



I. PROCEDIMENTO PARA A DETERMINAÇÃO DOS LIMITES MÁXIMOS ACEITÁVEIS DE DEFLEXÃO RECUPERÁVEL DAS CAMADAS DO PAVIMENTO

1. INTRODUÇÃO

Este documento será utilizado para a execução de pistas de controle na construção de pavimentos novos e para controle da qualidade de execução das obras de reabilitações de pavimentos através das medidas de deflexões recuperáveis com o uso da viga Benkelman.

Os resultados obtidos, além de servir os seus propósitos de avaliar a qualidade da construção, poderão auxiliar na calibração dos métodos teóricos e empíricos, para uso em projetos e no controle de qualidade de construção.

O instrumento de medida de deflexão deve ser o mesmo para as determinações dos trechos de controle e para toda a obra.

A relação de braços da Viga Benkelman deve ser de 2:1.

O ensaio com viga deverá seguir o método de ensaio do DNER ME 24-94, tomando-se extremo cuidado na calibração da viga Benkelman e do extensômetro utilizado.

2. DEFINIÇÕES DE TERMOS

Onde neste documento as seguintes abreviaturas foram utilizadas, o sentido e a intenção das mesmas deverão ser interpretadas como segue:

- a) D_{calc} = deflexão calculada para as diversas camadas do pavimento, através de métodos mecânicos.
- b) D_{cpc} = deflexão característica da pista de controle ($\bar{X} + S$), sendo:
 \bar{X} = média dos valores da pista de controle
 S = desvio padrão
- c) D_c = deflexão característica do segmento executado ($\bar{X} + S$), sendo:
 \bar{X} = média dos valores do segmento executado
 S = desvio padrão.
- d) D_p = deflexão característica do projeto
- e) D_{adm} = deflexão admissível, determinada no projeto ou calculada através do método DNER PRO - 269/94

3. PROCEDIMENTOS EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO (NOVA)

3.1. Objetivos das Pistas de Controle

Os objetivos principais de construir pistas de controle de obras rodoviárias são:

- a) Determinar a faixa de deflexões recuperáveis de cada uma das camadas do pavimento e do sub-leito executados conforme especificações.



- O objetivo de determinar uma faixa de deflexões recuperáveis para o segmento de controle é que esta (faixa) será utilizada para o controle de todo o trecho homogêneo ao qual o segmento de controle representa. Este item será desenvolvido neste documento.
- b) Determinar a adequação dos equipamentos postos na obra para a compactação de solos, materiais britados e materiais betuminosos.
 - c) Determinar a espessura máxima das camadas que podem ser compactadas satisfatoriamente de cada um dos materiais da obra em função dos equipamentos oferecidos pela empreiteira.
 - d) Escolher os tipos de ensaios na pista ou de laboratório realmente úteis a serem realizados durante a construção e descartar o uso de outros ensaios que são caracteristicamente inúteis, de uso muito restrito ou que apresentem grande variabilidade como, por exemplo, os ensaios de índices de consistência.

3.2 . Localização e Extensão da Pista de Controle

A pista de controle é um segmento da obra em curso, construído com um controle geotécnico e geométrico de acordo com as Especificações Gerais Para Obras Rodoviárias do DER/SC. O segmento deverá ser de aproximadamente 200 metros.

A localização de cada pista de controle pode estar definida em projeto, caso isso não ocorra, o Fiscal da obra, deverá defini-la. As pistas de controle serão construídas preferencialmente em aterro, e que represente cada segmento homogêneo da obra. Somente em situações especiais de subida de serras ou de topografia fortemente ondulada poderá ser escolhida outra situação.

Por segmento homogêneo entende-se uma fração do trecho que tenha o mesmo ISC (Índice de Suporte Califórnia) estatístico de sub-leito e apresente a mesma solução de pavimento, tanto no que diz respeito aos materiais quanto às espessuras das camadas do pavimento.

3.3 . Métodos Construtivos

Para cada segmento homogêneo, será construída uma pista de controle, conforme discriminação:

- a) Deverá ter uma extensão de aproximadamente de 200 metros, mesma espessura e idêntico material do segmento que representa.
- b) Deverá ser um segmento da obra e construído dentro das especificações exigidas.
- c) As camadas inferiores deverão ter sido aceitas pela Fiscalização.
- d) Pistas inaceitáveis devem ser corrigidas, removidas e refeitas às custas da Construtora.
- e) Os equipamentos para sua construção devem ser aprovados pela Fiscalização e serão do mesmo tipo que os usados nos segmentos representados pela Pista de Controle.
- f) Uma nova Pista de Controle deverá ser exigida pela Fiscalização sempre que constatada alteração de material da camada.



- g) Esta pista também deverá ser utilizada para determinação da máxima densidade aparente seca da camada de brita graduada (conforme item IG-18-a das Especificações Gerais Para Obras Rodoviárias do DER/SC).

3.4. Ensaios no Laboratório e na Pista

a) No laboratório:

Devem ser realizado no mínimo 5(cinco) ensaios de ISC, Expansão, Compactação em amostras coletadas na pista de controle, espaçadas de no máximo 40 metros. Todos os ensaios deverão ser realizados de conformidade com as Especificações Gerais para Obras Rodoviárias do DER/SC.

b) Ensaios na pista de controle

Deve ser obedecido as Especificações Gerais para Obras Rodoviárias com as seguintes observações:

- b.1) Nas camadas finais de terraplanagem (três últimas camadas) deverá ser realizado a cada 20 metros um ensaio para determinação da massa específica aparente seca e de umidade, verificando que a mesma garanta um ISC mínimo igual ao obtido no ensaio do método DNER – ME 49/94.
- b.2) Proceder-se-á a determinação das deflexões recuperáveis com viga Benkelman, a cada 20 metros, na posição correspondente à trilha de roda externa, em cada uma das faixas de tráfego para todas as camadas do pavimento.
- b.3) Nas medidas de deflexão que apresentem valores bastante diferenciados, deve-se reavaliar o ponto medido e no mínimo mais 2 pontos afastados aproximadamente 2 metros antes e depois do ponto de referência, recalculando através da média das medidas destes 3 pontos.

3.5. Critérios Para Determinação Da Medida Da Deflexão

Nas camadas de: regularização do sub-leito, reforço e sub-base (macadame seco) deverão ser determinadas as deflexões imediatamente após a aceitação referente aos controles geotécnico e geométrico.

As medidas de deflexão nas camadas granulares tais como britas graduadas ou seixos britados serão medidas imediatamente após a aceitação dos controles geotécnico e geométrico (antes da imprimação) e após um período de aproximadamente 8 dias (após imprimação) para verificação de sua evolução.

As medidas de deflexão nas camadas asfálticas deverão ser efetuadas imediatamente após a execução e em torno de 8, 30, 90 e 180 dias e anotar em ficha as condições climáticas no período de 4 dias anterior a determinação das medidas de deflexão.

A referência das medidas de deflexão serão sempre obtidas na pista de controle em condições de tempo sem chuva e imediatamente após a aceitação das camadas do pavimento, conforme quadro a seguir:



DISCRIMINAÇÃO	IMEDIATAMENTE APÓS A EXECUÇÃO	24 HORAS	8 DIAS	30 DIAS	60 DIAS	90 DIAS	180 DIAS
REGULARIZAÇÃO	X						
SUB-BASE	X						
BASE	X		X				
CAPA		X	X	X	X	X	X

OBS: A verificação das medidas de deflexão após 30 dias, serão para estudos e acompanhamento de sua evolução.

Durante a medida de deflexões devem ser obtidas medidas que possibilitem o cálculo do Raio de Curvatura.

Os raios de curvaturas serão determinados com o espaçamento de 200 m, fazendo-se uma leitura adicional, deslocando o eixo das rodas duplas do caminhão à frente do ponto de prova do pavimento.

3.6. Aceitação dos Valores Deflectométricos na Pista de Controle

Nas medidas de deflexão que apresentem valores bastante diferenciados, deve-se reavaliar o ponto medido e no mínimo mais 2 pontos afastados aproximadamente 2 metros antes e depois do ponto de referência, recalculando através da média das medidas destes 3 pontos. Constatado o valor da deflexão (média pontual) superior a 20% da deflexão característica (D_{cpc}), deverá a região da camada do pavimento ser recompactada ou substituída.

Quando não aceita a pista de controle ou alguns pontos individuais na camada de regularização deverá ser refeito os seguintes ensaios (ISC, Grau de Compactação, Expansão, Umidade, Espessura,), inclusive das 3(três) últimas camadas de terraplanagem, para comprovação dos valores estabelecidos em projeto ou laboratório.

Poderá ser aceita as medidas de deflexões das camadas do pavimento da pista de controle nas seguintes condições:

a) $D_{cpc} \leq 1,2 D_{calc}$

b) Nenhum ponto individual a medida da deflexão apresente valor superior a 20% da D_{cpc} .

Quando não atendido as condições de aceitação, para qualquer camada do pavimento, deverá ser efetuada nova pista de controle para obtenção dos valores da deflexão máxima de aceitação.

Havendo variação nas condições climáticas em relação ao executado na pista de controle, deverá ser obtido novas medidas de deflexão para estudos e posterior correlações.



3.7. Aceitação dos Valores Deflectométricos do Segmento em Execução

As medidas de deflexão deverão ser efetuadas após a aceitação dos serviços referente aos controles geotécnico e geométrico.

Nas medidas de deflexão que apresentem valores bastante diferenciados, deve-se reavaliar o ponto medido e no mínimo mais 2 pontos afastados aproximadamente 2 metros antes e depois do ponto de referência, recalculando através da média das medidas destes 3 pontos. Constatado o valor da deflexão (média pontual) superior a 20% da deflexão característica (D_c), deverá a região da camada do pavimento ser recompactada, substituída ou determinada a causa dos resultados não satisfatórios encontrados.

Quando não aceito o segmento em execução ou alguns pontos individuais na camada de regularização deverá ser refeito os seguintes ensaios: (ISC, Grau de Compactação, Expansão, Umidade, Espessura,), inclusive das 3 (três) últimas camadas de terraplanagem, para comprovação dos valores estabelecidos da pista de controle.

Poderá ser aceita as camadas do pavimento da pista de execução nas seguintes condições:

a) $D_c \leq 1,1 D_{cpc}$

b) Nenhum ponto individual a medida da deflexão apresente valor superior a 20% da D_{cpc}

Não atendido as condições de aceitação, de qualquer camada do pavimento, os serviços não serão objeto de medição, devendo ser efetuadas novas verificações, procurando determinar as causas dos resultados não satisfatórios encontrados até 30 dias após sua execução.

Também deverá ser verificado através do gráfico de redução percentual de deflexão da Norma Rodoviária DNER PRO-10/79 para verificar se a camada asfáltica efetivamente reduziu o esperado.

4. PROCEDIMENTOS EM OBRAS DE REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS

4.1. Introdução

Não será efetuada a pista de controle para obras de reabilitação do pavimento, tendo em vista que nos projetos estão definidos os segmentos homogêneos e a deflexão admissível (D_{adm}) na pista de rolamento.

Necessariamente deverá se realizada uma nova campanha de determinação de deflexões antes do início do recapeamento propriamente dito, com distanciamento de 20 metros em cada faixa de tráfego, alternadamente. Estes novos valores servirão de base para o controle da qualidade de execução dos serviços de reabilitação.



4.2. Critérios para Aceitação dos Valores das Medidas da Deflexão dos Segmentos Restaurados

As determinações das deflexões da camada de reforço deverão ser realizadas imediatamente após sua execução. Em alguns segmentos a serem definidos pela fiscalização, serão efetuadas medidas de deflexão após um período de 8, 30, 90 e 180 dias para verificação de sua evolução ao longo do tempo.

Poderá ser aceito o segmento executado desde que atenda as seguintes condições:

a) $D_c \leq 1,1 D_{adm}$

b) Nenhum ponto individual a medida da deflexão poderá ser superior a 20% da D_{adm} (projeto).

Nas medidas de deflexão que apresentem valores 20% superior a D_{adm} deve-se reavaliar o ponto medido e no mínimo mais 2 pontos afastados aproximadamente 2 metros antes e depois do ponto de referência, recalculando através da média das medidas destes 3 pontos. Constatado o valor da deflexão (média pontual) superior a 20% da deflexão característica (D_{adm}), o ponto não deverá ser aceito.

Não atendido as condições de aceitação, os serviços não serão objeto de medição, devendo ser efetuadas novas verificações, procurando determinar as causas dos resultados não satisfatórios encontrados até 30 dias após sua execução.

Também deverá ser verificado através do gráfico de redução percentual de deflexão da Norma Rodoviária DNER PRO-10/79 para verificar se a camada asfáltica efetivamente reduziu o esperado.

5. MODELO DE PLANILHA E GRÁFICO DE ANÁLISE DEFLECTOMÉTRICA

No sentido de proporcionar uma melhor análise dos dados, deverá ser apresentado o modelo de planilha e gráfico de análise deflectométrica, em anexo, para todas as camadas do pavimento.



II. MÁXIMA DENSIFICAÇÃO DA BRITA GRADUADA



II. MÁXIMA DENSIFICAÇÃO DA BRITA GRADUADA

1. OBJETIVO

Conforme determina as Especificações Gerais Para Obras Rodoviárias do DER/SC nas camadas de bases estabilizadas granulométricamente devem ser executadas com a máxima densificação.

A base de brita graduada, executada com a máxima densificação, melhora as condições de estabilização das camadas do pavimento, procurando-se evitar o surgimento de trincas ou de deformações plásticas excessivas.

Para evitar tais ocorrências recomenda-se que a brita graduada seja compactada em condições de Máxima Densificação, de maneira a reduzir a sua deformabilidade.

A condição de Máxima Densificação pode ser obtida em laboratório e em pistas de controle, estudando o seu comportamento submetido a variadas e crescentes energias de compactação.

Com o incremento de energia, obtém-se, até certo limite, um aumento da densidade máxima aparente, resultado do maior entrosamento dos grãos. No entanto as partículas sofrem maior degradação granulométrica, pelo atrito entre os grãos, o que pode prejudicar o seu desempenho.

2. DEFINIÇÃO

Máxima Densificação é a energia de compactação a partir da qual não se tem aumento da máxima densidade aparente seca máxima por ter-se conseguido atingir o máximo entrosamento dos grãos.

Índice de Degradação é o resultado do desgaste ocorrente na brita graduada quando submetida a esforço físico de compactação ocasionada pelo atrito entre os grãos.

O Índice de Degradação é obtido por comparação entre a curva granulométrica antes e após a compactação

3. ENSAIOS

Devem ser executados os seguintes ensaios:

Análise Granulométrica de Agregados (Método DNER-ME 83-94)

Compactação e ISC de Solos (Método DNER ME 129-94 e 49-94)

. EXECUÇÃO

4.1. Procedimento de Laboratório

4.1.1. Índice de degradação



Deverão ser executados os cálculos dos ensaios de análise granulométrica antes e posterior a compactação.

Em seguida calcular o Índice de Degradação, conforme formulário anexo.

Sendo para cada peneira, calcular a diferença D (% que passa na peneira após a compactação menos % que passa na peneira antes da compactação)

Calcular ID, que será igual a média aritmética das diferenças “D” em cada peneira:

$$ID = \frac{\sum D}{N} \times 100$$

Sendo N = número de peneiras empregadas, e ID expresso em porcentagem.

Adota-se energia que apresente um Índice de Degradação máxima de 6%.

4.1.2. Determinação da máxima densificação

Em laboratório deverá ser determinada a curva “Máxima Densidade Aparente Seca versus Energia de Compactação”, variando-se o número de golpes por camada a partir da energia de Ensaio DNER- ME 49/94 e 129/94 – Modificado, utilizando-se amostra não trabalhada.

Deverão ser executados tantos ensaios quantos necessários, escolhendo-se como Densidade Máxima aquela em que, para acréscimos de energia não há mais ganho sensível de densidade (a curva torna-se praticamente assintótica), sem afetar o material.

A partir da energia máxima de compactação, haverá queda na máxima densidade aparente seca.

O processo de desenvolvimento do ensaio deve ser repetido de forma a se obter amostra suficiente para moldagem de 5 cilindros para cada energia a ser aplicada (5 amostras num total de 25 cilindros).

O resultado procurado, ou seja, a energia de compactação a ser empregada de forma a se ter a Máxima Densificação sem degradação acentuada da brita graduada pode ser obtido efetuando-se:

- Resumo dos resultados obtidos nos ensaios de compactação, ISC e Índice de Degradação.
- Desenhos dos gráficos : máxima densidade aparente seca (M_{smax}) x umidade, umidade ótima x número de golpes, máxima densidade aparente seca x número de golpes, índice de degradação x número de golpes, conforme exemplo em anexo.
- **OBSERVAÇÃO: 1** – Quando utilizado o método acima, compactação com material passando na peneira $\frac{3}{4}$ “ e utilizando o processo de substituição, devemos proceder a correção da máxima densidade aparente seca através da seguinte fórmula:

$$MEI = \frac{100 \times Dr \times Msmax}{(Dr \times P) + (Msmax \times R)}$$

Sendo: Dr – densidade real da brita

Msmax – max. dens. ap. seca do ensaio

P - % passando peneira $\frac{3}{4}$ ”

R - % retida peneira $\frac{3}{4}$ ”

MEI – massa especifica integral



2 - Podemos também proceder o ensaio de compactação com amostra total, sem substituição, porém alguns cuidados devem ser tomados.

4.2. Procedimento na Pista

4.2.1 Determinação da máxima densificação

Determinação da máxima densidade aparente seca “In situ” (DNER – ME 92-94), para uso em materiais que apresentam fração retida na peneira de 19 mm (com modificações - item b):

- a) Nivelar-se a superfície da camada no local da determinação da massa específica aparente seca;
- b) Executa-se a escavação do material até atingir uma profundidade igual a espessura da camada. O orifício da bandeja utilizada juntamente com o frasco e o cone deverão atender o item IG-15.3 das Especificações Gerais Para Obras Rodoviárias do DER/SC;
- c) Retira-se o material escavado, colocando-o em recipiente fechado que evita a variação de umidade;
- d) Determina-se o volume do furo pelo método do frasco da areia;
- e) Determina-se a massa úmida do total de material retirado do furo;
- f) De todo o material retirado do furo e, por quarteamento, separa-se uma amostra parcial de, no mínimo, 500 gramas;
- g) Determina-se a massa úmida da amostra parcial (≥ 500 gramas);
- h) Seca-se a amostra parcial até constância de peso, determinando-se sua massa seca;
- i) Com a massa úmida (item g) e a massa seca (item h), determina-se o teor de umidade;
- j) Com o teor de umidade (item i) e a massa úmida do total de material retirado do furo (item e), calcula-se a massa seca do total de material retirado do furo;
- l) Conhecendo-se a massa seca do total de material retirado do furo (item j) e o volume do furo (item d), calcula-se a máxima densidade aparente seca “In situ” (M_s)

4.2.2. Determinação do grau de compactação

A densidade obtida na pista de controle, não deverá ser inferior a 98% da obtida em laboratório. O valor obtido ficando abaixo, deverá ser repetida a execução da Pista de Controle. O valor da densidade obtido na pista de controle considerada satisfatória, será o valor de referência na determinação do grau de compactação, conforme item IG-18.a das Especificações Gerais Para Obras Rodoviárias do DER/SC.

Na pista de controle deve ser procedido avaliação da densificação pelo número de passadas dos equipamentos de compactação, da seguinte maneira: determina-se o acréscimo de densidade através do número de passadas dos equipamentos de compactação, iniciando com 6 passadas executando-se o ensaio de máxima densidade aparente. Sendo que de



cada 2 passadas acrescidas determina-se uma nova máxima densidade aparente e assim sucessivamente até observar um decréscimo de densidade.

Lança-se num gráfico número de passadas versus máxima densidade aparente seca e define a máxima densidade aparente seca, conforme modelo em anexo.

Após execução da pista de controle deve-se proceder abertura de poços de sondagem, coletando as amostras e determinando o seu Índice de Degradação, para confirmação das condições estabelecidas em laboratório, fazendo-se ajustes na energia de compactação.

Determinação do grau de compactação (GC):

$$GC = \frac{M_s}{M_{smax}} \cdot 100 \quad (\%)$$

Onde:

M_s = máxima densidade aparente seca "In situ" (t/m^3)

M_{smax} = máxima densidade aparente seca obtida em laboratório (t/m^3)

OBSERVAÇÃO: Quanto a determinação da densidade in situ:

Devemos usar o mesmo procedimento adotado para o ensaio de compactação com relação a amostra substituída(1) ou amostra total (2):

Caso 1 – Amostra substituída – secar o material extraído do furo, proceder peneiramento na peneira $\frac{3}{4}$ " e determinar as porcentagens passando e retida na referida peneira.

Calcular a MEI - Massa específica integral do material da pista, conforme fórmula contida no item 4.1.2 – Determinação da máxima densificação.

Caso 2 – Amostra total aplicamos o mesmo procedimento que costumeiramente temos adotado.

Determinação do grau de compactação:

$$\text{Caso 1 : GC} = \frac{\text{MEI pista}}{\text{MEI laboratório}} \times 100 \quad (\%)$$

$$\text{Caso 2 : GC} = \frac{M_s}{M_{smax}} \times 100 \quad (\%)$$