

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Rafael Ribeiro Rocha

Estudo da Prevenção de Trincas de Reflexão em Pavimentos
Semi-rígidos

Trabalho de Graduação
2009

Civil

Rafael Ribeiro Rocha

**Estudo da Prevenção de Trincas de Reflexão em Pavimentos
Semi-rígidos**

Orientador

Prof. Dr. Régis Martins Rodrigues (ITA)

Co-Orientador

Eng^o. MSc. Rodrigo Otávio Ribeiro (COMARA)

Divisão de Engenharia Civil

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

COMANDO-GERAL DE TECNOLOGIA AEROESPACIAL

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2009

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Divisão de Informação e Documentação

Rocha, Rafael Ribeiro
 Estudo da Prevenção de Trincas de Reflexão em Pavimentos Semi-rígidos / Rafael Ribeiro Rocha
 São José dos Campos, 2009.
 50f.

Trabalho de Graduação – Divisão de Engenharia Civil - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2009.
 Orientadores: Prof. Dr. Régis Martins Rodrigues, Eng.º. MSc. Rodrigo Otávio Ribeiro.

1. Sistema Anti-Reflexão de Trincas. 2. Pavimentos. 3. COMARA. I. Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Engenharia Civil. II. Estudo de prevenção e de recuperação de pavimentos semi-rígidos com trincas de reflexão

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ROCHA, Rafael Ribeiro. **Estudo da Prevenção de Trincas de Reflexão em Pavimentos Semi-rígidos**. 2009. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

Orientador
 Prof. Dr. Régis Martins Rodrigues (ITA)

CESSÃO DE DIREITOS

Co-Orientador
 Eng.º. MSc. Rodrigo Otávio Ribeiro (COMARA)

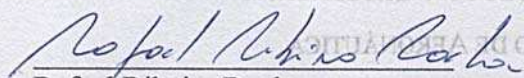
NOME DO AUTOR: Rafael Ribeiro Rocha

TÍTULO DO TRABALHO: Estudo da Prevenção de Trincas de Reflexão em Pavimentos Semi-rígidos.

TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2009

Divisão de Engenharia Civil

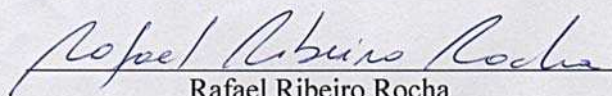
É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.



Rafael Ribeiro Rocha
 Rua Frei Mansueto, 370/202, Meireles
 60.175-070 – Fortaleza - CE

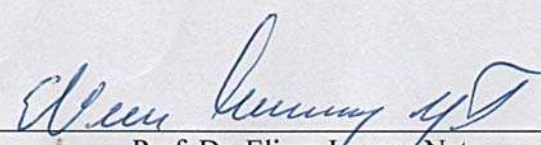
**ESTUDO DA PREVENÇÃO DE TRINCAS DE REFLEXÃO EM PAVIMENTOS
SEMI-RÍGIDOS**

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação


Rafael Ribeiro Rocha
Autor


Prof. Dr. Régis Martins Rodrigues (ITA)
Orientador


Eng. MSc. Rodrigo Otávio Ribeiro (COMARA)
Co-Orientador


Prof. Dr. Eliseu Lucena Neto
Coordenador do Curso – Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 4 de novembro de 2009

Dedico este trabalho aos meus pais, Nelson e Iêda,
À minha irmã, Clarissa e
À minha Lindona, Carla

Agradecimentos

Ao final do Trabalho de Graduação, sinto na obrigação de agradecer não só aos que participaram diretamente, mas a todos que contribuíram de forma geral para a conclusão do curso.

Gostaria de agradecer ao meu amigo, pai e pessoa que tenho como exemplo, Nelson Rodrigues Rocha Filho, pelos conselhos e ajuda nesses 24 anos.

À minha mãe, Iêda Antunes Ribeiro Rocha, que sempre acreditou que seria possível formar no ITA e nunca poupou esforços para agradar os filhos.

À minha irmã, Clarissa Ribeiro Rocha, pelas conversas nos momentos difíceis e por me agüentar todos esses anos, principalmente nos dias que passei em São Paulo.

À minha mentora e namorada, Carla Frisso, pelos “puxões de orelha”, conselhos, companheirismo e amor nesses 3 anos.

Aos amigos da Vila Maracangalha, em Belém - PA, que no ano de vestibular evitavam chamar para o futebol.

Aos amigos e professores do Colégio Titular e Ideal, em Belém – PA, e do Farias Brito, em Fortaleza – CE, que incentivaram e contribuíram para a entrada no ITA.

Aos amigos da Turma 3 do FUND que formaram a turma mais descontraída da 09.

Aos amigos da INFRA 09 que construíram uma relação de amizade nesses 3 anos. Foi bastante sofrido, mas não seria o ITA se não houvesse noites mal dormidas e estudos desesperados.

Aos amigos do apê 205 pela união e companheirismo nesses anos.

Aos Professores do FUND e da INFRA pela dedicação aos alunos nesses 5 anos de curso.

Aos amigos da AIESEC pelos 3 anos de muito aprendizado, sofrimento e recompensas.

Ao Orientador Prof. Régis Martins Rodrigues que de fato desempenhou o papel de orientar para o bom desenvolvimento deste Trabalho, fornecendo e sugerindo materiais sobre o tema.

Ao Engº MSc. Rodrigo Otávio Ribeiro pelas várias horas de conversa para orientar, corrigir e aconselhar em diversos aspectos deste Trabalho. Espero que esta relação iniciada durante estes últimos meses possa continuar na ANAC.

Ao Cap. Damálio (COMARA) pelas informações fornecidas sobre os aeródromos da Região Amazônica.

Ao Engº Adélcio Guimarães (INFRAERO) pelas avaliações sobre o Aeroporto Internacional de Manaus – AM.

“Tudo o que for fazer, faça bem feito para fazer uma só vez.”

Nelson Rodrigues Rocha Filho

Resumo

A Reflexão de Trincas é um problema bastante comum em diversas obras viárias. São vários os motivos que podem gerar esse tipo de fissuramento no revestimento asfáltico, dentre os quais se pode destacar: excesso de carga, retração de material cimentado, falhas construtivas, intemperismos e solicitações térmicas.

No caso específico da COMARA, o principal motivo que leva ao trincamento por reflexão é a retração da base cimentada, cujo uso é bastante comum nesta Organização devido à falta de materiais com melhor desempenho para material de base.

Este Trabalho de Graduação busca fazer um estudo amplo sobre os diversos métodos para a prevenção de trincas de reflexão tanto na construção de novos pavimentos quanto na intervenção de antigos. Além desta análise, realizou-se o estudo de dois casos de obras da COMARA que sofreram este tipo de trincamento, o do Aeroporto Internacional Eduardo Gomes – Manaus-AM e o do Aeródromo de Eirunepé-AM.

Abstract

The Reflective Cracking is a common issue in pavements and it can take place for several reasons, such as fatigue, retraction of cement-stabilized pavement bases and weathering.

In COMARA, the main reason of the Reflective Cracking is the cemented base retraction, whose use is common in this Organization, due to the lack of better materials for base.

This paper aims to do a research among various methods for Reflective Cracking prevention not only in new pavements, but also in those that suffered interventions. Besides this analysis, two cases of works done by COMARA, the Eduardo Gomes International Airport - Manaus-AM and the Eirunepé-AM Aerodrome, were studied in this paper.

Lista de Figuras

Figura 1. Etapas de trincamento

Figura 2. Perfil de revestimento com Massa Fina de PMQ

Figura 3. Perfil de pavimento com aplicação de geotêxtil

Figura 4. Aplicação de geogrelha no Anel Viário de Campinas - SP

Figura 5. Foto de revestimento trincado

Figura 6. Foto de revestimento após selagem

Figura 7. Execução de *Sandwich Pavement*

Figura 8. Execução de fresagem no Aeroporto de Manaus-AM

Figura 9. Execução de obra com TSD

Figura 10. Estrutura do Pavimento Flexível da Pista de Pouso Manaus-AM

Figura 11. Foto da Pista de Pouso do Aeroporto de Manaus-AM

Figura 12. Estrutura do Pavimento Flexível da Pista de Pouso e de Taxi de Eirunepé-AM

Figura 13. Perfil do Pavimento da ampliação da pista de Eirunepé-AM

Figura 14. Foto do trecho de ampliação da pista de pouso de Eirunepé - AM

Lista de Abreviaturas e Siglas

CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente

COMARA – Comissão de Aeroportos da Região Amazônica

DER/PR – Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná

DER/SP – Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo

DIRENG – Diretoria de Engenharia da Aeronáutica

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

ES – Especificação de Serviço

FAA – Federal Aviation Administration

FUNAI – Fundação nacional do Índio

INFRAERO - Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária

PMQ – Pré Misturado a Quente

SART – Sistema Anti-Reflexão de Trincas

SBS – Estireno-Butadieno-Estireno

TSD – Tratamento Superficial Duplo

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	COMARA.....	13
1.2	Motivação.....	14
1.3	Objetivo.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1	Pavimento Semi-Rígido.....	15
2.2	Reflexão de Trincas.....	17
2.3	Micro Pré-misturado a quente com asfalto polímero.....	19
2.4	Geossintéticos.....	20
2.4.1	Geotêxteis.....	20
2.4.2	Geogrelhas.....	21
2.5	Selagem de Trincas.....	23
2.6	Material Granular.....	24
2.7	Fresagem a Frio.....	25
2.8	Tratamento Superficial Duplo.....	26
2.9	Cura lenta da Base Cimentada.....	28
3	ESTUDO DE CASOS.....	30
3.1	Aeroporto Internacional de Manaus-AM.....	30
3.1.1	Introdução.....	30
3.1.2	Avaliação do pavimento.....	31
3.1.3	Alternativas de restauração.....	32
3.1.4	Solução adotada e comentários.....	32
3.2	Aeroporto de Eirunepé-AM.....	34
3.2.1	Introdução.....	34
3.2.2	Avaliação do Pavimento.....	36
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	38
4.1	Construção do pavimento.....	38
4.1.1	Controle da cura do solo-cimento.....	38
4.1.2	Análise dos SART na construção do pavimento.....	39
4.2	Intervenções no pavimento.....	41

4.2.1	Parâmetros de decisão.....	42
4.2.2	Tipos de intervenções	43
4.2.3	Análise dos SART para intervenções no pavimento.....	44
5	CONCLUSÕES	48
	Referências	49

1 INTRODUÇÃO

A proposta do Estudo da Prevenção de Trincas de Reflexão em Pavimentos Semi-rígidos faz parte de uma colaboração entre o Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA – e a Comissão de Aeroportos da Região Amazônica – COMARA – e tem dois principais objetivos. O primeiro, apresentar aos graduandos deste Instituto as dificuldades que são enfrentadas pela COMARA. O segundo objetivo é que eles estes alunos possam contribuir para a solução destas dificuldades enfrentadas.

A escolha deste tema se deve ao fato de que a COMARA se depara com vários pavimentos semi-rígidos que sofreram prematuramente reflexão de trincas, reduzindo a vida útil deste pavimento.

1.1 COMARA

A COMARA, Comissão de Aeroportos da Região Amazônica, foi criada em 1953 com o objetivo de construir e recuperar aeródromos na Região Amazônica, de forma a promover a integração nacional e proteger os interesses do Brasil.

Nesses mais de 55 anos de atuação, a COMARA foi responsável pela construção e recuperação mais de 150 pistas, além de viabilizar mais de 70 obras de reformas de instalações aeroportuárias e vias públicas. Além disso, a organização dá apoio a diversos órgãos federais, como quartéis de fronteiras do Exército, Marinha e FUNAI.

A Missão da COMARA é: Projetar, Construir, Equipar e Recuperar os Aeroportos da Região Amazônica ou em outras regiões do País e executar obras civis para órgãos da Administração Federal, Estadual ou Municipal mediante convênios, desde que sejam do interesse do Comando da Aeronáutica.

No *website* da COMARA, www.comara.aer.mil.br, há mais informações, fotos e outros dados interessantes sobre a Organização.

1.2 Motivação

A execução de obras na Região Amazônica é muito complexa devido à dificuldade logística que a região propicia. A presença de solos com baixa resistência e a escassez de jazidas de rochas para a obtenção de material granular são fatores que restringem as alternativas para execução da base dos pavimentos. Neste cenário, a utilização de base de solo cimento aparece como principal solução para a construção dos pavimentos em várias obras realizadas pela COMARA.

A experiência desta Organização com essas bases indica que a retração da base cimentada é a responsável pela reflexão das trincas no revestimento do pavimento, que em algumas situações apareceram antes mesmo de a pista ser finalizada ou mesmo após a restauração desses pavimentos.

O estudo de métodos para prevenir o surgimento de trincas de reflexão se faz muito útil à COMARA, já que melhoraria o desempenho dos pavimentos semi-rígidos, evitando retrabalhos e otimizando recursos que poderiam ser melhor utilizados na construção de outras pistas.

1.3 Objetivo

Os objetivos deste trabalho são realizar um estudo sobre os principais Sistemas Anti-Reflexão de Trincas e compilar os principais métodos aplicáveis para a realidade da COMARA.

Espera-se que este documento seja utilizado como fonte de consulta para auxiliar na busca de soluções que visem a prevenir o surgimento de trincas de reflexão em situações em que se faça necessária a construção de base cimentada ou em que se necessita restaurar um pavimento trincado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seção de Revisão Bibliográfica contempla a definição e as características de pavimentos semi-rígidos e das trincas de reflexão. Adicionalmente, focou-se no estudo dos principais SART, Sistemas Anti-Reflexão de Trincas, para gerar soluções úteis e aplicáveis nas obras da COMARA. Os sistemas estudados foram:

- Micro Pré-misturado a quente com asfalto polímero
- Geossintéticos
- Tratamento Superficial Duplo
- Material Granular
- Fresagem a Frio
- Selagem de Trincas

Além desses acima, como forma de evitar o aparecimento das trincas na fase de concepção da base cimentada, estudou-se formas de cura lenta em solo cimento que reduzissem a retração da base.

2.1 Pavimento Semi-Rígido

Os pavimentos semi-rígidos são definidos como aqueles em que a base é executada com adição de ligantes hidráulicos (cimento Portland ou cal hidratada), a fim de se obter um material com rigidez suficiente para suportar as cargas de tráfego de projeto. O revestimento do pavimento, em geral, é construído com material asfáltico.

De acordo com Rodrigues (2007), as dificuldades e os altos custos para a realização de restauração no pavimento semi-rígido, tornam esta alternativa mais eficaz apenas quando outras alternativas não se mostrarem viáveis

Esta solução é bastante empregada nas obras da COMARA, pois há escassez de jazidas de materiais de melhor desempenho para utilização na base do pavimento, como brita graduada e macadame hidráulico. As principais técnicas de construção de pavimentos semi-rígidos são:

- **Sand-Creect:** É a mistura de areia, ou solo arenoso, cimento Portland e água. Este material possui uma grande quantidade de areia e alto teor de cimento, suficiente para concretar o composto.
- **Solo-Cimento:** De acordo com a definição do DER/PR, o solo-cimento é uma mistura íntima, executada na pista ou em usina, composta por solo, cimento Portland e água, adequadamente compactados e submetidos a processo eficiente de cura. Para ter esta classificação, a base de solo-cimento deve apresentar resistência a compressão simples, aos sete dias de idade, superior a 2,1 MPa.
- **Solo Tratado com Cimento:** O DER/PR define este material com a mesma composição da do solo-cimento, distinguindo pela resistência a compressão simples, que neste material deve ser entre 1,2 e 2,1 MPa. Devido à baixa composição de cimento, o solo tratado com cimento possui menor retração durante o processo de cura e conseqüentemente, menor índice de trincamento. Em geral, as trincas geradas não chegam a refletir no pavimento.
- **Solo Cal:** A mistura de cal com o solo tem dois objetivos principais. O primeiro é a utilização combinado com outro agente, por exemplo, cimento Portland, de forma a estabilizar o solo para melhor o desempenho do pavimento. Este exemplo é chamado de solo-cimento-cal, conforme a Especificação de Serviço do DER/PR, ES-P 14/05. O outro objetivo é a estabilização direta com cal no solo para atender exigência do projeto em relação à resistência do pavimento.

Segundo Rodrigues (2007), o envelhecimento e a degradação do revestimento asfáltico ocorrem de forma idêntica ao de pavimentos flexíveis, ou seja, principalmente devido à oxidação do ligante betuminoso, por meio do contato com o ar e com as radiações solares, e às intempéries, devido às oscilações térmicas, chuvas e outros fenômenos naturais.

2.2 Reflexão de Trincas

O trincamento em revestimentos de pavimentos flexíveis, semi-rígidos e rígidos é assunto de pesquisa em vários países, por se tratar de um problema que gera consideráveis custos para a manutenção e a recuperação destes pavimentos. São diversas as razões para o aparecimento das trincas, algumas são indicativas de excesso de carga, causando trincas de fadiga, ou devido a falhas construtivas, a intemperismos, a solicitações térmicas e outras.

Um tipo especial de fissura são as trincas de reflexão, que é o resultado do trincamento originado na camada subjacente ao revestimento e que refletiu. Segundo Vilchez (1996), as possíveis causas para o aparecimento dessas trincas são:

- **Fadiga:** A repetição de carga devido à passagem dos veículos gera a ruptura da camada do pavimento após determinado número de ciclos;
- **Retração:** A utilização de ligantes hidráulicos (cimentos, cal e outros produtos) misturado com solo (solo-cimento) para melhorar o desempenho do pavimento provoca retração da camada de base. Dentre as causas da retração, pode-se destacar os casos em que a rigidez da mistura cimentada é muito elevada, com altos teores de cimento, ou as condições de cura não forem adequadas. Nestas situações, pode-se esperar a formação de trincas transversais de retração na base, pouco tempo após a construção (RODRIGUES, 2007).
- **Movimentação de solo de fundação (subleito):** O aumento de umidade, recalques, escorregamentos, retração e expansão hidráulica geram movimento diferencial entre os bordos da trinca.
- **Defeitos de construção:** A má composição do pavimento, a má execução de juntas longitudinais ou o deslocamento de camadas que deveriam permanecer unidas são exemplos de defeitos que contribuem para o aparecimento das trincas de reflexão.

Segundo Rodrigues (2007), para identificar a causa do trincamento nos pavimentos semi-rígidos, deve-se investigar, antes de tudo, se o trincamento observado na superfície se deve à fadiga da base cimentada, ou se progrediu a partir de trincas transversais de retração da base, ou, ainda, se são apenas trincas que se originaram de cima para baixo no revestimento, não tendo relação com o trincamento da base. Este último caso só será observável quando a base cimentada se encontrar essencialmente íntegra, o que pode ser verificado por meio de extração de corpos de prova utilizando-se sondas rotativas ou analisando-se o seu módulo de elasticidade efetivo. Se for nítida uma relação entre a percentagem de área trincada e a redução do módulo efetivo em relação ao módulo da camada íntegra, é sinal de que o trincamento de superfície provém da reflexão de trincas da base.

Segundo Adaska e Lurh (2004), as trincas de reflexão são, em geral, de natureza estética e não reduzem o desempenho do pavimento. No entanto, nos casos em há que trincas de espessura superior a 6 mm podem ocorrer problemas estruturais do pavimento, já que nestes casos há a penetração de água por essas fissuras e com a carga decorrente do tráfego, a água é impulsionada para a superfície, bombeando os finos das camadas subjacentes.

De acordo com os estudos de Vilchez (1996), a reflexão das trincas ocorre, em geral, por meio de três etapas, ilustradas na Figura 1. Essas etapas são:

- Início do fissuramento, Figura 1.a.
- Crescimento estável da trinca, Figura 1.b.
- Propagação instável da trinca (aparecimento e propagação na superfície), Figura 1.c.

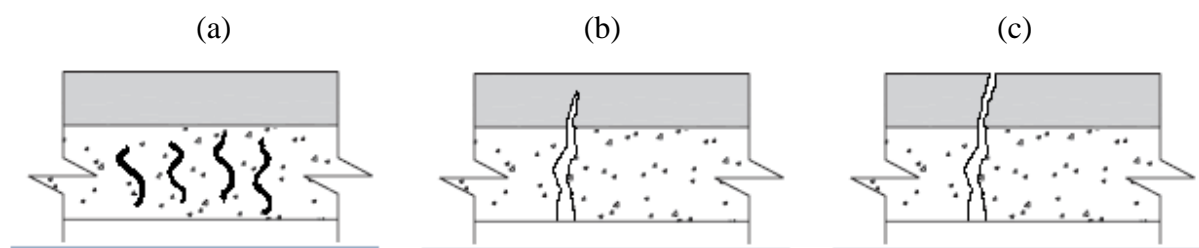


Figura 1. Etapas de trincamento

A espessura do revestimento asfáltico influencia no tempo em que as trincas aparecem nesta camada, já que quanto maior a espessura maior é o caminho que a trinca deve percorrer para atingir a superfície. O material do revestimento também é importante porque a trinca propaga-se mais rapidamente em materiais mais friáveis (VILCHEZ, 1996).

2.3 Micro Pré-misturado a quente com asfalto polímero

O método de prevenção de reflexão de trincas utilizando Micro Pré-misturado a Quente com Asfalto Polímero, também conhecido como Massa Fina de PMQ – Pré-misturado a quente, pode ser utilizado tanto na fase de construção quanto na de recuperação dos pavimentos semi-rígidos. Em ambos os casos, após esta camada, constrói-se um revestimento em CBUQ (RODRIGUES, 2007).

O Micro Pré-misturado é composto por agregados miúdos e pelo ligante asfáltico modificado. Os agregados devem ter diâmetro máximo de 3/8” e em geral, se usa pedrisco, pó-de-pedra, areia ou uma mistura desses materiais. O ligante modificado utilizado é o asfalto de petróleo modificado por polímero do tipo SBS, Estireno-Butadieno-Estireno. A atuação da Massa Fina se dá diretamente nas trincas, obturando e impedindo que se propaguem para a camada de revestimento. O perfil de um pavimento com esta solução está esquematizado na Figura 2.

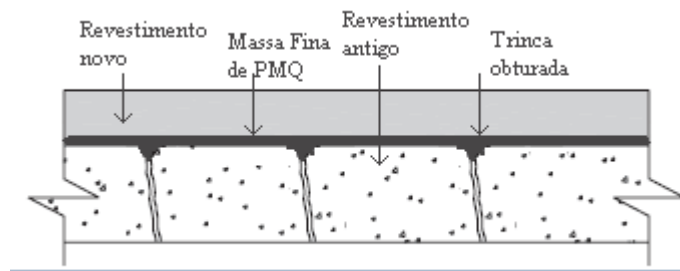


Figura 2. Perfil de revestimento com Massa Fina de PMQ

Na concepção de um novo pavimento, este sistema bloqueia as trincas de retração da base cimentada na medida em que estas forem surgindo, porque o material preenche os espaços gerados pela retração, impedido que as trincas se desenvolvam (RODRIGUES, 2007).

Na execução de uma obra de recuperação de um pavimento severamente trincado, de forma a prevenir a reflexão dessas trincas, o procedimento é similar ao do realizado na construção de um novo pavimento. Neste caso, a camada do Micro Pré-misturado é compactada diretamente sobre o revestimento antigo. As trincas são obturadas e não há o aparecimento de novas, já que a base cimentada está completamente estabilizada e não gera novas fissuras.

O manual do DNER ES388-99, Pavimentação – Micro Pré Misturado a quente com asfalto polímero, possui todos os procedimentos do método, desde a escolha dos materiais e maquinário necessários até a execução na obra. Os resultados deste método são bastante satisfatórios, já que além de impedir completamente o surgimento de novas trincas, possui baixo custo de execução.

2.4 Geossintéticos

O uso de geossintéticos é consagrado como SART, havendo inúmeros estudos sobre a aplicação deste método em recuperação de pavimentos trincados. As principais funções dos geossintéticos são a dissipação das trincas e sua conversão em microfissuras, retardando o aparecimento delas no revestimento do pavimento (VILCHEZ, 1996).

Os geossintéticos são mais usados nos casos em que já existem trincas de reflexão no revestimento e necessita-se restaurar este pavimento severamente trincado. Neste caso, a aplicação é feita diretamente na região afetada pelas trincas. O custo para aplicar esta solução em toda extensão da região pavimentada seria extremamente elevado.

Os tipos de geossintéticos utilizado como Sistema Anti-Reflexão de Trincas estão listados a seguir.

2.4.1 Geotêxteis

Os geotêxteis utilizados neste sistema são, em geral, os não-tecidos impregnados com asfalto para facilitar a adesão ao revestimento asfáltico. A aderência é ainda mais eficiente com a aplicação de duas camadas de emulsão asfáltica ou asfalto diluído entre o geotêxtil e as camadas adjacentes.

Os geotêxteis não têm a função de bloquear o trincamento, mas apenas de atrasar este processo, devido a um mecanismo que dissipa a tensão de tração presente na extremidade das trincas, reduzindo a deformação imediatamente acima da trinca na camada asfáltica. Os geotêxteis também atuam de forma a desviar as trincas, prolongando o caminho percorrido por elas até atingirem o revestimento do pavimento (RODRIGUES, 2007). A Figura 3 mostra o perfil de um pavimento em que houve a aplicação de geotêxtil e em seguida o recapeamento.

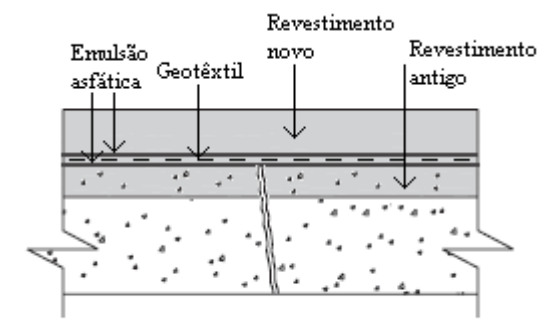


Figura 3. Perfil de pavimento com aplicação de geotêxtil

Outra funcionalidade é a barreira que ele forma no pavimento. Mesmo após o surgimento das trincas na superfície e seu posterior espalhamento, o pavimento permanecerá impermeável, uma vez que o geotêxtil não é danificado pela formação e crescimento das trincas. Assim, a abertura de panelas, a geração de afundamentos em trilha de roda e, no caso de bases em solo estabilizado, o bombeamento de finos são evitados ou inibidos, levando o pavimento a permanecer em uma condição funcional adequada por um período de tempo adicional. Este acréscimo na vida de serviço do pavimento tenderá a ser cada vez mais significativo quanto maior for o índice pluviométrico da região (RODRIGUES, 2007).

2.4.2 Geogrelhas

As geogrelhas são materiais flexíveis produzidas a partir de polímeros com elevada resistência a fadiga. Assim como os geotêxteis, em geral, possuem uma camada de asfalto para assegurar a aderência ao revestimento, a fim de distribuir as forças de tração uniformemente.

No pavimento, as geogrelhas alteram o mecanismo de trincamento quando a trinca alcança a posição do geossintético, convertendo uma única trinca de propagação em várias micro-trincas com menos potencial de propagação (VILCHEZ, 1996). Este processo diminui a tensão de tração na ponta da trinca, no entanto não impede completamente que elas atinjam a superfície do revestimento.

Um exemplo de caso com uso de geogrelha para solucionar o aparecimento de trincas de reflexão é a obra de recuperação do Anel Viário de Campinas, onde antes mesmo do início da abertura da rodovia, o revestimento já havia trincado. Na obra, usou-se o HaTelit C, da HUESKER. Nos locais com trincas de pequena espessura, a geogrelha foi aplicada

diretamente sobre a trinca. Em locais com fissuras mais severas, fez-se uma fresagem de 30 cm de largura, em seguida a reposição do concreto asfáltico para posterior aplicação da geogrelha. Um novo revestimento de CBUQ é construído após a colocação da geogrelha.

A Figura 4 mostra a execução da aplicação do uso de geogrelha na obra do Anel Viário de Campina. As fotos foram extraídas do *HUSKER Report*.

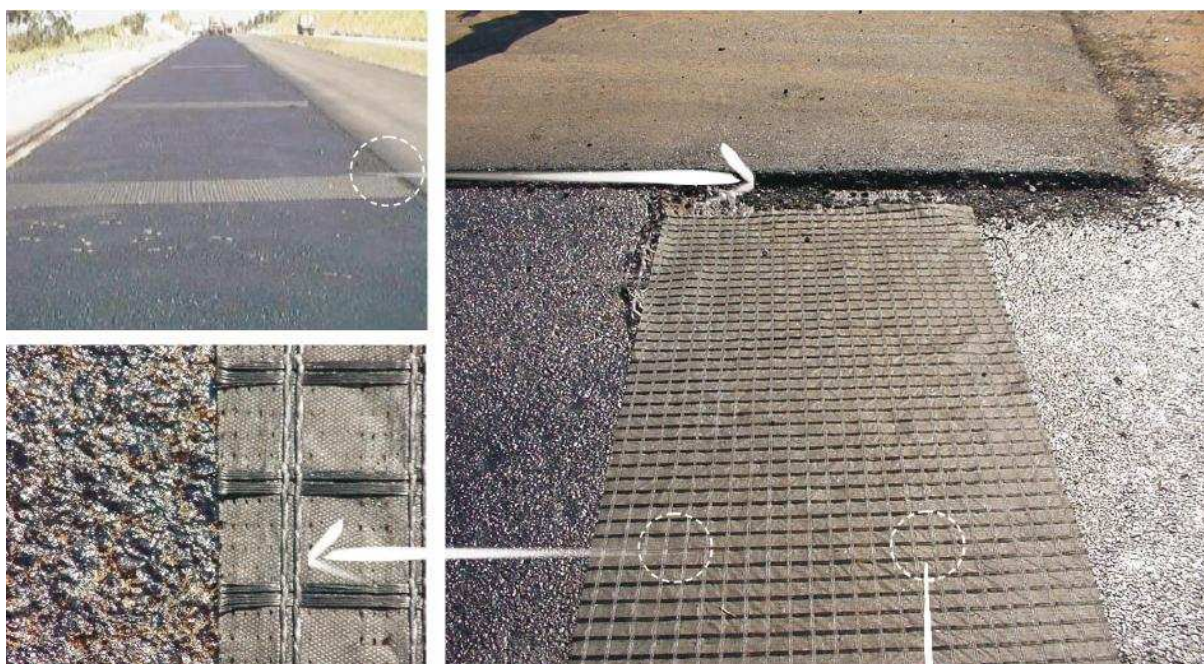


Figura 4. Aplicação de geogrelha no Anel Viário de Campinas – SP

O resultado desta aplicação é que o pavimento mantém por mais tempo a sua rigidez e estanqueidade. Além disso, as trincas que atingirem a superfície do revestimento são mais fechadas que as observadas em pavimentos sem geogrelhas, permanecendo com baixo grau de permeabilidade.

Outra consequência do uso de geogrelhas é que quando houver necessidade de um futuro recapeamento, este poderá ser feito diretamente sobre a camada asfáltica antiga, sem que haja preocupação de reflexão de trinca, já que as microfissuras terão atividade baixa.

2.5 Selagem de Trincas

O método de selagem de trincas em pavimentos é uma solução que está sendo cada vez mais empregada no Brasil e em outros países. A intervenção é bastante simples, eficaz e de baixo custo.

O selamento é indicado para pavimento estruturalmente bons e em trincas pouco severas, já que esta solução não apresenta função estrutural. O método, além de poder ser utilizado como preliminar a um recapeamento, selando as trincas para que não reflitam no novo revestimento, também pode ser empregado como manutenção rotineira do pavimento, liberando o tráfego logo após sua aplicação. Na Figura 5 e na Figura 6, exemplo de antes e depois da aplicação da solução na Rodovia SP-280 executada pela AFASA.



Figura 5. Foto de revestimento trincado



Figura 6. Foto de revestimento após selagem

Os selantes asfálticos são compostos de cimento asfáltico modificado e a adição de elastômeros para que possuam memória de retorno, já que as fendas se movimentam constantemente devido as ações mecânicas e térmicas. Além disso, o material deve possuir alta aderência com o revestimento asfáltico, ter boa resistência à fadiga para suportar cargas de tráfego e ser resistente às intempéries. O produto selante deve atender à norma da *American Society for Testing and Materials*, ASTM D5329: *Standard Test Methods for Sealants and Fillers, Hot-Applied, for Joints and Cracks in Asphaltic and Portland Cement Concrete Pavements*.

2.6 Material Granular

O uso de material granular, como brita graduada, é um dos melhores materiais disponíveis para a construção da base de um pavimento. Em geral, é muito resistente a carga de tráfego e tem boa atuação com material estrutural.

Por se tratar de um Trabalho de Graduação voltado para a prevenção de trincas de reflexão e na recuperação de pavimentos que possuem essas trincas, o estudo foi focado apenas para os casos de recuperação do pavimento, já que é esperado o não aparecimento de trincas de reflexão em pavimentos com base de material granular, além de configurar um pavimento do tipo flexível, e não semi-rígido.

Como material para reforço de pavimento, uma camada granular é bastante eficiente como Sistema de Reflexão de Trincas, pois as tensões geradas pelas trincas do revestimento antigo se dissipam nos vazios, impedindo que cheguem ao novo revestimento. Esse tipo de pavimento, denominado *sandwich pavement*, apesar da eficiência, o seu uso é desaconselhável pela FAA, já que caso a drenagem não seja realizada satisfatoriamente, a água fica confinada dentro desta camada, gerando perda de resistência do pavimento (RODRIGUES, 2007).

Abaixo, na Figura 7, uma foto da execução de um *sandwich pavement*.



Figura 7. Execução de *Sandwich Pavement*

2.7 Fresagem a Frio

A Fresagem a Frio é exclusiva para as situações de reparo e recapeamento do pavimento trincado. O método consiste no corte e remoção do revestimento asfáltico danificado por meio de processo mecânico de fresagem a frio, produzindo uma superfície de textura uniforme. A execução da fresagem se dá através de cortes por movimento rotativo contínuo, seguido de elevação do material fresado para caçamba do caminhão basculante. (DNER, 2006). Após a fresagem, faz-se o recapeamento do pavimento com CBUQ. A Figura 8 mostra a execução da fresagem do revestimento asfáltico no Aeroporto Eduardo Gomes – Manaus-AM.



Figura 8. Execução de fresagem no Aeroporto de Manaus-AM

Como SART, a fresagem da parte superior do revestimento inibe a ocorrência de novas trincas por reflexão no pavimento, já que como as trincas antigas estão estabilizadas, elas não refletem para o novo revestimento. De acordo com resultados práticos, o método mostrou-se especialmente eficiente quando permanece 3 cm do revestimento antigo após a fresagem. Este sistema anti-reflexão de trincas é mais indicado em situações em que as trincas são de baixa severidade ou são isoladas de pequenos comprimentos (RODRIGUES, 2007).

Apesar de os resultados serem bastante satisfatórios em relação ao não aparecimento de novas trincas de reflexão, o custo da fresagem é muito elevado, já que há a necessidade de compra ou aluguel da fresadora. Em geral, se contrata uma empresa especializada para a execução deste tipo de serviço.

2.8 Tratamento Superficial Duplo

O Tratamento Superficial Duplo, conhecido por TSD, é o termo usado para descrever um tipo delgado de revestimento do pavimento que envolve duas aplicações de material ligante betuminoso e de agregados minerais. Este método pode ser usado como Sistema Anti-reflexão de trincas tanto na etapa de construção do pavimento quanto na de recuperação, sendo bastante eficiente em prevenir o aparecimento das trincas em ambos os casos. O tratamento não contribui para resistência estrutural ao pavimento existente, por esta razão, não é considerado no dimensionamento do pavimento.

No caso de construção de um novo pavimento, por ser resistente a água e à abrasão do tráfego, o TSD pode ser utilizado como revestimento do pavimento. Esta opção pode ser tornar economicamente muito atrativa, principalmente em projetos com previsão de pouco tráfego ou de baixo nível de serviço.

Na construção de pavimentos que exigem melhor desempenho, uma camada delgada de TSD pode ser utilizado entre o revestimento em CBUQ e a base cimentada.

Em recapeamentos, é indicada a construção de uma camada delgada do Tratamento Superficial Duplo entre as camadas de revestimento antigo e novo. Esta solução foi utilizada na obra de recuperação do pavimento da Rodovia Fernão Dias. Nesta obra, uma camada de 2 cm de espessura de TSD foi construída sobre o pavimento antigo trincado. Acima deste, construiu-se um novo revestimento de CBUQ. O desempenho do pavimento foi monitorado

ao longo dos anos e as primeiras observações de trincamento ocorreram dez anos após sua implementação.

Em todo o mundo há diversas recomendações sobre a aplicação deste tratamento em pavimentos. No Brasil, existe a Especificação de Serviço do DNER, ES309-97, que estabelece os procedimentos para a construção da camada de TSD. Ela fornece todos os requisitos que os materiais, equipamentos e a execução devem seguir, além de identificar os controles de qualidade da construção. A Figura 9 mostra a execução de uma obra com TSD.



Figura 9. Execução de obra com TSD

Segundo Burke (1994), para um melhor controle da espessura do TSD, a execução das camadas do tratamento deve ser realizada com agregados de dimensões diferentes. Além disso, a construção do TSD é feita por etapas. Na primeira aplicação, os agregados são maiores que os utilizados na segunda e, geralmente, esta é a que determina a espessura da camada.

A execução é realizada com equipamentos padrão de construção e, portanto, nenhum equipamento especial é necessário para a construção do TSD.

2.9 Cura lenta da Base Cimentada

O Controle da Cura do solo cimento visa a reduzir o aparecimento da trincas de retração. O aparecimento dessas trincas na camada de base cimentada é dado como certo e natural nas obras que utilizam este tipo de base. No entanto, o procedimento de controle das condições de umidade e de temperatura do solo cimento durante o processo de cura pode reduzir bastante o surgimento dessas trincas.

Nos casos em que o procedimento de cura é seguido corretamente, a camada de solo cimento não perde umidade devido à evaporação. Esta perda excessiva e rápida de umidade causa dois problemas:

- Material seca rapidamente e causa maior retração;
- Não há umidade suficiente para promover uma hidratação contínua do cimento, reduzindo sua resistência.

O Manual do DNER ES305-97 indica dois métodos de cura a fim de proteger a base contra a perda rápida de umidade por um período de pelo menos 7 dias. Os métodos no manual são:

- Aplicação de uma camada de solo ou de capim logo após a conclusão da base. O material aplicado deve ser mantido constantemente molhado para que a base permaneça úmida até a execução do revestimento asfáltico.

- Emprego de material betuminoso sobre a camada de base logo após a execução. Os ligantes podem ser do tipo asfalto diluído CM-30 e CM-70 ou alcatrões AP-2 a AP-6. Esta pintura não pode ser considerada como imprimadura ligante.

As recomendações de cura em solo cimento presentes na literatura são muito vagas e não têm sofrido atualizações nos últimos anos. Apesar disso, alguns estudos vêm sendo publicados nos congressos de concreto, como por exemplo, o Estudo do Desempenho de Diferentes Materiais Utilizados para a Cura de Camadas de Solo Cimento, de autoria de Fortes, *et. al.* (2008). O estudo foi realizado em uma pista experimental e foram utilizados nove produtos usados na cura de cimento Portland.

Os produtos utilizados neste estudo estão listados abaixo:

- **Produto A:** CM 30 – Ligante e impermeabilizante para a preparação da superfície que receberá o asfalto.
- **Produto B:** Emulsão RR 1C – Emulsão asfáltica de ruptura rápida.

- **Produto C:** Emulsão RM – Emulsão asfáltica de ruptura média.
- **Produto D:** Emulsão Betunel – Emulsão asfáltica modificada por polímero.
- **Produto E:** Curacem BR – Produto a base de parafina.
- **Produto F:** Master Cure – Produto destinado a estabilização e impermeabilização de solos em aplicações viárias.
- **Produto G:** Confilme - É um aditivo líquido polifuncional e retardador de pega para concretos convencionais.
- **Produto H:** Sikament PR - Aditivo líquido polifuncional e retardador de pega para concretos convencionais.
- **Produto I:** Sika Suelos – Produto destinado a estabilização e impermeabilização de solos naturais.
- **Produto J:** Antisol – Produto disperso em água para curar e selar a superfície do concreto recém-concretado.
- **Produto K:** Antisol PAV – Agente de cura para concreto.

Os resultados dos ensaios de cura foram bastante satisfatórios quanto à retração dos corpos de prova, com exceção da emulsão RR1C. Vale destacar o uso dos produtos E, H e K, que além de evitar o aparecimento de trincas, aumentou a resistência da camada (FORTES *et al.*, 2008).

3 ESTUDO DE CASOS

O problema de Reflexão de Trincas é bastante conhecido em obras realizadas na Região Amazônica, já que diversas obras apresentaram esse tipo de trincamento. A seguir, são detalhados dois casos, Aeroporto Internacional Eduardo Gomes – Manaus-AM e Aeroporto de Eirunepé-AM, em que há mais informações disponíveis sobre o processo de trincamento, restauração do pavimento e dos resultados em cada solução.

Em ambos os casos, houve estudos realizados por órgãos ligados ao Ministério da Defesa. No Aeroporto de Manaus-AM, a DIRENG realizou um estudo técnico sobre as condições do pavimento e recomendou alternativas para solucionar o problema das trincas de reflexão, cuja execução ficou a cargo de uma empresa de engenharia privada. Em Eirunepé, tanto o relatório quanto a execução da obra de recuperação foi de responsabilidade da COMARA.

3.1 Aeroporto Internacional de Manaus-AM

3.1.1 Introdução

O Aeroporto Internacional Eduardo Gomes foi construído em 1976, desde então passou por alguns reparos localizados e duas intervenções mais pesada. Segundo informações da INFRAERO-MN, a reflexão de trincas em bloco, devido à retração da base cimentada, existia em praticamente toda a área asfaltada. Este defeito iniciou-se logo após o aeroporto ter entrado em operação. Um recapeamento de espessura de 6 cm de CBUQ, executado na pista de pouso, no ano de 1986 minimizou a reflexão das trincas, mas não eliminou este tipo de defeito.

Em 1998, a DIRENG apresentou um relatório técnico, N° 03/EP-30/98, com o objetivo de avaliar as condições do pavimento do Aeroporto e propor alternativas para o reparo e restauração do pavimento.

Neste relatório, investigaram-se os locais com trincas de reflexão. O perfil do pavimento que apresentava essas trincas era como o representado na Figura 10.

Revestimento Asfáltico	13,5 cm
Base de Solo Cimento	15,0 cm
Sub-Base 1 Solo Melhorado com Cimento	25,0 cm
Sub-Base 2 de Solo Estabilizado	15,0 cm
Subleito	

Figura 10. Estrutura do Pavimento Flexível da Pista de Pouso Manaus-AM

3.1.2 Avaliação do pavimento

A avaliação feita do processo de trincamento foi detalhada no Relatório Técnico. A seguir, uma citação sobre as condições do pavimento.

As áreas não trafegadas da pista de pouso e decolagem e das pistas de táxi apresentam trincamento de bloco generalizado, oriundo da reflexão de trincas formadas na base cimentada. Os blocos são de grandes dimensões (1 a 2 m de largura), indicando tratar-se de trincas de retração do solo-cimento e não de trincas de fadiga geradas pela repetição das cargas do tráfego. A retração que causou as trincas pode ter sido decorrente de ressecamento acentuado da mistura cimentada logo após a construção, por não se ter garantido condições de cura úmida para a camada, ou pode ter sido decorrente de movimentações de origem térmica (variações diárias e sazonais de temperatura). A primeira hipótese é a mais provável, tendo em vista que as trincas de bloco foram observadas pouco tempo após a construção. A reflexão das trincas assim formadas para o revestimento asfáltico se deu devido a movimentações de origem térmica, já que a reflexão ocorreu mesmo nas áreas não trafegadas.

O pavimento da pista de pouso e decolagem foi recapeado com 6 cm de CBUQ há nove anos [em 1989], quando o pavimento tinha treze anos de idade, devido à formação de trincas do tipo couro de crocodilo, em áreas localizadas e afundamentos plásticos em trilha de roda.

O uso de uma sub-base em solo melhorado com cimento deve ter contribuído para melhorar o desempenho global do pavimento nos locais onde surgiram trincas, uma vez que deve ter propiciado um suporte adicional e controlado o acesso de águas pluviais ao solo de subleito. Os valores obtidos para o módulo de elasticidade dessa camada (por volta de 3.000 a 9.000 kgf/cm², de modo geral) correspondem ao que seria esperado para um solo que recebeu um pequeno teor de cimento para estabilização.

A base em solo-cimento apresenta módulos de elasticidade da ordem de 130.000 kgf/cm², valores que indicam a existência de uma forte cimentação. Módulos dessa magnitude são bastante elevados para um solo com 6% de cimento, o que deve ter contribuído para o surgimento prematuro das trincas de retração na camada de base (VERISSÍMO; ROCHA; 1998, p.20).

3.1.3 Alternativas de restauração

O Relatório Técnico sugere quatro alternativas para a recuperação das áreas atingidas pelas trincas de reflexão. Em todas alternativas, os reparos localizados com o objetivo de restaurar as áreas com trincamentos severos e com afundamentos plásticos era a remoção das camadas do revestimento asfáltico e da base cimentada e recomposição com *binder*.

Para a aplicação geral, as alternativas tinham o objetivo de retardar o processo de trincamento no pavimento restaurado, melhorar a condição de rolamento e minimizar a infiltração de águas através da trincas e rejuvenescer a camada superficial do revestimento asfáltico. Os serviços propostos em cada alternativa estão descritos abaixo:

- **Alternativa 1:** Recapeamento simples na espessura de 6 cm
- **Alternativa 2:** Utilização de um sistema anti-reflexão de trincas (geotêxtil) seguido de recapeamento simples na espessura de 6 cm
- **Alternativa 3:** Fresagem na profundidade de 6 cm, se seguida de recapeamento simples na espessura de 6 cm.
- **Alternativa 4:** Fresagem na profundidade de 6 cm, em seguida a instalação de um sistema anti-reflexão de trincas (geotêxtil) e recapeamento na espessura de 6 cm.

3.1.4 Solução adotada e comentários

A solução de projeto recomendada adotada pela DIRENG no Aeroporto de Manaus-AM para a recuperação do pavimento com trincas de reflexão foi a Alternativa 3. Conforme

foi descrito no item 2 deste Trabalho de Graduação, a fresagem e posterior recapeamento é uma solução bastante eficaz na prevenção de novas trincas de reflexão.

Analisando as outras alternativas sugeridas, tem-se os seguintes comentários:

- **Alternativa 1:** O recapeamento simples é uma solução imediatista, já em poucos anos, talvez meses, as trincas do pavimento antigo refletiriam no novo revestimento.
- **Alternativa 2:** o uso de geotêxtil retardaria o aparecimento de novas trincas de reflexão, no entanto seria uma solução mais cara que a executada em Manaus.
- **Alternativa 4:** A fresagem, adicionado ao uso do geotêxtil seria a opção com melhor desempenho de todas as alternativas. Apesar disso, o alto custo de implantação tornou a opção inviável. De acordo com o Relatório Técnico Nº 03/EP-30/98, levou-se em conta que, com exceção de áreas localizadas, os pavimentos asfálticos do Aeroporto encontravam-se estruturalmente íntegros, não havendo necessidade imediata de implementação de alternativas de custo econômico tão elevado para solucionar um problema com o qual se havia convivido por 22 anos.

Para ter mais informações sobre as condições atuais do pavimento do Aeroporto de Manaus, foi feito o contato com o Engenheiro Adélcio Guimarães, Coordenador de Obras da INFRAERO-MN. Segundo informações da própria organização, a intervenção foi finalizada em 2000. O Engenheiro Guimarães relatou que o resultado da solução foi bastante satisfatório. A região onde foi feita a fresagem e o recapeamento passou oito anos sem aparecer novas trincas e as que surgiram no último ano são bem menos severas que as que haviam anteriormente e ainda não afetam estruturalmente o pavimento. Abaixo, na Figura 11, uma foto (Junho de 2009) das trincas que surgiram no revestimento do Aeroporto de Manaus-AM.



Figura 11. Foto da Pista de Pouso do Aeroporto de Manaus-AM

A princípio, e apenas devido a constatação visual, por se tratar de trincas pouco severas e isoladas, uma solução eficaz para este pavimento seria a Selagem destas trincas antes de se tornarem mais espessas, o que poderia causar bombeamento do material da base com a passagem de aeronaves.

3.2 Aeroporto de Eirunepé-AM

3.2.1 Introdução

A cidade de Eirunepé está localizada na região Centro-Oeste do Estado do Amazonas e o seu acesso se dá apenas por via aérea ou fluvial. O Aeródromo da cidade tem sua movimentação devida, principalmente, a aeronaves militares.

A seguir, um breve histórico das principais eventos ocorridos no Aeródromo de Eirunepé:

- **1979: Construção do Aeródromo de Eirunepé-AM**
 - Dimensões da pista de pouso: 1.600 m x 30 m;
 - Perfil do pavimento: A configuração do Aeródromo de Eirunepé, naquela época, era dotada apenas de pavimentos asfálticos em AAUQ – Areia Asfalto Usinado a

Quente. Abaixo, na Figura 12, é apresentada a estrutura encontrada por ocasião das sondagens efetuadas nos pavimentos.

AAUQ (Areia Asfalto Usinado a Quente)	5,0 cm
Base de Solo Cimento	25,0 cm
Sub-Base em Solo Arenoso	25,0 cm
Subleito	

Figura 12. Estrutura do Pavimento Flexível da Pista de Pouso e de Taxi de Eirunepé-AM

▪ **2000: Relatório Técnico**

A COMARA apresentou um Relatório Técnico, Nº 03/DE/00, com o objetivo de avaliar as condições dos pavimentos do Aeródromo, propor uma solução para a recuperação dos pavimentos danificados, projetar a ampliação da pista de pouso e identificar jazidas de materiais que pudessem ser utilizados nos serviços de recuperação.

Neste relatório, afirmou-se que os pavimentos do Aeródromo estavam em boas condições superficiais, apesar de nunca ter sido realizado nenhuma intervenção nos 21 anos de serviço, mas apresentava indícios de comprometimento estrutural em alguns pontos localizados.

O projeto de ampliação, que visava a aumentar o comprimento da pista e de reforçar a antiga para viabilizar a operação de aeronaves mais pesadas, contemplava a construção de mais 700 m x 45 m de pista, além de 15 m nas laterais da pista de pouso. O pavimento foi dimensionado conforme a Circular Consultiva, AC-150/5320-6D, e tinha o perfil igual ao representado na Figura 13.

CBUQ	10,0 cm
Base de Solo Cimento	30,0 cm
Sub-Base em Solo Arenoso	40,0 cm
Subleito	

Figura 13. Perfil do Pavimento da ampliação da pista de Eirunepé-AM

- **2001: Obra de recuperação e ampliação da pista de pouso**

Entre os anos de 2001 e 2005, a COMARA realizou as obras de ampliação e de reforço do pavimento da pista de pouso do Aeródromo de Eirunepé-AM.

A ampliação foi executada conforme a Figura 13, em que o revestimento de 10 cm em CBUQ era composto por 6 cm de *binder* e por 4 cm de CBUQ capa. A base em *sand-creet* (areia com teor de cimento de 8% e com 11% de umidade) foi misturada *in loco*. Esta dosagem de cimento, apesar de ser elevada, foi a escolhida após diversos testes para determinar composição que obtivesse a resistência de projeto com menor retração possível.

Para o reforço do antigo pavimento, foi executada uma camada de 10 cm de CBUQ, sendo 6 cm de *binder* e 4 cm de capa, diretamente sobre o revestimento antigo.

A construção do revestimento asfáltico, tanto na ampliação quanto no reforço, demorou 2 anos para ser concluída. No primeiro, fez-se a camada de 6 cm de *binder* e no segundo, os 4 cm de capa.

3.2.2 Avaliação do Pavimento

De acordo com Engenheiros que estiveram presentes na obra de ampliação e de recuperação da pista do Aeródromo de Eirunepé, os resultados do desempenho do pavimento podem separados pelo tipo de intervenção, conforme a seguir:

- **Ampliação da Pista:** Conforme descrito no item anterior, a base em *sand-creet* do trecho de 700 m de ampliação foi construída com 30 cm de espessura. Os teores de cimento e de umidade foram determinados após testes de resistência e de retração para atingirem valores admissíveis de projeto. O revestimento deste pavimento foi feito em duas etapas. Na primeira, houve a compactação de 6 cm de CBUQ *binder*, que trincou cerca de três meses após a construção devido à retração da base cimentada. No ano seguinte, houve a compactação dos 4 cm de CBUQ capa restantes. Este último revestimento sofreu trincamentos por reflexão dos da camada de *binder* subjacente, no entanto, o fissuramento foi leve, levando a conclusão que o estudo sobre a dosagem de cimento na base foi determinante para obter um pavimento com poucas trincas de retração. Além disso, acredita-se que por ter sido realizado a construção da capa um ano após a de *binder*, as trincas já estavam

estabilizadas e, portanto, não geraram tensões excessivas na capa. A Figura 14 é uma foto tirada em 2009 da situação do pavimento.



Figura 14. Foto do trecho de ampliação da pista de pouso de Eirunepé - AM

- **Reforço do Pavimento:** Conforme descrito no item anterior, o reforço estrutural da pista foi realizado em duas etapas. Na primeira, houve a compactação de 6 cm de CBUQ *binder* sobre o pavimento antigo. Diferentemente do trecho de ampliação, este não apresentou trincas provenientes da camada do revestimento inferior. No ano seguinte, houve a compactação dos 4 cm de CBUQ capa restante e como era de se esperar, já que não havia trincas no *binder*, não surgiram trincas na capa.

A conclusão do estudo deste caso é que se percebe uma melhoria considerável no desempenho do pavimento, no que se refere ao surgimento de trincas de reflexão, quando há um estudo sobre a previsão de retração e quando é possível aguardar o surgimento de trincas em uma camada inferior ao da capa do revestimento.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

São várias as soluções para prevenir o surgimento de trincas na construção e restauração de pavimentos com trincas de reflexão, e, portanto, é necessário conhecer quando e como aplicar cada um dos métodos descritos na Revisão Bibliográfica deste Trabalho de Graduação.

O objetivo da seção de Análise dos Resultados é comparar as diversas estratégias de prevenção de trincas e explicitar as alternativas de intervenção para cada tipo de situação que a COMARA enfrenta, de forma para minimizar o aparecimento e a propagação de trincas reflexão em pavimentos semi-rígidos.

4.1 Construção do pavimento

4.1.1 Controle da cura do solo-cimento

A prevenção de trincas na base cimentada deve iniciar na fase de construção do pavimento. Conforme foi descrito no Capítulo 2 deste Trabalho, o controle de cura lenta da base reduz a perda de umidade da mistura de solo-cimento, diminuindo a retração deste material. Além disso, com a perda de água excessiva, não há umidade suficiente para promover uma hidratação contínua do cimento, reduzindo sua resistência.

Como base nos estudos e nos resultados dos ensaios de Fortes *et al* (2008) realizados na pista teste de Campinas-SP, sugere-se as seguintes propostas a fim de reduzir o trincamento da base cimentada:

- **Evitar o uso da emulsão asfáltica RR1C:** Este produto betuminoso é largamente utilizado como pintura de ligação, ou seja, como material que ajuda na aderência entre camadas. Além disso, é empregado após a compactação da camada de base de solo-cimento como bloqueador de umidade, sendo responsável por impedir que a água da base evapore excessivamente. No entanto, os resultados de FORTES, *et al*, (2008) mostram que esta emulsão não é eficaz para este serviço.

- **Testar produtos químicos em campo:** Mesmo os resultados dos ensaios realizados por Fortes *et al* (2008) indicarem o uso três produtos químicos que além de reduzirem as trincas por retração, aumentariam a resistência do solo-cimento, sugere-se realizar testes em campo para a determinação do melhor produto tanto técnica quanto economicamente. Estes testes são de grande importância, pois seriam realizados nas condições e com materiais (solo, água e outros produtos) presentes na região da obra.

Os produtos químicos indicados para a realização dos primeiros testes são:

- **Curacem BR** – Deve ser aplicado sobre a superfície, após o desaparecimento da água de exsudação do solo-cimento. A aplicação deverá ser feita com utilização de pulverizador, para obter uma camada uniforme. O rendimento depende da textura e porosidade da superfície. As dosagens normais são entre 200 a 400 gr/m².
- **Sikament PR** – O produto deve ser adicionado junto com a água de amassamento ou após a homogeneização dos materiais com a água. O consumo é de 0,5 a 1,0% sobre o peso de concreto.
- **Antisol-PAV:** O produto deve ser aspergido sobre a superfície de solo-cimento depois de feita a compactação do solo. Um fino filme do produto é aplicado sobre toda a superfície utilizando um pulverizador manual ou mecânico. O consumo irá depender de fatores como vento, umidade e temperatura do ambiente. Em geral, o consumo é de 0,15 – 0,20 kg/m².

4.1.2 Análise dos SART na construção do pavimento

Além do controle de cura, pode-se reforçar o pavimento com a finalidade de evitar ou reduzir a reflexão de trincas, principalmente nas obras em que se exija um melhor nível de serviço, construindo uma camada delgada de TSD – Tratamento Superficial Duplo – ou de Micro Pré Misturado a Quente com Asfalto Polímero, também conhecido como Massa Fina de PMQ – Pré Misturado a Quente. Outra solução disponível no mercado é o uso de geossintéticos (geogrelhas ou geotêxteis).

Conforme foi discutido na Revisão Bibliográfica, todos os métodos são eficazes na prevenção dessas trincas, sendo necessário realizar uma análise econômica para escolher a que melhor se adéqua à obra em questão. A seguir, a descrição dos SART:

- **Micro Pré Misturado a Quente com Asfalto Polímero:** Este composto formado por agregados miúdos e por ligante asfáltico modificado é bastante eficiente na prevenção de trincas de reflexão. Para a execução deste método, deve-se compactar uma camada delgada de aproximadamente 2 cm do Micro Pré-misturado sobre base. Este sistema impedirá que as trincas geradas na base cimentada reflitam para o revestimento, porque irá preencher os locais da trincas antes que estas gerem tensões de tração no revestimento.

Este composto não tem características estruturais, portanto não pode ser considerado no dimensionamento do pavimento. Sempre há a necessidade de se construir uma camada de revestimento em CBUQ sobre o composto.

- **Tratamento Superficial Duplo:** Uma das vantagens do uso deste sistema é a utilização como camada de revestimento do pavimento em obras com baixo tráfego, o que é bastante aplicável às construções da COMARA, onde se tem pistas que recebem, em média, menos de um vôo por dia.

Sugere-se utilizar o método construtivo proposto por Burke (1994), já que se pode ter um melhor controle da espessura final do tratamento. Ele recomenda a construção do TSD feita por etapas. Na primeira, o material ligante asfáltico é aplicado por um carro espargidor, seguido imediatamente pela aplicação do agregado mineral. Esta primeira camada é compactada por rolos. O processo é repetido para a segunda aplicação de material ligante de asfalto e agregados minerais. Na primeira aplicação, os agregados são maiores que os utilizados na segunda aplicação e, geralmente, esta é a que determina a espessura da camada. O tamanho máximo dos agregados minerais utilizados na segunda aplicação é de cerca de metade da do primeiro.

Para a compactação, Burke (1994) menciona que embora a prática usual seja a de usar rolo liso de aço durante a compactação e em seguida um rolo pneumático, ele recomenda usar apenas o rolo pneumático, já que este comprime os agregados firmemente no material asfáltico sem esmagá-los, pressionando as partículas em

pequenas depressões. O rolo liso pode provocar uma degradação excessiva do agregado.

- **Geossintéticos:** A aplicação de geossintéticos, tanto geotêxtil quanto geogrelhas, têm a principal funcionalidade como SART o retardo do aparecimento das trincas de reflexão. O mecanismo de atuação destes materiais sintéticos é descrito no item 2.2 deste Trabalho.

Segundo Rodrigues (2007), para atuarem como na prevenção de trincas, os geossintéticos devem ser desenrolados sob tensão sobre a uma película asfáltica de 1 mm. Esta película é feita sobre a camada de base cimentada e tem como objetivo melhorar a aderência entre a base e o futuro revestimento. Além disso, tem-se que garantir que o pavimento esteja limpo.

Dependendo do tempo disponível de construção do pavimento semi-rígido, pode-se aguardar o surgimento das trincas de retração da base cimentada e em seguida fazer a aplicação do geossintético somente sobre as trincas, já que reduziria os custos de implementação deste sistema. Quando não é possível aguardar o trincamento, deve-se instalar o geossintético em toda a extensão da obra, principalmente nos locais onde haverá maior tráfego, por exemplo, na região central da pista. Esta aplicação se torna financeiramente inviável na fase de construção do pavimento, por isso é, geralmente, descartada como Sistema Anti-Reflexão de Trinca.

4.2 Intervenções no pavimento

Quando se depara com um pavimento trincado, independente do motivo, e é constatada a necessidade de intervenções, deve-se fazer um estudo aprofundado sobre quais métodos são aplicáveis para cada situação, já que a escolha inadequada pode ocasionar na reflexão das trincas no novo pavimento.

O objetivo deste item é analisar todos os métodos descritos na Revisão Bibliográfica de forma a auxiliar na escolha do mais indicado para de prevenção de trincas de reflexão.

Por não se tratar de um projeto de uma obra específica, optou-se por não se realizar um estudo aprofundado dos custos de implementação de cada sistema, pois na Região

Amazônica os custos logísticos são elevados e muito variáveis. Em alguns casos, uma solução mais onerosa pode-se tornar mais viável que outra devido às despesas de transporte.

4.2.1 Parâmetros de decisão

Para definir os parâmetros de decisão, conversou-se com o Cap. Rodrigo, Co-Orientador deste Trabalho, sobre quais seriam os melhores indicadores. A sugestão foi fazer com parâmetros qualitativos, já que são mais utilizados na COMARA, portanto mais práticos para a Organização.

Como fonte para a escolha de parâmetros, utilizou-se a Apostila de Gerência de Pavimentos (RODRIGUES, 2007), em se determinou os aspectos a serem investigados na inspeção de um pavimento trincado. Eles podem ser separados nas seguintes áreas:

- **Irregularidade longitudinal:** é o aspecto relativo ao conforto ao rolamento – regularidade do pavimento - e à geração de custos operacionais das aeronaves – custos de manutenção, depreciação da aeronave e desgastes de pneus. Para a análise qualitativa, uma irregularidade será considerada Tolerável ou Intolerável, implicando na necessidade de se restaurar o pavimento.

- **Extensão e severidade da degradação de superfície:** Um nível acentuado de degradação leva a uma recorrência elevada de operações de conserva, o que pode implicar na necessidade de restauração do pavimento para solucionar o problema. A avaliação deste parâmetro pode ser subdividida em outros indicadores, definida como:
 - **Tipo de defeito:** Podem ser classificados como Trincamentos, Remendos, Desgastes, Painelas, Deformações, entre outros que necessitam ser considerados.

 - **Severidade:** Traduz o grau com que o defeito compromete o desempenho e a estrutura do pavimento. Este parâmetro leva em consideração a gravidade e a intensidade dos defeitos. Pode ser classificado como Aceitável, Tolerável ou Inaceitável. Em trincas,

acima de 6 mm é considerável inaceitável, pois haverá infiltração de água pluvial

- **Extensão:** É a constância que se observa o defeito ao longo do trecho analisado, sendo classificado de acordo com a ocorrência. Em geral se faz a seguinte divisão: Alta – para áreas superiores a 50%; Média – para as entre 10% e 50%; e Baixa – para as menores que 10%.
- **Irregularidade transversal:** É avaliado os afundamentos em trilha de roda, que em profundidade exagerada compromete a segurança da aeronave, principalmente em casos de pista molhada, em que pode haver o fenômeno da hidroplanagem. É recomendada a restauração do pavimento em casos com valores entre 12 mm e 18 mm de profundidade.
- **Reforço Estrutural:** Em alguns casos, apesar de a pista estar em boas condições, há a necessidade de intervenção a fim de reforçar o pavimento para operar com aeronaves maiores. Esta situação é recorrente na nos aeródromos construídos pela COMARA, como o que houve em Eirunepé-AM. No projeto de reforço do pavimento, deve-se observar se há trincas no revestimento asfáltico antigo e escolher o melhor método para prevenir que estas trincas reflitam no novo revestimento.

4.2.2 Tipos de intervenções

Conforme foi relatado na seção anterior, são vários os parâmetros a serem analisados para a escolha do melhor método, que deve ser eficaz e economicamente viável. A primeira decisão a ser tomada é que tipo de intervenção é necessária. As três principais são:

- **Reconstrução:** Neste caso, o pavimento sofreu um alto nível de degradação e está funcionalmente e estruturalmente comprometido, restando como única solução a reconstrução deste pavimento. Este Trabalho não visa determinar as soluções nem os requisitos para este tipo de intervenção.

- **Restauração:** Este processo consiste em trazer um pavimento para níveis de serviço compatíveis com o seu uso. Em geral, para que haja necessidade de restauração, a pista deve sofrer pelo menos um dos problemas: irregularidades longitudinais, transversais ou defeitos severos. Nos casos de reforço do pavimento, pode-se considerar como restauração, já que nesta situação há a reforma completa do pavimento.
- **Conservação:** Este tipo de intervenção é a mais recorrente, em que o pavimento pode passar por uma conservação rotineira, ou seja, limpeza, desobstrução do sistema de drenagem e outras operações simples. Na conservação leve, pode-se haver a execução de reparos em áreas danificadas, como selagem de trincas. Em conserva pesada, há a aplicação de alguma camada delgada a fim de rejuvenescer o pavimento, proteger de oxidação ou correção do atrito.

4.2.3 Análise dos SART para intervenções no pavimento

Para se escolher o melhor método de intervenção, deve-se fazer uma avaliação do pavimento, conforme descrito no item 4.2.1 deste Trabalho de Graduação. Com base nos Parâmetros de Decisão e nos Tipos de Intervenções, tem-se a descrição dos diversos métodos estudados.

O passo seguinte, após determinar as alternativas de SART indicadas para cada situação, é fazer a análise econômica e o nível de serviço exigido pela obra.

- **Fresagem:** Como SART, este método é recomendado quando o pavimento sofre com trincas classificadas como intoleráveis e em extensão baixas e médias, já que o custo de fresagem é bastante elevado. Além disso, a recuperação com fresagem e posterior recapeamento, tanto com quanto sem o uso de geossintético, são também recomendadas em situações em que o não se pode elevar o greide da pista, ou quando o dimensionamento do novo revestimento para reparar os defeitos estruturais e funcionais requer uma altura superior a 13 cm. A justificativa é que, em geral, para espessuras superiores a essa, a análise econômica mostra que os custos de CBUQ são muito elevados, sendo vantajosa a realização de fresagem e de recapeamento com espessura inferior a primeiramente dimensionado.

Conforme descrito no item 2.5 deste Trabalho de Graduação, de acordo com resultados práticos, a espessura de fresagem deve ser, no máximo, a altura do revestimento antigo menos 3 cm, ou seja, $H_F \leq h_1 - 3$, onde H_F é a altura de fresagem e h_1 é a altura do revestimento antigo.

- **Geossintético:** Por se tratar de um Sistema Anti-Reflexão oneroso, sugere-se a aplicação de geossintéticos apenas em áreas pequenas ou médias em que a severidade das trincas é considerada intolerável e há a possibilidade de elas refletirem se for realizado apenas a fresagem e em seguida o recapeamento. Nos casos de trincas menos severas, para evitar gastos desnecessários, recomenda-se apenas a fresagem e o recapeamento em seguida.

Por não se tratar de um sistema que impede as trincas de reflexão e sim retarda o seu aparecimento, o uso de geossintéticos tem sua serventia limitada. Em contrapartida, o uso desse material traz uma série de vantagens, já que o desempenho geral do pavimento é melhorado através de uma combinação de efeitos: atraso do trincamento por reflexão, severidade atenuadas dessas trincas e manutenção da estanqueidade do revestimento, ou seja, a impermeabilidade do pavimento. Além disso, em uma nova intervenção, as trincas refletidas para o revestimento terão uma severidade menor que teria sem o sistema.

Os geossintéticos devem ser compactados sobre o antigo revestimento do pavimento com a aplicação de emulsão asfáltica para garantir melhor aderência entre os dois revestimentos, o antigo e o novo.

- **Camada Granular:** Nos casos de intervenção, esta solução, chamada de *sandwich pavement*, é geralmente aplicada quando há a necessidade de reforço estrutural do pavimento, porque diminui a espessura necessária de CBUQ, tornando a reforma menos dispendiosa. Neste método, o pavimento deteriorado recebe uma camada granular da ordem de 10 a 15 cm de espessura e em seguida um revestimento em CBUQ.

A FAA não recomenda o uso deste sistema devido aos problemas de drenagem, em que a água fica confinada entre as camadas do revestimento novo e do antigo, causando perda de resistência do pavimento. Apesar desta advertência, a FAA

permite a construção de *sandwich pavement* caso as condições de drenagem sejam satisfatórias para evitar o problema citado (RODRIGUES, 2007).

Dentre os fatores que influenciam na escolha deste método, pode-se destacar o processo logístico a ser planejado. Em muitas obras realizadas na Região Amazônica, esta solução é descartada pela dificuldade em se obter jazidas de rochas próximas do local de execução do pavimento.

- **Micro Pré Misturado a Quente com Asfalto Polímero:** Este método pode ser aplicado em diversas situações de restauração de pavimentos, principalmente nas que se tem trincamento severo, já que é bastante eficiente quanto ao bloqueio de novas trincas, e em grandes áreas, pois possui baixo custo de produção e aplicação no pavimento.

O processo construtivo deste método é o mesmo que o de construção de pavimentos. Faz-se a compactação de uma camada com cerca de 2 cm deste material de asfalto polímero misturado com agregados finos, de diâmetro máximo de 3/8", sobre o revestimento antigo. O composto obturará as trincas, impedindo que estas reflitam para o novo revestimento. Esta massa fina não tem características estruturais, portanto, após a aplicação, haverá a necessidade da recapeamento de uma camada de revestimento em CBUQ. Além disso, ele não pode ser considerado no dimensionamento do pavimento.

- **Tratamento Superficial Duplo:** Este método pode ser aplicado nas mesmas situações que a de Massa Fina, com a vantagem de poder ser utilizado como revestimento em pistas com baixa operação ou com aeronaves leves, o que é bastante interessante para a COMARA, em que se há um número razoável de aeródromos que recebem, em média, menos de um voo por dia.

O método construtivo deste sistema em intervenção é o mesmo que o de construção de pavimentos, descrito no item 4.1.1. Sugere-se utilizar o processo construtivo descrito por Burke (1994), em que se faz a aplicação por etapas e com tamanhos diferentes de agregados na primeira e na segunda camada. Além disso, recomenda-se usar apenas o rolo pneumático na compactação, já que comprime os agregados firmemente no material de asfalto sem esmagá-los, pressionando as partículas em

pequenas depressões. O rolo liso pode provocar uma degradação excessiva do agregado.

- **Selagem de Trincas:** Diferentemente dos outros métodos descritos acima, a selagem é indicada na conservação do pavimento com irregularidades longitudinais e transversais em níveis aceitáveis e com a ocorrência de trincas isoladas e de pavimento. Dessa forma, essa intervenção pode adiar a necessidade de uma reforma mais pesada no pavimento.

Este sistema é relativamente simples e barato de ser executado, pois não requer a utilização de máquinas sofisticadas. Para a realização da selagem, primeiramente, é feita a abertura das trincas, de modo a formar “canaletas”. Este processo pode ser feito por meio de uma fresadora de trincas de precisão ou, na falta deste aparelho, a abertura das trincas pode ser realizada manualmente, utilizando ferramentas com ponta. Em seguida, se limpa o local com um jato de ar comprimido para remover as impurezas que podem afetar na aderência entre o material selante e o pavimento em reparo. O material selante é aplicado a quente nas canaletas formadas até que sejam completamente preenchida pelo material.

5 CONCLUSÕES

A tarefa de realizar um estudo que tem por finalidade a aplicação prática em obras da COMARA é um grande desafio. Apesar das dificuldades de obtenção de dados e de referências bibliográficas específicas sobre o assunto, a sensação ao final deste Trabalho de Graduação é que as soluções propostas e as observações feitas serão muito úteis para a realização das atividades desta Comissão.

Em relação às práticas recomendadas, é importante analisar qual a finalidade da aplicação. Ao longo deste Trabalho de Graduação, algumas observações sobre cada método construtivo foram feitas a fim de se auxiliar na escolha da melhor intervenção. De forma geral, na construção de um novo pavimento, o controle da cura do cimento mostrou-se um excelente método de redução das trincas na base e, por tanto, deve ser aplicada em todas as obras. Além disso, a aplicação de uma camada delgada, ou de TSD ou de massa fina, pode ser considerada no projeto como meio de evitar que as trincas da base reflitam para o revestimento.

Em intervenções em pavimentos antigos, a revisão bibliográfica mostrou a importância em se conhecer os aspectos do pavimento trincado, como tipo de defeito, severidade, extensão e nível de serviço exigido para a operação. A escolha do SART deve se basear tanto em aspectos técnicos quanto em econômicos para cada obra, já que alguns métodos anti-reflexão de trincas possuem desempenho semelhante, no entanto seus custos podem ser bastante variados.

Para COMARA, recomenda-se a manutenção deste programa, em parceria com a Divisão de Engenharia Civil, de propostas de Trabalhos de Graduação sobre estudos das dificuldades que a Comissão enfrenta nas obras, de forma a buscar soluções para estes problemas e colaborar para a formação do Engenheiro do ITA com casos práticos e reais.

Como proposta de novos Trabalhos de Graduação, sugere-se realizar, além do estudo técnico, uma análise econômico-financeira das alternativas para algum caso específico de construção ou recuperação de pavimentos realizados pela COMARA.

Referências

ADASKA, Wayne S.; LURH, David R. Control of reflective cracking in cement stabilized pavements. In: INTERNATIONAL RILEM CONFERENCE, 5., 2004, Limoges. **Proceedings...** Bagnoux: Rilem Pub., 2004.

AFASA CONSTRUÇÕES E COMÉRCIO. Selagem de trincas em pavimentos. Disponível em: <<http://afasa.net/>>. Acesso em: 25 set. 2009.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER ES305-97**: pavimentação: base de solo-cimento. Rio de Janeiro: 1997. 10p.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ES309-97**: pavimentação: Tratamento Superficial Duplo. Rio de Janeiro: 1997. 10p.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER ES388-99**: pavimentação: micro pré-misturado a quente com asfalto polímero. Rio de Janeiro: 1999. 13p.

BURKE, William E. User's guide: double bituminous surface treatment. **U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station**. Disponível em: <<http://handle.dtic.mil/100.2/ADA284753>>. Acesso em 19 set. 2009.

COMO construir: selagem asfáltica de fissuras de pavimentos. **Revista Técnica**. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/110/artigo19305-1.asp>>. Acesso em: 25 set. 2009.

CRACK sealing benefits and techniques. **Road Management & Engineering Journal**. Ago. 1999. Disponível em: <<http://www.usroads.com/journals/rmej/9908/rm990801.htm>>. Acesso em: 03 out. 2009.

FORTES, R. M.; MERIGHI, J.; BANDEIRA, A. Estudo do desempenho de diferentes materiais utilizados para cura de camadas de solo cimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 50., 2008, Salvador. **Anáís...** São Paulo: IBRACON, 2008.

FORTES, R. M.; MERIGHI, J.; BANDEIRA, A. Estudo em laboratório de diferente materiais utilizado para a cura de base de solo cimento. In: CONGRESSO DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2008, São Paulo. **Anáís...** São Paulo: ANDIT, 2008.

HUESKER. Sistema anti-reflexão de trincas de bases cimentadas: anel viário de Campinas – SP. **HUESKER Report**. Disponível em: <www.huesker.com/download/HaTelit_-_Anel_Viario_-_br.pdf>. Acesso em 26 set. 2009.

PARANÁ (Estado). Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DER/PR ES-P 11/05**: pavimentação: solo-cimento e solo tratado com cimento. Curitiba, 2005. 19p.

PARANÁ (Estado). Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DER/PR ES-P 14/05**: pavimentação: solo-cimento-cal. Curitiba, 2005. 14p.

RODRIGUES, Régis Martins. **Engenharia de pavimentos**: parte I – projeto de pavimentos. São José dos Campos: ITA, 2007. Apostila de curso.

RODRIGUES, Régis Martins. **Engenharia de Pavimentos**: parte II – gerência de pavimentos. São José dos Campos: ITA, 2007. Apostila de curso.

SÃO PAULO (Estado). Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DER/SP ET-DE-P00/038**: fresagem de pavimento asfáltico. São Paulo, 2006. 6p.

UNITED STATE. Federal Aviation Administration. **AC 150/5320-6E**: airport pavement design and evaluation. Washington, DC, 2008. 125p

VERISSÍMO, E. S.; ROCHA, N. R. F. **Aeroporto Internacional Eduardo Gomes - MN**: avaliação de pavimentos. Rio de Janeiro: DIRENG, 1998. (Nº 03/EP-30/98).

VILCHEZ, Guillermo Montestruque. **Estudos de sistemas anti-reflexão de trincas na restauração de pavimentos asfálticos**. 142 f. 1996. Tese (Mestrado em Ciências de Infra-Estrutura de Transporte) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO <p style="text-align: center;">TC</p>	2. DATA <p style="text-align: center;">03 de novembro de 2009</p>	3. REGISTRO N° <p style="text-align: center;">CTA/ITA/TC-089/2009</p>	4. N° DE PÁGINAS <p style="text-align: center;">50</p>
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: <p style="text-align: center;">Estudo da Manutenção de Pavimentos Semi-rígidos em Termos do Trincamento por Reflexão</p>			
6. AUTOR(ES): <p>Rafael Ribeiro Rocha</p>			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): <p>Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA</p>			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: <p>Sistema Anti-Reflexão de Trincas, Reflexão de Trincas; Pavimentos Semi-Rígidos; COMARA;</p>			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: <p>Pavimentos; Manutenção; Propagação de trincas; Asfaltos; Aeroportos; Engenharia civil</p>			
10. APRESENTAÇÃO: <p style="text-align: right;">X Nacional Internacional</p> <p>ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia de Civil-Aeronáutica. Orientador: Prof. Dr. Régis Martins Rodrigues; co-orientador: Eng.º. MsC Rodrigo Otávio Ribeiro. Publicado em 2009.</p>			
11. RESUMO: <p>A Reflexão de Trincas é um problema bastante comum em diversas obras viárias. São vários os motivos que podem gerar esse tipo de fissuramento no revestimento asfáltico, dentre os quais se pode destacar: excesso de carga, retração de material cimentado, falhas construtivas, intemperismos e solicitações térmicas.</p> <p>No caso específico da COMARA, o principal motivo que leva ao trincamento por reflexão é a retração da base cimentada, cujo uso é bastante comum nesta Organização devido à falta de materiais com melhor desempenho para material de base.</p> <p>Este Trabalho de Graduação busca fazer um estudo amplo sobre os diversos métodos para a prevenção de trincas de reflexão tanto na construção de novos pavimentos quanto na intervenção de antigos. Além desta análise, realizou-se o estudo de dois casos de obras da COMARA que sofreram este tipo de trincamento, o do Aeroporto Internacional Eduardo Gomes – Manaus-AM e o do Aeródromo de Eirunepé-AM.</p>			
12. GRAU DE SIGILO: <p>(X) OSTENSIVO () RESERVADO () CONFIDENCIAL () SECRETO</p>			