

MT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM**Aferição de viga Benkelman**

Norma rodoviária

Procedimento

DNER-PRO 175/94
p. 01/11**RESUMO**

Este documento, que é uma norma técnica, fixa as condições para aceitação e rejeição de uma dada viga Benkelman antes de cada campanha de medições, assim como o valor da constante a ser adotado para o cálculo das deflexões, após a aceitação mencionada.

ABSTRACT

This document presents the procedure for the acceptance of a Benkelman beam equipment before operation and also prescribes the constant value of the beam to be adopted for deflection calculation, in case that it is accepted.

SUMÁRIO

- 0 Apresentação
- 1 Objetivo
- 2 Referências
- 3 Definições
- 4 Equipamento
- 5 Procedimento
- 6 Condições impostas
- 7 Cálculos
- 8 Aceitação e rejeição
- 9 Constante para cálculo das deformações

Anexo informativo

Anexo normativo

Macrodescriptores MT: norma, instrumento de medida**Microdescriptores DNER:** documentação, metrologia, viga Benkelman**Palavras-chave IRRD/IPR:** normalização (9075), calibragem, regulação (6171), viga Benkelman (6105)**Descritores SINORTEC:** normas, deformação, pavimentos flexíveis

Aprovada pelo Conselho de Administração em 25/06/86

Resolução nº 1189/86 , Sessão nº CA/ 23/86

Processo nº 20100004360/86-2

Autor : DNER/DrDTc (IPR)

Adaptação da DNER-PRO 175/86 à DNER-PRO 101/93,
aprovada pela DrDTc em 05/04/94.

0 APRESENTAÇÃO

Esta Norma decorreu da necessidade de se adaptar, quanto à forma, a DNER-PRO 175/86 à DNER-PRO 101/93, mantendo-se inalterável o seu conteúdo técnico.

1 OBJETIVO

Esta Norma fixa as condições exigíveis na aferição de viga Benkelman.

2 REFERÊNCIAS

2.1 Norma complementar

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

DNER-ME 024/94, designada Pavimento - determinação das deflexões pela viga Benkelman.

2.2 Referências bibliográficas

No preparo desta Norma foram consultados os seguintes documentos:

- a) DNER-PRO 175/86, designada Aferição de viga Benkelman;
- b) Pinto, Salomão. Critério para aferição de viga Benkelman. Rio de Janeiro: DNER/IPR, 1980.

3 DEFINIÇÕES

Para os fins desta Norma são adotadas as seguintes definições:

3.1 Viga Benkelman

Equipamento idealizado pelo Eng^o A.C. Benkelman, posteriormente modificado e descrito no DNER-ME 024/94 (ver item 2.1) e representado no Anexo - Figura 1, apresentando a relação entre os braços $a/b = 2/1$ ou $3/1$ ou $4/1$.

3.2 Aferição

Operação para verificar se uma dada viga Benkelman está em condições de ser utilizada e para definir o valor da constante a ser usada para o cálculo das deflexões.

3.3 Campanha de medições

Série de medições de deformações reversíveis de pavimentos realizada em continuidade.

3.4 Contratempo com a viga Benkelman

Qualquer ocorrência que possa ter afetado o perfeito funcionamento da viga Benkelman (queda, choque, etc).

4 EQUIPAMENTO

Para realização de aferição devem ser utilizados:

- a) uma prensa para determinação do ISC (Anexo - Figura 2) ou similar, composta de:
 - quadro formado por base e travessa de ferro fundido e 4 (quatro) tirantes de aço;
 - macaco de engrenagem de operação manual por movimento giratório de uma manivela, com duas velocidades, acompanhado de um prato reforçador ajustável ao macaco, com 24 cm de diâmetro, para suportar a ponta de prova da viga;
- b) um extensômetro mecânico de sensibilidade mínima de 0,01 mm;
- c) conjunto para fixação do extensômetro no tirante de aço da prensa.

5 PROCEDIMENTO

Antes de cada campanha de medições (ver 3.3), e sempre após qualquer contratempo (ver 3.4), a viga Benkelman a ser utilizadas deve ser aferida. A aferição deve constituir em:

- a) posicionar a viga Benkelman em uma mesa de madeira ou similar (Anexo - Figura 2);
- b) liberar a trava da viga;
- c) apoiar a ponta de prova no centro do prato da prensa de modo a receber os movimentos verticais do conjunto de articulação;
- d) ligar o vibrador;
- e) fixar o extensômetro no tirante de aço da prensa, de tal forma que sua ponta apalpadora toque no prato da prensa e zerar o extensômetro;
- f) ajustar e zerar o extensômetro da viga;
- g) acionar a manivela da prensa com o dispositivo micrométrico a uma velocidade de aproximadamente 0,5 mm/min (carga) e fazer as leituras no extensômetro posicionado na prensa a cada 0,1 mm até 0,8 mm, e a cada 0,2 mm até 2,2 mm, num total de 15 leituras. Fazer as leituras correspondentes no extensômetro da viga;
- h) repetir essas operações (itens a até g) mais uma vez com o objetivo de caracterizar melhor a constante de aferição.

6 CONDIÇÕES IMPOSTAS

Para os fins desta Norma são admitidos os intervalos de confiança apresentados no Quadro.

Quadro - Intervalos de confiança em função da relação entre braços da viga.

Relação entre braços da viga (a/b)	Intervalo de confiança $\alpha_1 - \beta_1$
2:1	1,90 - 2,10
3:1	2,85 - 3,15
4:1	3,80 - 4,20

7 CÁLCULOS

Devem ser objeto de cálculo:

- a) as relações entre as leituras lidas no extensômetro solidário à prensa (X_{pi}) e as correspondentes lidas no extensômetro da viga (X_{vi}), para as duas operações indicadas nos itens 5.g e 5.h, ou seja:

$$X_i = \frac{X_{pi}}{X_{vi}}$$

- b) a média aritmética da relação:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad N \geq 30$$

- c) o desvio padrão pela expressão:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

- d) o desvio padrão da média:

$$\sigma(\bar{X}) = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

- e) o erro de estimativa da média:

$$\epsilon_0 = 2,045 \cdot \sigma(\bar{X})$$

- f) os limites do intervalo de confiança da estimativa da média:

$$Li = \bar{X} - \epsilon_0$$

$$Ls = \bar{X} + \epsilon_0$$

8 ACEITAÇÃO E REJEIÇÃO

Face resultado da comparação dos intervalos de confiança calculados conforme Capítulo 7, com os definidos no Capítulo 6 resulta:

caso I: se $Li \geq \alpha_i$ e $Ls \leq \beta_i$

a viga é aceita

caso II: se $L_i < \alpha_i$ e $L_s > \beta_i$

a viga é rejeitada

caso III: se $L_i > \alpha_i$ e $L_s > \beta_i$ ou
 $L_i < \alpha_i$ e $L_s < \beta_i$ e

$$\epsilon_0 < \frac{\beta_i - \alpha_i}{2}$$

a viga é aceita

caso IV: se $L_i > \alpha_i$ e $L_s > \beta_i$ ou
 $L_i < \alpha_i$ e $L_s < \beta_i$ e

$$\epsilon_0 \geq \frac{\beta_i - \alpha_i}{2}$$

a viga é rejeitada

9 CONSTANTE PARA CÁLCULOS DE DEFLEXÕES

No caso da viga ser aceita (casos I e III) do Capítulo 8, a constante a ser adotada para cálculo das deflexões deve ser:

caso I: o valor médio do intervalo $(\alpha_i - \beta_i)$ ou seja,

$$\alpha_1 + \frac{(\beta_i - \alpha_i)}{2}$$

caso III: a média aritmética determinada conforme o item 7.b.

Anexo informativo - Exemplos de aplicação.

Os exemplos de ilustração que se seguem são apresentados com o objetivo de melhor ilustrar a metodologia de aceitação ou rejeição de vigas Benkelman.

Quadro 1 - Exemplo: viga "A" - 2:1

X_{pi} (0,01 mm)	X_{vi} (0,01 mm)		$X_i = \frac{X_{pi}}{X_{vi}}$	
	1ª Determ.	2ª Determ.	1ª Determ.	2ª Determ.
10	6	5	1,67	2,00
20	10	10	2,00	2,00
30	15	14	2,00	2,14
40	20	19	2,00	2,11
50	25	25	2,00	2,00
60	30	30	2,00	2,00
70	35	35	2,00	2,00
80	39	39	2,05	2,05
100	49	48	2,04	2,08
120	59	58	2,03	2,07
140	68	68	2,06	2,06
160	78	78	2,05	2,05
180	88	87	2,05	2,07
200	99	97	2,02	2,06
220	107	108	2,06	2,04

$$X_1 = 1,67; X_2 = 2,00; X_3 = 2,00; \dots; X_{29} = 2,06; X_{30} = 2,04$$

$$\bar{X} = 2,0253$$

$$\sigma = 0,0768$$

$$\sigma(\bar{X}) = 0,0140$$

$$E_0 = 2,045 \times 0,0140 = 0,03$$

$$Li = 2,03 - 0,03 = 2,00$$

$$Ls = 2,03 + 0,03 = 2,06$$

$$\left. \begin{array}{l} Li > 1,90 \\ Ls < 2,10 \end{array} \right\} \text{ caso 1}$$

A viga é aceita com a constante $K = 2,0$.

Quadro 2 - Exemplo: viga "B" - 4:1

X_{pi} (0,01 mm)	X_{vi} (0,01 mm)		$X_i = \frac{X_{pi}}{X_{vi}}$	
	1ª Determ.	2ª Determ.	1ª Determ.	2ª Determ.
10	2	3	5,00	3,33
20	5	5	4,00	4,00
30	8	7	3,75	4,29
40	9	10	4,44	4,00
50	13	12	3,85	4,17
60	16	15	3,75	4,00
70	18	17	3,89	4,12
80	21	20	3,81	4,00
100	26	25	3,85	4,00
120	30	31	4,00	3,87
140	36	35	3,89	4,00
160	40	40	4,00	4,00
180	45	44	4,00	4,09
200	50	50	4,00	4,00
220	55	55	4,00	4,00

$$\bar{X} = 4,0030$$

$$\sigma = 0,2641$$

$$\sigma(\bar{X}) = 0,0482$$

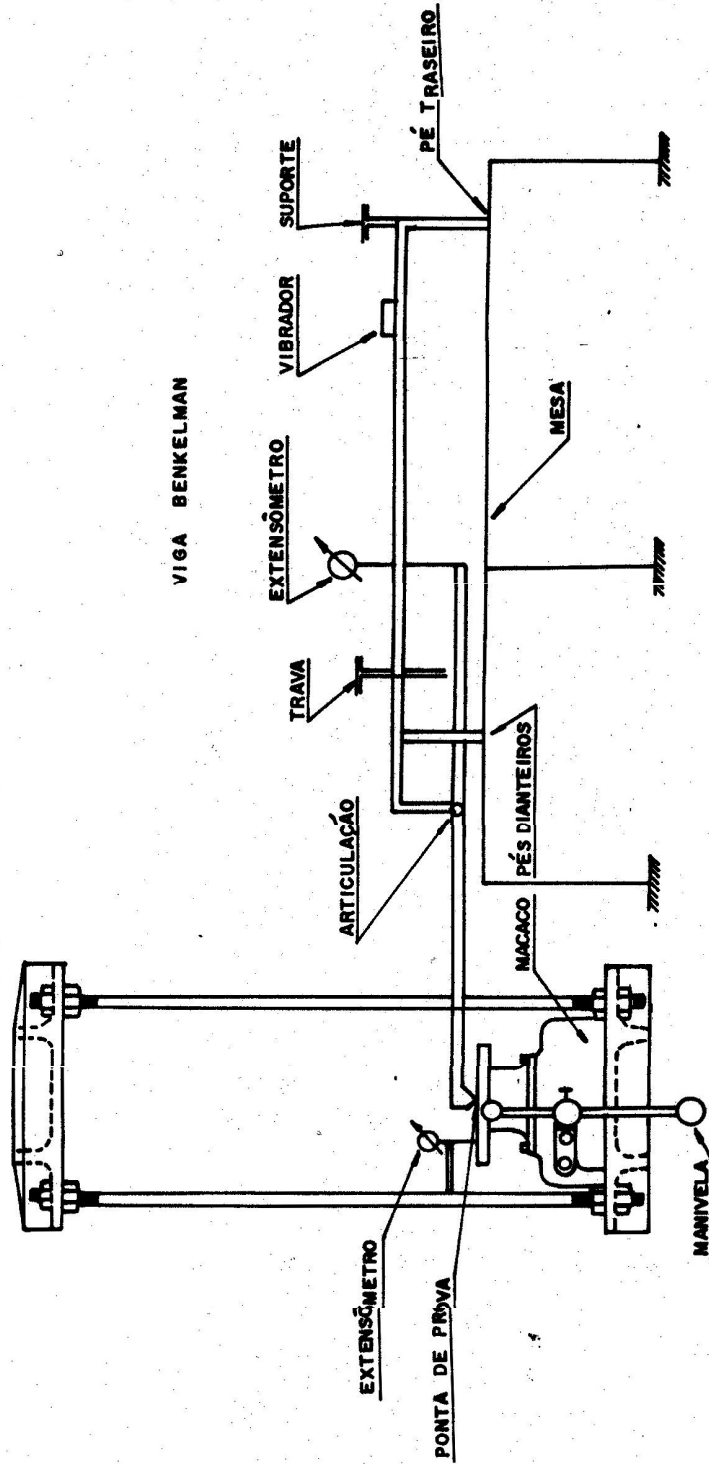
$$E_0 = 2,045 \times 0,0482 = 0,10$$

$$Li = 4,00 - 0,10 = 3,90$$

$$Ls = 4,00 + 0,10 = 4,10$$

$$\left. \begin{array}{l} Li > 3,80 \\ Ls < 4,20 \end{array} \right\} \text{ caso 1}$$

A viga é aceita com a constante $K = 4,0$



PRENSA PARA AFERIÇÃO

FIGURA 2

Quadro 3 - Exemplo: Viga "C" - 2:1

X_{pi} (0,01 mm)	X_{vi} (0,01 mm)		$X_i = \frac{X_{pi}}{X_{vi}}$	
	1ª Determ.	2ª Determ.	1ª Determ.	2ª Determ.
10	4	5	2,50	2,00
20	9	9	2,22	2,22
30	14	15	2,14	2,00
40	18	20	2,22	2,00
50	22	24	2,27	2,08
60	27	29	2,22	2,07
70	34	34	2,06	2,06
80	38	38	2,11	2,11
100	48	49	2,08	2,04
120	58	57	2,07	2,11
140	68	66	2,06	2,12
160	78	77	2,05	2,08
180	87	87	2,07	2,07
200	99	98	2,02	2,04
220	109	107	2,02	2,06

$\bar{X} = 2,1057$

$\sigma = 0,1040$

$\sigma(\bar{X}) = 0,0190$

$E_0 = 2,045 \times 0,0190 = 0,04$

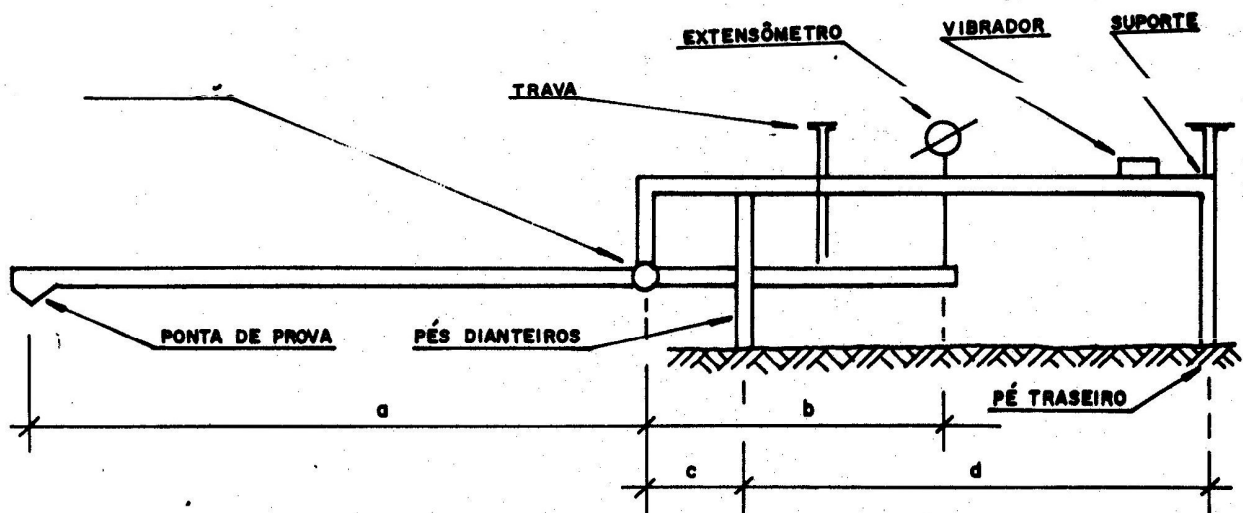
$Li = 4,11 - 0,04 = 2,07$

$Ls = 2,11 + 0,04 = 2,15$

} caso III

$Li > 1,90$ e $Ls > 2,10 \rightarrow$ verificar o valor de $E_0 \rightarrow E_0 < 0,10 \rightarrow$ caso III

Aceitar a viga e adotar como constante o valor da média aritmética $K = 2,11$



- Ⓐ - DISTÂNCIA ENTRE A ARTICULAÇÃO E A PONTA DE PROVA
- Ⓑ - DISTÂNCIA ENTRE O EXTENSÔMETRO E A ARTICULAÇÃO
- Ⓒ - DISTÂNCIA ENTRE A ARTICULAÇÃO E OS PÉS DIANTEIROS
- Ⓓ - DISTÂNCIA ENTRE OS PÉS DIANTEIROS E O PÉ TRASEIRO

NOTA : A DISTÂNCIA Ⓒ DEVE SER MAIOR OU IGUAL A 244 cm

FIGURA 1 - ESQUEMA DA VIGA BENKELMAN

Exemplo: - viga "D" - 2:1

A análise dos valores encontrados forneceu:

$$\bar{X} = 2,06 \quad \sigma = 0,307$$

$$\sigma(\bar{X}) = 0,056 \quad \epsilon_0 = 0,1145$$

$$Li = 1,95 \quad Ls = 2,17$$

Neste caso a viga é rejeitada (caso IV).

Esquemáticamente a análise pode ser resumida do seguinte modo:

- 1 - (Li - Ls) → aceitar → determinar K → caso I
- 2 - (Li) Ls → aceitar → determinar K → caso III
- 3 - Li (Ls) → aceitar → determinar K → caso III
- 4 - (Li) Ls → rejeitar → caso IV
- 5 - Li (Ls) → rejeitar → caso IV
- 6 - Li () Ls → rejeitar → caso II

/ Anexo