

ARTIGO

DESEMPENHO DE MISTURAS DE AREIA ASFALTO USINADAS A QUENTE COM O USO DE LIGANTES MAIS CONSISTENTES

Daniel Rodrigues Aldigueri

Departamento de Engenharia de Transportes
Universidade Federal do Ceará

Liedi Bariani Bernucci

Escola Politécnica
Universidade de São Paulo

RESUMO

Neste trabalho são apresentados resultados de uma pesquisa realizada em laboratório sobre o comportamento mecânico de uma areia asfalto usinada a quente, utilizada no revestimento de uma rodovia no estado do Ceará. A areia asfalto é uma mistura freqüentemente usada nas regiões Norte e Nordeste. Este tipo de mistura pode apresentar um desempenho similar aos concretos asfálticos recomendados para revestimentos de pavimentos em vias com alto volume de tráfego. Necessita-se, para tanto, observar sua graduação, forma de grãos e tipo e teor de ligante asfáltico a ser empregado para garantir durabilidade e resistência adequadas. As misturas pesquisadas no presente estudo têm o mesmo tipo de agregado e graduação, diferindo no teor e tipo de ligante.

ABSTRACT

This paper presents the results of a laboratory research on the mechanical behavior of a sand-asphalt hot mix used in the surface course of a highway in the state of Ceará. The sand-asphalt is a mixture frequently used in the Brazilian North and Northeast regions. It presents a performance similar to asphalt concrete

mixtures normally recommended for pavement surface courses in roadways of high traffic levels. It is important to observe aggregate gradation, grain form and type, and asphalt binder content in order to guarantee adequate durability and resistance of sand-asphalt mixtures. The mixtures analyzed in this study have the same type of aggregate and gradation, differing in the content and type of the binder used.

1. INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário no Brasil é o mais utilizado para o deslocamento de pessoas e mercadorias, sendo que cerca de 2/3 do transporte de carga é realizado por rodovias. Tendo em vista sua importância no contexto econômico do País, é necessário que os diversos estados da federação possuam uma malha rodoviária desenvolvida e em boas condições de uso, para proporcionar conforto, segurança e economia aos usuários. Em algumas regiões, a escassez de materiais pétreos de boa qualidade para a confecção de misturas asfálticas, principal tipo de revestimento de pavimento utilizado no Brasil, onera de forma significativa os custos de construção e manutenção destas vias.

O uso de misturas de areia asfalto tem sido uma solução para locais em que não se dispõe de pedreiras ou cascalheiras como fonte de agregados para pavimentação. Esta solução, além de viabilizar economicamente a pavimentação nestas regiões, possibilita a conservação dos agregados minerais de alta qualidade para outras finalidades, quando sua quantidade é restrita, e/ou para reduzir os danos ecológicos causados pela escavação de áreas de empréstimos e de encostas (Fatani e Sultan, 1982). As misturas de areia asfalto têm sido usadas em diversas regiões do Mundo na forma de misturas asfálticas a frio ou a quente, como no Brasil, em regiões do Oriente Médio, estados norte-americanos, entre outros.

As misturas de areia asfalto usinadas a quente (AAUQ) são consideradas inferiores em desempenho às misturas convencionais de concreto asfáltico. Tais materiais apresentam baixos valores de resistência à tração, acentuado desgaste devido à passagem de pneus e à ação de intempéries, falta de aderência pneu/pavimento em pista

molhada e baixa resistência à deformação permanente, sendo este último um dos principais mecanismos de falência dos pavimentos. Várias tentativas de se melhorar o desempenho deste tipo de mistura têm sido realizadas através da adição de enxofre ao ligante asfáltico (Singh e Al-Ausi, 1981), uso da técnica de asfalto-espuma (Bissada, 1987), uso de ligantes modificados por asfaltita (Lomonaco e Bernucci, 1999), entre outras.

2. OBJETIVOS E MÉTODOS

2.1. Objetivos

Neste trabalho tem-se por objetivos:

- Avaliar a melhoria do comportamento de misturas de areia asfalto usinadas a quente quando usados ligantes asfálticos mais consistentes;
- Obter parâmetros de projeto de misturas de AAUQ;
- Verificar se misturas de areia asfalto usinadas a quente podem ser uma boa solução técnica para pavimentação, em regiões que carecem de agregados pétreos ou cascalhos.

2.2. Métodos

Os métodos laboratoriais utilizados neste trabalho para caracterização das misturas de areia asfalto a quente são: determinação de afundamento em trilha de roda através de simulador de tráfego LCPC (*Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*); resistência à tração por compressão diametral (RT) a 25°C, como procedimento normalmente executado, e ainda a duas outras temperaturas (11 e 35°C) de ensaio para estudo de suscetibilidade térmica; determinação do módulo de resiliência (MR) a 25°C; e ensaio de perda de massa por desgaste Cântabro para comparar a durabilidade destas misturas, devido à mudança nas características do ligante, com as de concreto asfáltico.

3. MATERIAIS

Os materiais utilizados nas misturas de areia asfalto analisadas são: areia bem graduada, com forma cúbica e textura superficial rugosa, mostrada na Figura 1, e distribuição granulométrica apresentada na Figura 2; 2% em peso é fíler ativo, constituído por cal, além do fíler existente naturalmente na areia; e como ligantes asfálticos o CAP 50/60, amplamente usado nas regiões Norte e Nordeste, o CAP 30/45 e um ligante modificado por asfaltita de penetração 25 (mais consistente).

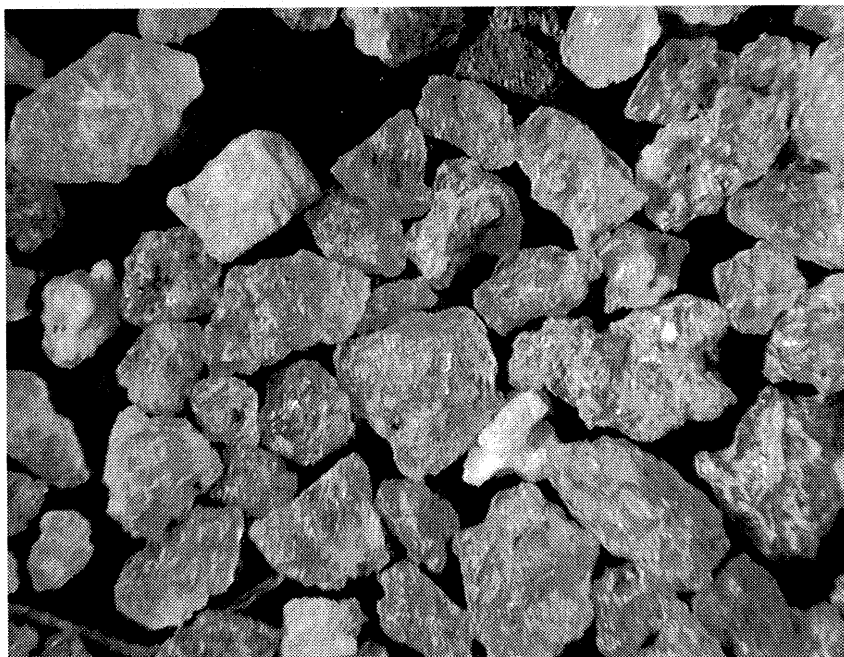


Figura 1: Forma e textura superficial dos grãos da areia estudada, aumento de 8 vezes

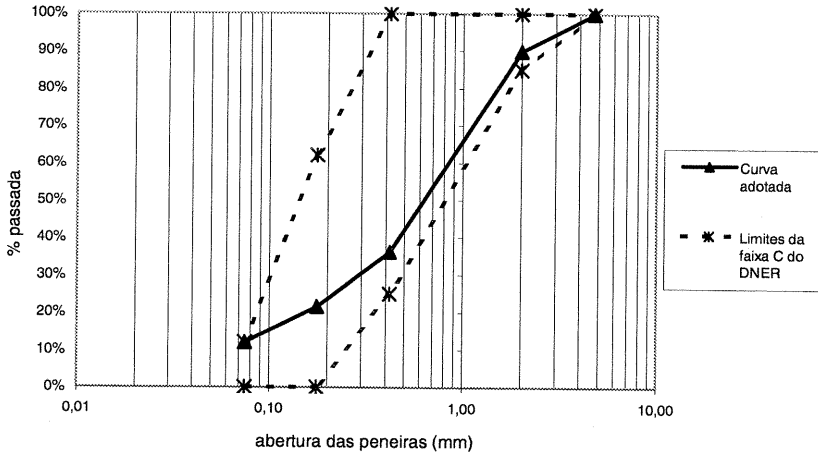


Figura 2: Distribuição granulométrica da areia

A consistência dos ligantes está sendo avaliada pela sua penetração e viscosidade absoluta, por estes parâmetros serem os utilizados para caracterizar e classificar os diversos tipos de ligantes asfálticos no Brasil (DNC, 1992). Algumas características destes materiais encontram-se na Tabela 1. A designação adotada segue especificação para as regiões Norte e Nordeste, que destaca a penetração para sua classificação. A estes ligantes foi adicionado 0,5% de aditivo líquido químico, recomendado por Santana (1996) para misturas de areia asfalto.

Tabela 1: Características dos ligantes asfálticos

Características	CAP 50/60	CAP 30/45	Asfalto com asfaltita
Penetração ($\times 10^{-1}$ mm)	49	38	25
Viscosidade abs. a 60°C (Poise)	3884	5530	77860

4. RESULTADOS

Os resultados apresentados foram retirados de Aldigueri (2001), dissertação de mestrado do 1º autor.

4.1. Deformação permanente em trilhas de roda

O ensaio foi realizado conforme a norma francesa NFP98-253-1 (1991), com corpos-de-prova em forma de placa com 50 mm de espessura, e temperatura de ensaio de 60°C. Foram ensaiadas para os teores de 7, 9 e 11% de cada um dos tipos de ligante asfáltico estudado. Os resultados estão reproduzidos na Figura 3, onde se observa o número de ciclos necessários para atingir 10% de afundamento em trilha de roda (percentual em relação à espessura do corpo-de-prova) para os diferentes tipos de ligante (representados por sua penetração), em diferentes teores. Observa-se que para 7 e 9% de teor de ligante as misturas apresentaram boa resistência ao desenvolvimento de deformação permanente. No teor de 11% verifica-se que as misturas tiveram baixa resistência à deformação permanente. Os ligantes mais consistentes apresentaram maiores resistências ao afundamento em trilha de roda. Nas misturas estudadas o aumento do teor de ligante diminuiu a resistência à deformação permanente. Verifica-se ainda que o teor de ligante teve mais influência no comportamento à deformação permanente que o tipo de ligante.

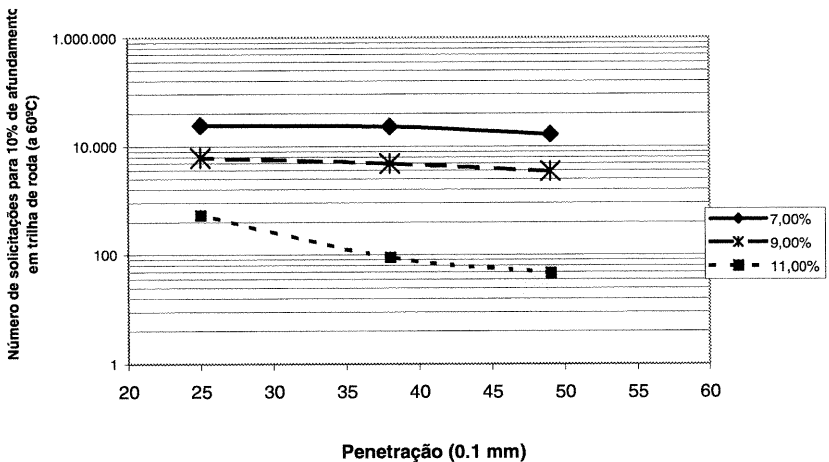


Figura 3: Variação da deformação permanente com a penetração (diferentes ligantes), para teores diferentes nas misturas de areia asfalto

Os resultados obtidos mostram evidências de que a areia asfalto estudada é uma mistura resistente à formação de trilhas de roda, provavelmente graças à boa graduação e forma não arredondada dos grãos da areia empregada. Areias de graduação uniforme e com grãos arredondados tem apresentados resultados de afundamentos em trilha de roda pronunciadamente mais expressivos, como mostram os resultados observados por Lomonaco e Bernucci (1999), salientando ser um dos maiores problemas mecânicos a serem enfrentados e contornados para misturas de areia-asfalto.

4.2. Resistência à Tração por Compressão Diametral

O ensaio foi realizado de acordo com a norma DNER-ME 138/94. Todos os resultados correspondem a uma média de 3 corpos-de-prova. Foram ensaiados corpos-de-prova nos teores de 7, 8, 9, 10 e 11%. Observa-se na Figura 4 que o CAP 30/45 obteve os maiores valores de resistência à tração com máximo de 1,39 MPa para cerca de 9% de ligante. O CAP 50/60 obteve um valor máximo de resistência à tração de 1,34 MPa, obtido no teor de 10%. Os resultados mostram que o CAP 30/45 apresenta valores de resistência superiores ao do CAP 50/60, devido, possivelmente à sua maior consistência.

Os valores obtidos para o ligante asfáltico modificado por asfaltita foram inferiores aos dos outros dois ligantes nos teores de 8, 9 e 10%, sendo este o ligante mais consistente (maior viscosidade e menor penetração). Este resultado mostra que a consistência medida através dos parâmetros de viscosidade e penetração não é diretamente proporcional aos valores de resistência à tração. No teor de 7%, a mistura confeccionada com este ligante teve valor de resistência à tração superior ao da mistura com CAP 50/60 e no teor de 11% a mistura com ligante asfáltico modificado por asfaltita teve valor superior aos obtidos tanto para a mistura com CAP 50/60 como para a mistura com CAP 30/45, não perdendo resistência com o excesso de ligante. Os valores obtidos para o ligante asfáltico modificado por asfaltita estão em torno de 0,96 e 1,24 MPa. De uma forma geral, todos os valores de resistência à tração obtidos são considerados satisfatórios, representando misturas de boa resistência à tração,

compatíveis com valores que se encontram para misturas de concreto asfáltico.

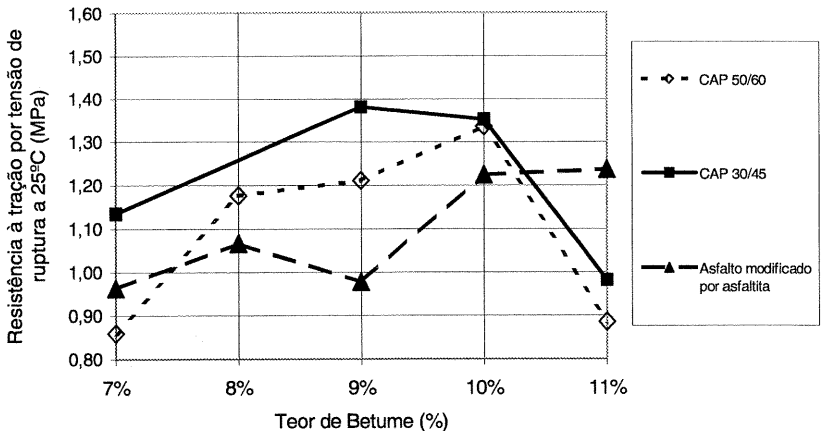


Figura 4: Variação da resistência à tração com o teor e o tipo de ligante asfáltico

4.3. Suscetibilidade térmica das misturas de AAUQ

Realizou-se um estudo de suscetibilidade térmica das misturas de AAUQ, tendo como variáveis o tipo e o teor de ligante e a temperatura de ensaio. Usou-se o ensaio de resistência à tração por compressão diametral em diferentes temperaturas para realização deste estudo. O motivo desta escolha se deve ao fato de que o ensaio de resistência à tração é rápido e simples, o que não provoca uma variação da temperatura do corpo-de-prova durante sua execução, sendo dispensável o uso de uma câmara de climatização (Aldigueri, 2001). Os teores analisados foram 8, 9 e 10% de ligante asfáltico. As temperaturas ensaiadas: 11, 25 e 35°C. A variação do valor de resistência à tração com a temperatura para o teor de 9%, considerado como teor de projeto, é mostrada na Figura 5.

Observa-se na Figura 5 que todas as misturas apresentam comportamento semelhante quanto à variação da resistência à tração com a temperatura; porém deve-se destacar a menor variação de resistência com a temperatura da mistura com asfalto modificado por

asfaltita, demonstrando uma menor susceptibilidade térmica em comparação com os asfaltos convencionais. A mesma tendência de decaimento da resistência com a temperatura pôde ser observada para os demais teores ensaiados (Aldigueri, 2001).

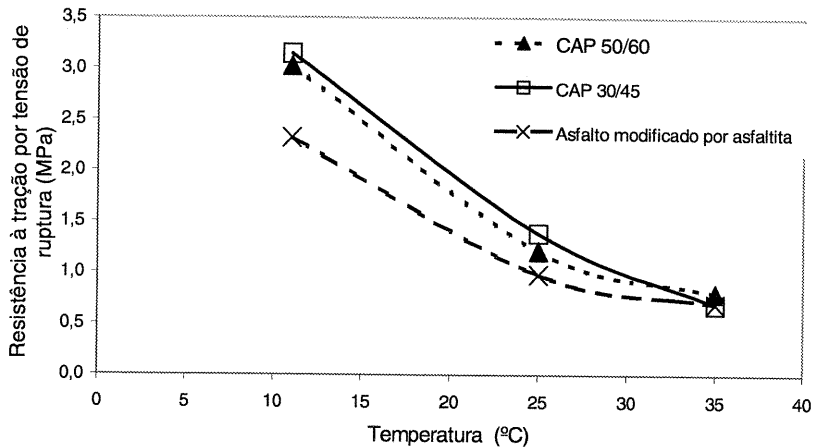


Figura 5: Variação com a temperatura do valor de resistência à tração das misturas de areia asfalto usinadas a quente, para misturas com 9% de ligante asfáltico

Na Figura 6, observam-se os diferentes patamares de resistência à tração para as temperaturas de 11, 25 e 35°C, nos diversos teores e tipos de ligantes estudados. Houve uma maior variação dos valores de resistência à tração quando se mudou a temperatura de 25 para 11°C do que quando se mudou a temperatura de 25 para 35°C; a diferença nos gradientes de temperatura (14 e 10°C, respectivamente) é responsável somente em parte pela alteração; a mudança de comportamento reológico do ligante é provavelmente o fator preponderante no processo. Para o CAP 30/45, no teor de 8% de ligante, as misturas passaram por um processo de sobreaquecimento durante a usinagem; por este motivo, os valores de resistência obtidos estão representados, porém não unidos aos demais por linha de tendência.

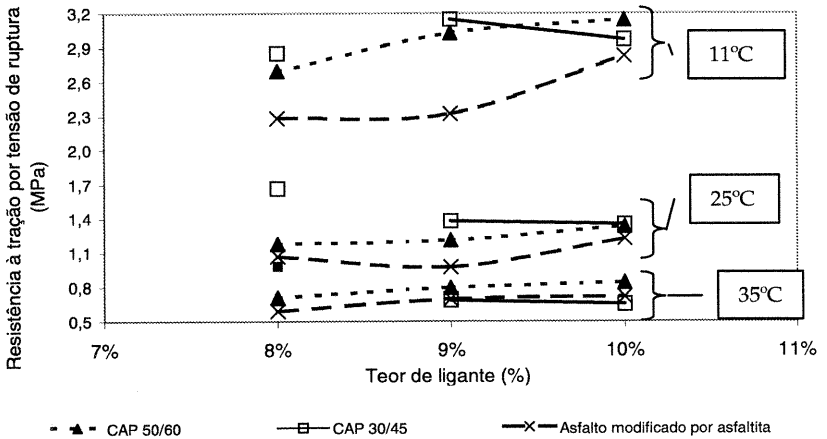


Figura 6: Valores de resistência à tração nas temperaturas de 11, 25 e 35°C, variando o tipo e teor de ligante asfáltico

Cabe observar que a resposta à solicitação do ensaio de tais misturas, para cada temperatura empregada, apresenta comportamentos diferentes. Na Figura 7 pode-se observar o comportamento do ligante CAP 50/60 em temperaturas diferentes; as curvas de variação de tensão de tração pela deformação específica comprovam esta alteração de comportamento, dependente exclusivamente da viscosidade do ligante e de suas mudanças reológicas com a temperatura.

No ensaio a 11°C verifica-se uma ruptura brusca, frágil, do corpo-de-prova, obtendo-se um alto valor de resistência (quando comparada às outras duas curvas), sem fluência após a ruptura. Estes aspectos representam um comportamento mais rígido do material para a temperatura de 11°C. Nas temperaturas de 25 e 35°C, as curvas apresentam comportamentos semelhantes, atingindo um valor máximo de tensão (sendo este menos definidos para a temperatura de 35°C), após o qual a resistência tende a decair de forma lenta variando também os valores de deformação.

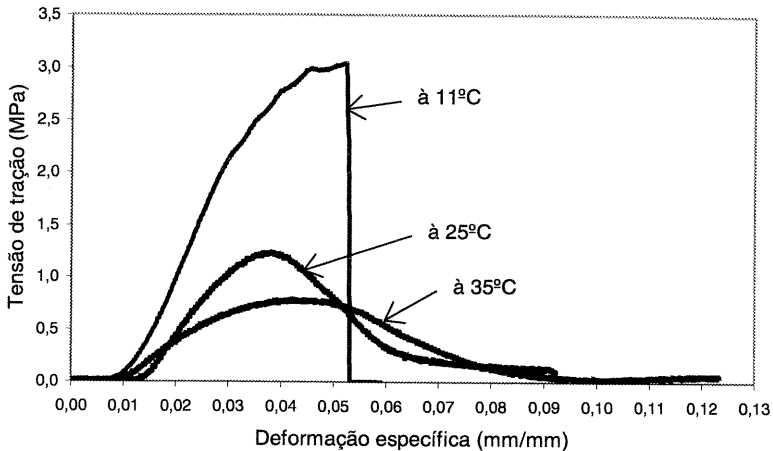


Figura 7: Exemplo de curvas típicas de tensão de tração pela deformação específica, para as temperaturas de 11, 25 e 35°C (exemplo: mistura de CAP 50/60 com 9%)

As misturas asfálticas são materiais termosensíveis, ou seja, com o a diminuição da temperatura tendem a ficar mais rígidas e com aumento da temperatura tendem a diminuir sua consistência tornando-se mais plásticas. A 25 e 35°C, há deformação plástica por fluência importante, estado no qual o material apresentará maiores deformações permanentes frente a baixas tensões.

4.4. Módulo de Resiliência

Foram realizados ensaios de módulo de resiliência a 25°C nos teores de ligante de 8, 9 e 10%, de acordo com a norma DNER-ME 133/86. Foi verificada a variação do valor de módulo de resiliência com a variação do teor de ligante e tipo de ligante, conforme mostra a Figura 8. As misturas confeccionadas com CAP 30/45 apresentaram os maiores valores de módulo de resiliência, estando estes entre 2.400 a 3.000 MPa. Para estas misturas o valor de módulo decresce com o aumento do teor de ligante asfáltico. As misturas feitas com CAP 50/60 apresentaram valores de módulo entre 2.250 e 2.500 MPa. Nestas misturas houve um valor máximo de módulo no teor de ligante intermediário de 9%.

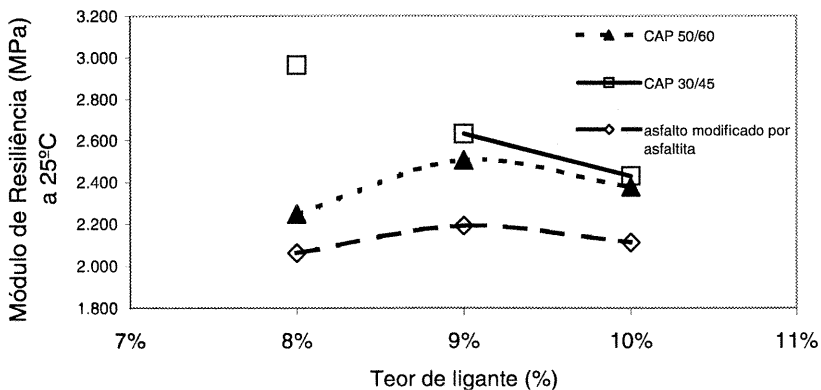


Figura 8: Variação do valor do módulo de resiliência com o teor e tipo de ligante asfáltico

As misturas com ligante asfáltico modificado por asfaltita apresentaram o mesmo comportamento das misturas que continham o CAP 50/60, ou seja, apresentaram um valor máximo de módulo de resiliência no teor de 9% de ligante, com valores entre 2.050 e 2.200 MPa.

As misturas com asfalto modificado por asfaltita obtiveram os menores valores de módulo dentre os três tipos de ligante estudados. Este não é um fator que desabone a utilização do asfalto modificado por asfaltita; este produto torna a mistura asfáltica mais flexível. É interessante realçar que para as três misturas estudadas, não há variação significativa de módulo de resiliência com a variação do teor de ligante, próprio de areia asfalto, cujo consumo de ligante é bastante alto, fazendo com que a variação de 1% no teor de ligante não reflita de forma decisiva nos valores de módulo de resiliência. Observe-se que os valores de módulo encontrado são próximos aos de concretos asfálticos. Isto demonstra que para a areia utilizada no estudo sua graduação, textura superficial e forma dos grãos são fatores preponderantes no comportamento.

Acredita-se que o comportamento da curva de variação do módulo de resiliência com a variação do teor de ligante das misturas com CAP 30/45 tenha o mesmo comportamento das curvas das misturas

com CAP 50/60 e asfalto modificado por asfaltita. Tal curva deveria apresentar um valor máximo de módulo de resiliência no teor intermediário de 9% de ligante. Isto não se mostrou, pois os corpos-de-prova com 8% de CAP 30/45 foram submetidos acidentalmente a um sobreaquecimento durante o processo de usinagem, como já mencionado no item 4.3, resultando em elevados valores de módulo de resiliência.

4.5. Perda de Massa por Desgaste no Ensaio Cântabro

O ensaio de perda de massa por desgaste Cântabro foi realizado para os três ligantes asfálticos analisados nesta pesquisa, nas quantidades de 8, 9 e 10% de teor de ligante. Os resultados obtidos apresentam-se na Figura 9, onde cada ponto das curvas representa a média de quatro determinações de acordo com a norma espanhola NLT-325/86.

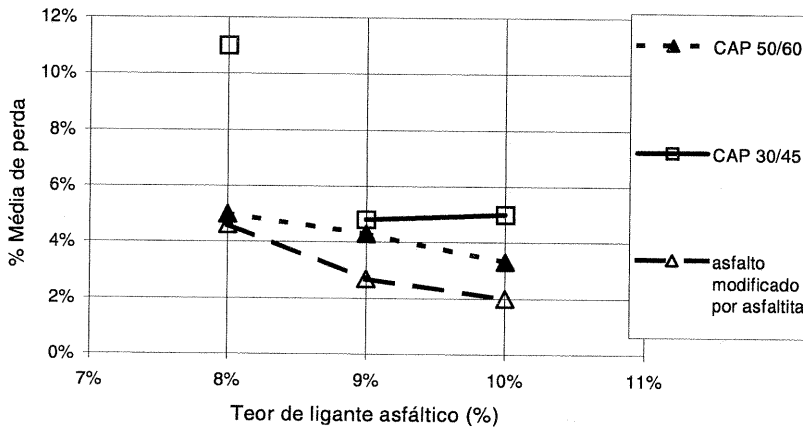


Figura 9: Variação da perda de massa no ensaio Cântabro em função do teor de ligante e do tipo de ligante asfáltico

Observa-se uma tendência de diminuição da perda de massa com o aumento da percentagem de ligante. Este resultado era esperado, pois uma maior quantidade de ligante na mistura proporciona um maior recobrimento dos agregados, protegendo-os mais contra a ação de intempéries e abrasão provocada pela passagem dos pneus. Com

exceção do ponto com 8% de ligante CAP 30/45, onde o sobreaquecimento na usinagem tornou a mistura mais susceptível à desagregação, nota-se que todos os valores de perda encontram-se bem próximos, não diferindo muito quando se varia o teor de ligante nem o tipo de ligante no caso das misturas estudadas. Embora haja proximidade de valores, observa-se que o uso de asfalto modificado por asfaltita favorece a adesividade em comparação com os ligantes convencionais. Têm sido verificado para concretos asfálticos valores de perda de desgaste no ensaio Cântabro da mesma ordem de grandeza (Bernucci *et al.*, 1999).

5. CONCLUSÕES

- A deformação permanente, medida pelo número de ciclos necessários para se atingir determinado afundamento em trilha de roda, aumenta expressivamente com o aumento do teor de ligante em misturas de areia asfalto usinada a quente, como também tem sido verificado para misturas asfálticas de uma maneira geral;
- A deformação permanente é menor quando se usa ligantes mais consistentes em misturas de areia asfalto usinadas a quente, demonstrando um ganho em se utilizar os asfaltos modificados para tal finalidade;
- As misturas estudadas apresentaram valores de resistência à deformação permanente, resistência à tração, módulo de resiliência e perda de massa por desgaste Cântabro comparáveis a boas misturas de concreto asfáltico. Estes resultados se devem provavelmente à boa graduação obtida e forma dos grãos de areia. Tais misturas podem ser consideradas uma boa opção de revestimento para pavimentos flexíveis;
- As misturas com asfaltita podem ser consideradas as de melhor desempenho, pois tiveram, maiores valores de resistência à deformação permanente, menor suscetibilidade térmica e maior durabilidade constatada no ensaio Cântabro. Apesar destas misturas não terem os maiores valores de resistência à tração, as mesmas tiveram o comportamento mais resiliente das três

misturas analisadas. Isto indica menores valores de tensão de tração na fibra inferior do revestimento, para uma mesma espessura de revestimento, sobre uma mesma estrutura de pavimento;

- Misturas de areia asfalto a quente podem ser melhoradas com o uso de ligantes mais consistentes, principalmente aquelas com graduação pobre ou mais uniforme.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de mestrado do primeiro autor, à Petrobrás/Lubnor e à Ipiranga Asfaltos pelos ligantes asfálticos, ao Eng. João Augusto da Petrobrás/Lubnor, ao Eng. José Valdonel Castelo Branco do DNER-CE, ao Prof. Dr. Jorge Barbosa Soares, da UFC, pela remessa de materiais para São Paulo e apoio na pesquisa, e em especial ao Edson de Moura pela valiosa colaboração nos ensaios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldigueri, D.R. (2001) Estudo de Misturas de Areia Asfalto Usinadas a Quente com Asfaltos de Diferentes Consistências para Revestimento de Pavimentos no Estado do Ceará. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 116 páginas.
- Bernucci, L.B.; J.A.P. Ceratti; J.M. Chaves; E. Moura e A.D. Carvalho (1999) Estudo da Adesividade no Comportamento de Misturas Asfálticas. *10º Congresso Ibero-Latino Americano Del Asfalto*, Servilla, España.
- Bissada, A. F. (1987) Structural Response of Foamed-Asphalt-Sand Mixtures in Hot Environments. *Transportation Research Record* N° 1115, 134 – 149, Washington D.C., Estados Unidos da América.
- Centro de Estudios de Carreteras (1986) Proposta de norma de ensaio NLT – 325/86. Determinación de la Perdida por Desgaste de Mezclas Bituminosas mediante el Empleo de la Maquina de Los Angeles. Madri, Espanha.

- Departamento Nacional de Combustíveis (1992) Regulamento Técnico DNC N° 01/92 – Rev. Ministério dos Transportes, Brasil.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994) Métodos de Ensaio - Determinação do Módulo de Resiliência de Misturas Betuminosas. DNER-ME 133/94. Ministério dos Transportes, Brasil.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994) Métodos de Ensaio – Misturas Betuminosas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral. DNER-ME 138/94. Ministério dos Transportes, Brasil.
- Fatani, M.N. e H.A. Sultan (1982) Dune Sand-Aggregate Mixes and Dune Sand-Sulfur Mixes for Asphalt Concrete Pavements. *Transportation Research Record* N° 843, 72 – 79, Washington D. C., Estados Unidos da América.
- Lomonaco, M.M. e L.L.B. Bernucci (1999) Comportamento Quanto à Deformação Permanente de Misturas Areia-Asfalto para Revestimentos e Bases de Pavimentos. Simpósio de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Norme Française (1991) NFP98-253-1 Deformation Permanente des Mélanges Hydrocarbonés. Paris, juillet.
- Santana, H. (1996) Conferência: Experiência no Nordeste Brasileiro em Revestimentos de Tratamentos Superficiais e Areias Asfalto. *30º Reunião Anual de Pavimentação*, ABPv, Salvador, BA.
- Singh, G. e R. M. J. Al-Ausi (1981) Design of Desert Sand-Sulphur-Bitumen Mixes – A symposium sponsored by ASTM Committee D-4 on Road and Paving Materials, Houston, Texas.

Endereço dos autores:

Daniel Rodrigues Aldigueri
Departamento de Engenharia de Transportes
Universidade Federal do Ceará
Av. Antonio Justa 2880, apto 600
60165-090 - Fortaleza – CE
E-mail: dra@det.ufc.br

Liedi Bariani Bernucci
Departamento de Transportes
Escola Politécnica – USP
Av. Prof. Almeida Prado, Travessa 2, s/n
05508-900 - São Paulo – SP – Brasil
E-mail: liedib@usp.br