

MT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM**Projeto de restauração de pavimentos flexíveis - TECNAPAV**

Norma rodoviária

Procedimento

DNER-PRO 269/94

p.01/17

RESUMO

Este documento, que é uma norma técnica, define um procedimento a ser utilizado no projeto de restauração de pavimentos flexíveis, apresentando alternativas em concreto asfáltico, em camadas integradas de concreto asfáltico e pré-misturado, em tratamento superficial e em lama asfáltica - Método da Resiliência - TECNAPAV

ABSTRACT

This document presents procedures to be used for rehabilitation of flexible pavements. It is applied to bituminous concret, surface treatment and slurry Seal-Resiliency Method - TECNAPAV.

SUMÁRIO

- 0 Apresentação
- 1 Objetivo
- 2 Referências
- 3 Definições
- 4 Levantamento dos dados do pavimento existente
- 5 Levantamento de campo
- 6 Ensaaios de laboratório
- 7 Cálculo dos parâmetros do trecho
- 8 Divisão do trecho em subtrechos homogêneos
- 9 Projeto de restauração

Anexo informativo

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

Macrodescriptores MT: Norma, pavimento, projeto, restauração do pavimento**Microdescriptores DNER:** Pavimento flexível, projeto, restauração do pavimento.**Palavras-chave IRRD/IPR:** Norma (0139), pavimento flexível (2944), recapeamento (2991)**Descriptores SINORTEC:** Pavimentos flexíveis, projeto

Aprovada pelo Conselho Administrativo em 14/12/94

Resolução nº 105/94, Sessão nº CA/38/94

Processo nº 51100011226/93.9

Autor e Histórico:

DNER/DrDTc (IPR)

0 APRESENTAÇÃO

Esta Norma apresenta uma alternativa de procedimentos, para projetos de restauração de pavimentos flexíveis, com a designação TECNAPAV.

1 OBJETIVO

Esta Norma define os procedimentos a serem adotados na aplicação do método de projeto de restauração de pavimentos flexíveis, desenvolvido pelos Engenheiros Salomão Pinto e Ernesto S. Preussler, intitulado Método da Resiliência - TECNAPAV.

2 REFERÊNCIAS

2.1 Normas complementares

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

- a) DNER-ME 129/94 - Solos-compactação utilizando amostras não trabalhadas;
- b) DNER-ME 049/94 - Solos - determinação do índice de suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas;
- c) DNER-ME 024/94 - Pavimento - determinação das deflexões pela viga Benkelman;
- d) DNER-ES 128/83 - Levantamento da condição de superfície de segmentos-testemunha de rodovias de pavimento flexível ou semi-rígido para gerência de pavimentos a nível de rede;
- e) Método de Dimensionamento de Pavimento Flexível do DNER, ed. 1979;
- f) DNER-ME 051/94 - Solos - análise granulométrica;
- g) DNER-PRO 008/94 - Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos;
- h) DNER-ME 131/94 - Solos - determinação do módulo de resiliência;
- i) DNER-ME 133/94 - Misturas betuminosas - determinação do módulo de resiliência;
- j) DNER-ME 138/94 - Misturas betuminosas - determinação da resistência a tração por compressão diametral;
- l) ABNT-EB 22/88 (NBR 5734) - Peneiras para ensaio.

2.2 Referências bibliográficas

No preparo desta Norma foram consultados os seguintes documentos:

- a) Proposição de método para projeto de reforço de pavimentos flexíveis, considerando a resiliência- Ernesto Preussler e Salomão Pinto - MT/DNER - Instituto de Pesquisas Rodoviárias - 1982;
- b) Proposição de método para projeto de reforço de pavimentos flexíveis, considerando a resiliência - versão II - Salomão Pinto e Ernesto Preussler - MT/DNER - Instituto de Pesquisas Rodoviárias - 1984;
- c) DNER-PRO 159/85 - Projeto de restauração de pavimentos flexíveis e semi-rígidos.

3 DEFINIÇÕES

Para efeitos desta Norma, são adotadas as seguintes definições:

3.1 Trincamento - TR

A percentagem das áreas contendo trincas não capilares, em uma faixa de tráfego, em relação à área total dessa faixa.

3.2 Espessura efetiva - hef

A espessura equivalente ao revestimento existente, que é considerada no cálculo da camada de recapeamento.

3.3 Número N_p

O número equivalente de operações do eixo padrão simples de 80,12 kN (8,17 tf), correspondente à frota de veículos comerciais atuante em um determinado período.

3.4 Vida de fadiga - N_t

O número de solicitações do eixo padrão simples de 80,12 kN, que leva o revestimento asfáltico à fase de trincamento por fadiga.

3.5 Subtrechos homogêneos

Segmentos da rodovia que apresentam características semelhantes de tráfego, subleito, estrutura do pavimento, condições de sua superfície e deflexão.

3.6 Período de análise

O intervalo de tempo, em anos, correspondente ao número cumulativo de solicitações do eixo padrão simples de 80,12 kN, determinado para o projeto.

3.7 Indicadores de desempenho

Os valores máximos admissíveis para as condições de superfície, em termos de intensidade de defeitos e irregularidade, para que a rodovia seja utilizada em um padrão desejado.

3.8 Restrições econômicas

Compreendem os recursos financeiros máximos que o Órgão Rodoviário dispõe para a restauração do subtrecho, no período de análise.

4 LEVANTAMENTO DOS DADOS DO PAVIMENTO EXISTENTE

Deve ser feito junto aos Órgãos Rodoviários encarregados de sua construção e conservação, para a obtenção dos seguintes elementos:

- a) informações sobre o projeto do pavimento existente, compreendendo as características do subleito, características e espessura das camadas constituintes do pavimento, bem como de eventuais restaurações e a seção transversal tipo do pavimento;

- b) identificação do trecho em relação ao PNV;
- c) custos de conservação diretamente relacionados com o pavimento;
- d) histórico do tráfego;
- e) localização de bueiros;
- f) outras informações julgadas procedentes.

5 LEVANTAMENTO DE CAMPO

5.1 Demarcação do Trecho

O trecho deve ser demarcado a cada 20m, nas bordas da pista de rolamento.

Durante esta etapa, devem ser anotados os seguintes dados:

- a) Início e final de trecho;
- b) início e final de obras-de-arte especiais;
- c) início e final de interseções;
- d) cruzamentos e entrocamentos;
- e) início e final de defeitos refletidos no pavimento, devido à movimentação ou erosão de maciços terrosos do corpo estradal;
- f) outros dados julgados necessários.

5.2 Determinação das deflexões recuperáveis

5.2.1 As deflexões recuperáveis devem ser determinadas em ambas as faixas de tráfego, de conformidade com o estabelecido no Método DNER-ME 024/94 (ver item 2.1.c). As vigas Benkelman utilizadas devem ser isoladas termicamente com isopor.

5.2.2 Nas rodovias de pista única, com duas faixas de tráfego, a demarcação dos pontos de medição é feita alternadamente em ambas as faixas de tráfego, na trilha de roda externa, de forma que o espaçamento longitudinal entre dois pontos consecutivos, localizados em uma mesma trilha de roda, seja igual a 40m e, em consequência, o afastamento longitudinal entre dois pontos consecutivos, consideradas ambas as faixas de tráfego, seja igual a 20m.

5.2.3 Nas rodovias de pista dupla, os pontos devem ser demarcados na trilha de roda externa de cada pista, com afastamento longitudinal de 20m.

5.3 Levantamento da condição do pavimento

5.3.1 O levantamento da condição do pavimento deve incluir a determinação das áreas que apresentam trincas, buracos e remendos, de conformidade com o disposto na Especificação DNER-ES 128/83 (V. item 2.1.d), valendo as seguintes observações:

- 2/
- a) Os segmentos-testemunha devem ter 6m de comprimento e largura igual à da faixa de rolamento, e devem ser espaçados de 20m, centro e centro, e posicionados, alternadamente, em cada uma das faixas de rolamento;
 - b) as trincas classe 1 não devem ser levantadas. Pode ser utilizado também o procedimento DNER-PRO-08/94 (ver item 2.1.g).

5.3.2 A avaliação do estado da condição de superfície pode ser complementada através de medidas de irregularidade em ambas as faixas de tráfego, por meio de aparelhos medidores do tipo resposta, tais como Integrador IPR/USP ou Maysmeter.

5.4 Sondagem a pá e picareta e coleta de amostras

5.4.1 Devem ser feitas sondagens, a pá e picareta, posicionadas alternadamente nas bordas da pista de rolamento, e espaçadas em 2000 m, no máximo, aprofundadas até ser atingido, 0,60m do subleito.

5.4.2 Caso sejam detectadas mudanças nas características do pavimento e/ou do subleito, devem ser realizadas sondagens intermediárias, de modo a caracterizar as extensões de pavimento com características semelhantes.

5.4.3 Independentemente do espaçamento adotado, cada subtrecho homogêneo, definido no Capítulo 8, deve conter pelo menos um poço sondagem.

5.4.4 Todas as camadas componentes do pavimento devem ser classificadas expeditamente, quanto à sua constituição e função na estrutura do pavimento, sendo também determinadas as espessuras respectivas. O mesmo critério deve ser aplicado ao subleito.

5.4.5 De cada camada do pavimento e do subleito, exceto do revestimento, deve ser coletada uma amostra representativa.

5.5 Sondagens rotativas no revestimento e coleta de amostras

5.5.1 Somente nos casos de revestimentos em concreto asfáltico, devem ser realizadas sondagens rotativas, por meio de equipamento dotado de coroa diamantada, com 0,10m de diâmetro.

5.5.2 Os pontos de sondagem devem estar localizados, no centro da trilha de roda externa, na mesma seção transversal das sondagens indicadas no item 5.4. Devem ser espaçadas longitudinalmente em 2000m e dispostos, alternadamente, em cada uma das faixas de tráfego.

5.5.3 Os testemunhos colhidos devem ser examinados, a fim de se definir o número e a espessura das camadas betuminosas presentes na superestrutura do pavimento.

5.5.4 Quando o ponto programado para a sondagem incidir sobre remendo ou "panela", o equipamento de prospecção deve ser deslocado sobre o eixo da trilha de roda externa, devendo o deslocamento imposto ser suficiente para que o testemunho extraído possa representar efetivamente a superestrutura típica da área.

5.5.5 Nos locais onde for impossível a obtenção de testemunho incólume, a natureza das camadas betuminosas e as respectivas espessuras devem ser inferidas a partir de observações efetuadas no furo aberto pela sonda rotativa.

5.6 Caracterização do Tráfego

5.6.1 As contagens volumétricas classificatórias e pesagens de todos os veículos comerciais devem ser feitas no mínimo durante 3 (três) dias consecutivos, em um período de 24 horas diárias para as contagens e de 8 (oito) horas diárias para as pesagens, em local (ou locais) adequado(s) para a caracterização do tráfego do trecho.

5.6.2 Os veículos devem ser classificados conforme preconizado nos estudos de tráfego.

6 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

6.1 Índice de Suporte Califórnia e granulometria com sedimentação

6.1.1 Com as amostras coletadas, conforme estabelecido no item 5.4, devem ser realizados ensaios para a determinação do Índice de Suporte Califórnia, segundo o Método DNER-ME 129/94 (ver item 2.1.a) com as seguintes energias de compactação:

- a) material de base - Proctor Modificado;
- b) material de sub-base - Proctor Intermediário;
- c) material de reforço do subleito - Proctor Intermediário;
- d) material de subleito - Proctor Normal.

6.1.2 Os ensaios de granulometria com sedimentação devem ser realizados de acordo com o Método DNER-ME 051/94 (ver item 2.1.f), para os solos contendo mais de 35% em peso passando na peneira de 0,075mm de abertura (nº 200).

6.2 Módulo de Resiliência

Ensaio para a determinação de módulos de resiliência e de resistência à tração por compressão diametral devem ser realizados de acordo com os métodos DNER-ME 133/94, DNER-ME 138/94 e DNER-ME 131/94 (ver itens 2.1.i, 2.1.j e 2.1.h).

7 CÁLCULO DOS PARÂMETROS DO TRECHO

7.1 Deflexão Recuperável

A deflexão recuperável deve ser calculada individualmente, para cada determinação feita, conforme indicado no item 5.2, segundo o Método DNER-ME 024/94 (ver item 2.1.c).

7.2 Trincamento

Nas superfícies de avaliação, analisadas conforme indicado no item 5.3, que apresentarem trincas de classe 2 e/ou 3, deve ser calculado o trincamento através da expressão:

$$TR = \frac{TRI}{S} \times 100$$

onde:

TR = trincamento, em %;

TRI = total das áreas com trincamento de classes 2 e 3, bem como eventuais buracos e remendos contidos na superfície de avaliação, em m²;

S = área da superfície de avaliação, em m²;

7.3 Irregularidade

As medições de irregularidade devem ser convertidas na escala de QI, através da equação de calibração apropriada.

7.4 Índice de Suporte Califórnia

Deve ser adotado o valor do Índice de Suporte Califórnia correspondente à umidade ótima do ensaio de compactação correspondente, segundo as indicações do item 6.1, ou correspondente à umidade e massa específica aparente "in situ".

7.5 Percentagem de silte na fração que passa na peneira de 0,075mm de abertura (nº 200)

A percentagem de silte contida nos solos, segundo as indicações do item 6.1, deve ser calculada a partir do ensaio de granulometria com sedimentação, pela expressão:

$$S = 100 - \frac{P_1}{P_2} \times 100$$

onde:

S = Silte, em %;

P₁ = percentagem, em peso, de material cujas partículas tenham diâmetro inferior a 0,005mm, determinada na curva de distribuição granulométrica;

P₂ = percentagem, em peso, de material cujas partículas tenham diâmetro inferior a 0,075mm, determinada na curva de distribuição granulométrica.

7.6 Classificação dos solos

Os solos devem ser classificados em tres grupos quanto às suas características resilientes em função do valor do Índice de Suporte Califórnia (CBR) e percentagem de silte(S), conforme a Tabela 1 seguinte:

Tabela 1 - Grupos de Solos

CBR %	S%		
	≤ 35	35 a 65	> 65
≥10	I	II	III
6 a 9	II	II	III
2 a 5	III	III	III

7.7 Espessura da camada granular - Hcg

Deve-se considerar, para fins de espessura, como camadas granulares, as de base, sub-base e/ou reforço do subleito, constituídas por materiais granulares, tais como: solo arenoso, pedregulhoso, solo estabilizado granulometricamente, solo brita, brita graduada e macadames, desde que contenham menos de 35% em peso, passando na peneira de abertura de 0,075mm (nº 200).

7.8 Número N

O parâmetro de tráfego utilizado no projeto deve ser calculado de acordo com os fatores de equivalência preconizados no Método de Dimensionamento de Pavimento Flexível do DNER, edição de 1979.

8 DIVISÃO DO TRECHO EM SUBTRECHOS HOMOGÊNEOS

8.1 Os dados obtidos conforme indicado nos itens 5.1, 5.4 e 5.5. e no Capítulo 7 desta Norma devem ser anotados em gráfico próprio, podendo-se adotar o modelo da Figura 1.

8.2 O gráfico deve ser elaborado em papel milimetrado, devendo representar todo o trecho em estudo.

8.3 Inicialmente, o trecho deve ser dividido em segmentos que apresentem valores semelhantes de constituição do pavimento, do tráfego médio diário (TMD) e da deflexão recuperável.

8.4 Procede-se, em seguida, à análise visual dos valores de QI e trincamento, de modo a serem delimitados os segmentos que apresentem valores semelhantes destes parâmetros.


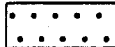

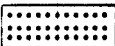

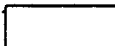
8.5 Os valores individuais do trincamento, que não se enquadrarem na faixa definida pela média aritmética mais ou menos três vezes o desvio padrão, devem ser eliminados da análise. A ocorrência desses pontos extremos deve ser investigada detalhadamente.

8.6 A análise conjunta dos dois grupos de segmentos, obtidos como antes descrito, resultará na divisão do trecho em subtrechos homogêneos.

8.7 Em qualquer fase da análise, a extensão máxima admitida para um subtrecho homogêneo deve ser 7000 m.

8.8 Recomenda-se que a deflexão seja o parâmetro preponderante na divisão do trecho em subtrechos homogêneos.

Figura 1 - Modelo de Gráfico para Divisão do Trecho em Subtrechos Homogêneos

PISTA DE ROLAMENTO	QI QUOCIENTE DE IRREGULARIDADE (Cont / km)																		
	TR TRINCAMENTO (%)																		
	D DEFLEXÃO RECUPERÁVEL (0,01 mm)																		
TMD																			
CONSTITUIÇÃO DO PAVIMENTO *	ESPESSURA (cm)																		
OBSERVAÇÕES																			
ESTAQUEAMENTO																			
SUBTRECHO HOMOGÊNEO																			
*	CONVENÇÕES PARA AS CAMADAS DO PAVIMENTO	 REVESTIMENTO	 SUB-BASE																
		 BASE																	

9 PROJETO DE RESTAURAÇÃO

A restauração deve ser projetada separadamente, para cada subtrecho homogêneo, definido conforme indicado no Capítulo 8.

9.1 Determinação dos parâmetros de projeto

9.1.1 Pavimento existente

Para cada subtrecho homogêneo devem ser determinados os parâmetros a seguir definidos, a partir dos resultados obtidos segundo estabelecido nos Capítulos 5 e 7:

- a) espessura do revestimento asfáltico existente - obtida a partir dos elementos segundo o item 5.5;
- b) deflexão característica - resultado da soma da média aritmética com o correspondente desvio padrão dos valores individuais da deflexão recuperável, obtidos segundo o indicado no item 7.1;
- c) trincamento - resultado da soma da média aritmética com o respectivo desvio padrão dos valores individuais do trincamento, obtidos conforme estabelecido no item 7.2;
- d) espessura da camada granular - obtida de acordo com o indicado no item 7.7;
- e) tipo de solo - determinado de acordo com o indicado no item 7.6.

9.1.2 Restauração do pavimento

Para o trecho em estudo devem ser estabelecidos os parâmetros a seguir mencionados:

- a) período de análise - deve ser fixado o período de análise, em anos;
- b) taxa de crescimento do tráfego - deve ser determinada em função de dados históricos disponíveis, ou fixada pelo Órgão Rodoviário;
- c) tráfego - previsto para o período de análise;
- d) restrições de construção - fixadas pelo projetista ou Órgão Rodoviário;
- e) restrições econômicas - pode ser fornecida pelo Órgão Rodoviário a disponibilidade de recursos para a manutenção do trecho, ao longo do período de análise;
- f) custos unitários de restauração - compreendem a soma de todos os componentes de custos necessários para a execução de 1km de reforço ou restauração. Devem ser estimados pelo projetista ou fixados pelo Órgão Rodoviário para o início do período de análise (ano zero). O custo unitário de restaurações a serem executadas ao longo do período de análise deve ser calculado a preços referidos ao início do período de análise, pelo uso da expressão:

$$C_0 = \frac{C_n}{(1 + i)^n}$$

onde:

C_0 - Custo unitário da restauração a ser realizada no ano n, atualizado para o início do período de análise;

C_n - custo unitário da restauração;

i - taxa de oportunidade de capital, estimada pelo projetista ou fixada pelo Órgão Rodoviário, em percentagem sobre 100 (%/100);

n - ano previsto para execução da restauração, considerando o início do período de análise como ano zero.

9.2 Análise da condição do pavimento existente

9.2.1 A análise da condição estrutural e funcional do pavimento existente, a partir do trincamento, irregularidade da superfície, deflexão, e da serventia retratada pelo Índice de Gravidade Global (IGG), reflete um quadro sintomático do grau de deterioração da rodovia.

9.2.2 A partir desses levantamentos (item 9.2.1), é possível definir critérios para o cálculo do recapeamento, fazer recomendações quanto a medidas corretivas e, principalmente, compatibilizar a solução numérica com o estado da condição superficial, adequando-a às restrições de natureza econômica.

9.3 Dimensionamento do reforço do pavimento

A espessura necessária de reforço do pavimento existente deve ser determinada através dos resultados dos levantamentos executados de acordo com as etapas a seguir descritas:

9.3.1 Deflexão de projeto característica:

$$D_c = \bar{D} + \sigma$$

onde:

D_c - deflexão de projeto, 0,01mm;

\bar{D} - média aritmética das deflexões de campo, 0,01mm;

σ - desvio padrão, 0,01mm.

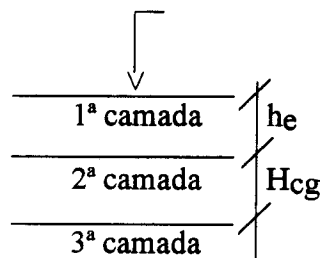
9.3.2 Estrutura de referência

Definir para o subtrecho homogêneo uma estrutura de referência constituída por três camadas, com as respectivas espessuras, ou seja:

1ª camada - camada betuminosa, item 5.5;

2ª camada - camada granular, item 7.7;

3ª camada - camada de solo, item 7.6.



9.3.3 Classificação do solo da 3ª camada

O solo da 3ª camada deve ser classificado de acordo com a Tabela 1, item 7.6, em solo Tipo I ou Tipo II ou Tipo III.

9.3.4 Cálculo da espessura efetiva (h_{ef})

$$h_{ef} = -5,737 + \frac{807,961}{D_c} + 0,972 I_1 + 4,101 I_2$$

onde:

hef - espessura efetiva, em cm;

I_1, I_2 - constantes relacionadas às características resilientes da terceira camada da estrutura de referência.

Caso 1 - Espessura da camada granular (Hcg) é menor ou igual a 45cm

3ª camada Tipo I: $I_1 = 0$ $I_2 = 0$

3ª camada Tipo II: $I_1 = 1$ $I_2 = 0$

3ª camada Tipo III: $I_1 = 0$ $I_2 = 1$

Caso 2 - Espessura da camada granular (Hcg) é maior do que 45cm, adotar:

$I_1 = 0$ e $I_2 = 1$

Caso 3 - O hef calculado deve estar compreendido entre os intervalos:

$0 \leq \text{hef} \leq h_e$ Se $\text{hef} < 0$, adotar $\text{hef} = 0$
Se $\text{hef} > h_e$, adotar $\text{hef} = h_e$

onde:

h_e - espessura da camada betuminosa existente, em cm.

Caso 4 - Quando o grau de trincamento do revestimento existente for superior a 50% ou o somatório de $FC-2 + FC-3 > 80\%$ e $FC-3 > 30\%$ pode ser conveniente adotar o limite inferior do hef, bem como considerar a solução de recapeamento em camadas integradas de CBUQ e pré-misturado, com a finalidade de minimizar o fenômeno de reflexão de trincas no revestimento projetado.

9.3.5 Critério de fadiga

$$\log \bar{D} = 3,148 - 0,188 \log N_p$$

onde:

\bar{D} - deflexão máxima admissível, 0,01mm;

N_p - número cumulativo de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 80,12 kN (8,17 tf), para o período de projeto.

9.3.6 Cálculo da espessura de reforço em concreto asfáltico

$$HR = -19,015 + \frac{238,14}{\sqrt{\bar{D}}} - 1,357 \text{ hef} + 1,016 I_1 + 3,893 I_2$$

onde:

HR - espessura da camada de reforço em concreto asfáltico, em cm.

9.3.7 Solução de recapeamento

Caso 1: Para $3 < HR \leq 12,5$ cm a subdivisão em camadas integradas de CBUQ e pré-misturado ou camada única de CBUQ (binder e capa), são alternativas que podem ser consideradas a partir das condições de superfície existente, contemplando as características de deformabilidade das misturas betuminosas a serem utilizadas;

Caso 2: Para $12,5 < HR \leq 25$ cm é recomendada a adoção de camadas integradas dos tipos CBUQ e pré-misturado, de acordo com o seguinte procedimento:

$$H_{pm} = 0,60 HR$$

$$H_{CA} = HR - H_{pm}$$

onde:

H_{pm} - espessura de pré-misturado, em cm;

H_{CA} - espessura de concreto asfáltico, em cm;

HR - espessura de reforço em concreto asfáltico, calculada no item 9.3.6, em cm.

Caso 3: Para $HR > 25$ cm as camadas integradas não devem ser constituídas exclusivamente de misturas betuminosas.

Para esta situação, deve-se verificar, também, a necessidade de remoção do revestimento existente ou camadas subjacentes, com a reconstrução da estrutura do pavimento.

Caso 4: Para $HR \leq 3$ cm e a partir da análise da condição do pavimento existente, segundo as indicações do item 9.2, poderão ser contempladas soluções com lama asfáltica ou tratamento superficial.

Caso 5: Se as restrições econômicas condicionarem uma espessura máxima para HR inferior ao valor calculado segundo o item 9.3.6, deve ser avaliada a deflexão \bar{D} e determinado o valor de N_t correspondente, pela expressão:

$$\log N_t = \frac{3,148 - \log \bar{D}}{0,188}$$

A vida fadiga em anos (A) da solução proposta será definida pela condição:

$$\sum_{i=1}^A \frac{N_i}{N_t} \leq 1,0$$

N_i - número anual de solicitações do eixo padrão correspondente ao ano (i).

Neste caso, a solução de recapeamento por etapas requer a consideração, dentro do período de análise de no máximo mais duas soluções sucessivas. A espessura efetiva (hef) nas etapas seguintes será avaliada pelos modelos:

$$V = - \left(\frac{he - hef_1}{TR} \right) 50 + he ; TR > 50\%$$

$$V = - \left(\frac{hef_1}{80 - TR} \right) 50 + hef_1 + \left(\frac{hef_1}{80 - TR} \right) TR ; TR \leq 50\%$$

$$T_i = - \left(\frac{hef_{i-1} + HR_{i-1}}{80} \right) 50 + hef_{i-1} + HR_{i-1} ; i = 2 \text{ e } 3$$

$$hef_2 = \frac{T_2 + V}{2}$$

$$hef_3 = \frac{hef_2 + T_3}{2}$$

onde:

he - espessura do revestimento original (sem reforço);

hef₁ - espessura efetiva do revestimento original (sem reforço);

TR - percentagem de área trincada do pavimento original (sem reforço);

HR_{i-1} - espessura da camada de reforço na etapa anterior (i - 1);

hef₂ - espessura efetiva da primeira camada de reforço;

hef₃ - espessura efetiva da segunda camada de reforço.

9.3.8 De posse do valor de hef correspondente à etapa seguinte, bem como número N restante, ou seja, N_p - N_v, procede-se a análise a partir do item 9.3.5.

9.3.9 O custo unitário da(s) alternativa(s) de estratégia de recapeamento, satisfazendo às condições impostas pelo projetista e/ou Órgão Rodoviário, deve ser avaliado segundo indicações do item 9.1.2, com a finalidade de otimizar os investimentos nos serviços de restauração de pavimentos.

9.4 Considerações complementares

Para deflexões superiores a 1,40mm, onde a 3ª camada for classificado como do Tipo I ou Tipo II devem ser contempladas também soluções de restauração por critérios de resistência, bem como verificada a necessidade de remoção e reconstrução de uma nova estrutura de pavimento. No caso do solo da 3ª camada ser do Tipo III, valem as mesmas considerações anteriores, porém para valores de deflexões superiores a 1,60mm. Nos demais casos a aplicação de critérios de resistência ficará a cargo de considerações do projetista.

9.5 Dimensionamento do reforço do pavimento contemplando a reciclagem

A espessura do revestimento existente a ser reciclada e a de reforço complementar devem ser determinadas de acordo com as etapas a seguir descritas:

9.5.1 Módulo de resiliência efetivo do revestimento existente

$$\log M_{ef} = 11,19 - 2,753 \log D_c - 1,714 \log h_e - 0,0053 I_1 + 0,2766 I_2$$

onde:

$$M_{ef} \geq 1000 \text{ kgf/cm}^2;$$

D_c - deflexão de projeto, 0,01mm, item 9.3.1;

I_1, I_2 - constantes relacionadas às características resilientes da terceira camada da estrutura de referência, item 9.3.4;

h_e - espessura da camada betuminosa existente, cm;

M_{ef} - módulo de resiliência efetivo do revestimento existente, kgf/cm².

9.5.2 Módulo de resiliência da mistura betuminosa reciclada

Deve ser determinado o módulo de resiliência da mistura betuminosa reciclada, dosada em laboratório, segundo as indicações do item 6.2.

9.5.3 Cálculo da relação modular

$$\mu = \frac{MR_c}{M_{ef}}$$

onde:

μ - relação modular;

MR_c - módulo de resiliência da mistura betuminosa reciclada, kgf/cm²;

M_{ef} - módulo de resiliência efetivo do revestimento existente, kgf/cm².

9.5.4 Cálculo da deflexão de projeto característica, após reciclagem

$$\bar{D}_c = D_c \left[\frac{h_c}{h_e} \left(\mu^{\frac{1}{3}} - 1 \right) + 1 \right]^{-1,324}$$

onde:

D_c - deflexão de projeto, 0,01mm, item 9.3.1;

h_e - espessura da camada betuminosa existente, cm;

h_c - espessura da camada betuminosa existente reciclada-espessura de corte, cm;

μ - relação modular, item 9.5.3;

\bar{D}_o - deflexão de projeto característica do pavimento reciclado correspondente à espessura h_c , 0,01mm.

A espessura de corte (h_c) deve satisfazer as seguintes condições:

$$h_c \geq 3,0\text{cm} \quad e,$$

$$h_c \leq h_e - 2$$

9.5.5 Solução de recapeamento

Caso 1: Para $\mu \leq 1,0$ a solução de restauração deve ser a determinada segundo os itens 9.3 e 9.4, sem reciclagem. Contudo pode ser avaliada a reciclagem com espessura mínima de corte para atender a melhoria das condições de rolamento do revestimento betuminoso, no caso em que $\bar{D}_o \leq \bar{D}$ ou $HR \leq 3\text{cm}$, itens 9.3.5, 9.3.6 e 9.3.7 (Caso 4).

Caso 2: Para $\mu > 1,0$ adotar o seguinte procedimento:

- calcular \bar{D}_o para diferentes valores de h_c segundo o intervalo de espessuras indicadas no item 9.5.4;
- para $\bar{D}_o \leq \bar{D}$ a solução por reciclagem com espessura de corte h_c constitui uma alternativa de restauração;
- para $\bar{D}_o > \bar{D}$ dimensionar a camada de reforço a partir do item 9.3.4, considerando $\bar{D}_o = \bar{D}$. Esta solução constitui uma alternativa de restauração mista, ou seja, reciclagem com corte de espessura h_c e recapeamento com espessura HR . O projetista deve proceder a uma análise de viabilidade técnico-econômica das alternativas de projeto obtidas.

NOTAS: 1) O módulo de resiliência da mistura reciclada (MRc) pode ser estimado pelo modelo:

$$MRc = 5000 \sigma_R$$














onde:

σ_R - Resistência à tração por compressão diametral, kgf/cm^2 , determinada pelo Método DNER-ME 138/94.

2) HR - Espessura de recapeamento sobre a espessura reciclada (h_c)

Anexo Informativo

Quadro I - Classificação dos Veículos

Símbolo	Configuração	Descrição
		Automóvel
		Utilitário
2C		Ônibus
2C		Caminhão
3C		Caminhão
4C		Caminhão
2S1		Semi-Reboque
2S2		Semi-Reboque
2S3		Semi-Reboque
3S2		Semi-Reboque
3S3		Semi-Reboque
2C2		Reboque
2C3		Reboque