

RECICLAGEM DE CAMADA BETUMINOSA COMO SUB-BASE ESTABILIZADA COM CIMENTO NA BR 381: UMA EXPERIENCIA

César Augusto Rodrigues da Silva
Juarez Miranda Jr.

I. APRESENTAÇÃO

Este trabalho apresenta a experiência da reciclagem da camada betuminosa da pista existente do Lote 8 nas obras de duplicação da Rodovia Fernão Dias - BR 381, executados pela Tercam Engenharia e Empreendimentos Ltda., com supervisão do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais – DER/MG.

A proposta de reciclagem foi uma alternativa apresentada para atender técnica e economicamente ao programa de reabilitação da camada betuminosa existente em razão da incompatibilidade entre o projeto original (1993) e o estado de degradação do pavimento na época da duplicação (1998).

São apresentadas as características dos materiais após a reciclagem, a dosagem e os resultados do controle tecnológico.

Enfocam-se também os aspectos executivos, equipamentos utilizados, produção, bem como os custos.

Ao final, comentam-se algumas vantagens na utilização desta técnica.

II. INTRODUÇÃO

Durante os últimos 50 anos, o Brasil experimentou um grande desenvolvimento em infra-estruturas de transporte, particularmente a rodoviária.

Milhares de quilômetros de estradas foram construídos para atender às crescentes demandas com transporte. Muitas destas vias já atingiram o fim de sua vida útil, necessitando de incremento estrutural para obter níveis aceitáveis de serviço. Além disso, com o desenvolvimento da indústria automobilística, as capacidades de carga dos veículos foram francamente majoradas. O aumento do tráfego e a redução dos investimentos em manutenção contribuíram fundamentalmente para a sua deterioração.

Diante de um quadro de debilidade dos pavimentos, principalmente os segmentos que são gerenciados pelos DERs, uma grande soma de recursos se faz necessária às reabilitações, cuja insuficiência agrava ainda mais a situação, uma vez que, com o passar do tempo, as intervenções tornam-se cada vez mais onerosas.

Este cenário sombrio tem se constituído em um desafio à comunidade rodoviária. Novas técnicas são exigidas, de forma que os recursos disponibilizados redundem em maiores áreas restauradas, com maior desempenho das estruturas projetadas.

A reciclagem de pavimentos tem se mostrado um bom caminho não apenas pela rapidez executiva, mas também pelo aspecto da preservação ambiental.

III. OBJETIVO

Este trabalho objetiva apresentar a experiência da técnica de reciclagem de camada betuminosa existente em sub-base, com incorporação de cimento Portland.

IV. PROJETO

No projeto de duplicação da BR 381 (1993), a pista existente sofreu correções geométricas, tanto altimétricas quanto planimétricas, de maneira a adequá-la aos novos padrões de velocidade e segurança. Isto redundou, em alguns locais, na remoção da estrutura do pavimento existente e na construção de uma nova.

Para os trechos com correção do greide, a nova estrutura seria composta de sub-base em brita graduada tratada com cimento com espessura de 15 cm, base de brita graduada com 15 cm e duas camadas de CBUQ de 07 e 06 cm respectivamente, configurando assim uma estrutura de pavimento semi-rígido invertido.

A restauração do pavimento nos trechos onde não houvesse mudanças de greide compunha-se de uma camada de selagem betuminosa (Faixa "D" ES - 313 DNER) sobre a superfície de rolamento, com posterior execução de brita graduada com 15 cm e duas camadas de CBUQ de 07 e 06 cm respectivamente.

Tendo transcorrido alguns anos entre esse projeto (1993) e sua efetiva execução (1998), o péssimo estado da superfície e as deficiências estruturais do pavimento inviabilizaram essa alternativa, por exigir o aumento nas espessuras das camadas projetadas com conseqüente elevação dos custos financeiros. Outro fato importante é que haveria em um mesmo segmento estruturas de comportamento diferenciado devido às transposições.

Desta forma, foi apresentada a alternativa de reciclagem da camada betuminosa existente com incorporação de cimento, configurando-se em uma sub-base semi-rígida análoga à brita graduada tratada com cimento (BGTC) utilizada no pavimento da pista nova.

1. PROJETO DE RECICLAGEM

A proposta de reciclagem manteve a mesma concepção da BGTC em termos de resistência à compressão simples, uma vez que sobre elas seriam adicionadas camadas de brita graduada e CBUQ com características e espessuras idênticas. Optou-se também pela reciclagem in-situ, evitando-se o transporte dos materiais até a usina e o retorno à pista.

1.1 Coleta de amostras

Preliminarmente à dosagem, coletou-se amostras da camada betuminosa fresada a cada 500 metros de pista, para avaliar a sua composição granulométrica. Utilizou-se para este serviço o mesmo equipamento de fresagem empregado nos trabalhos de reciclagem.

É importante salientar que a velocidade de deslocamento da recicladora e a conseqüente rotação do tambor fresador, são fatores fundamentais na granulometria do material fresado. Foram necessários testes de campo para determinar estas velocidades, de forma a obter-se um material mais pulverizado, sem grumos ou placas de concreto asfáltico. Para o caso em questão, fixou-se a velocidade do equipamento em 7 metros/minuto.

Devido às inúmeras camadas de recapeamento que o pavimento da BR 381 recebeu ao longo dos anos, a espessura reciclada não atingia a camada de base, não se conseguindo desta forma os finos para formar a argamassa

necessária à consolidação da camada. Foi necessário uma correção granulométrica através da adição de 5% de pó-de-pedra.

Os materiais apresentaram, em média, após a correção granulométrica, os seguintes valores:

Tabela 1

PENEIRAS	% QUE PASSA
1"	100
3/4"	93,3
3/8"	78,2
N.º 4	57,0
N.º 10	38,3
N.º 40	12,7
N.º 200	4,7

1.2 Dosagem

Na proposta de dosagem, preconizou-se que o material reciclado e estabilizado com cimento deveria atender à resistência mínima a compressão simples aos 07 dias de 45kg/cm².

Deveria ser reciclado e compactado na umidade ótima com energia do proctor modificado. A incorporação do cimento seria concomitante à passagem do equipamento de reciclagem.

Dessa forma, o processo de dosagem consistiu em uma série de tentativas para determinação de um teor cimento tal que possibilitasse à mistura atender à resistência pré-estabelecida. Isto foi obtido através de um programa de moldagens com os seguintes passos:

Ensaio de compactação ME 048 – DNER, (Figura 1) com energia do proctor modificado para determinação da umidade ótima e densidade máxima em amostras de material fresado com adição de cimento nos seguintes teores:

Tabela 2

TEORES DE CIMENTO (% em peso)
3
3,5
4
4,5

Moldagens de corpos de prova (03 unidades) para cada teor de cimento acima definido e nas respectivas umidades encontradas, objetivando-se determinar as resistências à compressão para cada variação de cimento. Foram confeccionados em cinco camadas com energia do proctor modificado, nos mesmos moldes do ensaio de ISC, porém sem o disco espaçador, de maneira a manter a relação altura/diâmetro maior que 1.

Dimensões do Cp: altura h = 17,8 cm

diâmetro $\varnothing = 15,2$ cm

A cura dos corpos de prova foi procedida em câmara úmida por seis dias, a partir da desforma ocorrida vinte e quatro horas após a moldagem.

Rompimento dos corpos de prova e determinação das resistências. Os valores encontrados são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 3

Teor de Cimento (%)	Resistências (Kg/cm ²)			
	Cp 1	Cp 2	Cp 3	Valor adotado
3	33,0	34,1	32,4	33,2
3,5	36,3	35,7	36,9	36,3
4	43,9	47,3	45,5	45,6
4,5	52,8	57,2	54,7	54,9

1.2.1 Determinação do teor de cimento

Conhecidos os valores resistivos, o teor de cimento foi obtido graficamente, através da plotagem dos pares de valores (resistência x teor de cimento) em um gráfico cartesiano (Figura 2), onde o eixo das abscissas representa os teores de cimento e o eixo das ordenadas representa as resistências. Conforme o gráfico abaixo, para o valor de resistência especificado, o teor de cimento encontrado foi de 3,9%, entretanto, por questões de segurança relacionadas aos fatores executivos, adotou-se o teor mínimo de 4,2% na mistura para execução da reciclagem.

V. EQUIPAMENTOS

Para a execução dos serviços de reciclagem da pista existente do Lote 08 da BR 381, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Recicladora Wirtgen WR-2500
- Motoniveladora CAT 140-G
- Caminhão Pipa
- Rolo liso vibratório CA-25
- Rolo pé de carneiro vibratório CA-25
- Rolo de pneus CP-27

O equipamento possui controle automático de aspersão de água com o objetivo de proporcionar à mistura fresada, a umidade ótima indicada pela dosagem.

VI. MÉTODO EXECUTIVO

As etapas construtivas da restauração do pavimento são indicadas a seguir.

Segmentos com acostamentos não pavimentados (Figura 3 a):

. Remoção da camada de solos dos acostamentos até a profundidade de 23 cm em relação à superfície do pavimento;

- . Adição de cal aos 15 cm superficiais do material remanescente do acostamento a uma taxa de 4,0 % com posterior homogeneização e compactação;
- . Fresagem do pavimento existente até uma profundidade de 23 cm com a WR-2500;
- . Espalhamento da mistura constituída por pó-de-pedra e cimento sobre o material fresado;
- . Homogeneização da mistura com o material fresado com a fresadora na umidade ótima;
- . Espalhamento e compactação do material homogeneizado ao largo de toda a plataforma, resultando numa espessura final compactada de 15 cm.

Segmentos com acostamentos pavimentados (Figura 3 b):

- . Fresagem do pavimento existente até uma profundidade de 15 cm;
- . Espalhamento da mistura constituída por pó-de-pedra e cimento sobre o material fresado;
- . Homogeneização da mistura com o material fresado com a fresadora na umidade ótima;
- . Espalhamento e compactação do material homogeneizado ao largo de toda a plataforma, resultando numa espessura final compactada de 15 cm.

Os trabalhos foram realizados com a recicladora WR-2500 de propriedade da Construtora Pavisan Ltda., no período de julho a setembro de 1998, tendo sido reciclados 29.700 m³ de pavimento com adição de 4,2% de cimento.

A largura da pista a ser reciclada foi de 11,0 m, sendo que a largura útil do equipamento de 2,20 m determinou um número de 05 passadas para a reciclagem de toda a pista.

É importante observar que, nos casos de adição de cimento, deve-se levar em conta que todos os trabalhos deverão estar concluídos em até 02 horas após a mistura do cimento, em razão do tempo de pega. Esta situação obrigou a execução dos trabalhos com duas passagens da recicladora, conforme descrito acima. Experimentalmente determinou-se que o comprimento ideal de segmentos reciclados fosse de 350 metros lineares de pista.

A primeira passagem da recicladora objetivava a revolver uma camada de 23 ou 15 cm, conforme a situação dos acostamentos. A velocidade do equipamento nesta primeira etapa é lenta por se tratar de camada compacta. A água aspergida nesta fase é suficiente apenas para arrefecer os bits de corte. Para efetuar a segunda passagem é verificada preliminarmente a umidade contida na camada e calculada a quantidade necessária para completar a umidade ótima.

Após a 2ª passada da recicladora, seguia-se uma fechada com rolo de patas CA-25, para posterior regularização com motoniveladora e então a compactação com rolo pneus. Para obtenção do grau de compactação satisfatório, foram necessárias 04 (quatro) fechadas com rolo liso de pneus e 02 (duas) fechadas finais com o rolo liso de aço para o desempenho e acabamento superficial, perfazendo um número total de 07 (sete) fechadas.

A exemplo da camada de brita graduada tratada com cimento, foi aspergida emulsão asfáltica à taxa de 1litros/m² para cura, num período de 07 dias.

Uma vez concluída a compactação, procedeu-se imediatamente os controles tecnológico e topográfico.

VII. ÍNDICES DE PRODUÇÃO ALCANÇADOS

Volume Reciclado: 29.700m³

- PRODUTIVIDADES:

Tabela 4

EQUIPAMENTO	PRODUÇÃO
WR-2500	75 m ³ /h
Rolo CA-25	175 m ³ /h
Rolo pneu CP-27	91 m ³ /h
Motoniveladora CAT 140G	80 m ³ /h
Caminhão Pipa	95 m ³ /h
Consumo de Bits	0,1 un/m ³

VIII. CONTROLE TECNOLÓGICO

Os controles executados para verificação da qualidade da mistura aplicada foram os preconizados pelo DNER.

Para a determinação da densidade in-situ, utilizou-se o método do frasco de areia, DNER ME 092/94. Os perfis dos graus de compactação e umidade são apresentados nas figuras 5 e 6 respectivamente. Para efeito comparativo, empregou-se também o aparelho nuclear (Troxler), obtendo-se razoável paridade entre os resultados.

O controle de resistência à compressão simples (Figura 7) da mistura executada, foi obtido a partir de amostras coletadas na pista e moldadas em laboratório com a mesma energia de compactação de campo. O processo de cura foi em câmara úmida.

Paralelamente aos controles convencionais, realizou-se também uma campanha com a viga Benkelman na superfície da camada reciclada, objetivando conhecer as deformações elásticas reversíveis, de modo a manter a uniformidade de todos os segmentos tratados. Obteve-se ainda os níveis de redução das deformações em relação à deformabilidade da pista antes da reciclagem. Os gráficos (Figuras 8a, 8b, 8c e 8d) apresentam as deformações antes e depois da reciclagem nos vários segmentos tratados.

As reduções nos níveis deflectométricos observadas após a reciclagem foram, em média, da ordem de 26,2% em relação às deflexões da pista existente.

IX. CUSTOS

Os custos da reciclagem ou da remoção/reconstrução são objetos específicos de cada projeto. Apresenta-se, a seguir, o custo típico por m³, considerando-se os valores médios praticados no mercado:

Tabela 5

Atividade	Reconstrução R\$	Reciclagem R\$
Remoção de pavimento (R\$/m ³)	6,00	-
Fornecimento de Britas (R\$/m ³)	15,00	0,75*
Usina de solos (R\$/m ³)	0,50	-
Transp.Usina/Pista(10km) (R\$/m ³)	1,50	-
Reciclagem WR 2500 (R\$/m ³)	-	15,00
TOTAL	23,00	15,75
* Considerando-se a adição de 5,0% de pó de pedra, para correção granulométrica		

As demais operações, nivelamento e compactação, são comuns às duas alternativas, não apresentando qualquer diferencial de custos.

A diferença de custos apresentada torna-se ainda mais favorável à reciclagem, ao contabilizar-se os custos indiretos, consequência de um maior prazo na execução da obra, em função da atividade de britagem.

X. CONCLUSÕES

Verificou-se que a reciclagem executada no lote 8 da Rodovia Fernão Dias atendeu às expectativas, tanto do ponto de vista técnico quanto da rapidez de execução.

Salientamos como vantagens desta técnica para o caso em questão:

Meio ambiente: a total utilização dos materiais existentes minimizou as necessidades de materiais naturais com a abertura de novas áreas de exploração, reduzindo significativamente o impacto ao meio ambiente e os custos com recuperação.

Qualidade da camada reciclada: a garantia da homogeneidade da mistura assegura a integridade da camada.

Inofensivo às camadas subjacentes: no método de reconstrução tradicional, as sucessivas sobrecargas dos equipamentos costumam afetar estas camadas inferiores, implicando em alguns casos na sua reconfecção.

Rapidez: a velocidade da reciclagem é fator preponderante em sua aplicação, implicando ainda em menores transtornos aos usuários.

Menor custo: Salvo raras exceções, a reciclagem apresenta um menor custo na reabilitação de rodovias.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DNER, "Especificações Gerais de Obras Rodoviárias", Rio de Janeiro, 1997.

DNER, "Manual de Pavimentação", Rio de Janeiro, 1996.

SILVA, C. A. R. "Controle deflectométrico na execução de camadas de pavimento" - 3º Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projetos de Reforço, 85, Belém, 1999

XII. ANEXOS

Figura 01 - Curva de compactação da mistura

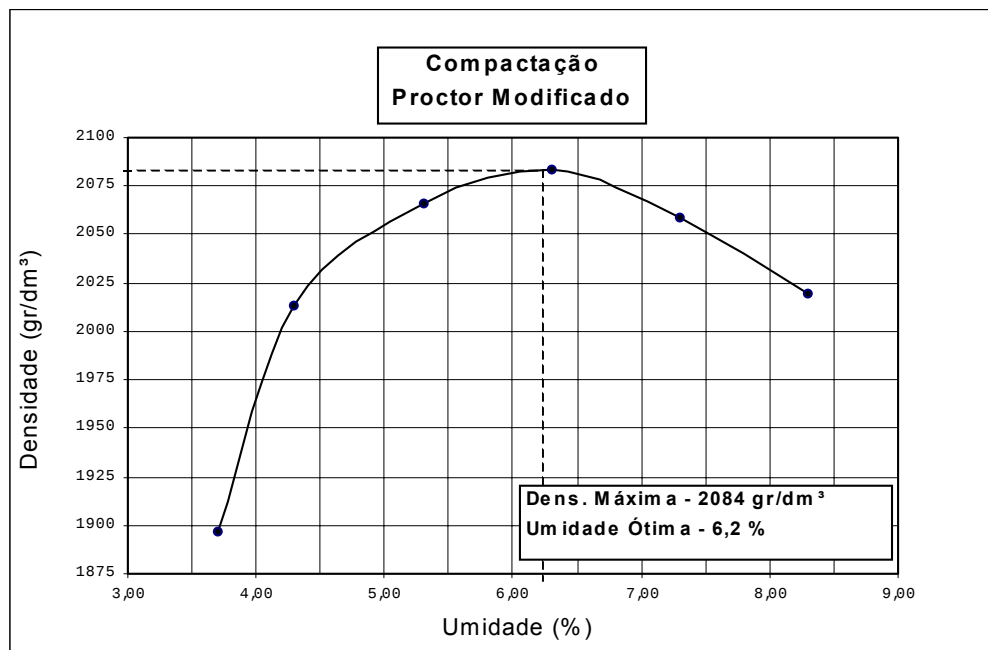


Figura 2 – Resistência x Teor de cimento

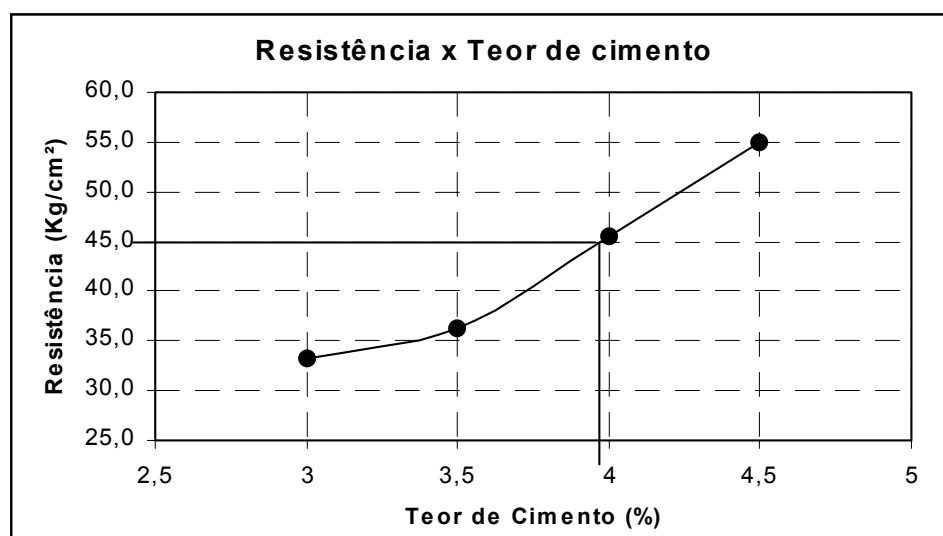


Figura 3 a – Seção tipo do pavimento existente

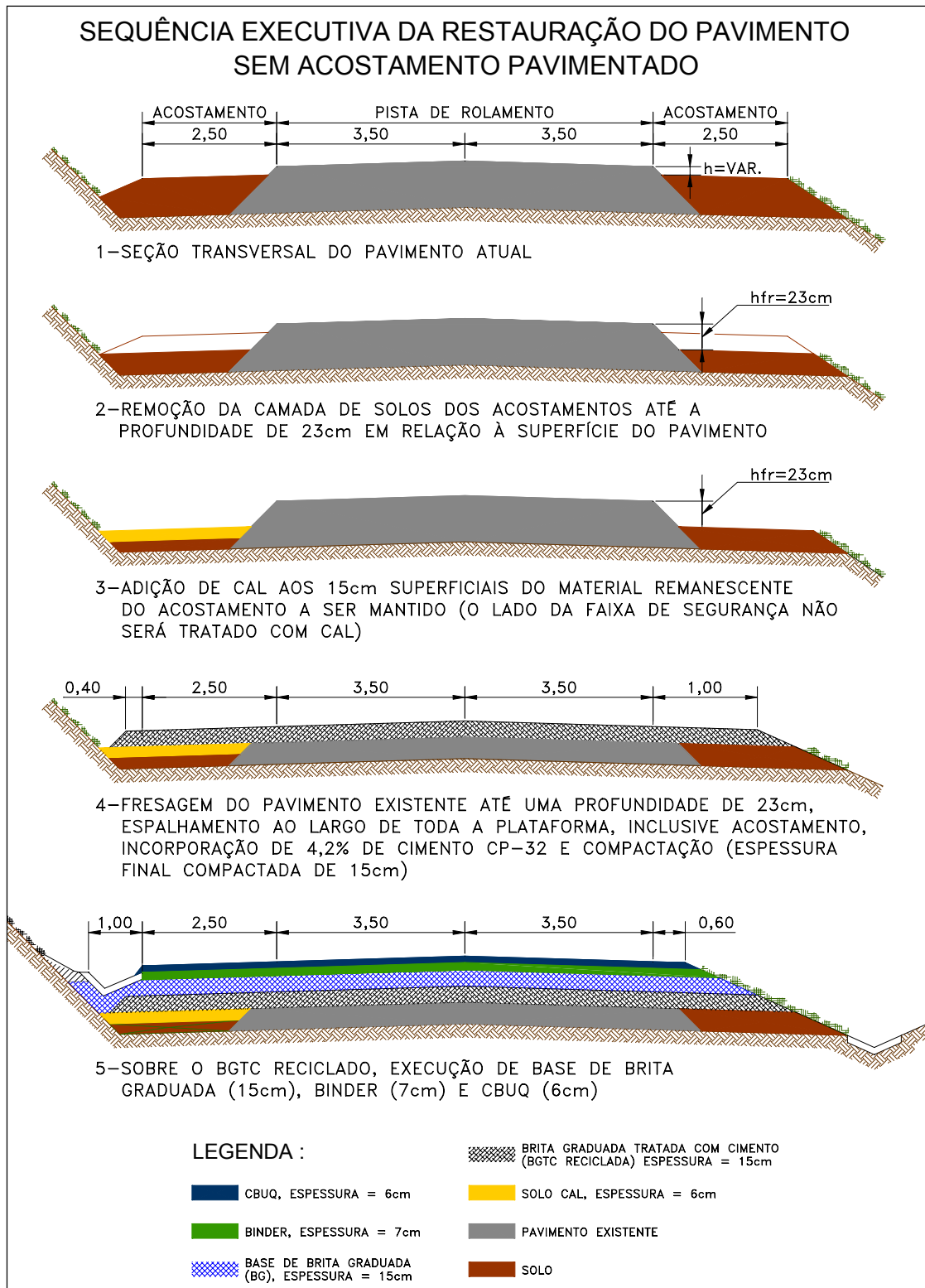
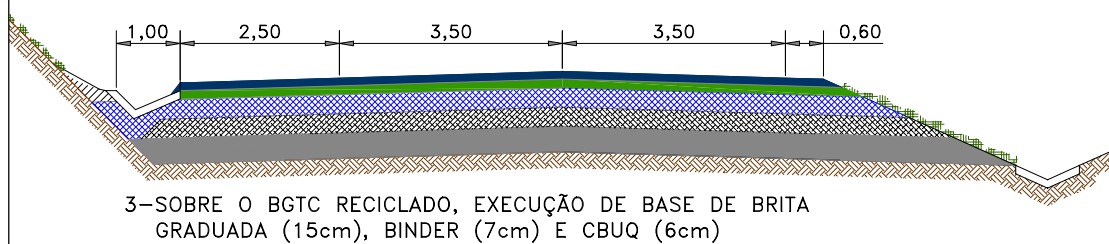
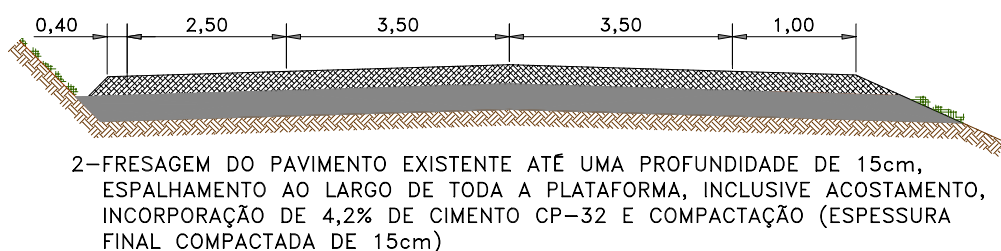


Figura 3 b – Seção tipo do pavimento existente

SEQUÊNCIA EXECUTIVA DA RESTAURAÇÃO DO PAVIMENTO COM ACOSTAMENTO PAVIMENTADO



LEGENDA :

 CBUQ, ESPESSURA = 6cm	 BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTC RECICLADA) ESPESSURA = 15cm
 BINDER, ESPESSURA = 7cm	 PAVIMENTO EXISTENTE
 BASE DE BRITA GRADUADA (BG), ESPESSURA = 15cm	

Figura 4 – Esquema de fresagem

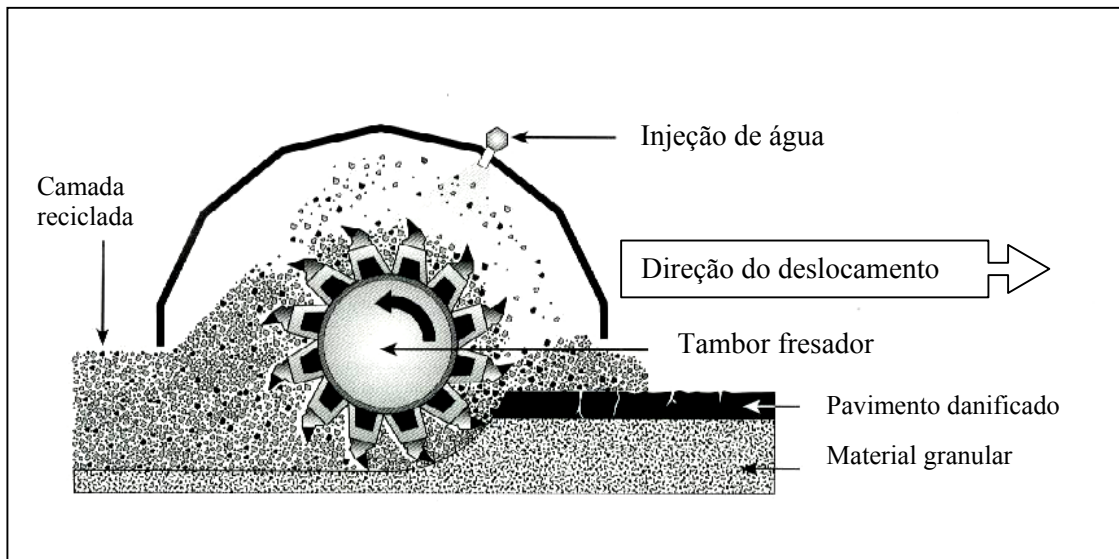


Figura 5 – Graus de compactação

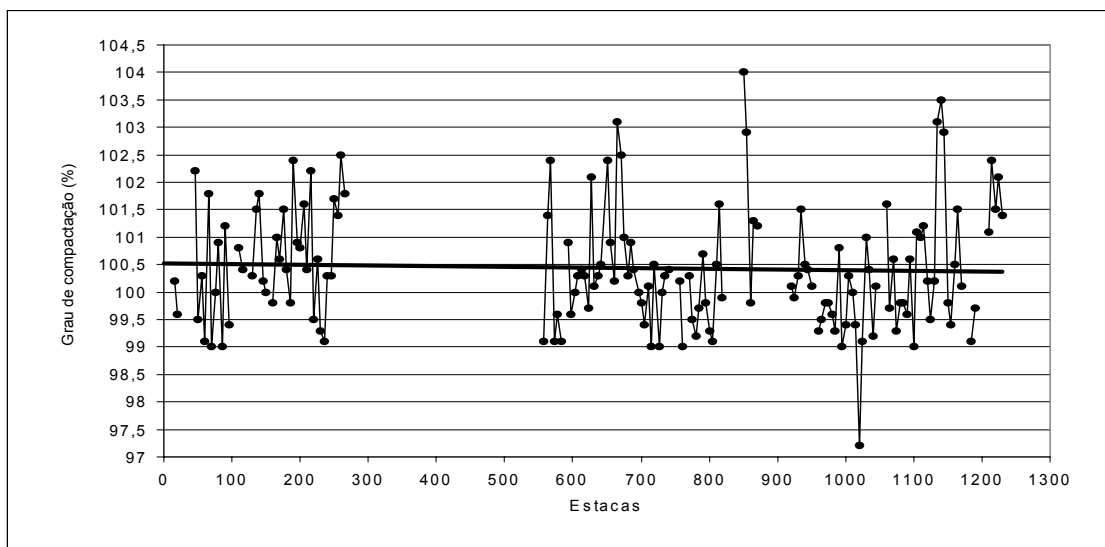


Figura 6 – Unidades de campo

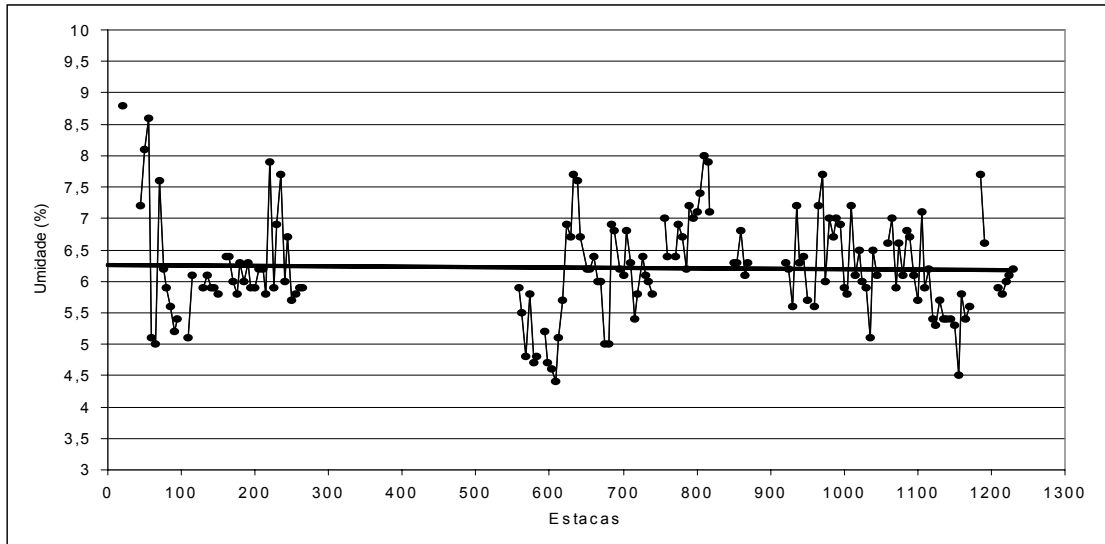


Figura 7 – Valores de resistência aos 7 dias

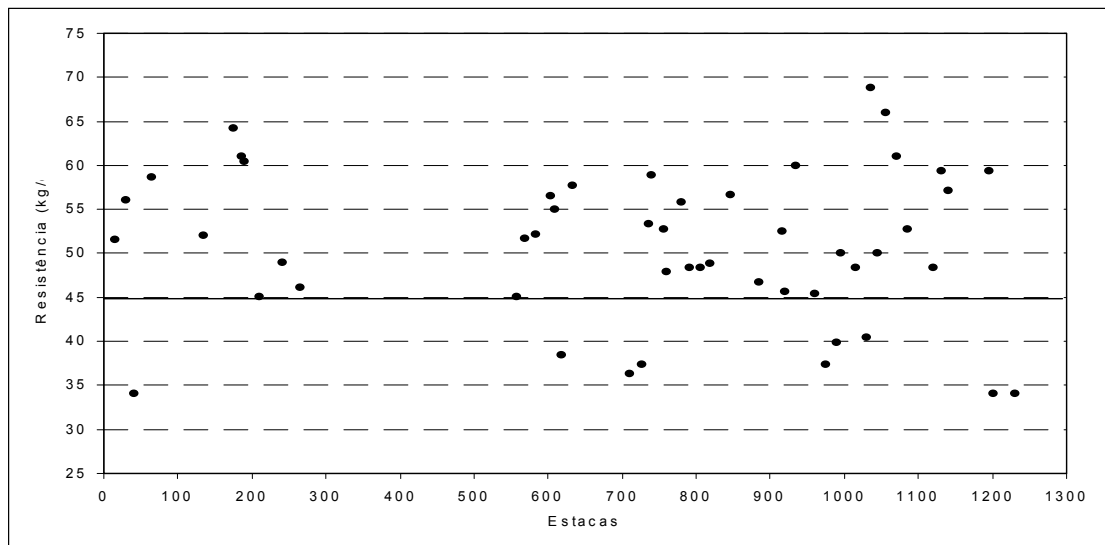


Figura 8a – Perfil deflectométrico

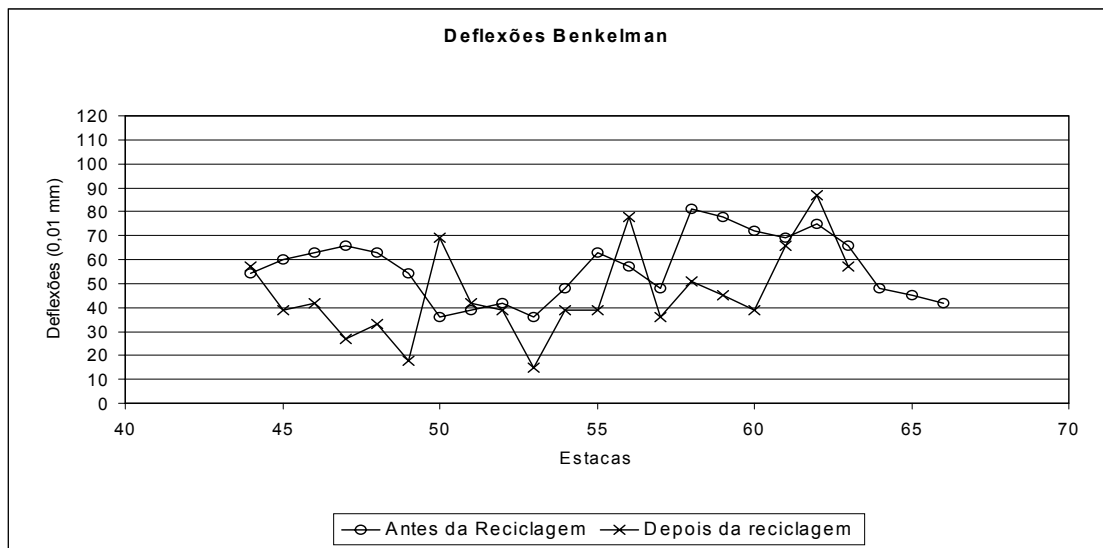


Figura 8b - Perfil deflectométrico

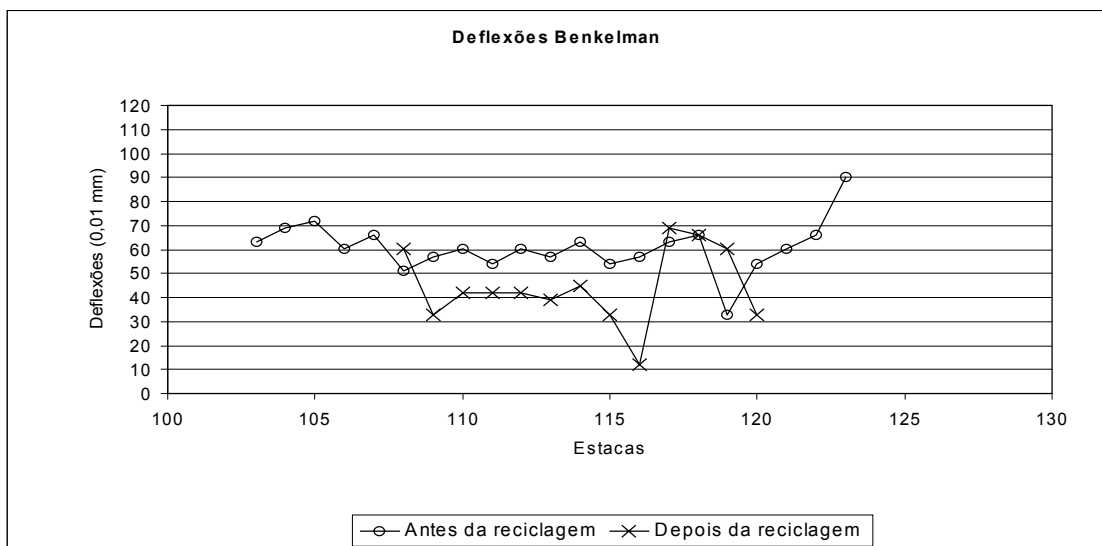


Figura 8c- Perfil deflectométrico

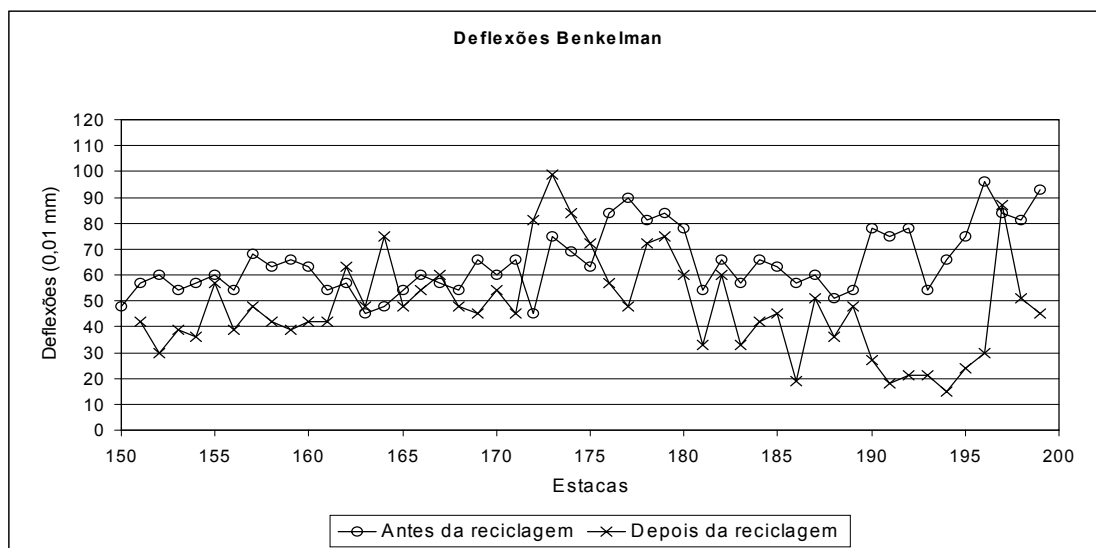


Figura 8d - Perfil deflectométrico

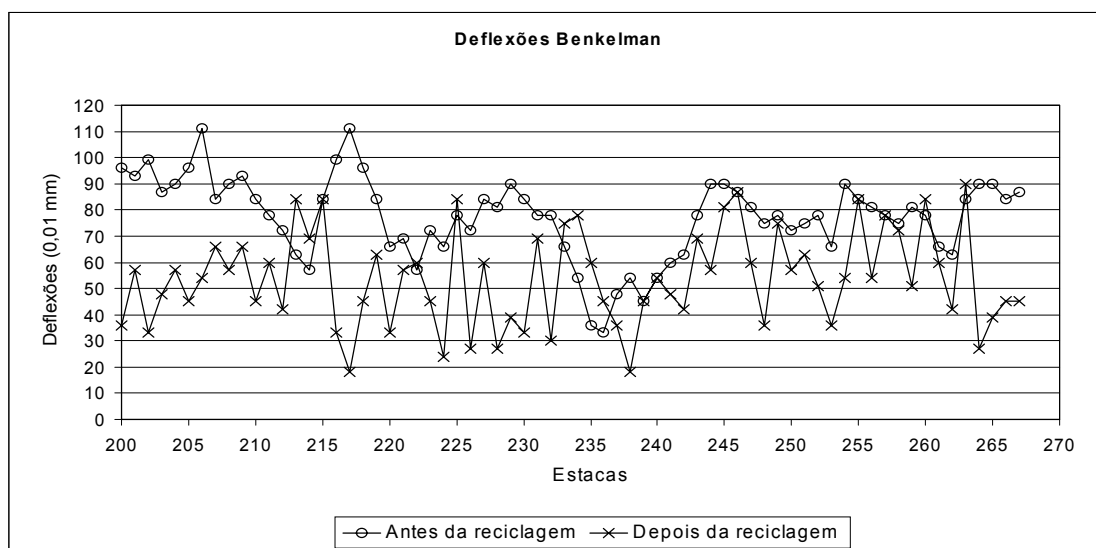


Figura 9 – Detalhe da fresadora WR 2500.



Figura 10 – Detalhe da 1ª passada do equipamento no pavimento existente



Figura 11 – Material resultante da 1ª passada do equipamento



Figura 12 – Detalhe do espalhador da mistura pó-de-pedra + cimento



Os autores são César Augusto Rodrigues da Silva, Coordenador da Comissão de Apoio Técnico à Obras Rodoviárias da Diretoria de Construção do DER/MG; e Juarez Miranda Jr., Supervisor de Obras da Tercam Engª. Empr. Ltda