

PARTE I

Pavimentos

Capítulo 1

Ligantes e Misturas Asfálticas

ESTUDO DE RECAPEAMENTOS ASFÁLTICOS UTILIZANDO A TÉCNICA DE ENSAIOS ACELERADOS

Diana Morussi Azambuja

Jorge Augusto Pereira Ceratti

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESUMO

O objetivo deste trabalho é a avaliar o desempenho de recapeamentos asfálticos submetidos a carregamentos dinâmicos. Os recapeamentos estudados foram: tratamento superficial duplo com capa selante, utilizando ligante modificado por polímero SBS e concreto asfáltico convencional. Uma pista experimental existente foi utilizada para a execução das camadas asfálticas de reforço e tráfegada por um simulador de tráfego linear. Para o acompanhamento da degradação do pavimento foram monitorados as deflexões, os afundamentos de trilha de roda, o trincamento do pavimento e as respostas estruturais (*células de carga e strain gages*). Considerou-se o efeito das condições climáticas neste estudo, verificando-se sua influência no trincamento dos pavimentos recapeados.

ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the performances of asphalt overlays submitted to dynamic loading. The studied overlays were: surface treatment with polymer modified emulsion and conventional asphalt concrete. An existent test section was used for the execution of the overlays and trafficked by a linear traffic simulator. For the accompaniment of the pavements degradation they were monitored the deflections, rutting, cracking of the pavement and the structural response (stress and strains cells). The effects of the climatic conditions were considered in this study and the influence in the cracking of the pavements with overlays.

1. INTRODUÇÃO

Entre as diversas formas de degradação dos pavimentos flexíveis, o surgimento de trincas é um dos maiores causadores de perda de desempenho das rodovias. Na tentativa de se estabelecer um nível aceitável de serventia, várias técnicas de restauração podem ser empregadas, dentre elas, a utilização de asfaltos modificados na confecção de camadas de reforço do pavimento, a qual é um dos temas do presente estudo.

As técnicas analisadas - recapeamentos em concreto asfáltico (CA) e tratamento superficial duplo (TSD) com ligante modificado por polímeros - foram aplicadas a um pavimento experimental severamente trincado. Com o intuito de avaliar o comportamento estrutural e funcional do pavimento em estudo, realizou-se, no período de solicitação do pavimento pelo trem de cargas, o monitoramento dos seguintes parâmetros:

- Parâmetros estruturais (deflexões, tensões e deformações);
- Parâmetro de comportamento (deformações permanentes e reflexão de trincas);
- Parâmetros ambientais.

O estudo do fenômeno de reflexão de trincas foi avaliado através de inspeção visual e o comportamento estrutural, na interface entre o recapeamento e o pavimento existente, foi monitorado através da instalação de sensores. Foram acompanhados neste local as tensões, deformações e temperatura.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A parte experimental deste trabalho foi executada na Área de Teste de Pavimentos DAER/UFRGS, no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, através de uma parceria entre a universidade e a Empresa BteunelKoch.

A reflexão de trincas em camadas asfálticas de restauração é decorrente de vários fatores, dentre eles, o carregamento dinâmico, que é um dos principais focos deste estudo. Para aplicar este carregamento foi executada uma pista experimental de 16 m de comprimento, subdividida em duas faixas longitudinais de 1,60 m de largura, conforme mostra a Figura 1.

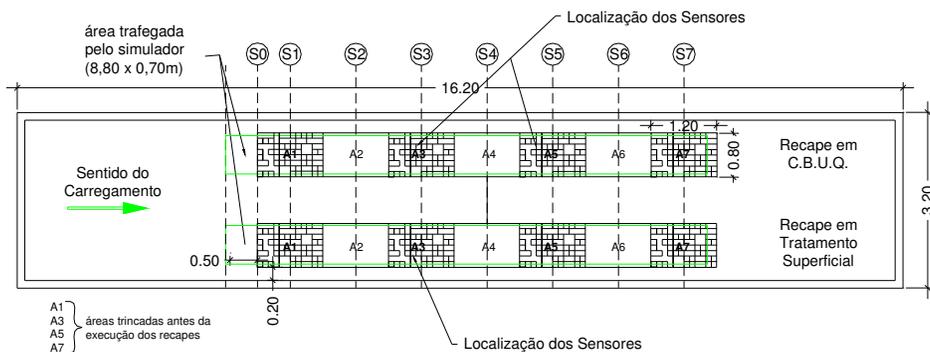


Figura 1: Pista experimental

Em uma das faixas executou-se um tratamento superficial duplo, com emulsão asfáltica modificada por polímero SBS, com capa selante e, na outra, executou-se um recape em concreto asfáltico convencional com 5,2 cm de espessura.

A pista possui camada final de terraplenagem constituída de 60 cm de espessura de argila vermelha, com comportamento laterítico. A base e sub-base são em brita graduada, de 15 cm de espessura cada uma. No revestimento original, constituído de 5,6 cm de concreto asfáltico modificado por polímero, criaram-se quatro áreas de trincamento artificial, executadas com serra circular, semelhante ao padrão de trincamento causado por fadiga. A Figura 2 mostra o perfil transversal dos pavimentos ensaiados e a carga de semi-eixo aplicada pelo rodado duplo do simulador.

Para a obtenção da resposta estrutural do pavimento, realizaram-se medições periódicas das deflexões com a Viga Benkelman e com um deflectógrafo digital (viga eletrônica), com cargas totais de eixo de 82kN, 100kN e 120kN. Além disso, foram registradas as respostas estruturais ao carregamento aplicados pelos ciclos de carga do simulador de tráfego, através de células de carga e extensômetros de resistência elétrica (*strain gages*), utilizando carga total de eixo de 100kN.

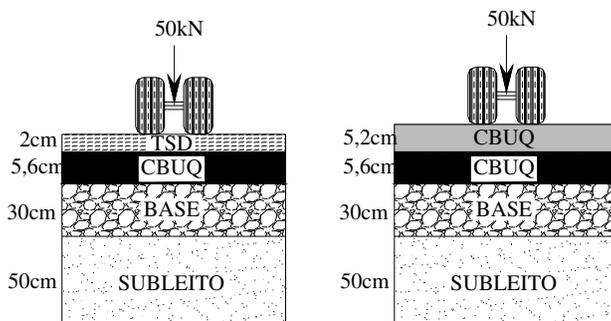


Figura 2: Perfil transversal das estruturas ensaiadas

Os sensores foram instalados na interface entre revestimento existente e os recapeamentos, posicionados nos sulcos gerados pelo trincamento artificial, de tal forma que a face sensível de cada instrumento ficasse nesta interface. Foram instaladas duas células de carga em cada estrutura para medir tensões horizontais e verticais oriundas do carregamento dinâmico, e *strain gages* para verificar as deformações horizontais nas direções transversal e longitudinal em relação ao sentido do deslocamento do trem de cargas do simulador. Ao lado de cada conjunto de *strain gages*, colocou-se um sensor de temperatura.

Os parâmetros de comportamento foram obtidos pela inspeção visual das trincas e acompanhamento de suas evoluções com o número de ciclos de carga aplicadas pelo simulador. Após o mapeamento das trincas, elas foram avaliadas pelo Método da Gravidade, no qual considera-se a extensão do trincamento por área trafegada (Núñez, 1997). Já, as deformações permanentes foram registradas com o uso de um transverso-perfilógrafo. Os levantamentos dos afundamentos de trilha de roda foram realizados em 6 seções transversais da pista experimental, correspondentes aos eixos transversais das áreas trincadas e não trincadas.

Como os pavimentos são diretamente influenciados pelas condições ambientais, registraram-se também as precipitações pluviométricas e as temperaturas do ar em uma estação meteorológica e mediram-se as temperaturas no interior das camadas asfálticas por meio de um termômetro digital.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Uma importante aplicação dos simuladores de tráfego é a possibilidade do estudo de novas tecnologias no meio rodoviário. A evolução da degradação de pavimentos, como a reflexão de trincas, pode ser acompanhada e monitorada pelos ensaios acelerados e a fenomenologia do processo de reflexão de trincas bem compreendido.

3.1. Reflexão de Trincas

A reflexão de trincas é considerada um dos principais problemas para o projeto de restauração de pavimentos, sendo que o padrão de trincamento de uma camada de asfáltica pode ser utilizado para a determinação da estimativa da vida de fadiga de uma mistura asfáltica,

auxiliando na escolha do tipo de restauração. Rodrigues (1991) considera que o fenômeno de reflexão de trincas é um processo normal de trincamento por fadiga, no qual ocorre um crescimento da interligação das microfissuras da massa asfáltica, devido à repetição de ciclos de carga e descarga.

O surgimento de trincas na camada de restauração muitas vezes pode ser devido à incapacidade do concreto asfáltico convencional de resistir às deformações elevadas que são geradas em torno da extremidade das trincas na camada asfáltica deteriorada, sendo que os movimentos causadores da propagação de trincas são os deslocamentos verticais diferenciais entre as paredes de uma trinca na passagem da carga de roda, ocorrendo deformações cisalhantes na camada de recapeamento, e os movimentos horizontais de abertura e fechamento da trinca devido aos ciclos térmicos ou a expansão e retração do solo de subleito, sob variações de umidade. Nesses processos pode ocorrer que as tensões de cisalhamento ou de tração geradas por eles superaram as tensões admissíveis dos revestimentos asfálticos (Rodrigues, 1991).

Muitas vezes, medidas de restauração executadas por meio de recapeamentos simples podem apresentar vidas de serviço extremamente curtas por não resistirem aos movimentos das camadas subjacentes, causando trincamento prematuro da camada de recapeamento, devido a propagação das trincas da camada do pavimento existente. A reflexão de trincas em recapeamentos de concreto asfáltico não somente permite que a água percole para dentro da estrutura do pavimento e danifique a sub-base, mas também contribui para a rápida deterioração do pavimento (Dempsey, 2002).

Para retardar o processo de reflexão de trincas podem-se adotar vários procedimentos como camadas intermediárias de geotexteis impregnados com asfalto, asfalto-borracha, misturas asfálticas abertas ou, o que é abordado nesta dissertação: o emprego de uma membrana absorvedora de tensões (SAM – *Stress Absorbing Membrane*) constituída de um tratamento superficial duplo utilizando emulsão modificada por polímero SBS.

3.2. Asfaltos Modificados por Polímeros

A utilização de polímeros nos ligantes asfálticos visa à melhoria das seguintes propriedades: aumentar o ponto de amolecimento e a viscosidade do ligante, diminuir a suscetibilidade térmica, resistir mais ao envelhecimento, reduzir a variação do módulo de rigidez com a temperatura, e de especial interesse neste trabalho, minimizar a reflexão das trincas, aumentando a recuperação elástica dos revestimentos betuminosos (DNER, 1988).

Outro benefício trazido pela adição de polímeros é que, ao utilizá-los nas emulsões asfálticas constituintes dos tratamentos superficiais, tira-se proveito da elasticidade e adesividade dos polímeros, reduzindo-se o arrancamento de agregados da superfície, sendo este um dos motivos pelos quais essa solução de restauração vem sendo adotada atualmente para rodovias de médio e alto volume de tráfego.

Um estudo realizado na Coreia, com vários tipos de aditivos em cimentos asfálticos, mostrou que a incorporação do polímero SBS nas misturas asfálticas pode aumentar a estimativa da vida de fadiga em 2,5 a 4 vezes, tendo um alto efeito no retardamento da reflexão de trincas. Para este estudo foram elaborados modelos teóricos de previsão da vida de fadiga em relação

à reflexão de trincas, que apresentaram coeficientes de determinação de 0,93 para misturas asfálticas modificadas por SBS (Kim *et al.*, 2002).

3.3. Ensaio Acelerado

A utilização de ensaios acelerados em escala real vem sendo cada vez mais difundido nos estudos do comportamento mecânico, mecanismos de degradação e previsão de vida útil dos pavimentos.

O simulador de tráfego linear, utilizado neste trabalho de pesquisa, é um equipamento que possibilita a obtenção de um nível de degradação do pavimento em um espaço reduzido de tempo. Para tanto, os níveis de solicitações de carga são superiores àquelas a que o pavimento está realmente submetido (Gonçalves, 2002). Suas principais características são: curso de atuação de 8,0m de comprimento; curso de aceleração e desaceleração de 3,0m; tempo de ciclo de carga de 16 e 18 segundos; carga sobre o pavimento regulável de 0 a 65kN; princípio hidráulico de atuação de carga; tipo de carregamento linear, unidirecional e não tracionado; sistema de rodado simples ou duplo; velocidade de deslocamento normal de 6,0km/h; princípio de acionamento elétrico (Núñez, 1997).

4. RESULTADOS OBTIDOS

4.1 Recapeamento em Tratamento Superficial Duplo (TSD)

A faixa recapeada em tratamento superficial já havia sido solicitada pelo trem de cargas do simulador na pesquisa de Gonçalves, 2002. Em seu trabalho, foram aplicados 2×10^5 ciclos com carga total de eixo de 82kN. Decidiu-se, portanto, fazer a retirada desse revestimento e a substituição por uma nova camada em concreto asfáltico convencional antes da aplicação do recape em TSD.

Este pavimento foi solicitado de abril a julho, totalizando $1,2 \times 10^5$ aplicações de carga de eixo de 100kN. O trincamento foi monitorado através de inspeção visual e avaliado pelo Método da Gravidade, onde se analisa o comprimento das trincas por área trafegada.

Verificou-se que o trincamento nas áreas trincadas previamente foi 52% maior que em áreas não trincadas e que o início do trincamento nessas áreas ocorreu após 10 mil ciclos, caracterizando o fenômeno de reflexão de trincas, conforme a Figura 3. Como o aparecimento de fissuras em áreas não trincadas começou no mesmo período, mesmo que a propagação tenha sido em menores taxas, nota-se um claro comprometimento de todo o revestimento. O surgimento de fissuras em áreas não trincadas sugere que estas evoluíram do fundo da camada antiga em concreto asfáltico e atravessaram o recape.

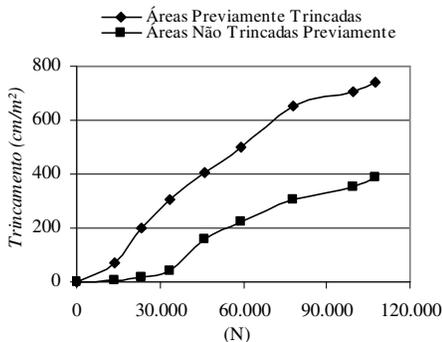


Figura 3: Evolução do trincamento

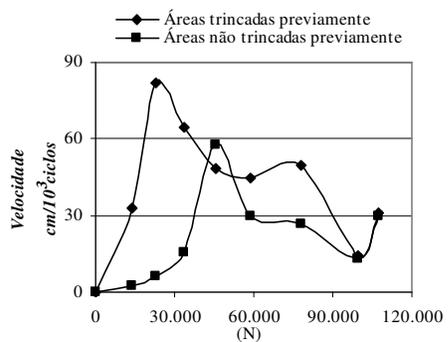


Figura 4: Velocidade do trincamento

As baixas temperaturas no período de atuação do simulador, acompanhadas de 45 mm de precipitação nos primeiros 10 mil ciclos, tiveram uma participação importante no trincamento do revestimento. A alta velocidade de propagação das trincas nas áreas previamente trincadas coincidiu com a queda na temperatura do ar. Um decréscimo de 18°C para 7°C ocorreu nesse período, mantendo-se abaixo dos 15°C até 40 mil ciclos, contribuindo bastante no aumento de velocidade de trincamento verificado na Figura 4.

A análise feita nas leituras das deformações horizontais, na direção longitudinal ao carregamento, comprova a influência da temperatura no trincamento. A Figura 5 mostra uma relação direta entre deformações e temperatura do pavimento, ou seja, uma diminuição na temperatura gera uma diminuição nas magnitudes das deformações, conseqüentemente, um aumento no valor do módulo de rigidez. As baixas temperaturas acarretam um aumento na fragilidade do revestimento favorecendo esse tipo de degradação. A Figura 6 mostra a condição final do pavimento em termos de trincamento.

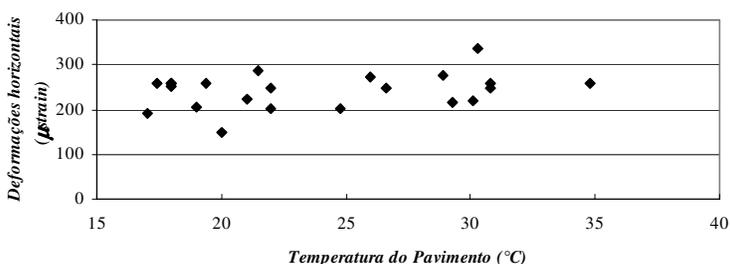


Figura 5: Deformações horizontais na direção longitudinal ao carregamento



Figura 6: Trincamento final no recape em TSD

A Figura 7 mostra a evolução das deflexões características apresentadas pela estrutura, para 3 níveis de carregamento, fazendo-se a correção de suas magnitudes em função da temperatura, através de fatores de correção obtidos no Guia da AASHTO de 1993. O nível de deflexões medidas antes da execução do recapeamento foi de 88×10^{-2} mm, com carga de eixo padrão. Realizou-se uma análise no programa FLAPS (Finite Layer Analysis of Pavement Structures), desenvolvido por Régis Rodrigues em 1994, para verificar a contribuição das camadas do pavimento no valor da deflexão. Os módulos de elasticidade da base (400 MPa), subleito (90 MPa) e revestimento (4.000 MPa), utilizados como dados de entrada no programa, foram obtidos por retroanálise das bacias defetométricas. Verificou-se que a contribuição estrutural do revestimento é muito baixa e, portanto, a degradação verificada no pavimento tem a participação principal da camada de base, como mostra a Figura 8.

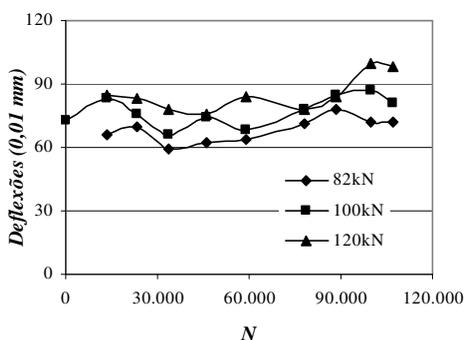


Figura 7: Evolução das deflexões

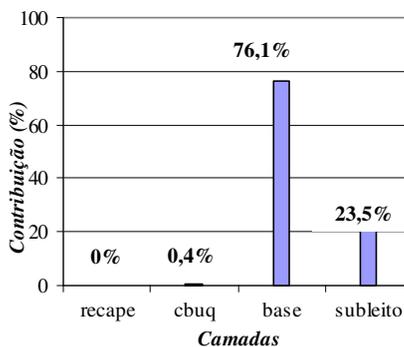


Figura 8: Contribuição das camadas na deflexão máxima

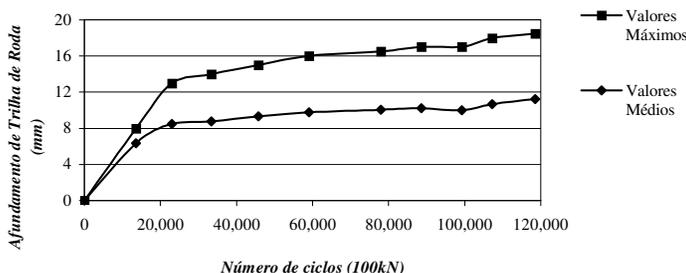


Figura 9: Evolução das deformações permanentes

Na análise das deformações permanentes, mostrada na Figura 9, percebe-se um elevado crescimento nos primeiros 25 mil ciclos de carga, representando 75,2% da média do afundamento de trilha de roda total. Em face desta verificação, constatou-se que a reperfilagem executada antes da execução do recapeamento em TSD teve uma importante contribuição na magnitude dos afundamentos de trilha de roda apresentados em apenas 19% do número de ciclos totais aplicados a essa estrutura. A partir daí, as deformações permanentes passaram a evoluir quase linearmente, a uma velocidade de crescimento de

0,053 mm/10³ ciclos. As seções que apresentaram afundamentos de trilha de roda mais elevados foram S1 e S6, as mais próximas do recortes transversais executados na reperfilagem. A dificuldade de compactação da massa asfáltica, devido à pequena largura da faixa recortada (80cm), gerou a avançada consolidação deste material.

4.2 Recapeamento em Concreto Asfáltico Convencional (CA)

A faixa recapeada em concreto asfáltico foi trafegada entre fevereiro e maio, totalizando 140 mil ciclos de carga. Essa faixa não havia sido solicitada anteriormente, portanto, não passou por nenhum processo de recuperação, como no caso da faixa recapeada em TSD.

A Figura 10 mostra a evolução do trincamento com o número de solicitações do trem de cargas. O surgimento das primeiras trincas foi aos 95 mil ciclos de carga. Pode-se admitir nesse caso que o trincamento foi causado por fadiga de toda a camada asfáltica, em função do nível de trincamento se apresentar maior em áreas não trincadas previamente. O processo de aceleração do trincamento, aos 120 mil ciclos de carga, foi no período pelo qual houve uma queda de temperatura, acompanhado pelas maiores precipitações pluviométricas verificadas no período de ensaio. A análise da Figura 10 sugere que a condição estrutural da camada de revestimento começou a apresentar sinais de comprometimento a partir deste ponto e que o trincamento tenderá a se propagar se mais ciclos de carregamento dinâmico fossem aplicados.

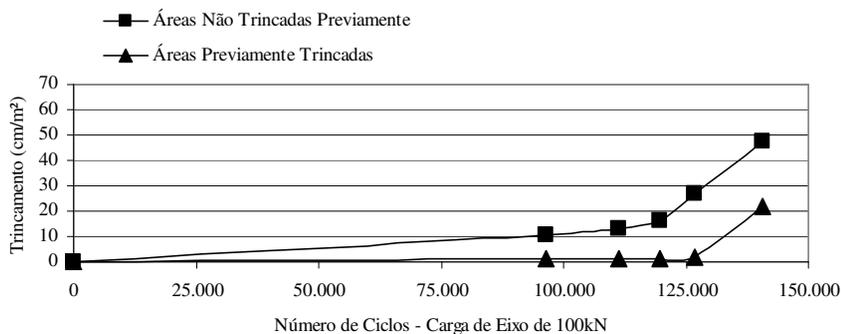


Figura10: Evolução do trincamento

A Figura 11 mostra a evolução do nível de deflexões no recapeamento em concreto asfáltico, juntamente com o efeito do nível de carga. Como já constatado no recape em tratamento superficial, a maior contribuição no valor das deflexões é da camada de base. Mesmo considerando-se um recapeamento mais espesso, as camadas asfálticas não contribuem significativamente no valor das deflexões. Este fato é notado também comparando os valores das deflexões características em seções trincadas e não trincadas. Para os três níveis de carga de eixo ensaiados, os valores das deflexões máximas são muito próximos, sendo que o trincamento deveria resultar em um aumento no valor das deformações recuperáveis, em função da perda de rigidez proporcionada pela descontinuidade da superfície devido ao trincamento. A Figura 12 mostra esta comparação para o nível total de carga de eixo de 100kN.

Das deformações permanentes verificadas durante o período de ensaio, conforme mostra a Figura 13, verifica-se uma fase de consolidação inicial do recapeamento nos 10 mil primeiros ciclos onde o afundamento máximo de trilha de roda nas seções foi de 5 mm, não se percebendo diferenças marcantes entre as seções analisadas. O crescimento das deformações permanentes apresentou um comportamento linear após o período de consolidação, com uma velocidade de crescimento de $0,024 \text{ mm}/10^3 \text{ ciclos}$.

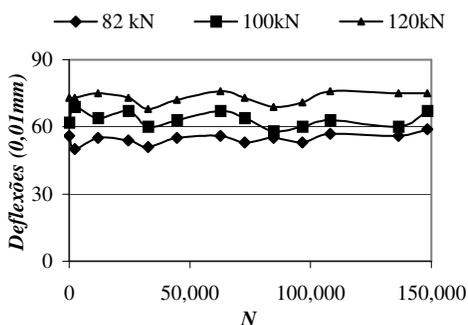


Figura 11: Evolução das deflexões máximas

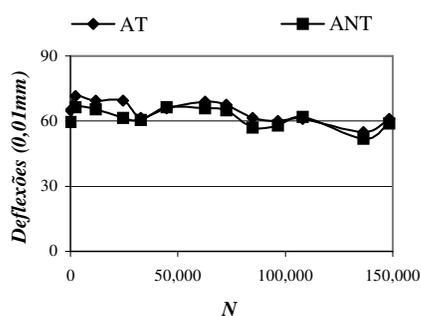


Figura 12: Comparativo de deflexões

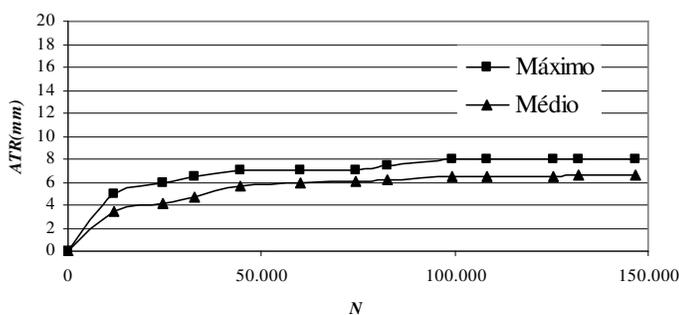


Figura 13: Evolução das deformações permanentes

5. CONCLUSÕES

A técnica de ensaios acelerados mostrou-se adequada para a avaliação da degradação do pavimento, possibilitando a análise conjunta de tráfego e condições de temperatura e precipitação pluviométrica, aproximando-se das condições de campo.

O software FLAPS é uma ferramenta importante no estudo da degradação dos pavimentos, que permitiu a verificação das respostas estruturais, complementando o estudo dos resultados obtidos em campo, além de uma análise em todas as camadas do pavimento.

O nível de trincamento na faixa do pavimento revestida em TSD teve forte influência dos parâmetros ambientais. A maioria das trincas surgiu na direção transversal ao tráfego e os ensaios foram realizados em período úmido e de baixas temperaturas, podendo-se considerar

boa parte delas como trincas de retração. Na inspeção realizada após a aplicação de cargas dinâmicas verificou-se que muitas trincas não estavam visíveis, podendo este fato ser relacionado à recuperação elástica proporcionada pela adição de SBS no ligante asfáltico. As deformações permanentes foram diretamente influenciadas pela reperfilagem executada, em função da dificuldade de compactação da massa asfáltica e baixa capacidade estrutural da camada granular.

No recapeamento em concreto asfáltico notou-se que o surgimento das trincas foi um fenômeno de fadiga do pavimento e o revestimento se comportou como uma camada asfáltica única. Chegou-se a essa conclusão pelo fato da magnitude e severidade do trincamento ter sido maior em áreas não trincadas artificialmente, após 10⁵ aplicações de cargas dinâmicas. O aumento na velocidade do trincamento coincidiu com as temperaturas mais baixas e de maior umidade no período de ensaio, ficando clara a contribuição das condições ambientais nesse tipo de degradação.

A comparação das máximas deflexões em áreas trincadas e não trincadas mostrou valores muito semelhantes. Através de simulações realizadas no programa FLAPS, pôde-se concluir que a camada de revestimento pouco contribuiu nas magnitudes das deformações elásticas, sendo a maior contribuição da camada granular. Essa constatação aliou-se ao fato de se tratarem de camadas asfálticas delgadas e a base apresentar baixos valores de módulo de resiliência em ambos os casos.

Agradecimentos:

Os autores agradecem as empresas BetunelKoch e Consórcio Univias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AASHTO (1993). American Association of State Highway and Transportation Officials – Guide for Design of Pavement Structures. AASHTO, Washington, D. C.
- DNER, (1988) - Pesquisa de Asfálto Modificados por Polímeros.
- Dempsey, B.J. – Development and Performance of Interlayer Stress Absorbing Composite (ISAC) in AC Overlay (1992). 81nd Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Gonçalves, F.P.(2002) Estudo Experimental do Desempenho de Pavimentos Flexíveis a Partir de Instrumentação e Ensaios Acelerados, Tese DSc, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Kim, K.W.; Lee, S.J.; Doh, Y.S.; Rhee, S.H.; Park, T.S. (2002) Estimation of Relative Performance of Overlaid Asphalt Concretes against Reflection Cracking due to Shear and Bending Fracture Mode. Proceedings of the 6th international conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields, Lisbon, Portugal, v.1, p.539- 47.
- Núñez, W.P. (1997) Análise Experimental de Pavimentos Rodoviários Delgados com Basaltos Alterados, Tese DSc, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Rodrigues, R.M. (1991) Estudo do Trincamento dos Pavimentos, Tese DSc, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

Diana Morussi Azambuja (diazambuja@terra.com.br)

Jorge Augusto Pereira Ceratti (lapav@genesis.cpgec.ufrgs.br)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Av. Osvaldo Aranha, 99 – 3º andar, Fone: (51) 3316-3486

CEP: 90035-180 Porto Alegre – RS – Brasil