a Média (\bar{x}) dos resultados e seu desvio padrão (σ) posteriormente calculou-se a Média menos o Desvio Padrão ($\bar{x}-\sigma$) e Média mais Desvio Padrão ($\bar{x}+\sigma$), os valores que não se enquadraram neste intervalo foram excluídos e foi realizado novamente o processo com os valores restantes até que todos se enquadrassem no critério adotado.

Para cada mistura em estudo, com diferentes formas de incorporação de cal, e teores de ligante correspondentes a cada projeto, foram rompidas 4 amostras, totalizando 20 amostras ensaiadas. A Figura 2 apresenta graficamente o resumo dos resultados obtidos através do ensaio de resistência à tração. Nota-se que, apesar das misturas com cal apresentarem um menor teor de ligante a redução nos valores de Rt é bastante discreta.

A Figura 3 apresenta o resumo dos resultados obtidos no ensaio de Módulo de Resiliência (Mr). Para este ensaio foram moldadas 3 amostras para cada mistura em estudo, totalizando 15 amostras ensaiadas. Pode-se verificar que todas as amostras com incorporação de cal apresentaram uma diminuição de Mr em relação à amostra de Referência, sem incorporação de cal.

Os valores médios de Mr indicam que as misturas com maiores valores foram a Referência (11803 MPa), seguida da Cal/Calda (11596MPa) e Cal/Ag. Seco (9836MPa), os menores valores foram obtidos com as misturas de Cal/Fíler (8458MPa) e Cal/Ag. Úmido (7980MPa). Pode-se

verificar que todas as amostras com incorporação de cal apresentaram uma diminuição de M_r em relação à amostra de *Referência*, apesar desta mistura possuir o maior teor de ligante. Isso reforça a influência positiva que a cal está exercendo.

A relação M_r/R_t nos dá uma idéia da compatibilidade entre rigidez e resistência da mistura; misturas muito rígidas necessitam de uma alta resistência à tração devido a concentração de esforços em seu interior. Os valores destas relações estão apresentados na Figura 4.

Os valores médios da relação M_r/R_t indicam que as misturas com maiores valores foram a *Referência* (7810MPa), seguida da *Cal/Calda* (7744MPa) e *Cal/Ag. Seco* (6539MPa), os menores valores foram obtidos com as misturas de *Cal/Ag. Úmido* (5771MPa) e *Cal/Fíler* (5902MPa).

As misturas apresentaram, de forma geral uma redução do Módulo de Resiliência (M_r) em relação às amostras de *Referência*, mas mantiveram a sua Resistência à Tração (R_t) praticamente inalterada, isso demonstra que as misturas com incorporação de cal tornaram-se mais elásticas mantendo sua resistência à ruptura.

A análise dos valores de módulo de resiliência é bastante complexa, visto que, dependendo da estrutura de pavimento que este material estará inserido, valores maiores ou menores serão tolerados. É necessária sim, uma compatibilização de rigidez entre as camadas que constituem o sistema.

Pode-se afirmar que concretos asfálticos com altos valores de módulo de resiliência, são menos compatíveis com bases granulares do que os concretos asfálticos menos rígidos podem ser mais interessantes em camadas mais superficiais, como é o caso das misturas francesas tipo EME (Enrobés à Module Élévê).

3.3. Resultados dos Ensaios de Caracterização das Propriedades de Coesão e Adesão

A Figura 5 apresenta os valores de perda de massa para cada mistura, realizado com condicionamento prévio de 25°C. Verifica-se uma perda de massa mais acentuada para as amostras com adição do tipo *Cal/Ag. Seco* (10,96%) seguido das amostras com adição do tipo *Cal/Fíler* (8,84%), as amostras de *Referência* foram as que menos tiveram perda de massa (5,71%).

A Figura 6 apresenta os valores de perda de massa para cada mistura, realizado com condicionamento prévio de 45°C. Também se observou uma perda de massa mais acentuada para as amostras com adição do tipo *Cal/Ag. Seco* (3,96%) seguido das amostras com adição do tipo *Cal/Calda* (3,26%), as amostras de *Referência* foram as que menos tiveram perda de massa (0,71%).

Observa-se que para uma temperatura mais elevada, as amostras apresentam uma menor perda de massa, isso ocorre devido ao fato das misturas se tornarem mais plásticas (principalmente na mistura de *Referência*, que apresenta um maior teor de ligante) com a elevação da temperatura, sofrendo as amostras apenas uma deformação, não ocorrendo uma desagregação no mesmo nível do que em amostras submetidas ao ensaio à temperaturas mais baixas.

Com os resultados do ensaio Cantabro observa-se que para ambas as temperaturas de condicionamento (25°C e 45°C) as amostras da mistura de *Referência* apresentaram uma menor perda de massa em comparação com as demais misturas; isso ocorre pelo fato das amostras de *Referência* apresentarem um maior teor de ligante possuindo assim um maior poder cimentante.

Segundo prescrições da norma DNER – ES 386/99 [20] o valor máximo de perda de massa aceitável é de 25%, o que demonstra que todas as amostras estão dentro das especificações, sendo neste caso o valor máximo atingido de 10,96% na mistura *Cal Ag. Seco*.

A Figura 7 apresenta os resultados obtidos para o ensaio Lottmann Modificado realizado com condicionamento segundo prescrições de ensaio. Os valores médios indicam que a mistura com maior valor de Resistência Retida à Tração (RRt) foi a de adição sob a forma de *Cal/Ag. Seco* (94,54%), seguida da *Cal/Calda* (87,05%) e *Referência* (85,34%), já os menores valores foram obtidos com as misturas de *Cal/Ag. Úmido* (85,19%) e *Cal/Fíler* (83,54%).

Apesar das amostras de *Referência* apresentarem um bom desempenho, as amostras com adição de cal sobre agregado graúdo apresentaram melhores resultados, elevando substancialmente os valores de RRt.

Muitos estados norte americanos aceitam valores de RRt acima de 70%, já a especificação Superpave aceita apenas valores acima de 80%. Observa-se dessa forma que todas as misturas analisadas neste estudo estão dentro das especificações.

Atualmente no país é prática usual a incorporação de cal em misturas asfálticas sob a forma de filer, porém com a análise dos dados desta pesquisa verifica-se que a incorporação de cal sobre o agregado graúdo seco (*Cal/Ag. Seco*) apresenta um melhor desempenho em relação a esta prática (+11,63%) e em relação às amostras de *Referência* (+ 9,73%). Para a utilização deste novo método de incorporação necessita-se, na prática, de adaptações nas usinas, pois as mesmas não estão preparadas para este tipo de solução.

4. CONCLUSÕES

A partir dos ensaios realizados e do conjunto de dados analisados foi possível chegar às seguintes conclusões:

- todas as misturas com incorporação de cal apresentaram uma redução significativa no teor de ligante, onde a maior redução em relação à amostra de *Referência* (sem adição de cal) ocorreu com a mistura *Cal/Calda* (14,28%). Considerando que na mistura, o ligante asfáltico é o componente de maior custo financeiro, essa redução proporciona uma grande economia;

- as misturas mantiveram a Resistência à Tração (Rt) praticamente inalterada e apresentaram de forma geral uma redução do Módulo de Resiliência (Mr) em relação à amostra de *Referência*, isso demonstra que a incorporação de cal torna as misturas mais elásticas mantendo sua resistência à ruptura.

- em relação à perda de massa todas as misturas apresentam-se dentro das especificações, o valor máximo atingido foi de 10,96% na mistura *Cal/Ag. Seco*, sendo o valor máximo aceitável 25%. Amostras da mistura de *Referência*, por apresentarem um maior teor de ligante possuindo assim um maior poder cimentante tiveram uma menor perda de massa em comparação com as demais misturas.

- na avaliação da adesividade apesar das amostras de *Referência* apresentarem um bom desempenho, as misturas com adição de cal sobre

agregado graúdo apresentaram melhores resultados, elevando substancialmente os valores de Resistência Retida à Tração (RRt). Com maior valor (94,54%), a mistura *Cal/Ag. Seco* apresentou o melhor desempenho entre as misturas ensaiadas.

Observa-se dessa forma que a adição de cal calcítica, com elevado teor de hidróxido de cálcio, altera de maneira substantiva e positiva as propriedades das misturas tipo concreto asfáltico; as formas de incorporação que tratam com cal o agregado graúdo são as mais eficientes. A prática atual de adição de cal como melhorador de adesividade na forma de filer, prática corrente no Brasil, não foi a forma mais satisfatória de adição.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao MEC pelas bolsas PET do segundo e quarto autores, ao CNPq pela bolsa IC do primeiro autor e pela bolsa PQ do quinto autor e a FAPERGS pela bolsa IC do terceiro autor.

REFERÊNCIAS

1. SPECHT, L. P.; PALUDO, I.; CERATTI, J. A. P. *Utilização de borracha reciclada como agregado de concreto asfáltico: avaliação laboratorial*. In: 16 ° Encontro do Asfalto, 2002, Rio de Janeiro. Anais do 16 ° Encontro do Asfalto. Rio de Janeiro: Horta Barbosa, 2002. p. 1-8.
2. BERNUCCI, L. B.; LEITE, L. M.; MOURA, E. *Propriedades mecânicas em laboratório de misturas asfálticas convencionais e modificadas por polímeros*. In: 16 ° Encontro do Asfalto, 2002, Rio de Janeiro. Anais do 16 ° Encontro do Asfalto. Rio de Janeiro: Horta Barbosa, 2002. p. 1-9.
3. ANTT - AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. *Boletim Estatístico*. Abril 2008. 1p.
4. SPECHT, L. P. *Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus*. Porto Alegre, 2004. (Tese de Doutorado em Engenharia Civil) – UFRGS

- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 279p.
5. HIRSCH, F. *Estudo do Comportamento de Misturas Asfálticas Preparadas com Diferentes Tipos de Ligantes*. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil – UNIUIÚ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2007.
 6. SPECHT, L. P.; ROZEK, T.; HIRSCH, F.; CERATTI, J. A. P. *Avaliação mecânica e de adesividade de misturas asfálticas considerando o teor de fíler adicionado*. Revista Estradas (Porto Alegre), v. 13, p. 68-73, 2008.
 7. LITTLE, D. N.; EPPS, J. A.; SEBAALY, P. E. *The benefits of hydrated lime in hot mix asphalt*. Report for National Lime Association, 2006. 80p.
 8. NÚÑEZ, W. P, CERATTI, J. A. P, PERAÇA, V., TSUKUDA, R. S. *Produzindo misturas asfálticas de elevado desempenho com emprego de cal hidratada*. ABPv - 38ª Reunião Anual de Pavimentação – Manaus, 2007, 15p.
 9. HICKS, R.G. & SCHOLZ, T.V. *Life Cycle Cost for Lime in Hot Mix Asphalt*. Report and Software for National Lime Association, 2001.
 10. ASPHALT INSTITUTE. *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-mix Types*. Lexington, Manual Series N°2 (MS-2), 6 ed. 1995a, 141p.
 11. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard Practice for Preparation of Bituminous Using Marshall Aparatus*. D 6926-04. In: ASTM ...Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, 2004.
 12. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures*. D 6927-05. In: ASTM...Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, 2005.
 13. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. *Misturas Betuminosas – Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral*. DNER – ME 138/94. Rio de Janeiro, 1994, 4p.
 14. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. *Misturas Betuminosas – Determinação do Módulo de Resiliência*. DNER – ME 133/94. Rio de Janeiro, 1994, 5p
 15. CENTRO DE ESTUDIOS DE CARRETERAS (CEC). *Propuesta de Norma de Ensayo – Determinacion de la perdida por Desgaste de Mezeclas Bituminosas mediante el empleo de la Maquina de Los Angeles (Ensayo Cantabro)*. NLT – 325/86. Madri, 1986,3p.
 16. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. *Desgaste por abrasão de misturas betuminosas com Asfalto-Polímero – Ensaio Cantabro*. DNER – ME 383/99. Rio de Janeiro, 1999, 2p.
 17. DEPARTAMENTO AUTONOMO DE ESTRADAS E RODAGEM. *Determinação da Perda por Desgaste de Misturas Betuminosas de Graduação aberta (Ensaio Cantabro)*. DAER/RS – EL 215/01. Porto Alegre, 2001, 4p.
 18. AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. *Resistence of Compacted Bituminous Mixture Induced Damage*. AASHTO T 283-89.
 19. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard test method for effect os moisture on asphalt concrete paving mixtures*. D 4867-96. In: ASTM ...Annual Book of ASTM ...Annual Book of Standars , Philadelphia, v4.03, 5p. 2005.
 20. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. *Pavimentação – Pré misturado à quente com asfalto polímero – Camada porosa de atrito*. DNER – ES 386/99. Rio de Janeiro, 1994, 15p.

Tabela 1 - Número de amostras ensaiadas

Mistura	N° de Amostras / Ensaio			
	Módulo de Resiliência	Resistência a Tração	Perda de Massa	Dano por umidade
Referência	3	4	8	6
Cal/Fíler	3	4	8	6
Cal/Ag. Seco	3	4	8	6
Cal/Ag. Úmido	3	4	8	6
Cal/Calda	3	4	8	6
Total/Ensaio	15	20	40	30
Total de Amostras	90			

Tabela 2 - Propriedades do ligante CAP 50/70

Propriedade	Método	CAP 50/70	
		Especificação	Resultado
Ponto de amolecimento (°C)	NBR 6560	46 min.	48,6
Penetração (0,1 mm)	NBR 6576	50 - 70	51
Visc. Brookfiel 135°C (cp)	MB 517	274 min.	317
Visc. Brookfiel 150°C (cp)	MB 517	112 min.	164
Visc. Brookfiel 175°C (cp)	MB 517	57 a 285	69
Ductibilidade (cm)	NBR 6293	60 min.	>150
Massa Específica (g/cm³)	DNER - M 16/64	---	1,009
Ponto de Fulgor (°C)	NBR 11341	235 min.	>296

Tabela 3 - Resultados da Dosagem Marshall

PROPRIEDADES FINAIS DA MISTURA	Referência	Cal/Fíler	Cal/Ag. Seco	Cal/Ag. Úmido	Cal/Calda
Propriedade					
Teor de Betume (%)	5,46	4,68	4,72	4,84	4,67
Volume de Vazios (%)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Relação Betume Vazios (%)	76,36	75,21	75,38	75,77	72,70
Vazios do Agregado Mineral (%)	16,34	16,05	16,14	16,42	16,50
Massa Específica Máxima Teórica (g/cm³)	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69
Massa Específica Aparente (g/cm³)	2,60	2,59	2,59	2,59	2,59
Estabilidade (kgf)	1076	1159	1129	1064	1043
Fluência (1/100 in)	10	12	8	9	5,38
Resistência à Tração (MPa)	1,51	1,43	1,38	1,38	1,50
Módulo de Resiliência (MPa)	11803	8458	9836	7980	11596
Relação Mr/Rt	8071	6312	6498	5706	7392
Relação Filler/Betume (adm)	1,28	1,50	1,48	1,45	1,50

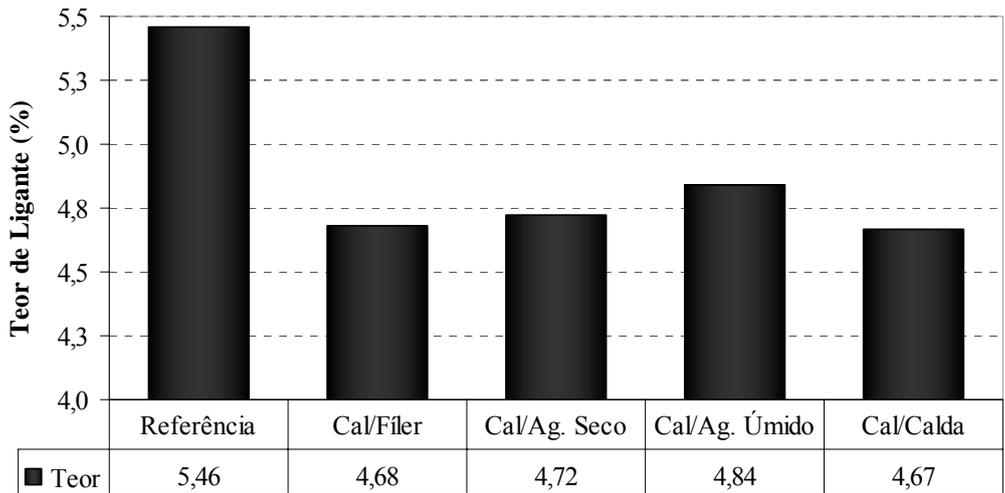


Figura 1 - Teor de Ligante (%)

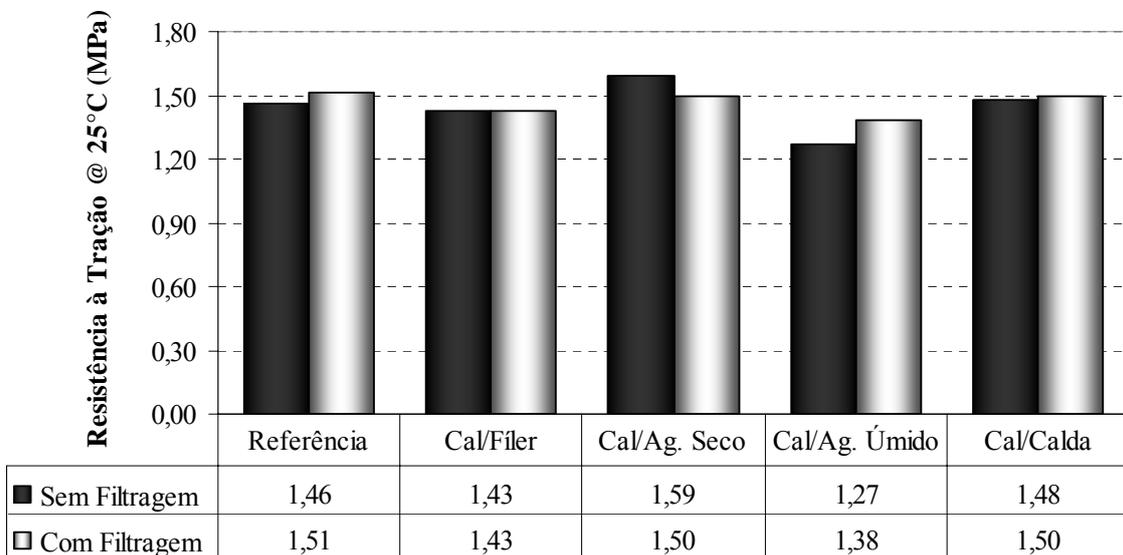


Figura 2 - Resistência à Tração @ 25°C (MPa)

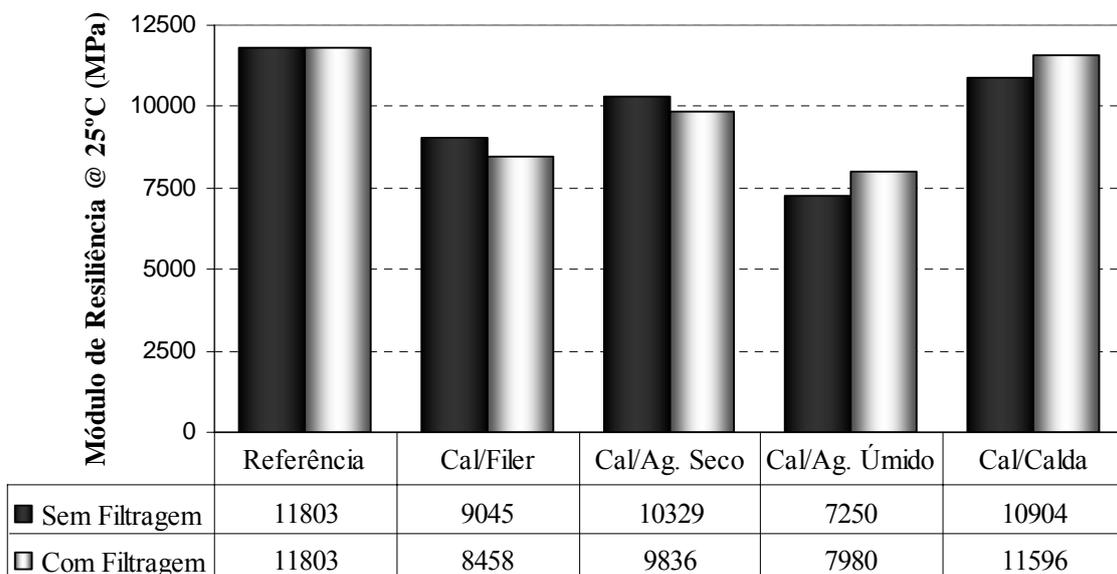


Figura 3 - Módulo de Resiliência @ 25°C (MPa)

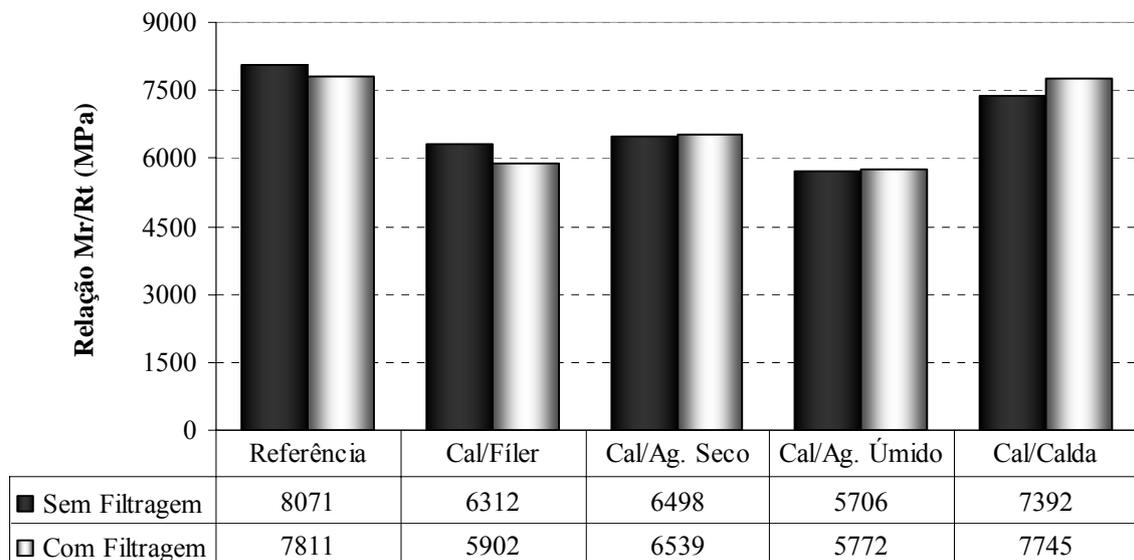


Figura 4 - Relação Mr/Rt @ 25°C (MPa)

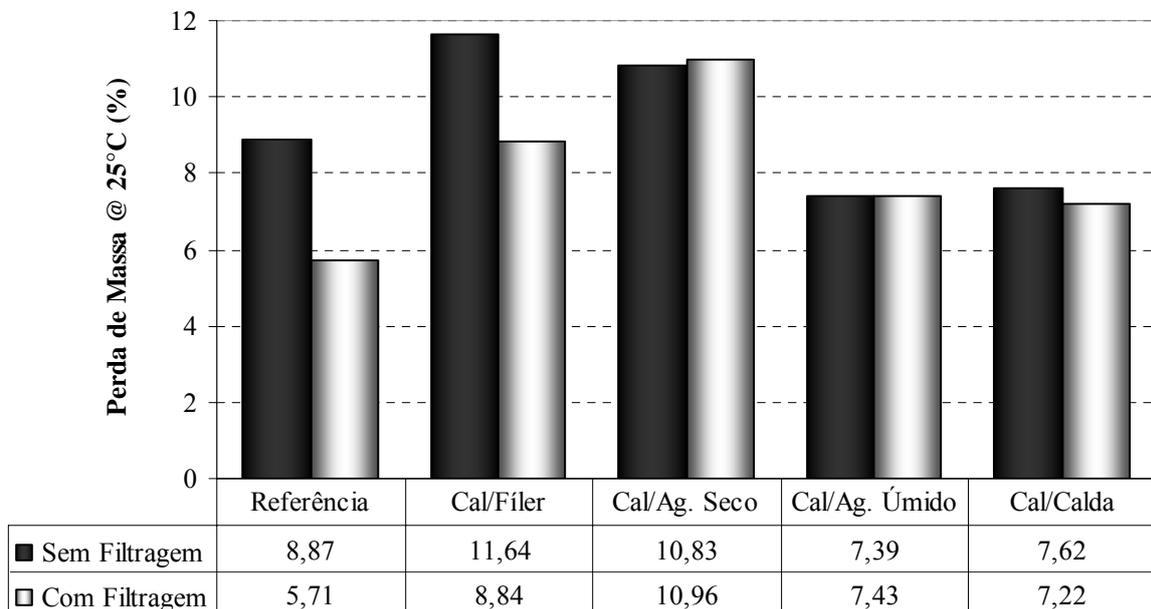


Figura 5 - Perda de Massa @ 25°C (%)

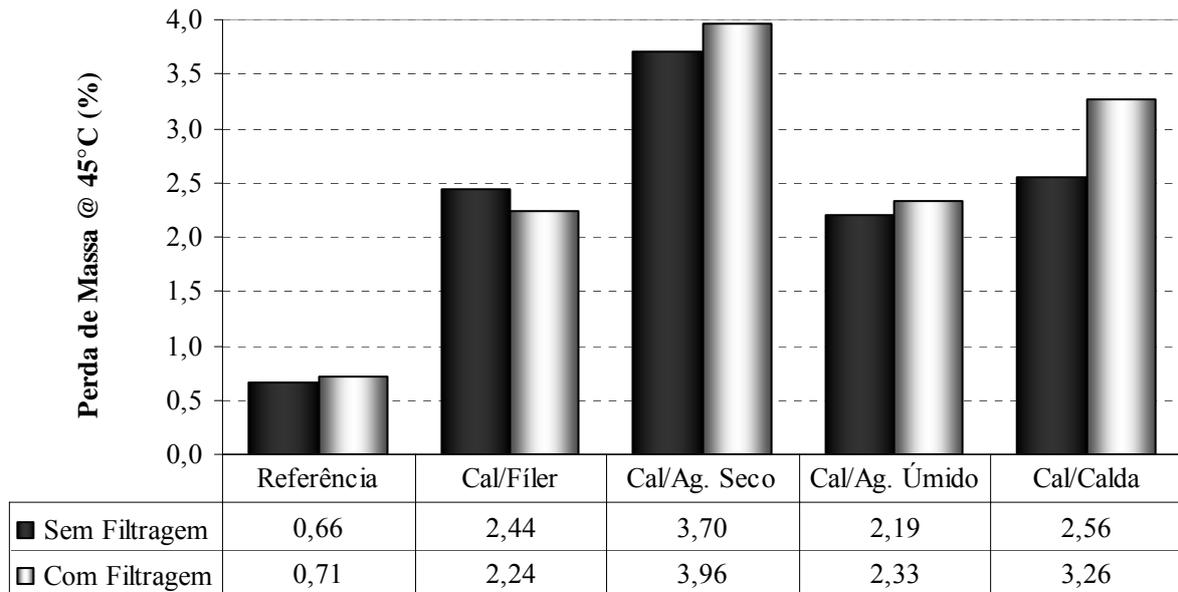


Figura 6 - Perda de Massa @ 45°C (%)

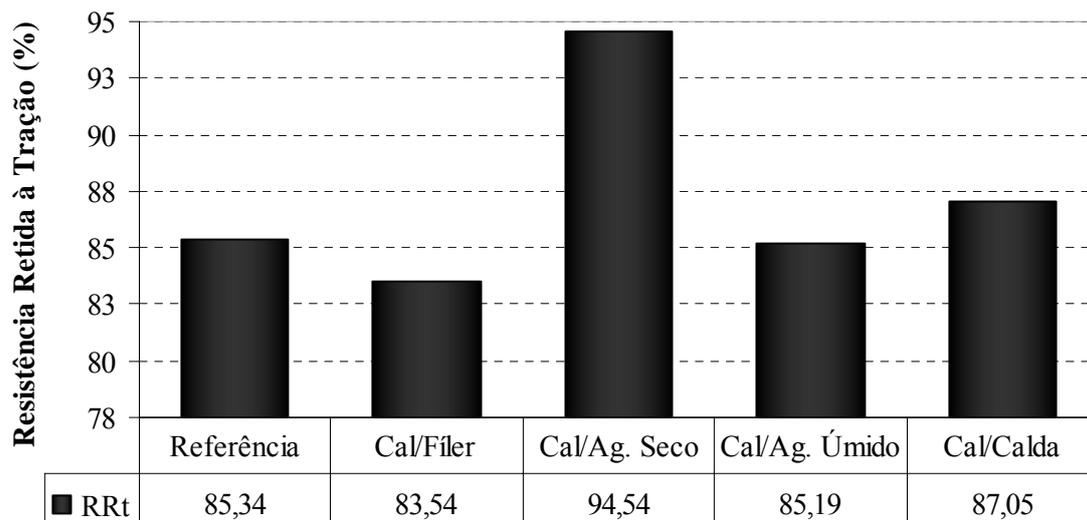


Figura 7 – Resistência Retida à Tração