

# Avaliação de viabilidade e implantação de geogrelhas poliméricas no combate ao trincamento por fadiga

*APRESENTA-SE A REALIZAÇÃO DE UM TRECHO EXPERIMENTAL QUE CONTEMPLA A RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS COM GEOGRELHAS POLIMÉRICAS. ESTE TRABALHO MOSTRA O PLANEJAMENTO DO TRECHO REFORÇADO COM AS GEOGRELHAS, ATRAVÉS DA PREVISÃO DE DESEMPENHO E DA ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO, A CONSTRUÇÃO DO TRECHO REFORÇADO E A SEÇÃO DE REFERÊNCIA E MONITORAMENTO DO TRECHO EXPERIMENTAL, CONTEMPLANDO CONDIÇÃO ATUAL DO ESTADO DE SUPERFÍCIE, IRREGULARIDADE LONGITUDINAL, AFUNDAMENTOS NAS TRILHAS DE RODA E AVALIAÇÕES DEFLECTOMÉTRICAS ANTES E APÓS A RESTAURAÇÃO.*

**Luís Eduardo P. Severo**  
Engenheiro Civil - Consórcio Univas

**Aislan Bühler**  
Engenheiro Civil - Consórcio Univas

**Luís Fernando Vanacor**  
Engenheiro Civil - Consórcio Univas

**Paulo Ruwer**  
Engenheiro Civil - Consórcio Univas

**Flávio Montez**  
Huesker Ltda.

**Guillermo Montestruque Vilchez**  
Engenheiro Civil - Huesker Ltda.

Historicamente, a engenharia rodoviária vem buscando solucionar, de maneiras distintas, o problema do trincamento por fadiga de camadas asfálticas, principalmente a reflexão de trincas. Nos casos mais simples, em que os defeitos no pavimento existente se apresentavam de uma forma branda, a solução comumente usada era a execução de espessas camadas asfálticas, buscando reduzir a velocidade de propagação das trincas e também as tensões térmicas e de tráfego geradas no pavimento. Nas situações mais críticas, a solução convergia para a reconstrução, removendo-se as camadas afetadas pelo trincamento. Nos dias de hoje, vêm sendo utilizadas modernas técnicas de pavimentação no combate à reflexão de trincas, por exemplo, a adição de polímeros à mistura asfáltica, a reciclagem e a inserção de camadas intermediárias de reforço (geogrelhas) e de alívio de tensões (geotêxteis).

Atualmente, diversas alternativas estão sendo testadas e especificadas no combate ao trincamento por fadiga, portanto deve-se avaliar os seus aspectos técnicos e econômicos. Dessa forma, sendo notória a escassez de recursos financeiros no setor rodoviário brasileiro, torna-se essencial o aperfeiçoamento do retorno dos investimentos nessa área através de análises econômicas confiáveis.

Assim, este trabalho mostra o planejamento de um trecho reforçado com geogrelha polimérica através da previsão de desempenho e da análise técnico-econômica de viabilidade de implantação, construção e monitoramento desse trecho experimental.

## PROJETO DO EXPERIMENTO

O trecho experimental referido neste trabalho situa-se na BR-386, no RS, num local onde a capacidade de tráfego foi ampliada através

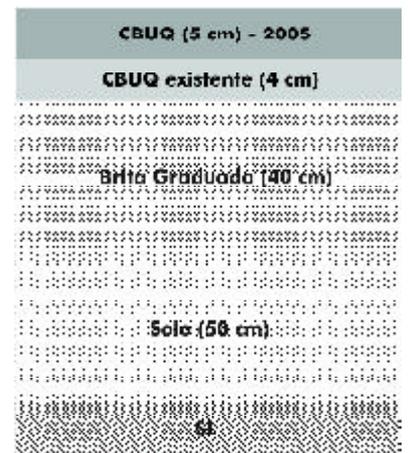


Figura 1 Estrutura do pavimento existente

da implantação de mais uma pista, sendo que o acostamento existente foi, em parte, transformado em terceira faixa, no ano de 2005. Devido ao grande volume de tráfego da rodovia, associado à baixa capacidade de suporte do acostamento, o trecho apresentou, ao final do ano de 2005, um elevado grau de trincamento tipo FC-23 e remendos, bem como elevadas deflexões e raios de curvatura baixos, valores próximos a 100mm, denotando a necessidade de restauração já no início de 2006. A Figura 1 apresen-



Figura 2 Padrão de trincamento no trecho antes da restauração



Figura 3 Reparos localizados no trecho

ta a estrutura de pavimento existente na terceira faixa implantada.

A condição do pavimento nesta faixa caracterizava-se pela alta incidência de trincas, padrão FC-23, conforme preconiza a norma DNER-PRO 08/94. Alguns segmentos ao longo do trecho apresentavam áreas com reparos, já que existiam muitas trincas interligadas, que permitiam a infiltração de água na estrutura do pavimento. As Figuras 2 e 3 apresentam o estado de superfície do trecho antes da restauração.

Devido à grande quantidade de remendos executados e aos demais defeitos observados na pista, tem-se, na terceira faixa, um quociente de irregularidade elevado, se comparado com o das demais faixas de tráfego (Figura 4). Os procedimentos adotados para avaliação da irregularidade longitudinal estão descritos em Severo *et al.* (2004).

A avaliação da condição estrutural do pavimento foi realizada com base no levantamento defletoométrico detalhado através de ensaios com o Falling Weight Deflectometer (FWD-KUAB), sendo medidas bacias de deformação a cada 40 metros. A magnitude das deflexões máximas obtidas está apresentada na Figura 5.

A Figura 6 apresenta os raios de curvatura (caracterizam-se por indicar o arqueamento da deforma-

ção na sua porção mais crítica), conforme a norma DNER-PRO 11/94. Quando os valores são inferiores a 100mm, a estrutura apresenta má qualidade estrutural.

Dessa análise, percebe-se que

os raios de curvatura estão próximos do limite inferior, o que mostra que, realmente, essa terceira faixa implantada sobre o acostamento necessita de um reforço estrutural.

O tráfego atuante na rodovia

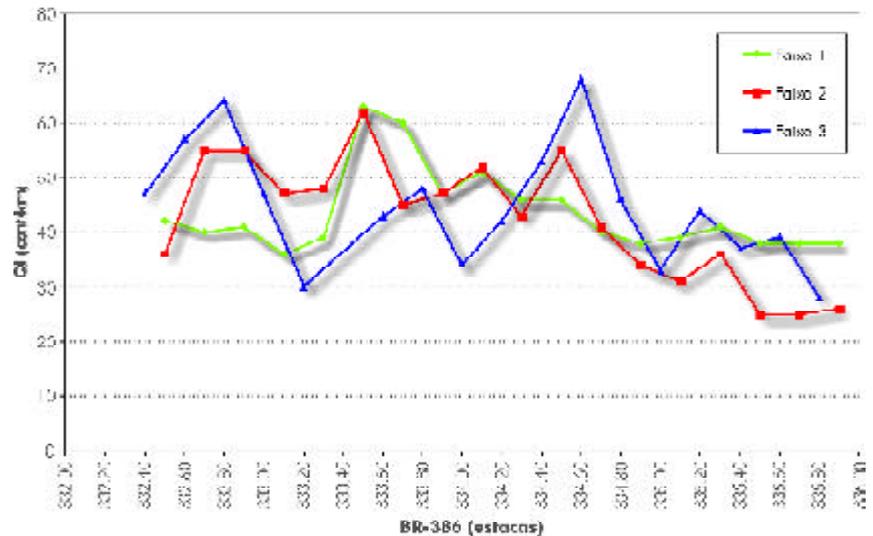


Figura 4 Quociente de irregularidade

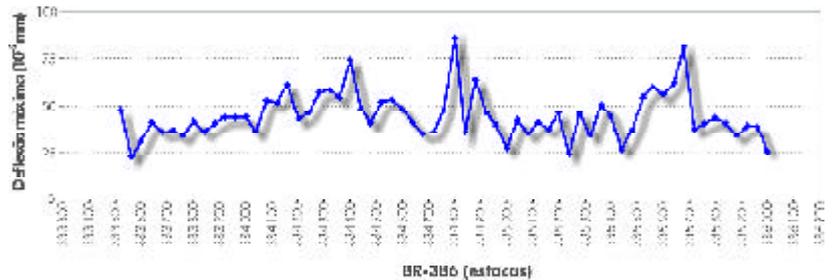


Figura 5 Deflexão no ponto de aplicação da carga ( $D_0$ )

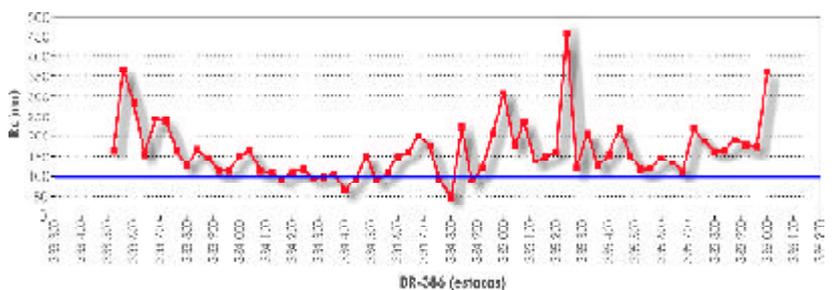


Figura 6 Raios de curvatura do trecho antes da restauração

caracteriza-se por uma concentração de aproximadamente 50% do volume diário médio (VDM) de veículos comerciais (caminhões e ônibus) e pode ser classificado como pesado ( $N_{\text{ano AASHTO}} > 10^6$ ). O número equivalente de repetições do eixo padrão rodoviário (N) para os fatores de carga estabelecidos pela AASHTO, bem como o VDM, é:

$$\lll N_{\text{ano AASHTO}} = 1,8 \times 10^6;$$

$$\lll \text{VDM}_{\text{comercial}} = 1.200 \text{ (caminhões e ônibus);}$$

$$\lll \text{VDM}_{\text{total}} = 2.400.$$

De forma a restabelecer condições estruturais ao pavimento, conforto ao rolamento e segurança aos usuários da rodovia, foi projetada a restauração desse pavimento. Assim, surgiu o questionamento sobre a técnica de pavimentação a ser usada, para garantir-lhe uma vida de serviço adequada. Decidiu-se avaliar a utilização de asfalto convencional (CAP 50/70), asfalto com polímero e a inserção de uma geogrelha de reforço. Para a previsão da vida de serviço dessas alternativas, optou-se pelos modelos de previsão de desempenho mecanístico-empíricos.

## PROCEDIMENTO DE CLASSIFICAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DAS MISTURAS

Avaliou-se o comportamento de diferentes ligantes asfálticos, CAP 50/70 e um asfalto modificado por polímeros, através do desempenho quanto à fadiga (surgimento e propagação de trincas produzidas pela ação repetida das cargas do tráfego). Os parâmetros fundamentais que constituem uma mistura asfáltica, a lei de fadiga e o módulo dinâ-

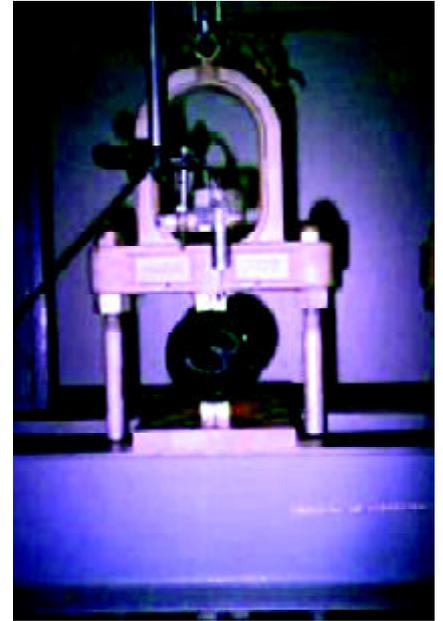
mico foram determinados através de ensaios de *creep* em compressão diametral (Figura 7), realizados no laboratório do Consórcio Univias.

Com os parâmetros estabelecidos nesses ensaios de laboratório, obteve-se a lei de fadiga desses diferentes materiais, os quais foram inseridos no modelo de dimensionamento mecanístico-empírico Pavsys (Rodrigues, 2001), proporcionando a previsão de desempenho do pavimento a ser restaurado. Nesse estudo de caso, foi dimensionada uma reperfilagem com 1,5cm de espessura, seguida da execução de uma nova camada asfáltica com espessura de 5cm.

Entretanto a Concessionária adotou um procedimento técnico e econômico para selecionar a alternativa de pavimentação com maior relação custo/benefício, através da parametrização do custo ao longo do ciclo de vida de cada alternativa, descontando-se a vida restante ao final do período de projeto estipulado para a alternativa menos durável. O objetivo dessa análise é garantir que a escolha da técnica de pavimentação seja condicionada pelo seu desempenho, descartando, assim, uma análise simplista que contemple apenas a utilização da técnica de menor custo de implantação.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para esse caso específico através dessa análise para os ligantes asfálticos CAP 50/70 e asfalto modificado por polímeros (AMP), com e sem a inserção da geogrelha polimérica (GG). Cabe lembrar que os valores se encontram em uma unidade monetária fictícia (UM).

Utilizando os resultados obtidos



**Figura 7** Ensaio de *creep* em compressão diametral - Fonte: Pavsys Engenharia

na análise técnico-econômica, optou-se pela inserção de uma geogrelha polimérica no interior da nova camada asfáltica, isto é, inicialmente foi executada uma camada asfáltica delgada (com espessura de 1,5cm) com asfalto polímero, seguida da inserção da geogrelha recoberta por uma nova camada com asfalto polímero (com espessura de 5cm), num determinado trecho. No restante da extensão da terceira faixa, foi adotada a mesma solução, porém sem a inserção da geogrelha. Portanto o trecho que contempla a inserção de uma geogrelha foi denominado de trecho experimental.

A construção e o monitoramento do trecho experimental tem como objetivo principal permitir uma comparação direta entre duas diferentes soluções a serem utilizadas como retardadoras do aparecimento de trincas por reflexão na nova camada asfáltica. As principais características da construção do trecho são apresentadas ao longo deste tra-

**Tabela 1** Classificação técnico econômica dos ligantes asfálticos

RESTAURAÇÃO TRECHO EXPERIMENTAL DA RODOVIA BR-386 -CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA ECONÔMICA DAS MISTURAS ASFÁLTICAS										
LIGANTE	DENSIDADE DA MISTURA	TEOR DE LIGANTE	CUSTO UNITÁRIO IMPLANTADO (UM/T)	CUSTO TOTAL DE IMPLANTAÇÃO (UM/KM)	VIDA SERVIÇO (ANOS)	VALOR RESIDUAL, VR -(UM/KM)			CCV12	CCV15
						T=1,9; i=9%A.A.	T=0; K=12%A.A.	T=0; K=15%A.A.		
AMP 1 + GG	2.456	6,3	1179,77	65.955,78	6,1	53.491,24	43.128,90	41.016,32	22.826,88	24.939,45
AMP 1	2.456	6,3	1179,77	58.840,94	2,8	22.109,34	17.826,31	16.953,13	41.014,63	41.887,81
CONVENCIONAL +GG	2.480	5,6	1132,37	64.228,60	3,3	32.096,15	25.878,47	<b>24.610,87</b>	38.350,13	39.617,73
CONVENCIONAL	2.480	5,6	1132,37	57.113,76	1,9	-	-	-	57.113,76	57.113,76

LARGURA DA PISTA (m)	3,6	$VR = \frac{V_s - V_{s(t)}}{V_s \times CI \times i^{V_{s(t)}}}$
INFLAÇÃO (% a.a.)	1,09	
TAXA DE DESCONTO (% a.a.)	1,12	
	1,15	
SOLUÇÃO DE PROJETO	REPERFILAGEM (1,5cm) + CBUQ (5cm) + GEOGRELHA	
CCV	CUSTO NO CICLO DE VIDA	
CCV12	CUSTO NO CICLO DE VIDA COM TAXA DE DESCONTO DE 12% a.a.	
CCV15	CUSTO NO CICLO DE VIDA COM TAXA DE DESCONTO DE 15% a.a.	

ONDE: VR - VIDA RESIDUAL DO PAVIMENTO;  
 VS (t) - VIDA DE SERVIÇO DO PAVIMENTO NO PERÍODO (t);  
 CI - CUSTO TOTAL DE IMPLANTAÇÃO DA TÉCNICA;  
 I - INFLAÇÃO;  
 K - TAXA DE ATRATIVIDADE DO INVESTIMENTO.

balho. Resumidamente, pode-se informar que foram executadas duas seções reforçadas com a geogrelha, com extensão de 564 e 179 metros, além de 1.700 metros sem reforço, contemplando apenas o asfalto modificado por polímero.

## CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA RESTAURAÇÃO

### GEOGRELHA

Foi utilizada no experimento uma geogrelha denominada comer-



**Figura 8** Detalhe da geogrelha de poliéster já instalada no campo

cialmente de Hatelit® C 40/17, a qual é fabricada com filamentos de poliéster de alta tenacidade e um geotêxtil não tecido ultraleve, ambos com recobrimento betuminoso, formando malhas de 40x40 milímetros (Figura 8).

## MISTURAS ASFÁLTICAS

Inicialmente, foi executada uma camada de reperfilagem com espessura de 1,5cm de camada asfáltica (asfalto polímero) no intuito de uniformizar a superfície e permitir a instalação adequada das geogre-

**Tabela 2** Características da mistura de textura fina utilizada na reperfilagem

CARACTERÍSTICAS DA MISTURA		CARACTERÍSTICAS DA MISTURA - MARSHALL			
LIGANTE ASFÁLTICO	AMP	TEOR ÓTIMO	%	6,4	
TIPO DE MATERIAL	CBUQ	DENSIDADE APARENTE	T/M3	2.476	
FAIXA	A	VOLUME DE VAZIOS	%	4	
COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA		RBV	%	79,6	
		ESTABILIDADE	KFG	1218	
BRITA 3/4"	0%	FLUENCIA	(x 0,01*)	11,5	
BRITA 3/8"	38%				
PÓ DE PEDRA	62%				
CURVA GRANULOMÉTRICA DA MISTURA					
PENEIRA	PROJETO	FAIXA DE TRABALHO		FAIXA DAER - B	
#	%PASS	%PASS		%PASS	
3/4"	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1/2"	94,7	100,0	100,0	100,0	100,0
3/8"	86,8	92,9	100,0	80,0	100,0
Nº4	63,8	58,2	70,2	55,0	75,0
Nº8	41,9	37,2	45,2	35,0	50,0
Nº30	20,7	18,1	26,1	18,0	29,0
Nº50	15,2	13,2	21,2	13,0	23,0
Nº100	10,6	10,6	16,6	8,0	16,0
Nº200	7,5	4,5	10,0	4,0	10,0



**Figura 9** Camada de reperfilagem executada sobre o pavimento antigo (acima) e execução da pintura de ligação (abaixo)



**Figura 10** Instalação da geogrelha



**Figura 11** Espalhamento da camada de concreto betuminoso usinado a quente

Ihas. Após, foi executada uma camada asfáltica de concreto asfáltico polimerizado com espessura de 5cm, sendo que a usinagem, o espalhamento e a compactação

foram realizados com procedimentos e equipamentos tradicionalmente usados na pavimentação. As tabelas 2 e 3 apresentam as características das misturas asfálticas.

**Tabela 3** Características da mistura asfáltica da camada de recapeamento

CARACTERÍSTICAS DA MISTURA		CARACTERÍSTICAS DA MISTURA - MARSHALL			
LIGANTE ASFÁLTICO	AMP	TEOR ÓTIMO	%	6,3	
TIPO DE MATERIAL	CBUQ	DENSIDADE APARENTE	T/M3	2.456	
FAIXA	DAER A	VOLUME DE VAZIOS	%	4	
COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA		RBV	%	79,6	
		ESTABILIDADE	KFG	1840	
BRITA 3/4"	18%	FLUENCIA	(x 0,01")	13,4	
BRITA 3/8"	20%	RT	KGF/CM2	12,6	
PÓ DE PEDRA	62%				
CURVA GRANULOMÉTRICA DA MISTURA					
PENEIRA	PROJETO	FAIXA DE TRABALHO		FAIXA DAER - B	
#	%PASS	%PASS		%PASS	
3/4"	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1/2"	94,7	88,7	100,0	80,0	100,0
3/8"	86,8	81,0	90,0	70,0	90,0
Nº4	63,8	58,0	70,0	50,0	70,0
Nº8	41,9	38,0	46,0	35,0	50,0
Nº30	20,7	18,0	25,0	18,0	29,0
Nº50	15,2	13,0	19,0	13,0	23,0
Nº100	10,6	8,0	14,0	8,0	16,0
Nº200	7,5	5,0	9,0	4,0	10,0

## CONSTRUÇÃO DO TRECHO EXPERIMENTAL

O trecho experimental foi executado no dia 25 de janeiro de 2006 e está localizado entre os quilômetros 333 + 500 e 336 + 000, lado direito (faixa 3) da rodovia BR-386 no RS. Foram construídas duas seções com a geogrelha polimérica, totalizando 743 metros, e o restante sem a inclusão do reforço.

A construção do trecho foi realizada no sentido crescente ao estaqueamento da rodovia e contemplou as seguintes e principais atividades (Figuras 9 a 11):

- execução de reperfilagem com concreto asfáltico a quente de textura fina (faixa A – DAER-RS);
- pintura de ligação nas taxas recomendadas pelos fabricantes das geogrelhas (0,5l/m<sup>2</sup>) e nos segmentos sem a presença de reforço, taxas convencionais para a execução de recapeamento simples em concreto asfáltico. A pintura de li-

gação foi executada com emulsão asfáltica RR-2C;

☞ nas seções contempladas com sistema anti-reflexão de trincas, a instalação da geogrelha foi realizada conforme recomendação do fabricante. A geogrelha não necessitou de maiores cuidados para a instalação, bastando desenrolá-la sobre a superfície (com auxílio mecânico), entretanto foi realizado o espalhamento de granilha na superfície, para evitar a sua movimentação. Devido ao trecho ser sinuoso, a instalação foi realizada em etapas, cortando o reforço nos locais curvos, formando uma nova emenda e ancorando a geogrelha no rolo anterior (Figura 9);

☞ espalhamento da camada de concreto asfáltico com espessura média de 5cm;

☞ compactação da camada de concreto asfáltico de forma convencional, utilizando rolos compactadores de pneus e um rolo compactador do tipo tandem para acabamento.

## MONITORAMENTO DO DESEMPENHO

O monitoramento desse trecho está sendo realizado constantemente, através do levantamento de defeitos e afundamentos e da avaliação estrutural, contudo até o quarto

mês de vida de serviço, ele se apresenta isento de defeitos (Figura 12).

Como era esperado, a inserção do reforço na terceira faixa gerou uma melhoria da capacidade estrutural do trecho, o que pode ser visualizado pelo aumento dos raios de curvatura do pavimento, sendo que uma análise mais aprofundada da existência de efeito benéfico da inserção da geogrelha na capacidade estrutural do pavimento ainda será realizada (Figura 13).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo, foram apresentados o planejamento do experimento, a implantação e o monitoramento de um trecho experimental de pavimento flexível restaurado, com o propósito de se investigar o comportamento da geogrelha polimé-



Figura 12 Condição atual do pavimento

rica como camada intermediária anti-reflexão de trincas. Também se viabilizou o estudo técnico e econômico das alternativas de pavimentação, mostrando a importância de se estudar o desempenho dessas alternativas ao longo do seu ciclo de vida.

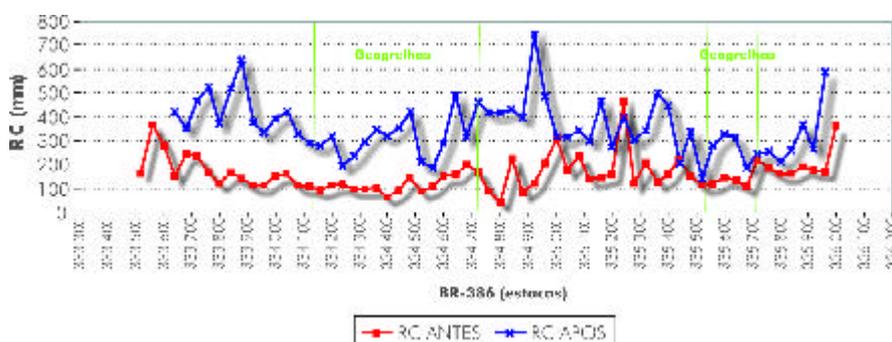


Figura 13 Avaliação do raio de curvatura após a execução da obra

## REFERÊNCIAS

- RODRIGUES, R. M. (2001) Projeto de Pavimentos. Apostila do curso de pós-graduação. Divisão de Infra-Estrutura Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, SP.
- SEVERO, L.; RUWER, P.; KLEIN, R.; e GONÇALVES, F.P. Projeto e construção de um trecho experimental com sistema anti-reflexão de trincas - 9º ENACOR – Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, Natal, RN, 2004.