

9. DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS

9.1 MÉTODO DO DNER

AUTOR: Eng. Murillo Lopes de Souza

PRINCÍPIOS: Método empírico baseado em critério de resistência / ruptura por cisalhamento.

- Solos/Materiais: CBR (O.J. Porter)

IG (Steele)

- Tráfego: USACE (Turnbull, Foster, Ahlvin)

- Coeficientes de equivalência estrutural: ASSHTO

9.1.1 ETAPAS

9.1.1.1 CAPACIDADE DE SUPORTE DO SUBLEITO E MATERIAIS DO PAVIMENTO

IS = Índice de suporte

$$I_s = \frac{IS_{CBR} + IS_{IG}}{2}$$

$IS_{CBR} = CBR$

$IS_{IG} = f(IG) \rightarrow$ tabelado

$IS \leq IS_{CBR}$

IG	IS _{IG}
0	20
1	18
2	15
3	13
4	12
5	10
6	9
7	8
8	7
9 a 10	6
11 a 12	5
13 a 14	4
15 a 17	3
18 a 20	2

9.1.1.2 QUALIDADE DOS MATERIAIS

Recomendações:

(A) REFORÇO DE SUBLEITO

- $CBR_{REF} \geq CBR_{SL}$

$\therefore CBR_{SL} \geq 2\%$

- $e \leq 10\%$

(B) SUB-BASE

- $CBR \geq 20\%$

- $IG = 0$

- $E \leq 1,0\%$

(C) BASE

- $CBR \geq 80\% \rightarrow N > 5 \times 10^6$

- $CBR \geq 60\% \rightarrow N \leq 5 \times 10^6$

- $e \leq 0,5\%$

- $LL \leq 25\%$

- $IP \leq 6\%$

- $EA \geq 30\%$
- Material passante pela # nº 200 $< \frac{2}{3}$ do passante pela # nº 40
- $DLA \leq 50$

9.1.1.3 TRÁFEGO (Parâmetro de Tráfego)

Número N: Número equivalente de operações de eixo simples padrão durante o período de projeto ($8,2\text{tf} = 18.000 \text{ lbs} = 80\text{KN}$).

$$N = 365 \times P \times V_m \times FE \times FC \times FR$$

$$V_t = 365 \times P \times V_m$$

$\therefore P$ = vida útil (anos)

$$FV = FE \times FC = \text{Fator de veículos}$$

(I) V_m = volume diário médio de tráfego do ano médio de análise: $V_m = \frac{V_o + V_f}{2}$

- Crescimento linear: $V_m = \frac{V_o(2 + Pxt)}{2}$

- Crescimento exponencial: $V_t = 365xV_o + \frac{(1+1)^P - 1}{t}$

t: taxa de crescimento anual (%)

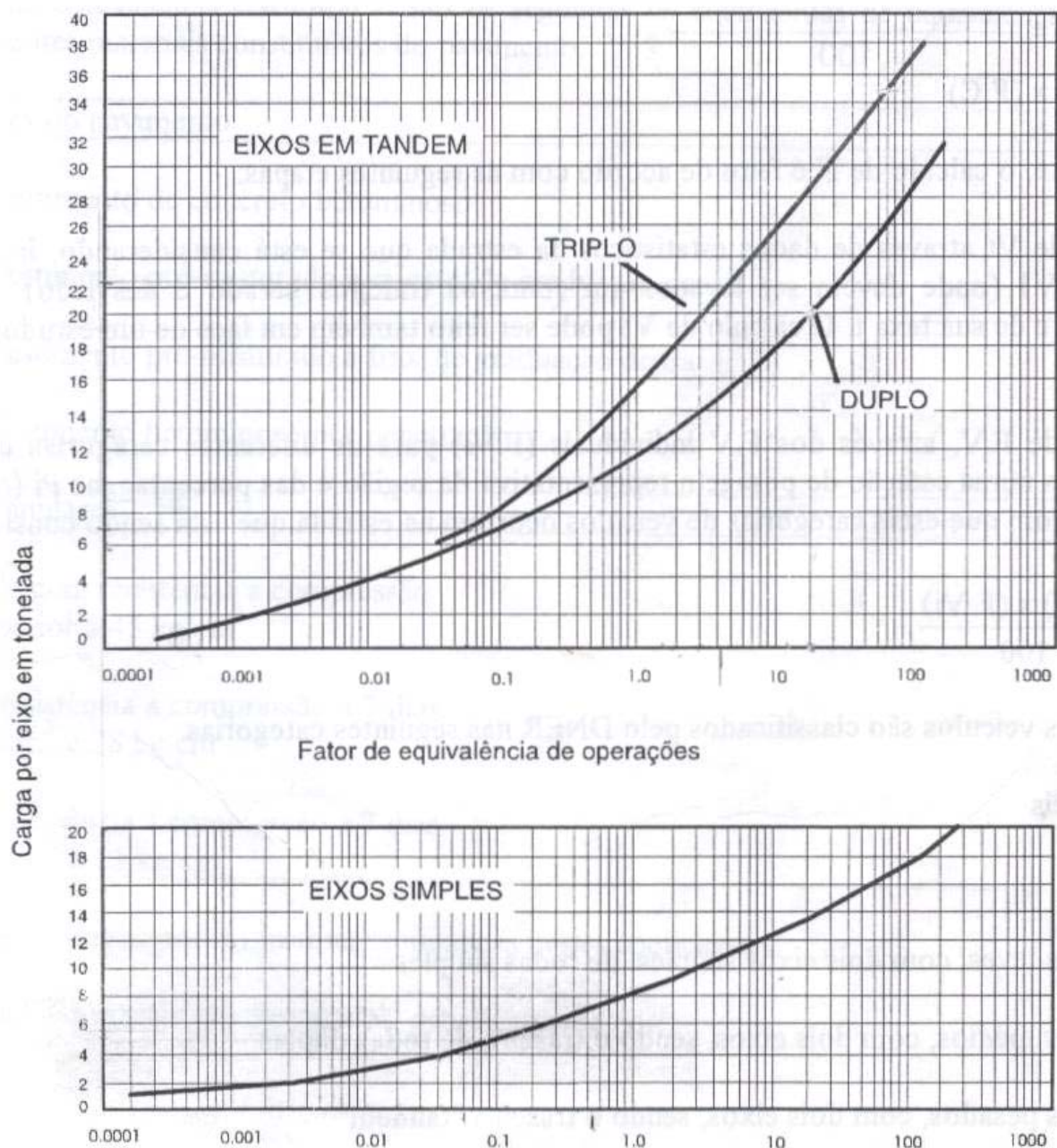
(II) FE = fator de eixos

Determinação de número de eixos correspondentes.

Composição (exemplo)	- 2 eixos $\rightarrow x\%$
	- 3 eixos $\rightarrow y\%$
	- 4 eixos $\rightarrow z\%$
	$FE = 2x + 3y + 4z$

(III) FC = fator de carga

- Determinação do número de eixos equivalentes ao eixo padrão.
- Cada carga (eixo simples, duplo ou triplo) tem um fator de equivalência (FEC) que refere-se ao dano provocado pelo eixo padrão ($8,2 \text{ tf}$) obtida em pistas experimentais. (Gráfico / Fórmulas)



Fatores de equivalência de operações – Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis do DNER

- Pista USACE: dano / falha considerada → afundamentos (mm)
- Pista AASHO: dano / falha considerada → perda de serventia (Δ PSI)

(IV) FR = fator climático regional

Brasil: $0,7 \leq FR < 1,8$

Ausência de informações → FR=1,0

- Sazonalidade (média ponderada anual)

EX: 3 meses → FR=2,0

2 meses → FR=1,5

7 meses → FR=0,7

$$FR = 2 \times \frac{3}{12} + 1,5 \times \frac{2}{12} + 0,7 \times \frac{7}{12}$$

$$FR = 1,16$$

9.1.1.4 COEFICIENTES DE EQUIVALENCIA ESTRUTURAL (K)

K = f(tipo de material e camada) → K_R, K_B, K_S, K_{REF}

K = baseado na Pista da AASHO

Componentes do Pavimento	Coeficiente K
Base ou revestimento do concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
Camadas granulares	0,77 a 1,00
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 Kg/cm ²	1,70
Idem, com resistência à compressão a 7 dias entre 45 Kg/cm ² e 28 Kg/cm ²	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7 dias entre 28 Kg/cm ² e 21 Kg/cm ²	1,20

RECOMENDAÇÃO DER/SP – Camadas Granulares (SB/REF)

(A) CBR_{REF} ou IS_{REF} > 3 CBR_{SL} ou IS_{SL} → K_{REF} = 1,0

CBR_{SB} ≥ 3 CBR_{REF} ou IS_{REF} → K_S = 1,0

CBR_{SB} ≥ 3 CBR_{SL} ou IS_{SL} → K_S=1,0

(B) CBR_{REF} ou IS_{REF} < 3 CBR_{SL} ou IS_{SL}

CBR_{SB} ≤ 3 CBR_{REF} ou IS_{REF}

CBR_{SB} ≤ 3 CBR_{SL} ou IS_{SL}

$$K_S = \sqrt[3]{\frac{CBR_{SB}}{3 \times CBR_{REF}}} \quad \text{ou} \quad K_S = \sqrt[3]{\frac{CBR_{SB}}{3 \times IS_{REF}}}$$

$$K_S = \sqrt[3]{\frac{CBR_{SB}}{3 \times CBR_{SL}}} \quad \text{ou} \quad K_S = \sqrt[3]{\frac{CBR_{SB}}{3 \times IS_{SL}}}$$

$$K_{REF} = \sqrt[3]{\frac{CBR_{REF}}{3 \times CBR_{SL}}} \quad \text{ou} \quad K_{REF} = \sqrt[3]{\frac{IS_{REF}}{3 \times IS_{SL}}}$$

9.1.1.5 ESPESSURAS DO REVESTIMENTO

$$R = f(N)$$

N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Conversão de concreto betuminoso para outros tipos de revestimentos → multiplicar por $2/K_R$.

EX: CBUQ = 5,0 cm

$$PMQ = 5,0 \times \frac{2}{1,7} = 5,88 \text{ cm} = 6,0 \text{ cm}$$

$$PMF = 5,0 \times \frac{2}{1,4} = 7,14 \text{ cm} = 7,2 \text{ cm}$$

9.1.1.6 DIMENSIONAMENTO

- Determinação de espessuras equivalentes de base granular ($K=1,0$)
- Brita padrão ou californiana (material de referência): $K=1,0$; $\text{CBR}=100\%$
- $e = f(\text{IS ou CBR}, N) \rightarrow \text{Gráfico/Equação}$
- Camadas granulares: $e_{\min} \geq 10,0 \text{ cm}$

(A) Determinação das espessuras e equivalentes de base granular.

$$\text{IS}_{\text{SL}} \text{ ou } \text{CBR}_{\text{SL}} \rightarrow H_m$$

$$\text{IS}_{\text{REF}} \text{ ou } \text{CBR}_{\text{REF}} \rightarrow H_n$$

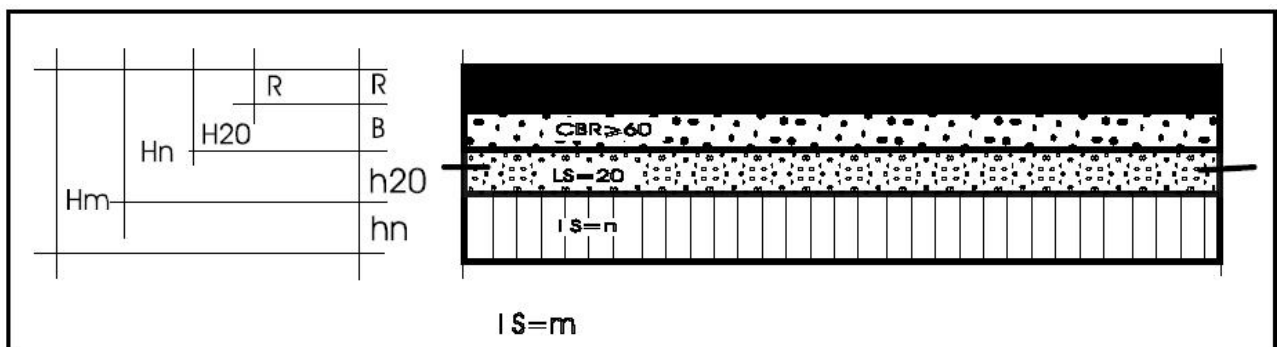
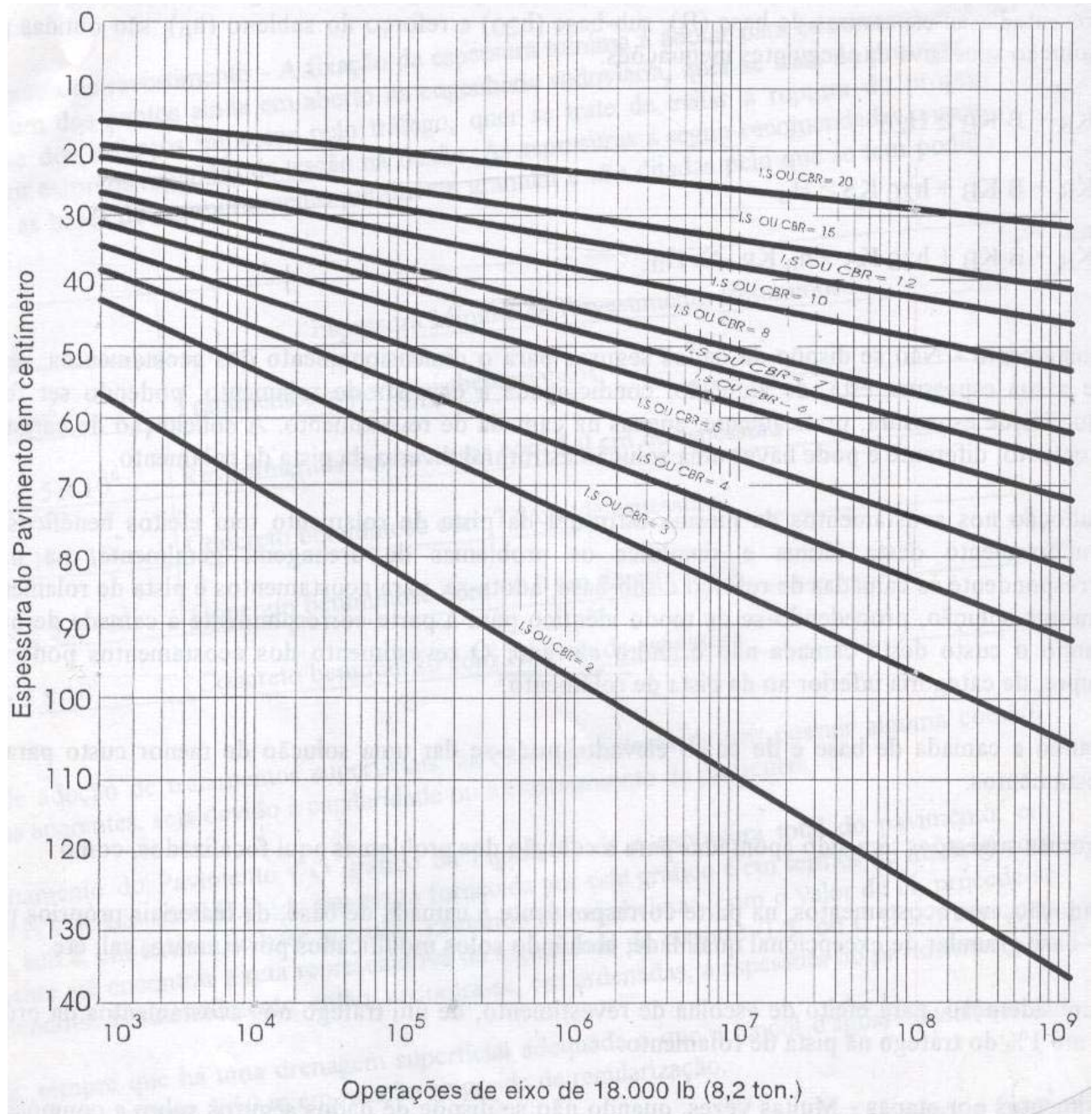
$$\text{CBR}_{20} \text{ (sub-base)} \rightarrow H_{20}$$

(B) Resolução de inequações

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20}$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S \geq H_n$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S + h_n \times K_{\text{REF}} \geq H_m$$



EX: Determinação número N

- VDM = 2000 veículos/dia
- $t = 6\%$ a.a
- 2 eixos = 80% das veículos
- 3 eixos = 20% dos veículos
- $P = 20$ anos

EIXO SIMPLES (ton)	PERCENTUAL (P _j)	F.E.C _j	(P _j) (FEC _j)
<5	68	-	-
5	10	0,1	1,0
7	4	0,5	2,0
9	6	2,0	12,0
11	5	6,0	30,0
13	4	15,0	60,0
15	1	40,0	40,0
EIXO TANDEM DUPLO (ton)			
20	2	20,0	40,0
	100		185

$$N = 365 \times V_m \times P \times FE \times FC \times FR$$

$$(1) V_m = \frac{V_0(2 + Pxt)}{2} = \frac{1000(2 + 20 \times 0,006)}{2} = 1.600 \text{ veículos/dia}$$

$$(2) FE = 2 \times 0,8 + 3 \times 0,2 = 2,2$$

$$(3) FC = \frac{\sum_{j=1}^n (P_j) \times (FEC_j)}{100} = \frac{185,0}{100} = 1,85$$

$$(4) FR = 1,0$$

$$(5) N = 365 \times 20 \times 1600 \times 2,2 \times 1,85 \times 1,0$$

$$N = 47.537.600$$

$$N = 4,75 \times 10^7$$