

PAVIMENTO RECICLADO COM ADIÇÃO DE CIMENTO: AVALIAÇÃO DA ÁREA TRINCADA DE TRÊS SEGMENTOS MONITORADOS DA RODOVIA SC-355

Cheila Sirlene Beutler

Glicério Trichês

Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Gislaine Luvizão

Universidade do Oeste de Santa Catarina
Departamento de Engenharia Civil

Juliana Ginklings Froés da Cruz

Engenheira Civil

RESUMO

A reciclagem de pavimentos com adição de cimento tem-se mostrado uma alternativa técnica, economicamente e ambientalmente viável na restauração de pavimentos deteriorados. Nesse estudo, realizou-se a avaliação do trincamento de três segmentos monitorados da rodovia SC-355, cujo pavimento foi reciclado, a partir do revestimento e parte da camada de base, com adição de cimento, dando origem a uma camada de base de comportamento semirrígida. A partir dos levantamentos de defeitos realizados ao longo do tempo, verificou-se que, após 5 anos da rodovia aberta ao tráfego, o trecho possui ótima condição superficial. Dentre as trincas identificadas, apenas foi verificada a ocorrência de trincas isoladas transversais do tipo FC-1. De maneira geral, após se ter atingido metade da sua vida de projeto, a área trincada é inferior a 0,2%, indicando que a estrutura do pavimento apresenta uma excelente condição estrutural. Os segmentos monitorados fazem parte da Rede Temática de Tecnologia do Asfalto e com o seu monitoramento, pretende-se obter dados de desempenho que possam colaborar com o desenvolvimento de uma metodologia de dimensionamento deste tipo de intervenção para a restauração de rodovias e de pavimentos semirrígidos.

ABSTRACT

Recycling pavements with cement has proven to be a technically, economically and environmentally feasible alternative in pavement restoration. In this study, a assessment of cracking, over three different monitored segments of the road SC-355 was performed, where the pavement was recycled, from the coating and part of the base, with the addition of cement, giving rise to a semi-rigid base layer. Based on the pavement assessments performed over time, the road stretch showed excellent surface conditions after 5 years of operation. Among the identified cracks, the only kind observed was isolated transverse cracks of type FC-1. In general, after reaching half of its design life, the cracking area is at less than 0.2%, indicating that the pavement structure has an excellent structural condition. The monitored segments are part of the Asphalt Technology Thematic Network. With this monitoring, this network seeks to gather performance data that can collaborate with the development of a design methodology for this type of intervention, for the restoration of roads and semi-rigid pavements.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, devido às vantagens da reabilitação dos pavimentos existentes, grande atenção tem sido dada à técnica de reciclagem (Gao *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2018). De um modo geral, a reciclagem tem o benefício de consumir menos matéria-prima e combustíveis fósseis, reduzir as emissões de poluentes e melhorar a condição estrutural dos pavimentos danificados. Do ponto de vista histórico, as técnicas de reciclagem se desenvolveram rapidamente em alguns países, incluindo Estados Unidos, Canadá, França, Alemanha, Espanha e Austrália. Além disso, tem sido empregada também devido ao seu potencial de prolongar o ciclo de vida do pavimento e reduzir custos de construção (Thenoux *et al.*, 2007; Modarres *et al.*, 2014).

Pavimentos devem ser dimensionados, executados e restaurados para atender a durabilidade requerida. Tem-se observado que nos países com avançada tecnologia em pavimentação é comum à inclusão de camadas cimentadas nos pavimentos, com os pavimentos flexíveis dando

lugar a pavimentos semirrígidos ou invertidos (Behak, 2013).

No Brasil, a reciclagem de pavimentos com cimento vem sendo aplicada há algumas décadas. Porém, a documentação técnica para orientar a realização deste tipo de serviço é escassa. Foley (2001) destaca que os engenheiros que buscam utilizar técnicas alternativas na restauração de pavimentos estão demasiadamente limitados pela falta de dados de desempenho de materiais cimentados. Poucas pesquisas têm sido conduzidas para avaliar o desempenho em campo de materiais reciclados com adição de cimento.

Nesse contexto, o objetivo deste artigo é avaliar o desempenho quanto à área trincada de três segmentos monitorados da rodovia SC-355, que foi restaurada por meio da técnica de reciclagem profunda com adição de cimento para reconstrução da base e com a execução de uma nova camada de revestimento asfáltico.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A camada de base, que corresponde ao objeto deste trabalho, é a camada situada imediatamente abaixo da camada de revestimento asfáltico. Possui a função de resistir às cargas atuantes devido ao tráfego e minimizar as deformações de consolidação e os esforços cisalhantes nas camadas subjacentes. Para a camada de revestimento, as características mecânicas da base são essenciais para garantir o controle da magnitude das tensões no revestimento asfáltico, de maneira que não cause trincamento prematuro da camada de superfície (Pinto e Preussler, 2002).

Nos pavimentos semirrígidos, ou nas estruturas em que a camada de revestimento está apoiada e aderida a uma camada de elevada rigidez, geralmente não há a existência de linha neutra no revestimento asfáltico. A alta rigidez da camada de base, com espessura em geral superior à do revestimento, faz com que o revestimento trabalhe somente à compressão. Na camada de base, as fibras superiores encontram-se comprimidas enquanto as inferiores estão tracionadas. Por isso, nesses pavimentos ocorre inicialmente a fadiga da camada de base e a formação de trincas com respectiva reflexão dessas trincas para a camada de revestimento. À medida que essas trincas evoluem, a rigidez da camada cimentada decresce, pois a camada cimentada tende a trabalhar em forma de blocos, aumentando de forma significativa a irregularidade da superfície. Isto faz com que a linha neutra se desloque e possa chegar à camada de revestimento, iniciando outro processo de dano, que é a fadiga do revestimento asfáltico (SAPEM, 2013; Andrade, 2017). Dessa forma, conhecer o momento em que isto ocorre é essencial para programar uma intervenção no pavimento que restabeleça as condições de projeto e evite a reflexão de trincas ao revestimento, deformações acentuadas e deterioração progressiva e rápida de todo o pavimento.

Segundo George (2001), a retração e fissuração em materiais estabilizados com cimento, devido à secagem e contração térmica causada pelo processo natural de hidratação, constituem um dos principais problemas observados em bases cimentadas, mesmo em camadas de base com um baixo percentual de cimento. Para o autor, a retração é inevitável e sua mitigação é destinada principalmente a limitar o trincamento a um nível que não seja prejudicial aos parâmetros que indicam conforto e segurança ao usuário.

De acordo com o Manual de Pavimentos da Agência Nacional de Estradas da África do Sul (2013), os pavimentos com bases cimentadas mostram pouca degradação inicial, mas se

deterioram rapidamente uma vez iniciado o processo de dano, devido a sua baixa ductilidade. Para a degradação por fadiga, geralmente, as trincas iniciam no fundo da camada (Figura 1) e se propagam para o topo da camada, levando mais tempo para se propagar em camadas mais espessas (SAPEM, 2013).

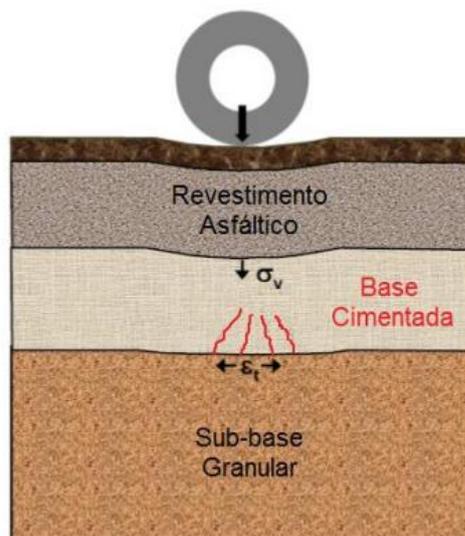


Figura 1: Tensão vertical (σ_v) no topo e (ϵ_t) deformação de tração na fibra inferior da camada cimentada (Fonte: Adaptado de SAPEM, 2013).

No entanto, esse processo de trincamento geralmente se torna visível após um longo número de repetições de cargas, e se apresentam de maneira inicial na forma de pequenas trincas. A evolução das trincas para o revestimento acabará por permitir que a água se infiltre em camadas inferiores, enfraquecendo a estrutura do pavimento e reduzindo sua vida útil (AASHTO, 2004). A Figura 2 ilustra o comportamento a longo prazo para camadas cimentadas.

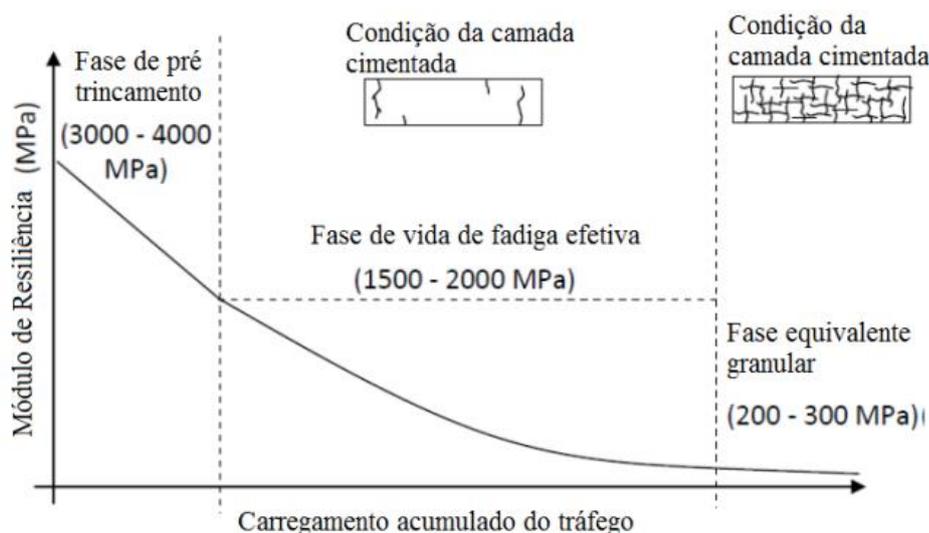


Figura 2: Fases de fadiga de material cimentado (Fonte: Adaptado de Theyse *et al.*, 1996).

O primeiro estágio de degradação da camada cimentada, conhecido como a fase pré-trincamento, é caracterizada pelo surgimento das primeiras trincas, em geral, transversais,

oriundas da retração da camada, sem neste caso ter influência da ação do tráfego. Após esta fase de pré-trincamento, as bases cimentadas passam a sofrer ação do tráfego, cujas solicitações provocarão o processo de fadiga da camada. Apesar da presença de trincas que partem da fibra inferior da base cimentada, é comum que nesta fase não sejam evidenciados trincamentos na superfície do pavimento (revestimento), o que poderia ocultar a degradação da base cimentada (Yeo, 2011). Na terceira fase, a base cimentada passa a apresentar comportamento equivalente a uma base granular, o que não implica que o material tenha se partido em pedaços menores e nem atingido visivelmente o aspecto de um material granular. Os trincamentos por fadiga na base cimentada são geralmente microfissuras que não são tão visíveis, porém capazes de provocar perda acentuada da rigidez (SAPEM, 2013).

A acumulação de danos na estrutura do pavimento é manifestada com a propagação de fissuras dentro da matriz cimentada (Yeo, 2011) responsáveis pela redução do módulo de resiliência (Beer *et al.*, 2012).

3. CARACTERIZAÇÃO DOS SEGMENTOS MONITORADOS

3.1. Localização

Os três segmentos monitorados estão inseridos em um trecho da rodovia estadual SC-355 que liga a BR-282 à BR-153, entre os municípios de Jaborá e Concórdia, no Meio Oeste Catarinense. Obra do DEINFRA/SC, este trecho da SC-355 possui 22,8 km e contempla a reciclagem do revestimento e parte da camada de base com adição de cimento. A restauração teve início em agosto de 2013 e o trecho foi aberto ao tráfego em dezembro de 2013. O tráfego previsto em projeto para o período de 10 anos foi de $N_{USACE} = 1,0 \times 10^7$. Os segmentos monitorados localizam-se nas estacas 2+500 m a 3+000 m (segmento 1), 4+700 m a 5+200 m (segmento 2) e 8+300 m a 8+800 m (segmento 3).

3.2. Dosagem e processo de reciclagem

Em projeto, a umidade ótima de compactação obtida para o material reciclado foi de 8,8% para uma massa específica aparente seca máxima de 2,188 g/cm³ (energia do Proctor modificado).

Uma vez que cada segmento apresentou materiais diferentes, com granulometrias dispersas, efetuou-se uma curva de compactação para cada segmento monitorado, com a adição de 15% de pó de pedra e 3% de cimento Portland (CP II F 32). A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de compactação.

Tabela 1: Umidade ótima e massa específica aparente seca máxima dos segmentos

Segmento	Seg 1	Seg 2	Seg 3
h ótima (%)	7,4	6,5	6,5
MEASmáx (g/cm ³)	2,244	2,318	2,264

Fonte: Adaptado de Luvizão (2014).

A compactação em campo foi definida de forma a reproduzir a massa específica aparente seca máxima e atingir o grau de compactação especificado em projeto que era aferido empregando-se o método do frasco de areia. Atingido o grau de compactação, a camada era liberada para controle deflectométrico.

Para a determinação do teor de cimento de projeto, realizou-se um estudo de dosagem em

laboratório, seguido pela execução de pistas experimentais. O segmento 3 foi o primeiro a ser executado, e ao longo deste foi verificado que a mistura apresentava valores de resistência à compressão bem acima do especificado. Por isso, a partir dessa verificação, tomou-se a decisão de reduzir 0,3% o teor de cimento. Logo, os segmentos 1 e 2 foram executados com teor de 2,7% (Luvizão, 2014).

A partir do projeto de restauração da SC-355, o processo de reciclagem contemplou: a) adição de 15% de agregado virgem (pó de pedra), em massa, para que a granulometria se encaixasse na faixa III do DEINFRA/SC; b) adição de 3% de cimento, em massa; c) trituração do revestimento (8,5 cm) juntamente com parte da camada de base (9,5 cm), sendo a espessura total de corte (base + revestimento) igual a 18,0 cm; d) aplicação do tratamento superficial da camada para liberação do tráfego no mesmo dia ou em até 3 dias após a reciclagem (atuação do tráfego por cerca de 30 dias), com espessura de 1,5 cm; e) execução de uma camada de massa fina com espessura média de 3,0 cm; f) revestimento de asfalto-borracha com no mínimo 5,0 cm de espessura (Luvizão, 2014).

3.3. Estrutura do pavimento restaurado

Os segmentos incluíam diferentes condições estruturais do pavimento existente e espessuras. O subleito é composto de rocha alterada no segmento 1 e solo argiloso nos segmentos 2 e 3 (material existente); a sub-base é em macadame seco (material existente); a camada de base remanescente é formada de brita graduada, com espessura variável de 4 a 8 cm; a nova camada de base é composta de reciclagem de brita graduada, revestimento antigo, agregado virgem e cimento e; o revestimento possui uma camada de tratamento superficial simples - TSS (emulsão polimerizada e pedrisco) e camada de mistura asfáltica, composta de massa fina (faixa C da especificação do DEINFRA-SC-ES-P-05B/05) e Concreto Asfáltico Usinado à Quente - CAUQ modificado com borracha (faixa D especificação do DEINFRA-SC-ES-P-05B/05). A Tabela 2 apresenta as espessuras médias das camadas após a reciclagem.

Tabela 2: Espessura final média das camadas após a reciclagem

Camada	Espessuras (cm)		
	Segmento 1	Segmento 2	Segmento 3
Revestimento	9,0	9,5	8,5
Base reciclada	17,8	17,4	17,5
Base remanescente	5,0	4,4	6,4
Sub-base	21,4	19,4	16,4
Subleito	-	-	-

4. MÉTODO DO TRABALHO

A avaliação da área trincada foi realizada através do levantamento visual da superfície, detalhado segundo a norma DNIT-PRO 006/2003 (Brasil, 2003a), a fim de identificar e classificar as trincas aparentes. O primeiro levantamento foi realizado em maio de 2016, o segundo em dezembro de 2017 e o terceiro em dezembro de 2018. Cada segmento possui 500 metros de comprimento e a extensão monitorada representa cerca de 6,5% do trecho total reciclado da rodovia SC-355.

As trincas foram demarcadas, medidas e anotadas em uma planilha de acordo com a classificação da norma DNIT-TER 005/2003 (Brasil, 2003b) e a área trincada foi calculada, bem como o percentual de trincamento em relação à área total da superfície dos segmentos e

em relação à trilha de rodagem.

5. RESULTADOS PARCIAIS E DISCUSSÃO

5.1 Estimativa da vida útil

Com os valores dos módulos obtidos nos ensaios de laboratório e com aqueles obtidos na retroanálise das bacias de deflexão, efetuou-se uma análise mecanicista da estrutura do pavimento após a reciclagem, com o objetivo de estimar sua vida útil em termos de número de solicitações do eixo padrão de 8,2 toneladas.

Nesta análise, tomou-se como principal parâmetro avaliado a tensão de tração na face inferior da camada reciclada, pelo fato do revestimento apresentar níveis de deformação à tração muito baixos. As simulações foram conduzidas empregando-se o *software Elsym5*, com carregamento do eixo padrão de 82 kN e pressão de contato dos pneus igual a 0,56 MPa.

Para a estimativa da vida útil utilizou-se o modelo de fadiga (Equação 1) para a mistura reciclada obtida por Luvizão (2014):

$$N = 21,961(SR)^{-18,887} \quad (1)$$

em que,

N: número de ciclos de aplicação de carga para a ruptura (equivalente ao eixo de 8,2 toneladas considerando-se fator campo-laboratório igual a 1);

SR: tensão de tração na face inferior da camada reciclada/resistência à tração na flexão da camada reciclada.

A Tabela 3 apresenta os coeficientes de Poisson e os módulos utilizados para a verificação da vida útil do pavimento reciclado utilizando os valores de módulo encontrados na retroanálise das bacias de deflexão e obtidos nos ensaios de laboratório. Ressalta-se que não foram ensaiados os materiais do subleito, sub-base e base remanescente, adotando-se desta forma, os mesmos valores obtidos na retroanálise das bacias.

Tabela 3: Características da estrutura final com módulos retroanalizados e ensaiados

Segmento		1		2		3	
Camada	Coef. Poisson	Mód. retroanálise (MPa)	Mód. ensaio (MPa)	Mód. retroanálise (MPa)	Mód. ensaio (MPa)	Mód. retroanálise (MPa)	Mód. ensaio (MPa)
Revestimento	0,27	3096	4104	2760	4459	2896	3297
Base reciclada	0,20	871	801	1462	1385	866	1144
Base remanescente	0,35	140	-	156	-	120	-
Sub-base	0,45	148	-	130	-	100	-
Subleito	0,45	142	-	132	-	120	-

Fonte: Adaptado de Luvizão (2014).

A Tabela 4 apresenta os resultados da análise mecanicista feita com o *software Elsym5* e a estimativa da vida útil da estrutura reciclada considerando-se os módulos retroanalizados e os módulos obtidos por ensaio.

Tabela 4: Estimativa da vida útil

Módulos Segmento	Retroanalizado			Ensaiado		
	1	2	3	1	2	3
Tensão de tração (MPa)	0,17	0,24	0,20	0,15	0,22	0,23
Def. calculada (10^{-2} mm)	28,30	27,10	33,40	27,80	25,50	31,00
Deflexão campo (10^{-2} mm)	30,80	33,50	37,00	30,80	33,50	37,00
Resultados obtidos em Laboratório						
RTCD (MPa)	0,48	0,57	0,57	0,48	0,57	0,57
SR	0,34	0,42	0,35	0,31	0,38	0,41
N	1,30E+10	2,70E+08	9,40E+09	9,00E+10	2,00E+09	5,00E+08
Resultados obtidos em Campo						
RTCD (MPa)	0,38	0,43	0,45	0,38	0,43	0,45
SR	0,43	0,56	0,44	0,39	0,50	0,51
N	1,80E+08	1,40E+06	1,20E+08	1,00E+09	9,00E+06	6,00E+06

Fonte: Adaptado de Cruz (2016).

Considerando-se os valores de resistência à tração por compressão diametral (RTCD) obtidos em laboratório e os módulos retroanalizados, todos os segmentos atenderiam ao tráfego previsto ($1,00E+07$ segundo o método USACE) para o período de projeto (10 anos). Porém, se esta avaliação for em relação a valores de RTCD em campo, o segmento 2 não atenderia ao tráfego projetado.

Para os valores de RTCD obtidos em laboratório e os módulos ensaiados, pode-se estimar que todos os segmentos atenderiam ao tráfego de projeto. Apenas a simulação adotando RTCD de campo, resultou em valor abaixo do previsto em projeto para os segmentos 2 e 3. Ressalta-se que na análise conduzida adotou-se para o modelo de fadiga o fator campo-laboratório igual 1. Com o acompanhamento do desempenho que se pretende fazer ao longo do tempo, será possível fazer a calibração do modelo definindo-se desta forma um fator campo-laboratório para este tipo de mistura reciclada.

5.2 Área trincada

Os dados decorrentes dos levantamentos realizados nos segmentos monitorados são associados ao tempo de operação da rodovia e à atuação do tráfego, com o intuito de avaliar a evolução do trincamento. Os resultados são referentes aos levantamentos de 0, 29, 48 e 60 meses após a abertura da rodovia ao tráfego.

Nos defeitos identificados na norma DNIT-TER 005/2003, somente foi verificada a ocorrência de trincas do tipo FC-1 (trincas com abertura inferior a 1,0 mm), ou seja, ainda não houve a ocorrência de trincas de classes 2 e 3 (FC-2 e FC-3). Dentre as trincas cadastradas, a maioria são do tipo transversal, localizadas sobretudo no acostamento, sem um padrão definido de espaçamento entre elas, sendo que, destas apenas 5,5% são concordantes com as juntas decorrentes das jornadas de trabalho registradas. As evidências indicam que esse perfil de trincamento transversal é típico do efeito de retração da camada cimentada (Lewis *et al.*, 2006), e pode indicar um teor de cimento ligeiramente excessivo, o que torna a camada reciclada mais rígida. Há tendência de que estas trincas presentes no acostamento se propaguem para a pista de rolamento ao longo da vida de serviço. A área trincada foi calculada baseada nas trincas medidas apenas na pista de rolamento. Para efeitos de cálculo da área trincada referente às trincas isoladas, foi considerada uma extensão de abrangência de 0,2 metros de largura,

conforme recomendado pela Rede Temática de Tecnologia do Asfalto.

A Tabela 5 apresenta os resultados para área trincada em metros quadrados, por segmento e lado (sentido do tráfego), sendo que o lado direito (LD) representa o sentido BR-153 à BR-282 e o lado esquerdo (LE) corresponde o sentido BR-282 à BR-153.

Tabela 5: Evolução da área trincada (em m²)

Segmento	Ano de abertura		29 meses		48 meses		60 meses	
	LD	LE	LD	LE	LD	LE	LD	LE
1	0,00	0,00	0,60	0,00	0,60	0,00	1,90	0,30
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,06	0,00	0,06	0,00	1,84	0,00

A Figura 3 mostra um exemplo de trinca no acostamento que se propagou para a pista de rolamento verificado nos segmentos monitorados.



Figura 3: Exemplo de trinca transversal longa, localizada na estaca 2+591 m, sentido BR-153 – BR-282

De forma geral, do ano de 2016 (29 meses) para o ano de 2018 (60 meses) houve um crescimento da área trincada. O maior aumento foi observado no lado direito do segmento 3, que cresceu de 0,06 m² para 1,84 m². O maior valor de área trincada, entre os segmentos, foi registrado no lado direito do segmento 1 (1,90 m²). O segmento 2, encontrava-se íntegro, não apresentando área trincada. Apesar do leve aumento da área trincada no trecho, esta se mostra ainda com uma representatividade muito baixa, visto que no último levantamento realizado (60 meses) a rodovia já se encontrava no seu quinto ano de operação após a reciclagem.

A Figura 4 apresenta o percentual de área trincada, ao longo do tempo (meses) de operação dos segmentos e considerando o tráfego atuante ($N_{8,2tf}$) pelo método USACE sobre o tráfego estimado para o período de projeto (N_f), isto é, N/N_f .

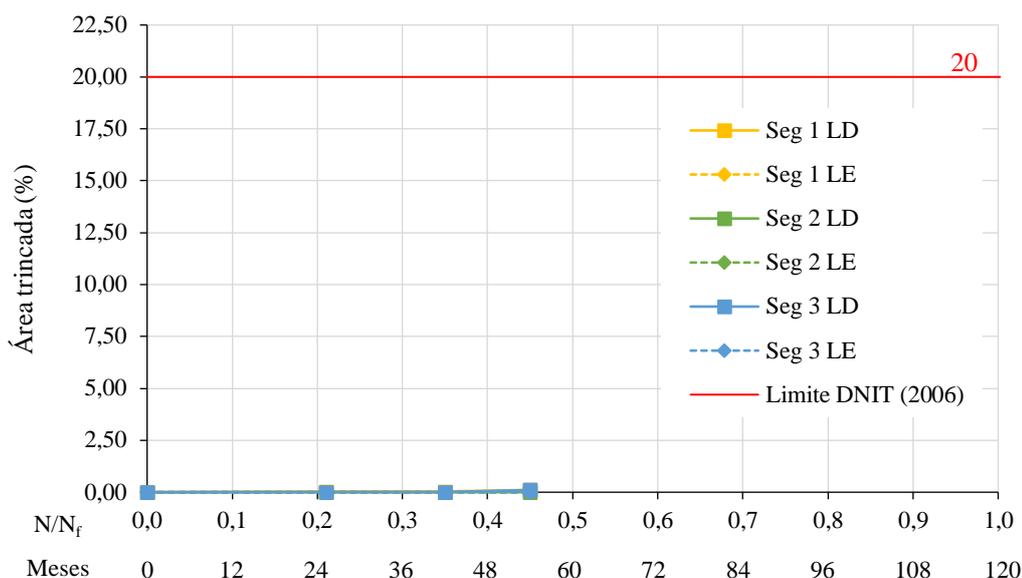


Figura 4: Evolução da área trincada (%) em função do número N (N/N_f) e do tempo (meses)

Os resultados obtidos até o momento mostram que houve uma evolução muito insignificante na porcentagem de área trincada, com valores inferiores a 0,2% em relação a área correspondente a trilha de rodagem (2 x 1,2 m x 500 m), evidenciando que, neste caso, a capacidade estrutural tem sido capaz de inibir o surgimento de trincas. A aplicação do tratamento superficial, embora seja difícil mensurar, pode ter ligeiramente contribuído nesse aspecto, dificultando a propagação das trincas da camada reciclada para o revestimento. No entanto, sua finalidade está associada ao fato de que a camada reciclada não suportaria a ação abrasiva dos pneus dos caminhões durante os 30 dias em que ficaria aberta ao tráfego, havendo a desagregação da mistura. Andrade (2017) aponta a execução de tratamento superficial como medida para evitar o desgaste da superfície, pois não é recomendada a atuação do tráfego sob a superfície acabada. Além disso, segundo Bernucci *et al.* (2006), o tratamento superficial, devido à sua pequena espessura, não aumenta substancialmente a resistência estrutural do pavimento.

De acordo com o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (Brasil, 2006), seriam indicativos de comprometimento estrutural do pavimento flexível valores de trincamento por fadiga maior que 20% na área de trilha de roda. O mesmo manual admite como faixas de aceitação de área trincada valores de 15 a 40% também para pavimentos flexíveis. No entanto, possivelmente estes limites de área trincada seriam menores para um pavimento semirrígido e, até o momento não é de conhecimento dos autores a existência de uma normativa que recomende valores aceitáveis de área trincada para este tipo de pavimento.

De maneira geral, o pavimento dos segmentos monitorados se mostrou adequado em termos de trincamento. Esses resultados são coerentes com o modelo de fadiga para a mistura reciclada com a adição de cimento aplicada na restauração desta rodovia desenvolvido por Luvizão (2014). O modelo de fadiga corrobora com a avaliação dos segmentos quanto ao desempenho à fadiga.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho abrange o monitoramento da área trincada de três segmentos da rodovia SC-355 restaurada com reciclagem profunda da base e execução de uma nova camada de concreto

asfáltico como revestimento.

O trincamento no trecho tem sido monitorado ao longo de 60 meses após a abertura ao tráfego, a porcentagem de área trincada, inferior a 0,2%, mostra que a rodovia se apresenta numa condição muito boa e encontra-se abaixo dos limites aceitáveis para pavimentos asfálticos flexíveis. No entanto, possivelmente estes valores não se aplicam para pavimentos semirrígidos, devendo ser objeto de pesquisa para rodovias brasileiras com este tipo de estrutura.

Os resultados parciais indicam que, até o momento, a estrutura do pavimento mostra-se apropriada para as condições de tráfego, uma vez que a rigidez da camada cimentada limita as deflexões e, conseqüentemente, as tensões na camada de revestimento, inibindo o surgimento de trincas.

É importante mencionar que no último levantamento realizado o pavimento estava finalizando o quinto ano de operação, ou seja, estava na metade da sua vida útil de projeto (10 anos). E se faz necessário o monitoramento periódico dos segmentos a fim de se avaliar o contínuo desempenho da camada de base reciclada com cimento.

Este trabalho faz parte de um projeto de maior abrangência que, além do levantamento da porcentagem de trincamento na superfície, inclui também, avaliações frequentes do índice de gravidade global (IGG), macrotextura e microtextura, irregularidade longitudinal (IRI), bacias deflectométricas e obtenção dos módulos por retroanálise. No entanto, como o estudo está em andamento, o foco deste trabalho foi apenas a avaliação da área trincada. Para avaliações futuras, sugere-se ainda, efetuar a extração de corpos de prova em campo, de forma a examinar o real comportamento do material reciclado com cimento por meio da realização de ensaios laboratoriais de resistência à tração por compressão diametral e módulo de resiliência, relacionando-os com a avaliação das trincas superficiais.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Rede Temática de Tecnologia do Asfalto pelo financiamento da infraestrutura do Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal de Santa Catarina. O primeiro autor agradece ao CNPq pela bolsa de pesquisa DS e o segundo autor, pela bolsa de pesquisa PQ1D.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (2004) *Guide for Mechanistic-empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP 1-3A*. Washington, DC: Transportation Research Board.
- Andrade, L. R. (2017) *Comparação do comportamento de pavimentos asfálticos com camadas de base granular, tratada com cimento e com estabilizantes asfálticos para tráfego muito pesado*. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo.
- Beer, M.; J. W. Maina e F. Netterberg (2012) Mechanistic modelling of weak inlayers in flexible and semi-flexible road pavements: Part 2. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, v. 54, n. 1, p. 43-54.
- Behak, L. (2013) *Análise estrutural de pavimentos de baixo volume de tráfego revestidos com solo modificado com cal considerando ensaios laboratoriais e monitoramento de trechos experimentais*. Tese de doutorado. Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS.
- Bernucci, L. B.; Motta, L. M. G.; Ceratti, J. A. P.; Soares, J. B. (2006) *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*. 3 ed. Rio de Janeiro: Petrobrás, ADEBA.
- Brasil (2003a) *DNIT-PRO 006/2003: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos - procedimento*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, Brasil.
- Brasil (2003b) *DNIT-TER 005/2003: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos – terminologia*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, Brasil.

- Brasil (2006) *DNIT IPR-720: Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos*. Rio de Janeiro, Brasil.
- Cruz, J. G. F. (2016) *Avaliação do desempenho a longo prazo da reciclagem com adição de cimento da rodovia SC-355*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis, SC.
- Foley, G. (2001) *Mechanistic Design Issues for Stabilised Pavement Materials*. Austroads. APRG 02/02 (CM).
- Gao, L.; F. Ni; S. Charnot e H. Luo (2014) Influence on compaction of Cold Recycled Mixes with Emulsions Using the Superpave Gyrotory Compaction. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 26, n. 11, p. 1-8.
- George, K. P. (2001) *Soil stabilization field trial*. Interim Report. Departamento f Civil Engineering. The University of Mississippi, University.
- Lewis, D. E.; D. M. Jared; H. Torres e M. Mathews (2006) Georgia's Use of Cement-Stabilized Reclaimed Base in Full-Depth Reclamation. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board*, n. 1952, pp. 125-133.
- Luvizão, G. (2014) *Avaliação do desempenho da reciclagem na Rodovia SC-355: Caracterização da mistura reciclada e avaliação estrutural de segmentos monitorados executados*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, SC.
- Modarres, A.; M. Rahimzadeh e M. Zarrabi (2014) Field investigation of pavement rehabilitation utilizing cold in-place recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 83, p. 112-120.
- Pinto, S. e E. Preussler (2002). *Pavimentação Rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis*. Editora Copiarte, Rio de Janeiro, Brasil.
- SAPEM (2013) *South African Pavement Engineering Manual*. South African National Roads Agency Ltd.
- Thenoux, G.; A. González e R. Dowling (2007) Energy consumption comparison for diferente asphalt pavements rehabilitation techniques used in Chile. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 49, p. 325-339.
- Theyse, H.; M. Beer e F. Rust (1996) Overview of South African mechanistic pavement design method. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board*, n. 1539, p. 6-17.
- Wang, J.; J. Yuan; F. Xiao; Z. Li; J. Wang e Z. Xu (2018) Performance investigation and sustainability evaluation of multiple-polymer asphalt mixtures in airfield pavement. *Journal of Cleaner Production*, v. 189, p. 67-77.
- Yeo, Y. S. (2011) *Characterization of cement-treated crushed rock base course for Western Australian roads*. Tese de Doutorado. Curtin University, School of Civil and Mechanical Engineering.

Cheila Sirlene Beutler (cheila.beutler@posgrad.ufsc.br)

Glicério Trichês (glicerio.triches@ufsc.br)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina
Rua João Pio Duarte Silva, s/n - Córrego Grande – Florianópolis, SC, Brasil

Gislaine Luvizão (gislaine.luvizao@unoesc.edu.br)

Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Oeste de Santa Catarina

Rua Getúlio Vargas, 2115, Flor da Serra – Joaçaba, SC, Brasil

Juliana Ginklings Froés da Cruz (juginklings@gmail.com)

Rua Laurindo Elias de Oliveira, 417, Ingleses do Rio Vermelho – Florianópolis, SC, Brasil