

PRINCIPAIS EFEITOS DA INCORPORAÇÃO DE GEOGRELHAS NO CONCRETO ASFÁLTICO

Autores:

M.Sc. Guillermo Montestruque Vilchez
Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)
André Estêvão Ferreira da Silva
Huesker Ltda, São José dos Campos, SP

RESUMO

Com o importante desenvolvimento dos geossintéticos, as geogrelhas têm sido usadas com sucesso para reforço de pavimentos asfálticos novos e restaurados. A geogrelha proporciona uma alta resistência à tração dentro do pavimento, complementando as propriedades mecânicas da mistura asfáltica. O controle da reflexão de trincas em pavimentos é fundamental para seu bom desempenho funcional e estrutural, bem como para a eficácia econômica da restauração. Neste contexto, a aceitação do sistema de restauração com geogrelhas tem aumentado nos últimos anos. Neste trabalho apresentam-se os principais benefícios estruturais que tem trazido a inclusão das geogrelhas em obras de pavimentação, dentro de um enfoque técnico-econômico.

1 INTRODUÇÃO

A estrutura de um pavimento está sujeita a dois tipos de solicitações mecânicas: as cargas de tráfego e as de origem térmica. A distribuição de tensões na estrutura do pavimento é o resultado de uma combinação complexa de fatores ambientais, condições de carregamento, geometria da estrutura e propriedades dos materiais componentes. A ação combinada do tráfego e do clima leva os revestimentos a trincarem, mais cedo ou mais tarde. Uma vez que a trinca surja, ela aumenta em extensão, severidade e intensidade, levando, eventualmente, à desagregação do revestimento. Por meio desses efeitos, a velocidade de deterioração do pavimento é usualmente acelerada após o início do trincamento.

Como medidas de restauração diversas técnicas vêm sendo testadas há várias décadas no sentido de se encontrar uma solução que seja economicamente mais eficaz que o recapeamento simples, no que diz respeito à vida de reflexão de trincas que tende a controlar o desempenho do pavimento restaurado, comprometendo a sua vida de serviço e podendo levar a vidas extremamente curtas, no caso de restaurações executadas por meio de recapeamento simples.

Quando o potencial para ocorrência da reflexão de trincas em camadas asfálticas de recapeamento for elevado, tende a ser ineficaz, em termos econômicos, o simples aumento da espessura dessas camadas com o objetivo de se obter uma vida de serviço da ordem de 10 anos. Um Sistema Anti-Reflexão de Trincas deve ser então concebido, definindo-se a natureza dos materiais e as espessuras das camadas constituintes. Estas técnicas costumam envolver o uso de camadas intermediárias especiais, colocadas entre a camada de recapeamento e o pavimento trincado.

2 MECANISMOS DO FENOMENO DA REFLEXÃO DE TRINCAS

Goacolou (1982) propôs um mecanismo para explicar o progresso da trinca de reflexão na estrutura do pavimento. Este mecanismo pode ser subdividido em:

- (a) Descolamento da camada asfáltica da camada trincada subjacente, levando a uma propagação horizontal, até que haja um redirecionamento vertical.

(b) Existindo uma perfeita ligação entre as camadas, a propagação será vertical desde o início pelo fato de ocorrer uma concentração de tensões na região da extremidade da trinca, provocando a abertura de uma nova trinca por fadiga na camada de reforço.

As cargas do tráfego e as variações de temperatura que causaram a formação da trinca no antigo pavimento atuarão no sentido de provocar reflexão através da camada de reforço. Quando as cargas do tráfego passam repetidas vezes sobre a trinca do pavimento antigo, três pulsos de alta concentração de tensões ocorrem na extremidade da trinca, a qual progredirá através da camada de reforço. O primeiro pulso de tensões é a máxima tensão cisalhante, o segundo pulso de tensões é devido ao momento fletor máximo, que ocorre quando a carga de roda encontra-se sobre a trinca e o terceiro pulso de tensões é novamente a máxima tensão cisalhante, com a exceção de que, desta vez, na direção oposta à anterior tensão cisalhante. Estes três pulsos de tensões ocorrem em um curto período de tempo (da ordem de 0,05 segundos).

As variações de temperatura na camada de reforço podem contribuir também para a reflexão de trincas. Tensões térmicas na camada de reforço são provocadas por: (1) Gradiente de temperatura da superfície para a base como é mostrado a Figura 1, no ponto “A”; (2) Contração por resfriamento, com levantamento da antiga camada asfáltica como mostra-se na mesma figura, no ponto “B”. Observa-se que tensões térmicas podem causar a propagação da trinca, tanto do topo da superfície como da parte inferior da camada de reforço. A contração e a curvatura da antiga superfície aplica tensões cisalhantes na parte inferior da camada de reforço e produz concentração de tensões de tração no ponto “B”.

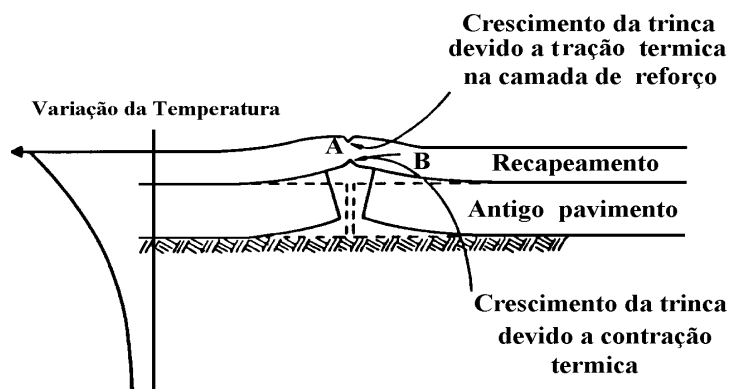


Figura 1 - Mudanças de temperatura e conseqüente trincamento da camada de reforço.

3 A MECÂNICA DA FRATURA

As misturas asfálticas são constituídas por uma matriz de agregados que lhes conferem resistência ao cisalhamento por atrito intergranular, e por um ligante asfáltico que fornece a energia de coesão. A propagação da trinca de reflexão começa quando o nível de tensão e energia aplicado é suficiente para provocar o rompimento da força de coesão que o ligante asfáltico oferece, provocando e aumentando a separação entre os agregados através dos ciclos de carga e descarga geradas pelo tráfego.

Os procedimentos mecanísticos têm sido capazes de modelizar os efeitos de fadiga sob cargas repetidas observados experimentalmente, através dos princípios da mecânica da fratura, que permite a previsão da vida de fadiga considerando a progressão da trinca.

Em 1963, Paris e Erdogan mostraram que a taxa de crescimento da trinca por ciclo de carregamento, (dc/dN), pode ser descrita como função da variação do fator de intensidade de tensão (K) parâmetro que descreve todo o estado de tensões na extremidade da trinca.

$$\frac{dc}{dN} = AK^n$$

onde A e n são constantes do material obtidas em laboratório. Diversos estudos mostraram que se pode aplicar a Mecânica da Fratura Elástica Linear (MFEL) para a interpretação do comportamento à fadiga das misturas asfálticas. Para restaurações com recapeamento simples são válidas as expressões previstas pela Mecânica da Fratura, já quando se parte para uma restauração com o uso de camadas intermediárias especiais, deve-se poder avaliar as propriedades dessa camada aplicada (espessura, propriedades de resistência e deformabilidade) e o mecanismo pelo qual essa camada atuará no atraso da reflexão de trincas. Recentes ensaios dinâmicos de fadiga realizadas em laboratório mostraram claramente a diferença entre o mecanismo de ruptura entre o geotêxtil não tecido, de filamentos contínuos de poliéster impregnado com asfalto (Montestruque, 1999) e a geogrelha de fibras de poliéster de abertura de malha de 40 x 40 mm (Montestruque, 2000). O ensaio dinâmico utilizou uma viga prismática de concreto asfáltico como camada de recapeamento e como revestimento antigo, outra viga pré-trincada apoiada sobre uma base elástica (borracha). Esta base teve a finalidade de simular a condição de suporte de campo. Para efeitos de simular a passagem de uma carga de roda em movimento, a posição das cargas em relação à trinca foi variada, analisando-se os dois carregamentos críticos: a posição de flexão e a posição cisalhante.

Nas vigas convencionais o crescimento da taxa de propagação foi rápido, a ascensão da trinca ocorre de forma vertical acompanhando as faces dos agregados que encontraram no caminho (Figuras 2 e 3). Nas vigas com geotêxtil, essa ascensão vertical foi interrompida temporariamente, quando a trinca alcançou a posição do geotêxtil, um redirecionamento da trinca para a horizontal foi observado (Figura 4). Nas vigas com a geogrelha quando a trinca alcançou a posição da geogrelha, mudou o mecanismo de trincamento, passando a se ter em vez de uma única trinca com grande potencial de propagação, para uma série de micro trincas com menor potencial (Figura 5). A função de reforço da geogrelha impediu a propagação da trinca de reflexão, este fato foi observado tanto para a posição da carga a flexão como para a posição cisalhante.

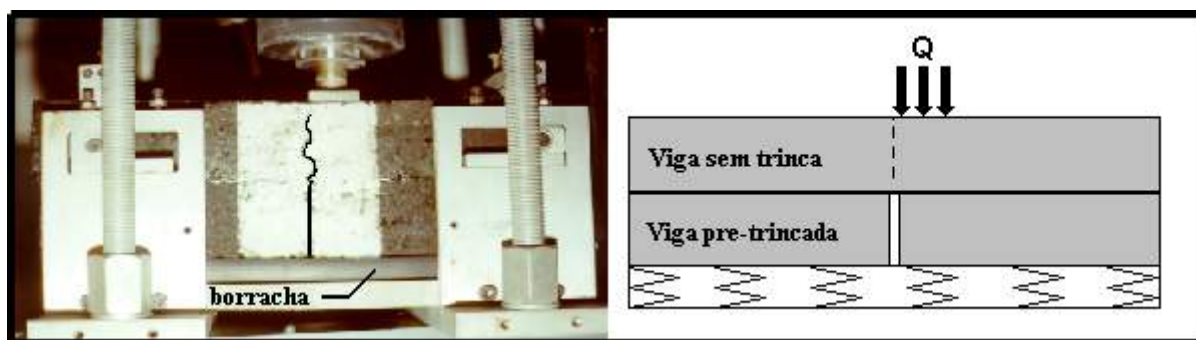


Figura 2 - Propagação da trinca na posição cisalhante nas vigas convencionais.

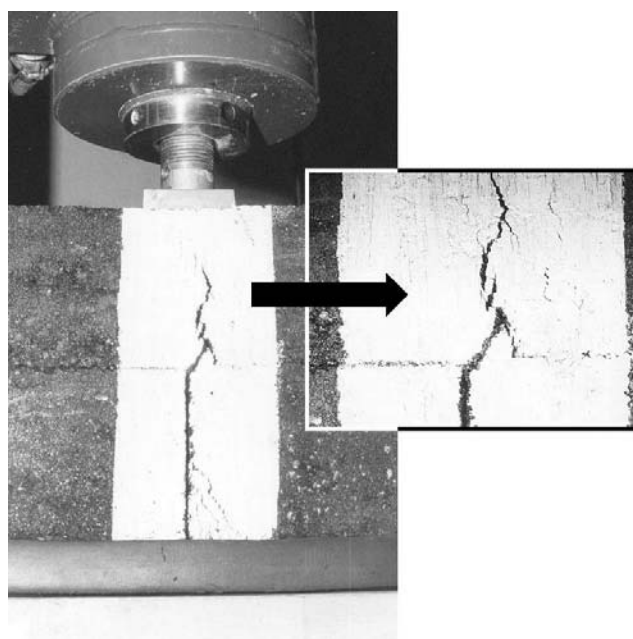


Figura 3 - Propagação da trinca na posição de flexão nas vigas convencionais.

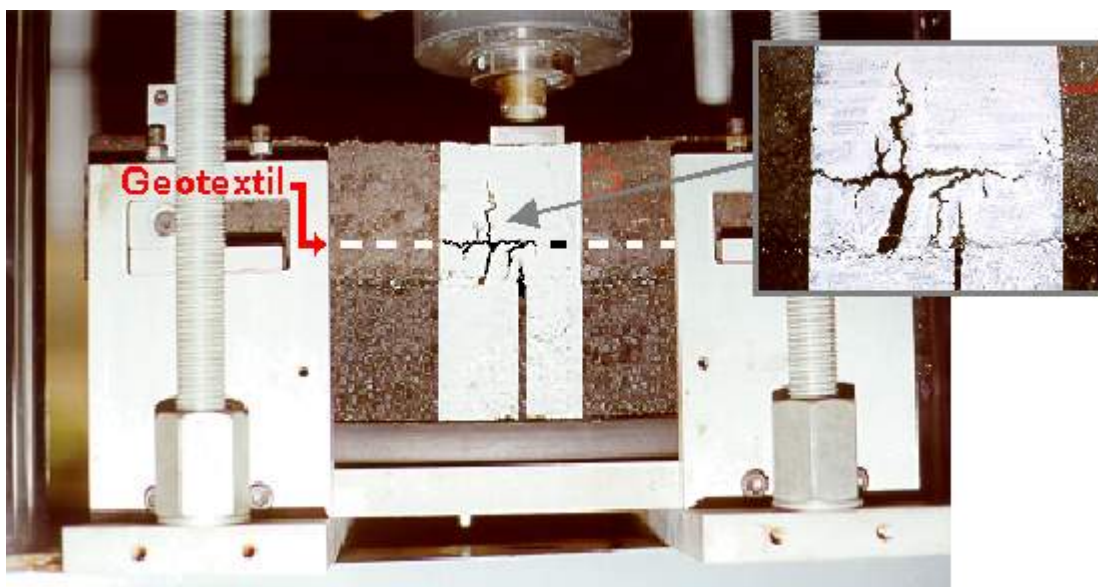


Figura 4 - Fratura da viga com camada intermediária de geotêxtil não tecido Bidim OP (flexão).

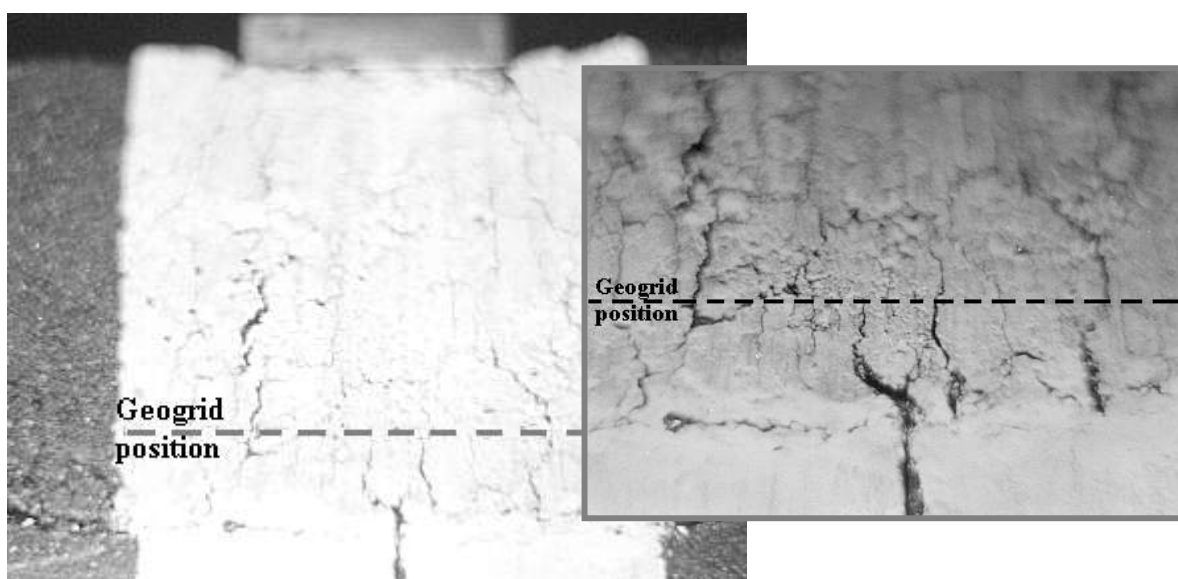


Figura 5 – Microfissuração observada nas vigas com a geogrelha de poliéster Hatelit C 40/17 (flexão).

Um projeto de restauração resume-se nas seguintes etapas: (1) Avaliação da condição estrutural existente; (2) Determinação da vida de serviço das alternativas de recapeamento; (3) Seleção da opção mais conveniente. Na segunda etapa deve-se contar um modelo confiável do tipo mecanístico-empírico que leve em consideração os diferentes mecanismos de

deterioração das alternativas em estudo a fim de satisfazer a necessidade estrutural e minimizar a reflexão.

4 BENEFÍCIOS ESTRUTURAIS DA GEOGRELHA PARA O PAVIMENTO

A geogrelha de estrutura aberta tem módulo de elasticidade alto, comparado com o geotêxtil impregnado com asfalto e com o próprio concreto asfáltico. As deformações devido às tensões são relativamente baixas. Consequentemente, tensões induzidas pelo tráfego serão absorvidas pela geogrelha. Em princípio, a geogrelha pode vir a apresentar benefícios estruturais para o pavimento nas seguintes situações:

- (a) Em pavimentos novos, sua inclusão dentro do revestimento asfáltico e na zona tracionada da camada pode levar a um incremento da vida de fadiga do pavimento, permitindo reduzir-se a espessura do revestimento (benefício importante no caso de tráfego muito pesado);
- (b) Por se tratar de uma geogrelha de reforço, a rigidez elástica sob cargas transientes da camada asfáltica pode vir a ser incrementada, gerando redução nas tensões verticais que atuam nas camadas subjacentes, o que implica em redução dos afundamentos em trilha de roda devido a deformações plásticas sob a ação repetida das cargas do tráfego;
- (c) O surgimento e a progressão de defeitos nos pavimentos envolve fenômenos de natureza estocástica. A heterogeneidade resultante dos processos construtivos é um fator, portanto, que afeta o desempenho futuro dos pavimentos. A inclusão de uma geogrelha sintética de reforço pode, em tese, homogeneizar a estrutura, melhorando seu desempenho global;
- (d) Na fase pós-trincamento, o desempenho pode ser melhorado em vista da mudança do padrão de trincamento: pode-se passar de uma situação onde se tenha trincas com grande comprimento e grandes aberturas para outra onde a camada se torne apenas microfisurada (muitas trincas de pequeno comprimento e pequena abertura). As trincas de menor severidade são menos nocivas, por manter um elevado grau de entrosamento do agregado em suas paredes. A geogrelha de reforço pode ter um efeito similar ao aço em pavimentos rígidos, ou seja, de manter as trincas mais fechadas;
- (e) Na restauração de pavimentos, especialmente aqueles que se encontram muito trincados, a ponto de recomendar-se sua reconstrução, a aplicação de uma camada asfáltica de

regularização, seguida da geogrelha de reforço e da camada asfáltica de recapeamento, pode constituir-se em uma alternativa economicamente mais eficaz (especialmente quando se consideram os inconvenientes para o tráfego de uma operação de reconstrução).

5 PROPRIEDADES RELEVANTES DOS MATERIAIS PARA REFORÇO DE CAPA ASFÁLTICA

Num trabalho de restauração com utilização de um sistema retardador da reflexão das trincas de fadiga, o uso de elementos de reforço da nova camada asfáltica é adequado desde que se observem algumas características importantes nestes materiais. Para que o elemento de reforço introduzido na nova camada de revestimento possa cumprir com eficiência esta função, é imprescindível que possua uma ótima aderência com as camadas asfálticas, capaz de absorver e transmitir as tensões devido a cargas cíclicas, o que se traduz numa resposta à fadiga do material.

5.1 Aderência entre o concreto asfáltico e o material de reforço

Esse ponto é de vital importância para que o material de reforço introduzido possa cumprir com eficácia a sua função. Para que a mesma seja ótima, deve-se ter em conta alguns itens detalhados a seguir:

- (a) Os coeficientes de dilatação entre o material de reforço e o concreto asfáltico devem ser compatíveis. As diferenças entre coeficientes de dilatação produzem tensões de cisalhamento secundárias entre o asfalto e o material de reforço causadas pelos diferentes movimentos de expansão/ contração entre ambos materiais. Portanto, se localmente tais tensões chegam a alcançar a tensão limite de aderência, imediatamente se produzirá uma redução de aderência entre asfalto e o material de reforço.
- (b) É importante notar que se o reforço deve absorver tensões de tração trabalhando em cooperação com a camada asfáltica, isso só é possível se esse estiver bem ancorado, pois só deve trabalhar, ou mobilizar resistência, se houver estímulo à sua deformação. Esta ancoragem é garantida por uma boa aderência com a camada asfáltica. O material de reforço não pode escorregar em relação ao revestimento solicitado, ou terá prejudicada a

sua adequada mobilização e sua condição de absorver parte das tensões de tração provocado pela solicitação de tráfego sob o pavimento.

- (c) A fim de permitir que se estabeleça uma cooperação entre ambos os materiais, o módulo de elasticidade do reforço e do asfalto devem ser compatíveis. Para a situação que estamos analisando, tanto asfalto quanto reforço absorvem esforços de tração. Mesmo sendo o asfalto um material com características elasto-plásticas, sob cargas de tráfego (cargas dinâmicas) este se comporta como um material relativamente elástico, o que permite distribuir as tensões e cargas sobre uma área maior dentro das camadas asfálticas.
- (d) Ao se introduzir um reforço muito rígido dentro do concreto asfáltico, a maioria dessas tensões são absorvidos diretamente pelo reforço, para posteriormente se transferir ao concreto asfáltico em função de sua aderência e intertravamento. Quanto mais rígido for um reforço, maiores deverão ser os comprimentos de ancoragem necessários para que as tensões transmitidas não superem a tensão crítica de aderência. Por outro lado, um material muito deformável não deve ter resistência mobilizada suficiente para absorver tensões na estrutura, uma vez que os níveis de deformação horizontal da camada asfáltica deve ser muito baixo diante de suas características de deformabilidade. Um material assim, não seria eficiente na função de reforço da camada de revestimento.

5.2 Resistência à fadiga

Uma vez que o objetivo na utilização de materiais para reforço da camada asfáltica é garantir uma maior vida de serviço do pavimento estes devem ser dimensionados não somente para resistir as tensões, como também para manter suas propriedades ao longo do tempo, isto significa que nenhuma propriedade – aderência com o asfalto e deformabilidade, por exemplo – deve ser afetada pela solicitação das cargas dinâmicas durante período de projeto, do contrário o material perderia eficiência nesta função. Algumas matérias primas apresentam uma vida de fadiga muito limitada, tornando-se quebradiças após alguns ciclos de carregamento.

5.3 Instalação

Tão importante quanto o material possuir propriedades compatíveis com as exigência desta aplicação, também a instalação do material pode prejudicar ou garantir sua eficiência no pavimento. A instalação mal executada, fugindo às recomendações específicas para cada material, pode prejudicar sua condição de trabalhar em conjunto com a camada asfáltica de

forma adequada. Neste contexto, o executor deve estar atento a todas as recomendações no momento da instalação do reforço e construção do pavimento. Uma maneira de evitar problemas decorrentes da má execução do pavimento com sistema retardador de trincas é se adotar a utilização de materiais que apresentam uma condição de instalação facilitada, mesmo porque isto representaria um custo de instalação reduzido. Isto, é claro, desde que o material instalado nestas condições garanta um desempenho eficiente.

É importante destacar que o material deve ser produzido a partir de matéria-prima compatível com as altas temperaturas do concreto asfáltico, normalmente o concreto asfáltico usinado a quente, material comum em recapeamento de rodovias, que em geral é executado em temperaturas da ordem de 180°C. Assim, os materiais não podem ter suas propriedades mecânicas alteradas para temperaturas dessa ordem.

6 CONCLUSÕES

É bastante larga a utilização de geogrelhas como reforço de camada asfáltica, especialmente em situações de restauração de pavimentos. A adoção deste tipo de solução é mais corrente em países como os da Europa Ocidental e Estados Unidos, bem como alguns na América do Sul, onde as pesquisas na área de pavimentos são importantes e o uso em obras tem se mostrado interessante em muitos casos, como alternativa de solução no sentido de aumentar vida de serviço do pavimento e de redução de custos de construção e manutenção de rodovias.

Dentro destes princípios, entretanto, é essencial que na consideração desta como alternativa para, por exemplo, concepção de um sistema anti-reflexão de trincas, tenha-se bem claro o tipo de material que melhor deve trabalhar no sentido desejado, e que propriedades do mesmo devem ser observadas para que atue de forma eficiente e apresente boa relação custo-benefício. Outra questão importante é a instalação do material. Uma má execução pode tornar o sistema ineficiente, ao passo que materiais que apresentem uma instalação facilitada devem ser mais interessantes tanto do ponto de vista técnico quanto do econômico.

No Brasil, a utilização de geogrelhas como reforço de camadas asfálticas, principalmente como elemento retardador de trincas vem se tornando cada vez mais corrente. Muitas

pesquisas vêm sendo conduzidas no sentido de se estabelecer os exatos benefícios destes sistemas para o pavimento, bem como os mecanismos de atuação do reforço. Também, a utilização de geogrelhas em obras de restauração tem sempre se mostrado compensador.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Goacolou, H., Marchand, J.P. - Fissuration des Couches de Roulement. 5^{ème} Conférence Internationale Sur les Chaussées Bitumineuses. Delf, 1982.

Montestruque V. G. E., Rodrigues R. M.- Avaliação Do Desempenho Em Laboratório De Geotêxtil Como Camada Anti-Reflexão De Trincas. 10⁰ Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, Sevilla, España, 1999.

Montestruque V. G. E., Rodrigues R. M., Montez F. T., Elsing A. - Experimental Evaluation of a Polyester Geogrid as an Anti-Reflective Cracking Interlayer On Overlays. Second European Geosynthetics Conference, Bologna, Italia, 2000.