

# CONTROLE DEFLECTOMÉTRICO NA EXECUÇÃO DE CAMADAS DE PAVIMENTO

César Augusto Rodrigues da Silva

## I. APRESENTAÇÃO

O processo, objeto deste trabalho, foi idealizado e implantado, em 1994, nas obras de duplicação da BR-381, pelo primeiro Coordenador da Comissão de Apoio Técnico a Obras Rodoviárias, Eng<sup>o</sup> Márcio Eustáquio de Oliveira, e auxiliado por técnicos da Diretoria de Construção e da Diretoria de Engenharia do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais – DER/MG.

Objetivou-se conjugar ferramentas auxiliares aos métodos convencionais de controle na construção de camadas de pavimento, além de se obter um padrão de homogeneidade do processo construtivo, na medida em que os serviços se desenvolviam.

Visualizou-se, ainda, a possibilidade de formação de um banco de dados de parâmetros efetivos de desempenho elástico, os quais seriam utilizados como referência em futuras obras.

Assim, a partir da entrega das obras à operação, o gestor possui, através dos relatórios finais, o retrato do comportamento elástico de toda a estrutura do pavimento, o que possibilita definir racionalmente o plano de monitoramento e manutenção da via, otimizando a aplicação dos recursos financeiros disponíveis.

## II. INTRODUÇÃO

O procedimento consiste no levantamento contínuo e sistemático das deflexões máximas reversíveis, bem como da linha de influência em pontos afastados do local de aplicação de carga, nas diversas camadas de pavimento, inclusive na superfície regularizada do subleito.

Neste trabalho, são apresentadas, ainda, as metodologias e situações relativas à utilização do equipamento, fazendo-se uma análise de problemas reais ocorridos nas obras de duplicação da Rodovia Fernão Dias - BR-381. Ao final, esses exemplos são ilustrados por gráficos e quadros estatísticos, representando os padrões de desempenho do pavimento.

## III. OBJETIVOS

As metas pretendidas na utilização deste processo, foram as seguintes:

- avaliar a homogeneidade do processo executivo durante a construção;
- criar banco de dados, onde estejam associadas as características físicas e mecânicas dos materiais, de forma a se estabelecer padrões de desempenho para futuras obras;
- registrar, através de um relatório final – “as-built” -, o comportamento elástico do pavimento, no início de sua vida útil, objetivando subsidiar o gestor da via no plano de manutenção preventiva, dando maior atenção àqueles segmentos ou áreas que apresentem maiores deflexões e que teoricamente tenham maiores probabilidades de trincar precocemente.

- estimar o número estrutural do pavimento para utilização em programas de gerência, à nível de rede.

#### **IV. CONCEITUAÇÃO**

Pode-se definir “deformação elástica” ou “deflexão reversível” como os deslocamentos verticais que surgem na superfície ou no interior da estrutura do pavimento, quando o mesmo é submetido a esforços de forma intermitente ou transitória. Cessado o esforço, o sistema retorna à posição anterior.

Define-se “bacia de deformação” como os assentamentos resultantes do efeito de uma carga aplicada no pavimento, que se dissipa à medida em que se afasta do seu ponto de aplicação.

É representado graficamente pelo deflectograma.

Define-se “análise da deformabilidade” como o tratamento dos dados para se obter os módulos elásticos de trabalho, tensões, deformações e deslocamentos resistivos, quando se submete a estrutura a carregamentos simulados, ou seja, procura retratar a capacidade estrutural do pavimento de resistir aos esforços induzidos pelas cargas de tráfego.

#### **V. METODOLOGIA**

Para obtenção dos valores das deflexões reversíveis e bacias de deformação, podem ser empregados vários processos, associados aos seguintes equipamentos:

- Viga Benkelman
- Deflectógrafo Lacroix
- Califórnia Travelling Deflectometer
- Dynaflect
- Road Rater
- Falling Weight Deflectometer

Este trabalho foi desenvolvido utilizando-se a viga Benkelman, cujos procedimentos são normalizados no Brasil pelos seguintes métodos:

- DNER-ME 024 - Determinação das deflexões pela viga Benkelman;
- DNER-ME 061 - Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da viga Benkelman;
- DNER-PRO 175 - Aferição da viga Benkelman.

#### **VI. EQUIPAMENTO**

Os equipamentos a serem utilizados no processo em questão, detalhados em anexo, são:

- viga Benkelman convencional, com relação de braço a/b: 2/1, 3/1 ou 4/1;
- viga Benkelman treliçada, com relação de braço a/b: 3/1 (normalmente);
- caminhão com 8,2 tf. de carga no eixo traseiro, igualmente distribuídos entre as duas rodas duplas, contendo pneus tipo 1000 x 20 ou 900 x 20, 12 lonas, com câmara, frisos na banda de rodagem e calibradas a 5,6 kg/cm<sup>2</sup> de pressão.
- régua de madeira de 1,50 m, graduada nas posições de 25 cm, 50 cm, 75 cm, 100 cm e 125 cm.

## **VII. MEDIÇÃO DAS DEFLEXÕES**

- As medidas de deflexões são realizadas em estações distanciadas ao longo do eixo de 20 metros, e alternadas em cada faixa de tráfego. A cada 200 metros realizam-se leituras intermediárias para delineamento da bacia de deformação.
- O posicionamento do caminhão obedecerá à tabela preconizada no item 5.2 do método DNER-ME-24-94, no que se refere à trilha de roda externa. Entretanto, a estação de ensaio será aquela sobre a trilha de rodas mais solicitada, em razão da super-elevação em curvas. Adotou-se, também, a realização de medições das deflexões, com o caminhão percorrendo a via sempre em rampa ascendente, de forma a considerar a concentração de cargas no eixo traseiro do veículo.
- Posiciona-se o ponto de prova da viga entre os pneus da roda dupla, tomando-se o cuidado de centrá-lo exatamente sob o eixo. Adota-se o sistema de referência, acoplado ao pára-choque traseiro do caminhão, cuja distância ao eixo é marcado na viga, garantindo assim a perfeita centralização (vide Anexo).
- Solta-se a trava da viga.
- Liga-se o vibrador e ajusta-se o pé traseiro da viga até que o extensômetro fique próximo do meio do curso.
- Faz-se a leitura inicial em centésimos de milímetros.
- Desloca-se o caminhão à frente por, pelo menos, 10 metros. Procede-se a leitura final em centésimos de milímetros.

## **VII. ANOTAÇÕES DE CAMPO**

Além das leituras, algumas observações devem ser anotadas para auxiliar a interpretação dos valores calculados, tais como:

- Posicionamento da estação (seção em corte / aterro, ou seção mista).
- Trilha de roda interna ou externa.
- Temperatura do pavimento (em caso de revestimento betuminoso).

Estas anotações deverão constar da ficha de campo.

## **VIII. CUIDADOS IMPORTANTES**

Um dos aspectos importantes que influenciam as leituras durante a avaliação deflectométrica é a temperatura da camada betuminosa e também a umidade das camadas granulares. Para uniformizar o processo, foram realizadas medidas logo após a execução das camadas granulares. Para as camadas betuminosas, foi possível ajustar as leituras em razão das variações de temperatura ao longo do ano.

É necessário adotar medidas, visando eliminar-se situações que criem distorções no levantamento com o deflectômetro. Assim, deve-se:

- verificar, pela manhã, a pressão dos pneus;
- ao lastrear o caminhão, fazê-lo com material seco e distribuí-lo em toda a área da caçamba ou carroceria. Cobri-lo permanentemente com lona;
- verificar semanalmente a carga no eixo traseiro;
- aferir a viga, no início das obras;
- atentar para que o cursor do extensômetro funcione livremente.

## **IX. ANÁLISE DE RESULTADOS**

O exame dos resultados encontrados é visto sob dois aspectos:

- O primeiro, refere-se à precisão do levantamento, onde podem ocorrer distorções em função do posicionamento inadequado da viga ao solo, leitura incorreta ou avaria no equipamento. Nestes casos, a repetição do processo ou troca do equipamento são suficientes para corrigi-las.

Variações nas leituras acontecem, devido à geometria do segmento em se tratando de rampas longitudinais, abaulamento transversal da plataforma, cortes e aterros. A presença de bueiros de greide, drenos sub-superficiais sob os pontos avaliados também podem contribuir para esta questão.

- O segundo, relaciona-se à natureza dos materiais, onde durante os processos de exploração, mistura, transporte, distribuição e confecção, há alterações em suas características.

Excessos de umidade, má compactação ou a presença de solos saturados nas camadas subjacentes, induzem deflexões elevadas na medida em que reduzem a sua capacidade de suporte.

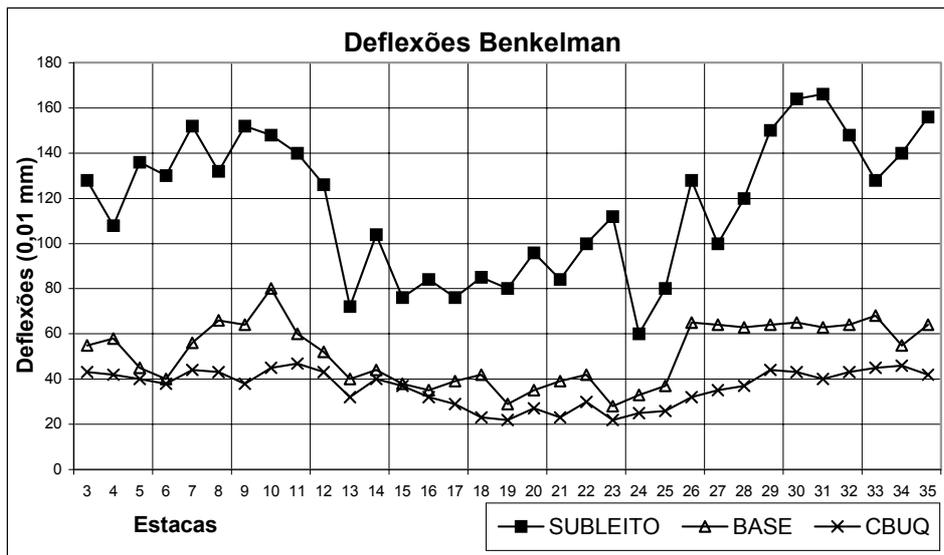
Para a tomada de decisão para verificar a aceitação ou rejeição dos serviços, são necessárias amostragens no campo e ensaios laboratoriais para que se possa confirmar as anomalias e seu grau de severidade.

São exemplificados abaixo algumas situações que aconteceram durante as obras de duplicação da Rodovia BR-381.

### **1. Exemplo 1**

O segmento entre as estacas 13 e 25 do Lote 3 apresentou significativa redução das deflexões, tomadas sobre a camada regularizada do subleito. Esse decréscimo era esperado, devido à presença de corte em rocha. Nota-se no gráfico a seguir, a redução das deflexões nas camadas de brita graduada e de rolamento.

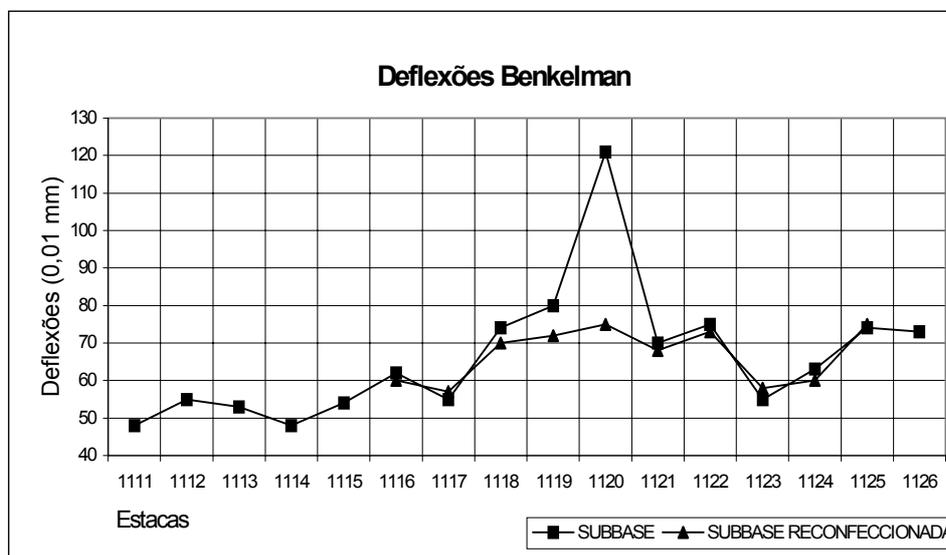
#### **Gráfico 9.1**



## 2. Exemplo 2

No perfil abaixo, observa-se deflexão da ordem de 120 centésimos de milímetros na camada de sub-base na estaca 1120, do lote 3, de cascalho (classif. TRB.,A-2-4). Foi constatada a segregação do material graúdo, por conseqüente falta de compactação. Após a reconfeção da camada, realizou-se nova campanha deflectométrica e verificou-se a redução da deflexão aos níveis normais.

**Gráfico 9.2**

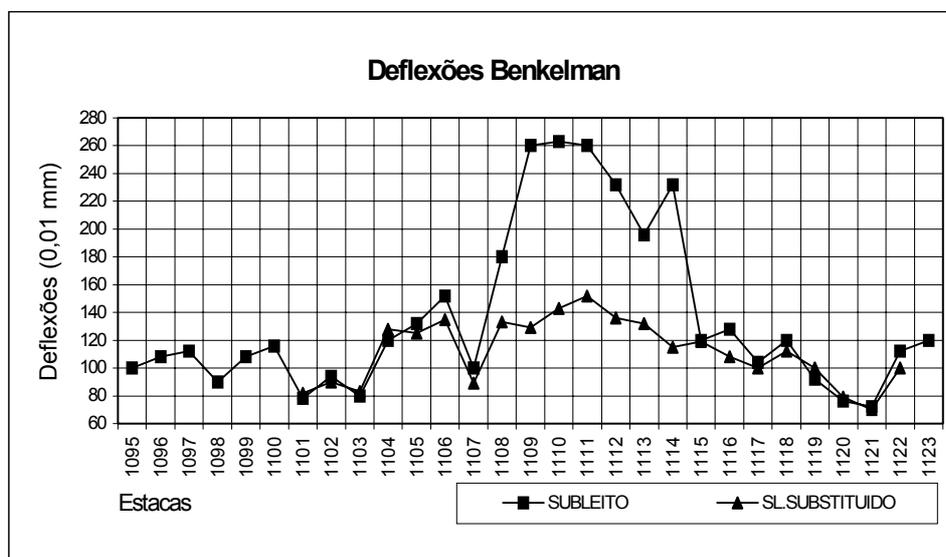


## 3. Exemplo 3

O corte entre as estacas 1108 e 1114 do Lote 5 apresentou, ao nível da cota final de terraplenagem, um silte areno-argiloso com características que atendiam às especificações de materiais para camada final e cuja superfície mostrou deflexões elevadas (261 centésimos de milímetros). Os segmentos anterior e posterior eram aterros que foram submetidos a argilamento nos 60 cm finais e apresentavam deflexões médias de 102 centésimos de milímetros.

Como forma de manter a homogeneidade de toda a camada, optou-se pelo rebaixamento e substituição deste material, observando-se então redução dos níveis deflectométricos, conforme gráfico abaixo:

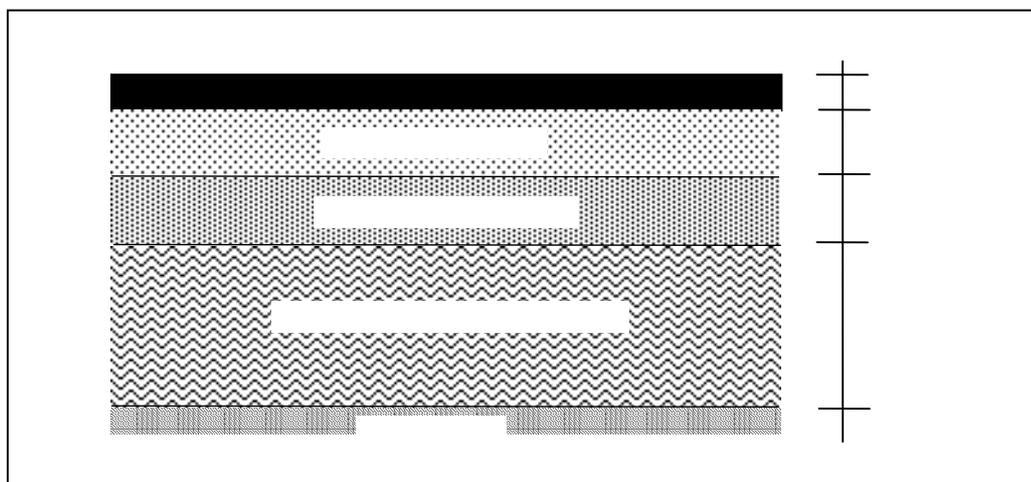
**Gráfico 9.3**



## X. ESTRUTURA DO PAVIMENTO NOVO DA 1ª ETAPA DE OBRAS

Os padrões foram estabelecidos a partir das deflexões obtidas, sobre as seguintes estruturas.

**Desenho 10.1**



### 1. Materiais e características constituintes

#### 1.1 Revestimento Betuminoso

Concreto Betuminoso Usinado a quente - Faixa C DER/MG

Agregado Gnaisse – CAP 20

Estabilidade Marshall mínima: 600kg % Vazios: 4%

**1.2 Base Estabilizada Granulométricamente – Faixa C DNER - TRB:**  
A.1.a/A.2.4

Solos Naturais      Minério de Ferro

Brita Graduada tratada com argila.

CBR% 90% IP 6% Ø máx.: 1 pol.

**1.3 Sub-base Estabilizada Granulométricamente – TRB: - A.1.b/A.2.4**

Solos Naturais      Cascalhos Areno-argilosos

Camadas de pavimento recicladas

CBR%  $\geq$  40%      IG = 0

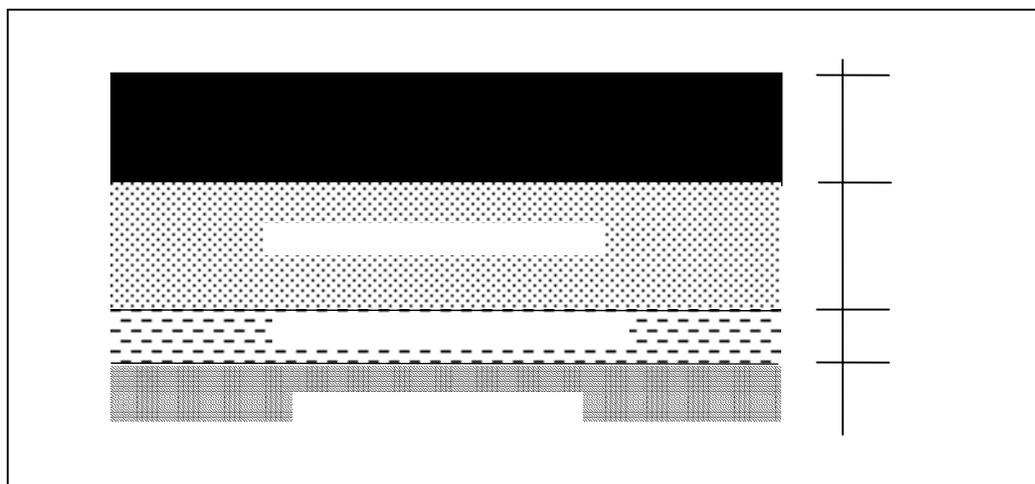
**1.4 Camada Argilosa - Reforço do Subleito – TRB: - A.2.7/A.6/A.7**

Solos de graduação média a fina

CBR%  $\geq$  8% - Expansão < 1%

**XI. ESTRUTURA DO PAVIMENTO RESTAURADO DA 1ª ETAPA DE OBRAS**

Desenho 11.1



**1. Materiais e características constituintes**

**1.1 Camada de Rolamento**

Concreto Betuminoso Usinado a quente - Faixa C DER/MG

Agregado Gnaisse – CAP 20

Estabilidade Marshall mínima: 600kg      % Vazios: 4%

**1.2 Camada Intermediária - Binder**

Pre-misturado a quente - Faixa D – DNER ES P 106/80

Agregado Gnaisse – CAP 20

Estabilidade Marshall mínima: 250kg % Vazios: > 20%

Ø máx.: = 1 1/2"

### 1.3 Camada de Selagem

Concreto Betuminoso Usinado a quente - Faixa D – DNER

Agregado Gnaisse – CAP 20

Estabilidade Marshall máxima 600kg % Vazios: = 6%

Ø máx.: = 3/8"

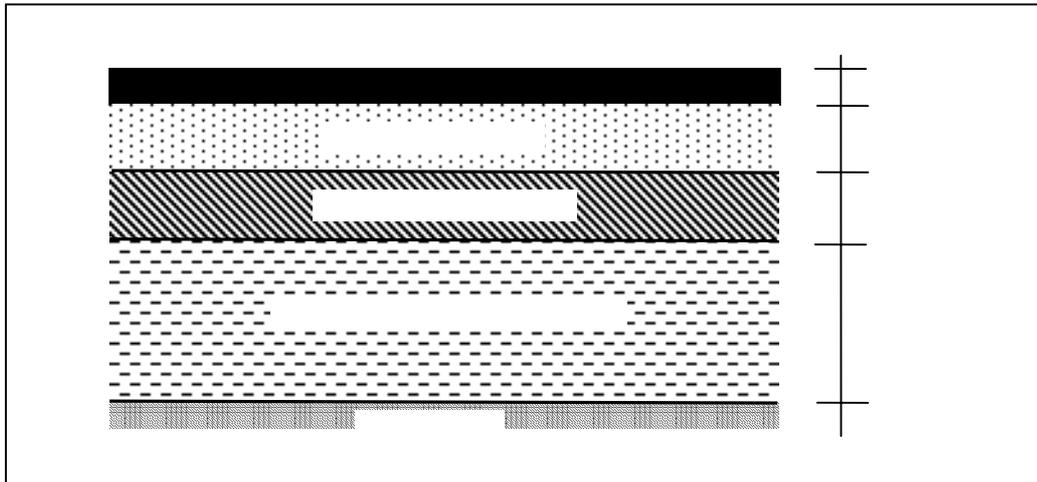
## XII. PARÂMETROS DE DESEMPENHO OBTIDOS 1ª ETAPA DE OBRAS

Tabela 12.1

VALORES EFETIVOS DE DEFLEXÕES (0,01 mm)				
Rodovia BR 381 – Km 420 – Km 637 - 1ª Etapa				
SERVIÇOS	Valores Médios	Desvio Padrão	Coef. Var. (%)	Faixas (Min/Max)
Sub-leito Regularizado	115	28,5	25	86 – 144
Sub-base Estab. Granul. (min. de ferro)	58	15,2	26	43 – 73
Sub-base Estab. Granul. (cascalho arg)	73	23,2	32	50 – 96
Sub-base Reciclada	65	15,4	24	50 – 80
Base Estab. Granul. (minério de ferro)	45	13,6	30	31 – 59
Base de Brita Graduada	54	14,8	27	39 – 69
PMQ faixa B – DNER (ES P – 106 / 80)	51	14,0	27	37 – 65
CBUQ faixa C DNER (ES P – 313 / 97)	38	8,7	23	29 – 47

### XIII. ESTRUTURA DO PAVIMENTO NOVO DA 2ª ETAPA DE OBRAS

Desenho 13.1



#### 1. Materiais e características constituintes:

##### 1.1 Revestimento Betuminoso

Concreto Betuminoso Usinado a quente - Faixa C DER/MG

Agregado Gnaisse – CAP 20

Estabilidade Marshall mínima: 600kg % Vazios: 4%

##### 1.2 Base Estabilizada Granulométricamente – Faixa C DNER

Brita Graduada.

CBR% 90% Ø máx.: 1 pol.

##### 1.3 Sub-base Estabilizada Granulométricamente

Brita Graduada Tratada com cimento.

Agregado Gnaisse

Teor de cimento ~ 3%

Resistência à compressão. Simples: 45 kg/cm<sup>2</sup> aos 7 dias.

##### 1.4 Camada Argilosa - Reforço do Subleito – TRB: - A.2.7/A.6/A.7

Solos de graduação média a fina

CBR% >= 8% - Expansão < 1%

## XIV. PARÂMETROS DE DESEMPENHO OBTIDOS 2ª ETAPA DE OBRAS

Tabela 14.1

VALORES EFETIVOS DE DEFLEXÕES (0,01 mm)				
Rodovia BR 381 – Km 637 – Km 893 - 2ª Etapa				
SERVIÇOS	Valores Médios	Desvio Padrão	Coef. Var. (%)	Faixas (Min.-Max.)
Subleito Regularizado	116	20,6	18	98 – 137
Subbase (Brita Grad. Trat. c/ cimento)	32	10,1	32	22 – 42
Subbase Reciclada (Trat. c/ cimento)	39,4	17,9	45,4	21 – 57
Base de Brita Graduada	41	10,9	27	30 – 52
CBUQ faixa C DNER (ES P-313 / 97)	35,8	6,3	18	30 – 42

## XV. PERFIL DEFLECTOMÉTRICO

Na análise do perfil deflectométrico das camadas executadas, pode-se verificar alguns segmentos, cujas deflexões da camada final situam-se acima das demais, embora dentro dos limites. O perfil permite detectar qual camada contribui para essas elevações, facilitando a tomada de medidas corretivas e qual ou quais segmentos devem ser monitorados, de forma a manter a estrutura e a funcionalidade em boas condições de serviços.

## XVI. CONCLUSÃO

Houve por parte das empresas executoras uma unanimidade na aprovação do equipamento, quanto à utilização em controles executivos. Salientaram a sua importância na prevenção de continuidade do serviço, sem que a camada existente esteja apta para receber a próxima, o que muitas vezes os controles normais de qualidade não detectam.

Para o órgão gestor, após seis anos de coleta de dados, a técnica possibilitou a inclusão dos parâmetros elásticos no projeto de construção e restauração da terceira etapa de obras da BR 381. Confirmou também a necessidade de se incorporar continuamente novas ferramentas de controle de qualidade aos serviços.

Possibilitou também a elaboração da Especificação Técnica RT nº 02-28, que estabelece o processo de “Controle Deflectométrico na Execução Camadas de Pavimento Através da Viga Benkelman”, do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais – DER/MG, já utilizada em outras obras do Estado.

Este Trabalho foi apresentado nos seguintes congressos:

III Encontro Nacional de Conservação Rodoviária – Abril/98 – Belo Horizonte – MG

XXX Reunion Del Asfalto – Nov/98– Mar del Plata – Argentina

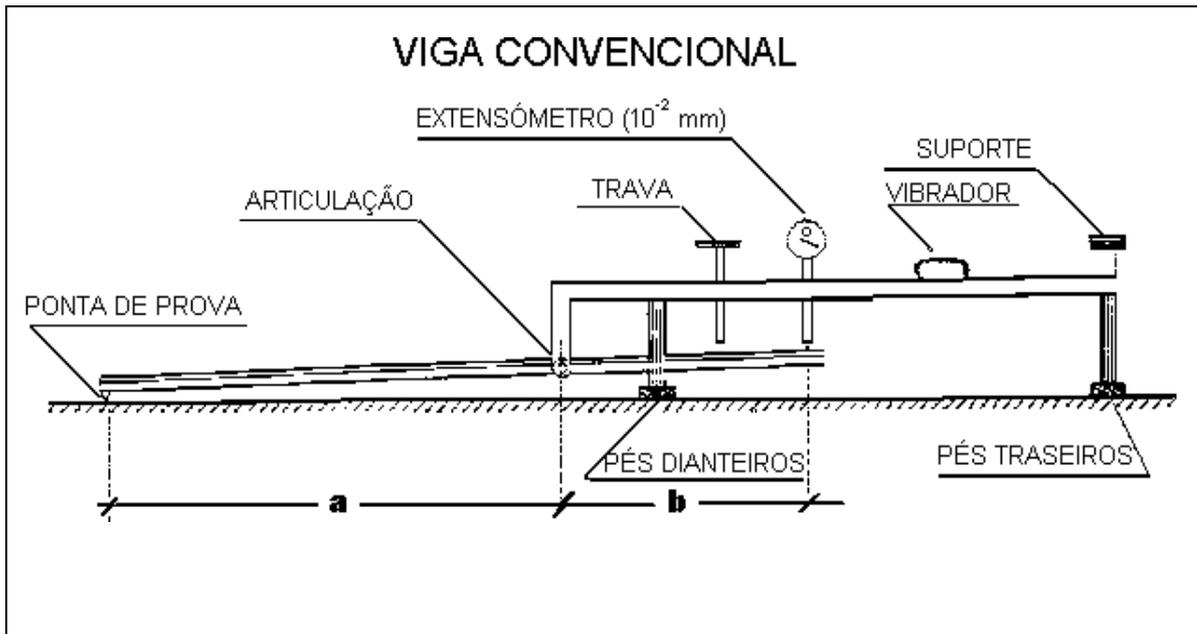
3º Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projetos de Reforço – Nov/99 – Belém - Para

Semana de Engenharia – UFOP - Universidade Federal de Ouro Preto – 2001

## **XVII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

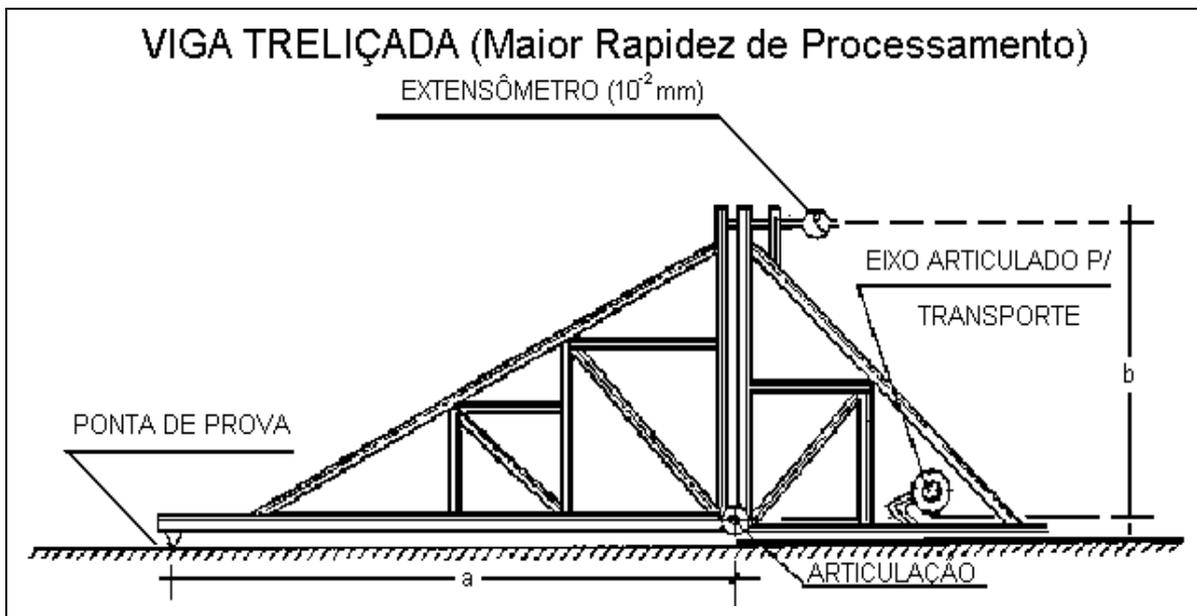
- a) ALBERNAZ, C. A. V. “Método Simplificado de Retroanálise de Módulos de Resiliência de Pavimentos Flexíveis a partir da Bacia de Deflexão”, Dissertação para obtenção do título de Mestre, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1997.
- b) DNER, “Especificações Gerais de Obras Rodoviárias”, Rio de Janeiro, 1997.
- c) DNER, “Manual de Pavimentação”, Rio de Janeiro, 1996.
- d) NEVES, M. A. “Avaliação Funcional e Estrutural de Pavimentos Flexíveis”, Apostila do Curso de Pós-graduação em Pavimentação – FUMEC / SEXPOG – Belo Horizonte, 1997.
- e) OLIVEIRA, Márcio Eustáquio – Eng.º. Civil - Consultor em Geotecnia e Pavimentos

## Esquema da Viga Benkelman



**a** = DISTÂNCIA ENTRE A ARTICULAÇÃO E A PONTA DE PROVA  $\geq 244$  cm

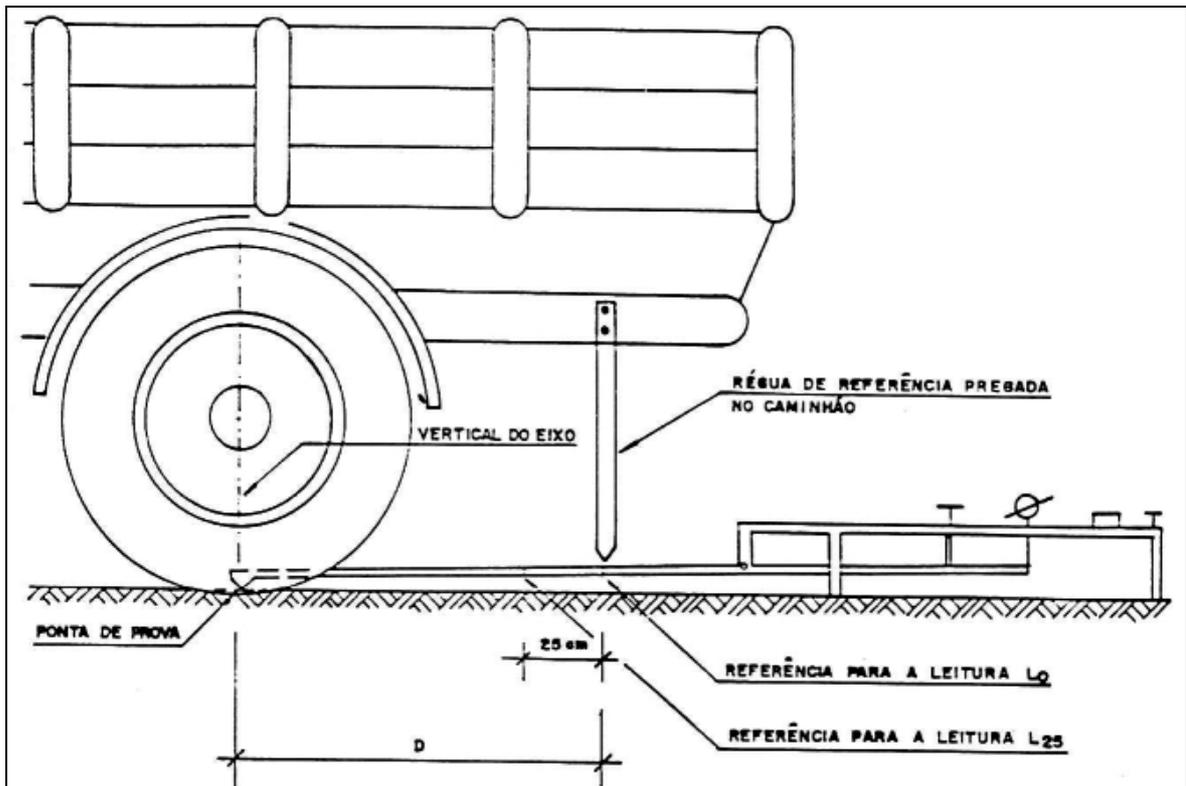
**b** = DISTÂNCIA ENTRE O EXTENSÔMETRO E A ARTICULAÇÃO



**a** = DISTÂNCIA ENTRE A ARTICULAÇÃO E A PONTA DE PROVA  $\geq 244$  cm

**b** = DISTÂNCIA ENTRE O EXTENSÔMETRO E A ARTICULAÇÃO





**D** – Distância marcada sobre o braço maior da viga Benkelman de forma que, ao se fazer coincidir a referência para a leitura  $L_0$  com a ponta da régua de referência, a ponta de prova estará colocada na vertical do eixo do caminhão.

