

PAVIMENTO FLEXÍVEL



Aula 02

Diferenças entre pavimentos

Rígidos

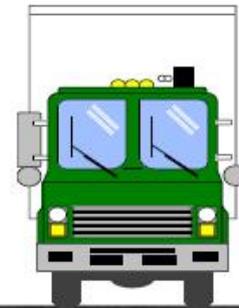


Base e Revestimento

Sub-base

Subleito

Flexíveis



Revestimento

Base

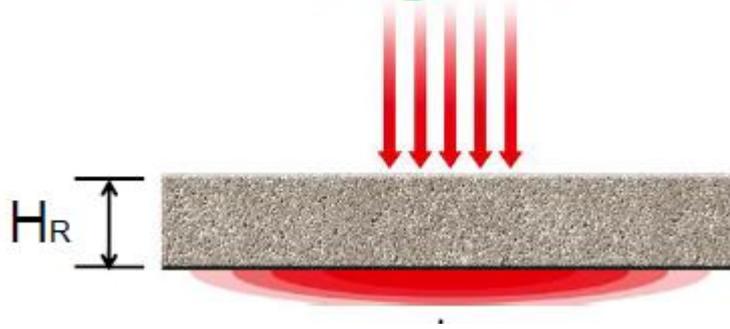
Sub-base

Reforço do subleito

Subleito

Comparação de distribuição de cargas

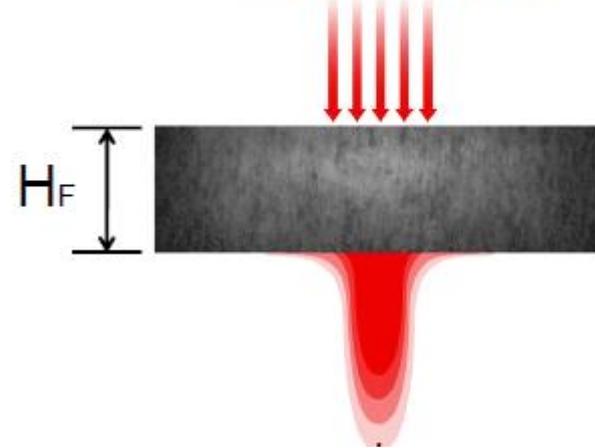
Rígidos



Grande área de
distribuição de carga

Pequena pressão na
fundação do pavimento

Flexíveis



Pequena área de
distribuição de carga

Grande pressão na
fundação do pavimento

Dimensionamento do pavimento



Consiste na determinação das camadas de reforço do subleito, sub-base, base e revestimento de forma que possam resistir, transmitir e distribuir as pressões resultantes da passagem dos veículos.

Sem que o conjunto sofra ruptura, deformações apreciáveis ou desgaste superficial excessivo.

Dimensionamento do pavimento



Consideração do tráfego associando a um veículo padrão;

Qualidade dos materiais componentes das camadas do pavimento, comparando com um material padrão;

Fator climático

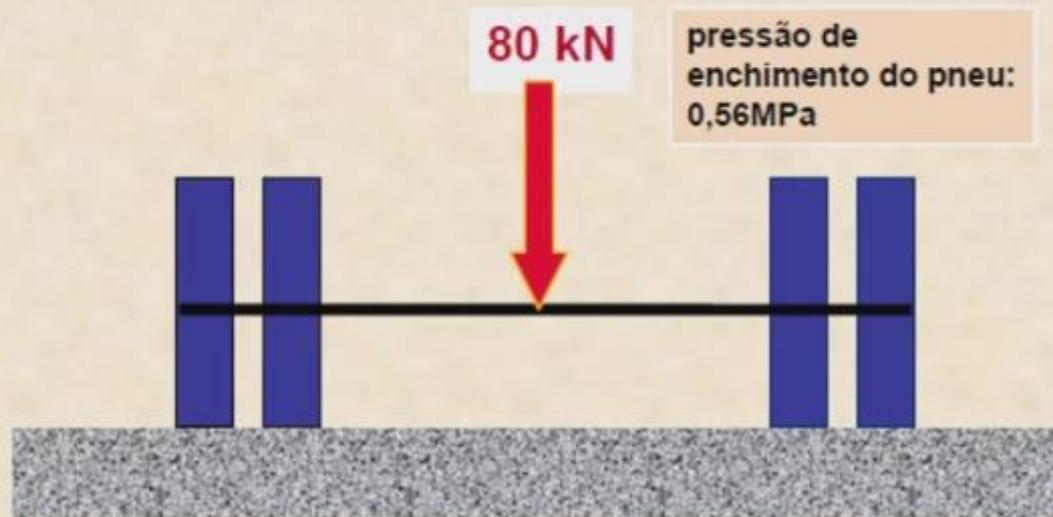
Dimensionamento do pavimento flexível - método DNIT

- ✓ Constitui em um memorial de cálculo, pesquisa de tráfego e cálculo do número N de solicitações do eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN.



Método do DNER

Eixo padrão DNER – eixo simples de rodas duplas carregado com 80 kN



Capacidade de suporte de subleito



- ⌘ Para efeito de **dimensionamento** da estrutura do pavimento, o trecho rodoviário é **dividido** em segmentos homogêneos com relação a capacidade do suporte do subleito.
- ⌘ Para cada segmento homogêneo tem-se um valor de CBR, que deve ser calculado retiradas das áreas de empréstimo para execução das ultimas camadas de aterros.

Tráfego



- ∞ É dado pela determinação do numero N;
- ∞ O número N é a **transformação** de todos os tipos de eixos e cargas dos veículos comerciais que trafegarão sobre o pavimento em um **eixo simples** padrão de rodas duplas equivalente de 80 KN.

$$Ni = V_{ti} \times FV \times FR$$

V_{ti} : volume total acumulado de veículos comerciais por sentido na faixa de projeto durante o ano “i”;

FV : fator de veículo da frota, que é função do método empregado;

FR : fator climático regional.

VOLUME TOTAL ACUMULADO DE VEÍCULOS COMERCIAIS

$$V_{ti} = VDM_c \times 365 \times D \times Fp$$

Onde:

V_{ti} : volume total acumulado de veículos comerciais por sentido na faixa de projeto durante o ano “i”;

VDM_c : volume diário médio de veículos comerciais total durante o ano “i”;

D : distribuição direcional (%);

Fp : porcentagem de veículos comerciais na faixa de projeto (%).

FATOR CLIMÁTICO REGIONAL, FR

Para a consideração do efeito causado pelas variações de umidade dos materiais constituintes do pavimento durante as diversas estações do ano, o que se traduz em variações da capacidade de suporte dos materiais, **multiplica-se** o número “N” por um coeficiente denominado fator climático regional, FR .

Na pista experimental da AASHTO, FR variou de 0,2, baixos teores de umidade, a 5,0, materiais praticamente saturados.

No Brasil, costuma-se adotar **FR igual a 1,0.**

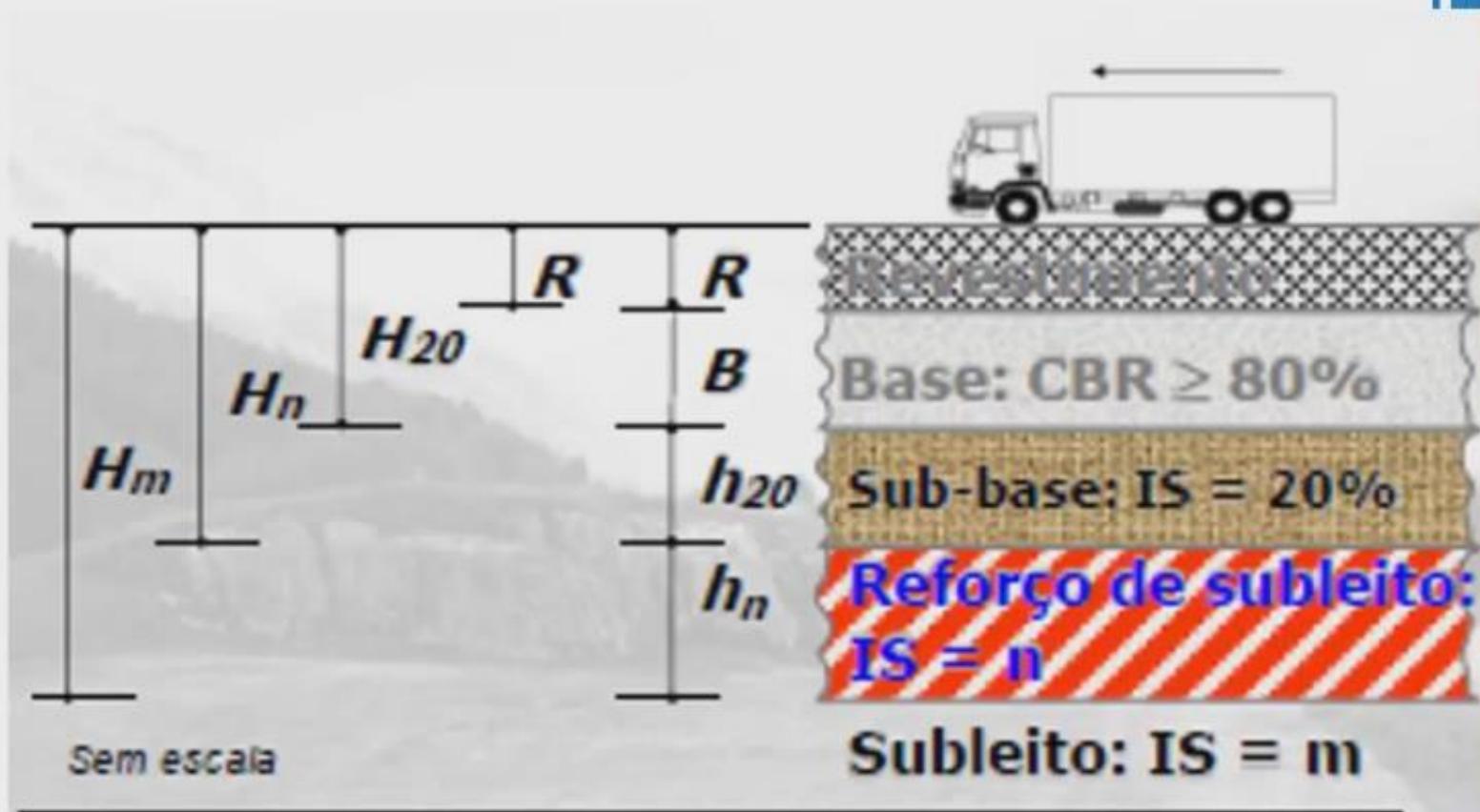
Drenagem

- A drenagem superficial da rodovia deve ser suficientemente adequada para escoar a água de forma rápida para fora da plataforma, não permitindo o acúmulo de água e, conseqüentemente, a infiltração para o interior da estrutura do pavimento.
- Caso seja necessária, deve ser prevista a utilização de dispositivos de drenagem subsuperficial na estrutura de pavimento. O lençol d'água subterrâneo deve estar rebaixado a, pelo menos, 1,5 m em relação ao greide da terraplenagem acabada.

ROTEIRO PARA O CÁLCULO DO N

- Determinação do período de projeto;
- Determinação do volume total de tráfego;
- Determinação do fator de veículo F_v
 - Fator do eixo
 - Fator de equivalência de carga
- Determinação do Fator Climático

DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA EQUIVALENTE



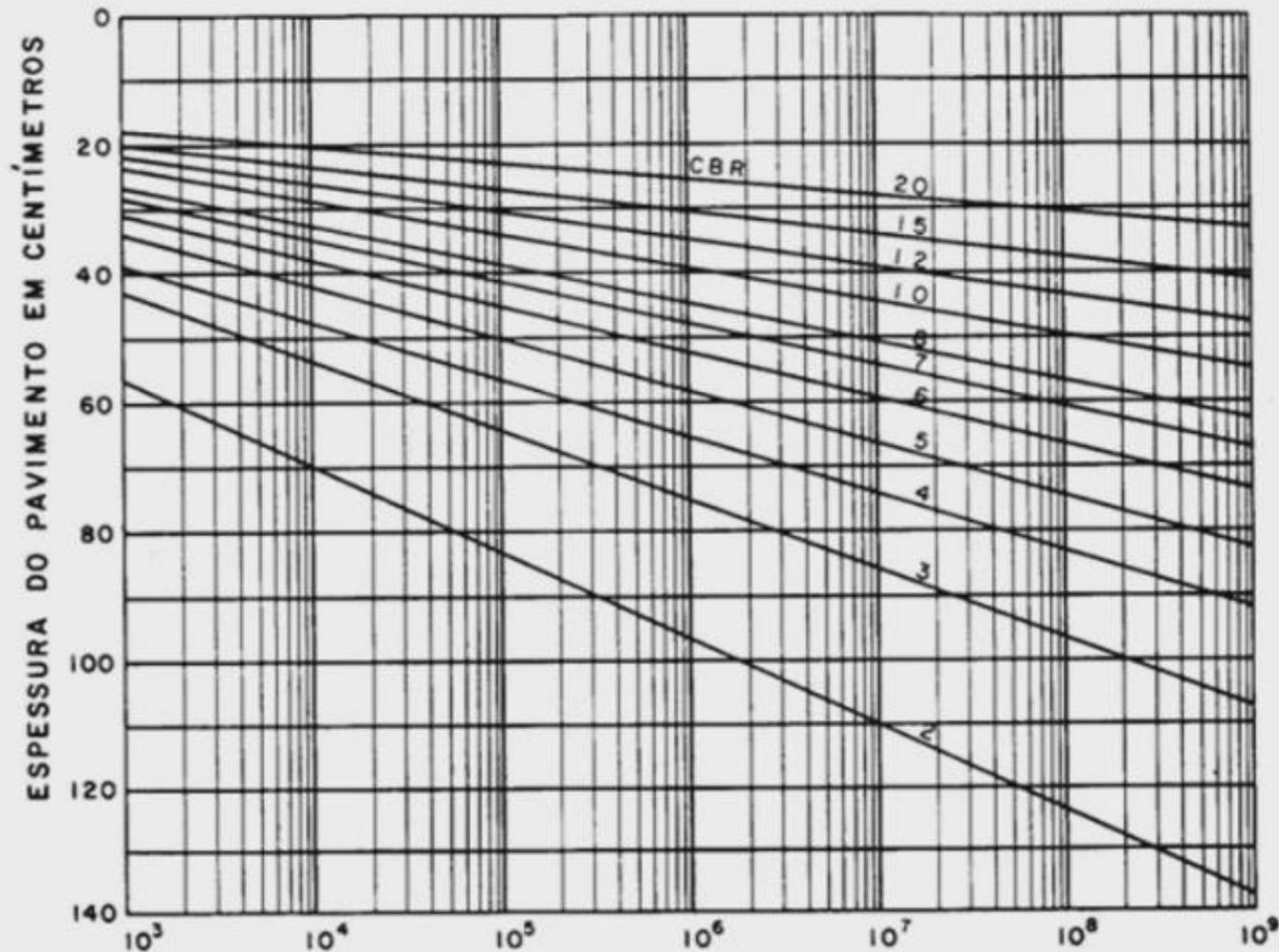
EQUIVALÊNCIA ESTRUTURAL

Dependendo dos materiais e espessuras das camadas, dois ou mais pavimentos podem ser estruturalmente equivalentes.

Com base nos resultados da pista experimental da AASHTO e nos materiais que compõem o pavimento, a sua equivalência estrutural pode ser estabelecida pelos coeficientes de equivalência estrutural K , que é a relação entre a resistência do material que será utilizado com o material padrão.

Cada camada ou as camadas deverá proteger a camada inferior.

Para o cálculo da espessura equivalente, será utilizado o gráfico a seguir com os valores de CBR e N como parâmetros.



DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DO REVESTIMENTO

Os tipos e espessuras mínimas de revestimento asfáltico são dados em função do número “N” de equivalentes de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN, acumulado durante o período de projeto.

A tabela indica as espessuras mínimas de revestimento asfáltico recomendadas em função da experiência do DER/SP.

Tabela 12 – Tipos e Espessuras Mínimas de Revestimento

Tipo e Espessura do Revestimento Asfáltico	Número "N"
Tratamentos superficiais asfálticos duplos e triplos	$N \leq 1 \times 10^6$
Concreto asfáltico com 5,0 cm de espessura	$1 \times 10^6 < N \leq 5 \times 10^6$
Concreto asfáltico com 7,5 cm de espessura	$5 \times 10^6 < N \leq 1 \times 10^7$
Concreto asfáltico com 10,0 cm de espessura	$1 \times 10^7 < N \leq 2,5 \times 10^7$
Concreto asfáltico com 12,5 cm de espessura	$2,5 \times 10^7 < N \leq 5 \times 10^7$
Concreto asfáltico com 15,0 cm de espessura	$N > 5 \times 10^7$

DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DA BASE, SUB-BASE E REFORÇO DO SUBLEITO

Determinada a espessura total do pavimento (H) com base de material granular e a espessura do revestimento (R), o dimensionamento das espessuras das demais camadas, base, sub-base e reforço do subleito será efetuado levando em conta os materiais disponíveis para a execução de cada uma delas, através dos coeficientes de equivalência estrutural e capacidades de suporte (CBR).

As espessuras de base (B), sub-base (h_{20}) e reforço do subleito (h_{ref}) poderão ser obtidas pela resolução sucessiva das seguintes equações:

- $RK_R + BK_B = H_{20} \quad (1)$

- $RK_R + BK_B + h_{20}K_S = H_n \quad (2)$

- $RK_R + BK_B + h_{20}K_S + h_nK_{ref} = H_m \quad (3)$

Onde K_R , K_B , K_S e K_{ref} representam os coeficientes estruturais do revestimento, base, sub-base e reforço do subleito, respectivamente; H_{20} a espessura fornecida pelo gráfico do Anexo 3 para material de CBR = 20% e H_n , idem, idem, para material de CBR = n.

Camada de Pavimento	Coefficiente Estrutural (K)
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento de pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento de pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
Base de brita graduada e de macadame hidráulico	1,10
Bases estabilizadas granulometricamente e bases de solo arenoso fino	1,00
Sub-bases granulares	Variável
Reforço do subleito	Variável
Base de solo-cimento, com resistência a compressão, aos 7 dias, superior a 45 Km/cm ²	1,70
Idem, com resistência a compressão, aos 7 dias, entre 45 e 28 kg/cm ²	1,40
Idem, com resistência a compressão, aos 7 dias, menor que 28 e maior ou igual a 21 kg/cm ²	1,20
Idem, com resistência a compressão, aos 7 dias, inferior a 21 kg/cm ²	1,00

A espessura total da base e revestimento necessária para proteção da sub-base deve ser determinada considerando a capacidade de suporte ISC igual a 20%, mesmo se o material apresentar capacidade de suporte superior a 20%.

Se o CBR da sub-base for igual ou superior a 40 % e para $N = 5 \times 10^6$ admite-se substituir, na equação (1), H_{20} por $0,80 H_{20}$. Para $N = 5 \times 10^7$ recomenda-se substituir, na mesma equação, H_{20} por $1,20 H_{20}$. A espessura mínima a adotar para camadas granulares é de 10 (dez) centímetros.

O coeficiente estrutural de reforço do subleito ou da sub-base granular será igual a 1,00 toda vez que o CBR do material de um ou outro for igual ou superior a 3 vezes o do subleito. Para relações inferiores, o coeficiente será:

CBR₁ / CBR₂	K
1,1	0,72
1,2	0,75
1,3	0,76
1,4	0,78
1,5	0,80
1,6	0,82
1,7	0,83
1,8	0,85
1,9	0,86
2,0	0,88

CBR₁ / CBR₂	K
2,1	0,90
2,2	0,91
2,3	0,92
2,4	0,94
2,5	0,95
2,6	0,96
2,7	0,97
2,8	0,98
2,9	0,99
3,0	1,00

RECOMENDAÇÕES GERAIS

O emprego da mesma estrutura de pavimento para a pista de rolamento e para os acostamentos tem efeitos benéficos no comportamento da estrutura de pavimento da pista de rolamento, facilitando a drenagem e o procedimento construtivo.

As camadas de reforço do subleito, sub-base e base podem ser idênticas para a pista de rolamento e para os acostamentos.

Para a escolha da camada de revestimento dos acostamentos pode-se considerar o tráfego nos acostamentos como sendo da ordem de até 5% do tráfego na pista de rolamento.

RECOMENDAÇÕES GERAIS

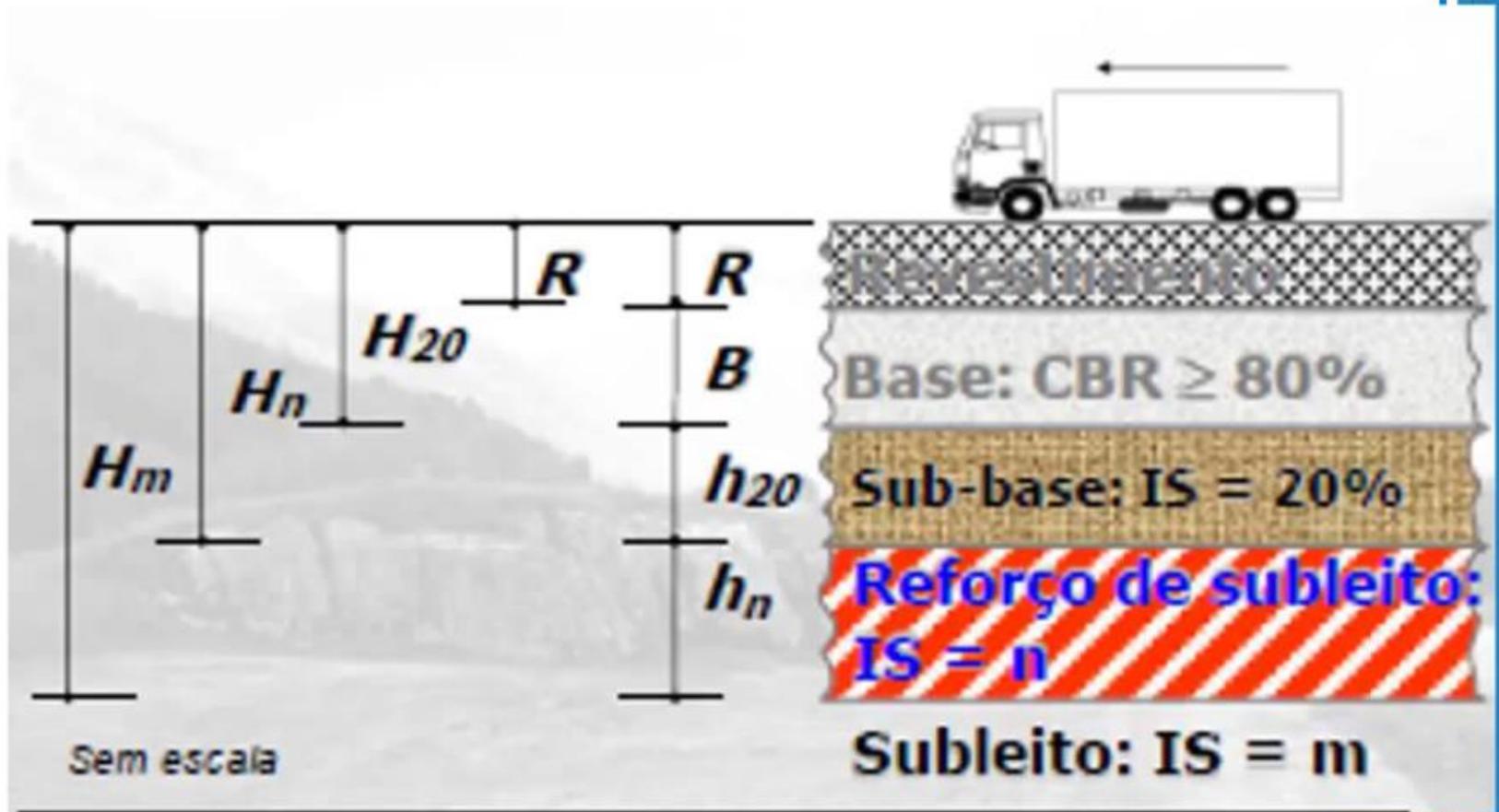
Para rodovias de tráfego pesado com número “N” de equivalentes de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN superior ou igual a 5×10^7 , recomenda-se considerar tráfego nos acostamentos da ordem de até 10% do tráfego da pista de rolamento para a escolha da camada de revestimento dos acostamentos.



EXERCÍCIO

Dimensionar um pavimento para $N = 2 \times 10^7$, com base em BGS. O CBR_{sl} é 5%, CBR_{ref} é 10%, CBR_{sbase} é 20%.

DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA EQUIVALENTE



ETAPAS PARA RESOLUÇÃO

1. Definição da espessura e material do revestimento R ;
2. Definição das espessuras necessárias para proteção; das camadas inferiores: H_m , H_n e H_{20} ;
3. Definição dos coeficientes estruturais das camadas;
4. Utilização das equações;
5. Espessuras das camadas obtidas:
 - ❖ R – espessura do revestimento
 - ❖ B – espessura da base
 - ❖ h_{20} – espessura da sub-base
 - ❖ h_s – espessura do reforço

OBTENÇÃO DE R
N como parâmetros.

ETAPA 01

Tabela 12 – Tipos e Espessuras Mínimas de Revestimento

Tipo e Espessura do Revestimento Asfáltico	Número "N"
Tratamentos superficiais asfálticos duplos e triplos	$N \leq 1 \times 10^6$
Concreto asfáltico com 5,0 cm de espessura	$1 \times 10^6 < N \leq 5 \times 10^6$
Concreto asfáltico com 7,5 cm de espessura	$5 \times 10^6 < N \leq 1 \times 10^7$
Concreto asfáltico com 10,0 cm de espessura	$1 \times 10^7 < N \leq 2,5 \times 10^7$
Concreto asfáltico com 12,5 cm de espessura	$2,5 \times 10^7 < N \leq 5 \times 10^7$
Concreto asfáltico com 15,0 cm de espessura	$N > 5 \times 10^7$

ETAPAS PARA RESOLUÇÃO

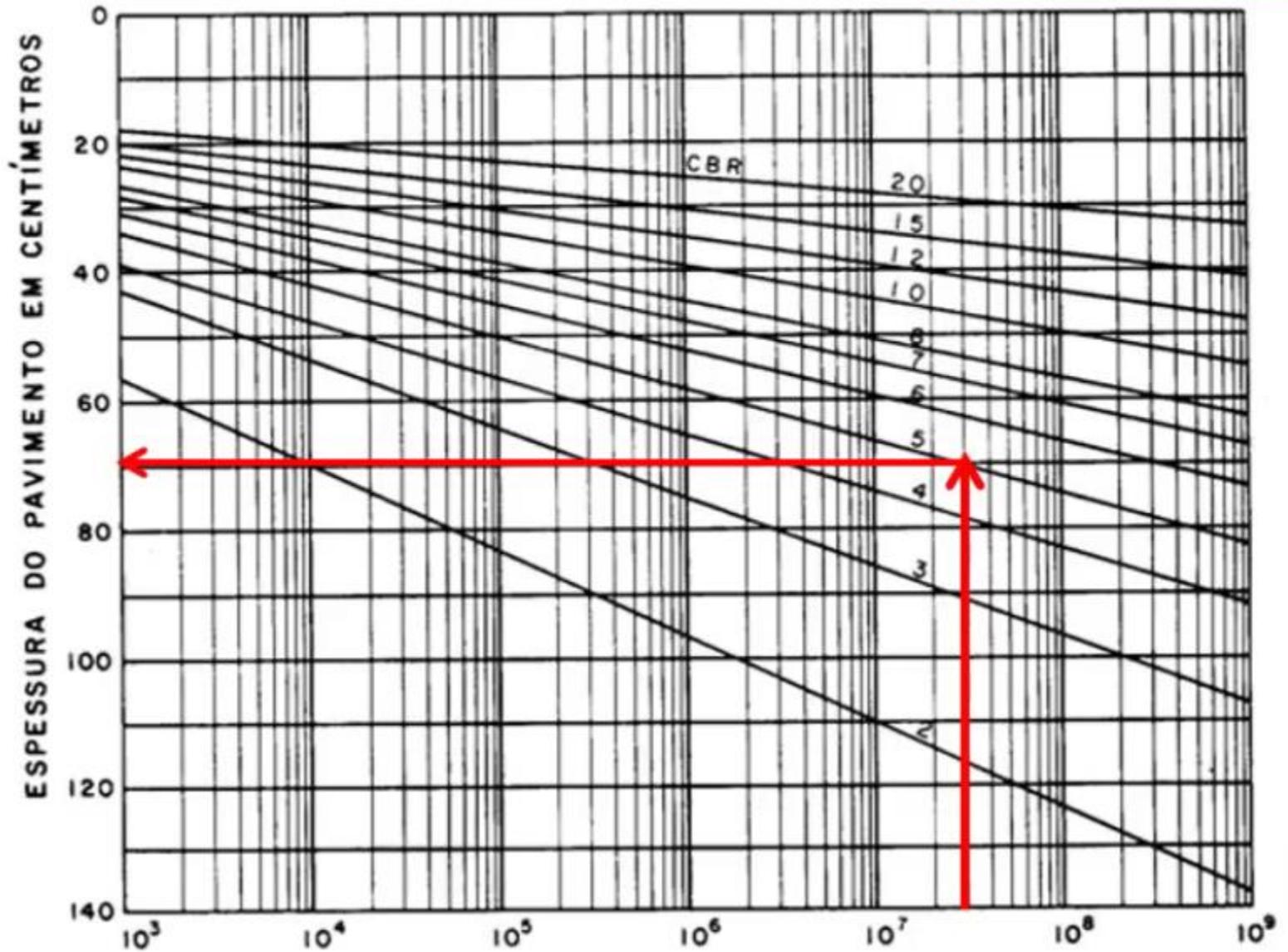
1. Definição da espessura e material do revestimento R;

R = 10 cm de Concreto Asfáltico

1. Definição das espessuras necessárias para proteção; das camadas inferiores: Hm, Hn e H20;
2. Definição dos coeficientes estruturais das camadas;
3. Utilização das equações;
4. Espessuras das camadas obtidas:
 - ❖ R – espessura do revestimento
 - ❖ B – espessura da base
 - ❖ h20 – espessura da sub-base
 - ❖ hs – espessura do reforço

OBTENÇÃO DE H_m CBR_{sl} e N como parâmetros.

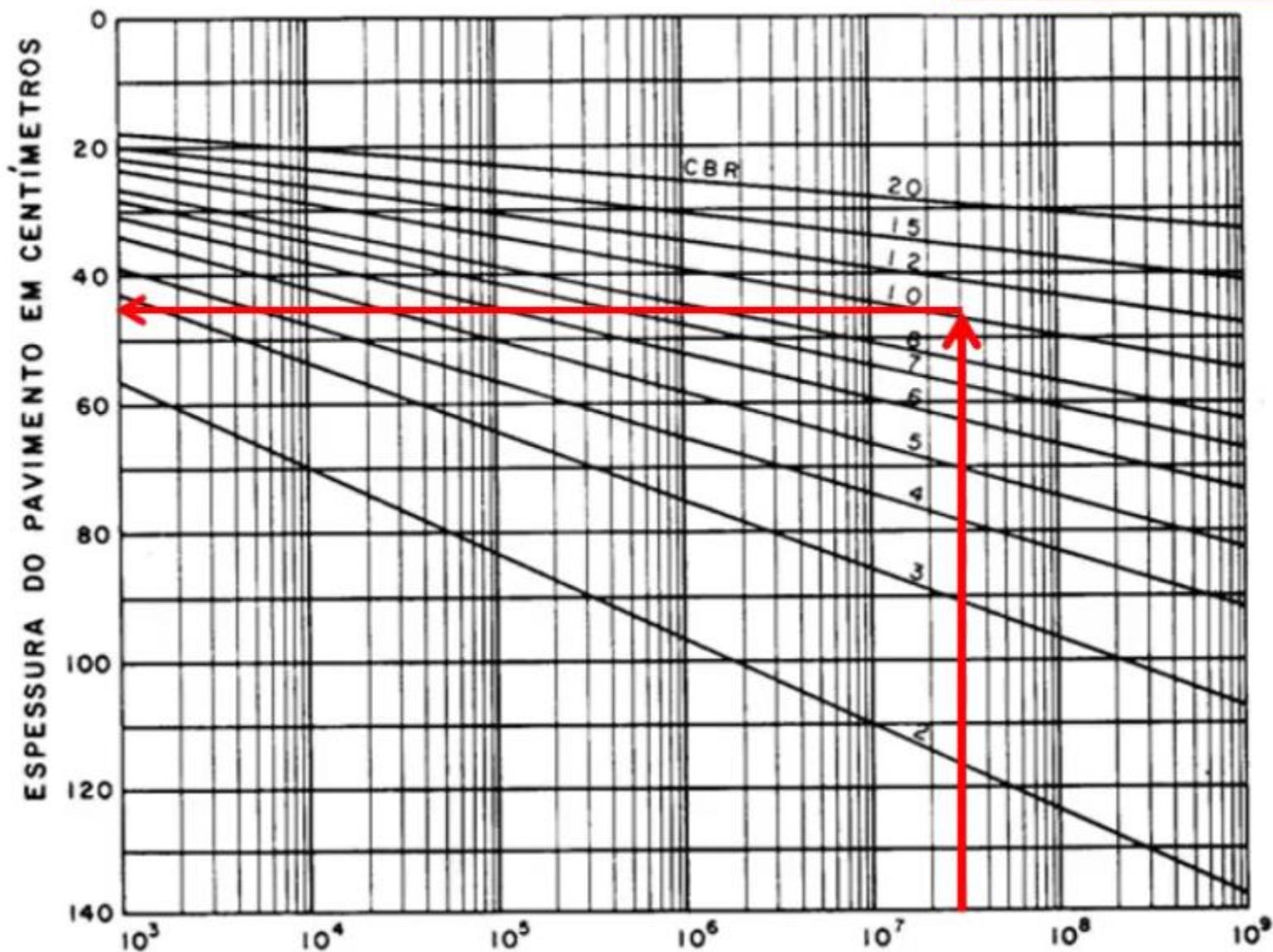
ETAPA 02



OBTENÇÃO DE H_n

CBR_{ref} e N como parâmetros.

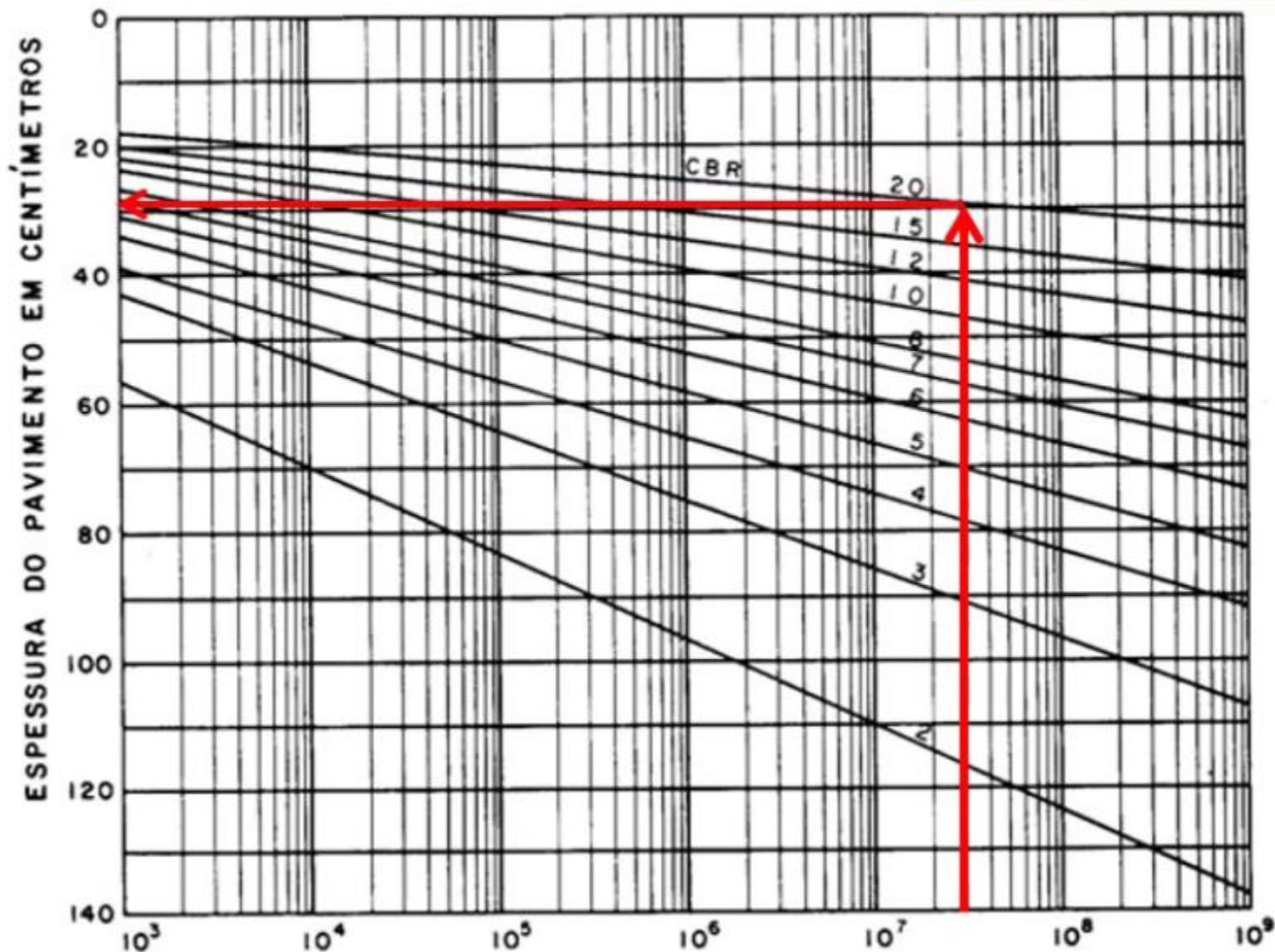
ETAPA 02



OBTENÇÃO DE H20

CBRbase e N como parâmetros.

ETAPA 02



ETAPAS PARA RESOLUÇÃO

1. Definição da espessura e material do revestimento R;
2. Definição das espessuras necessárias para proteção; das camadas inferiores: H_m , H_n e H_{20} ;

$$H_m = 70\text{cm}$$

$$H_n = 45\text{cm}$$

$$H_{20} = 30\text{cm}$$

1. Definição dos coeficientes estruturais das camadas;
2. Utilização das equações;
3. Espessuras das camadas obtidas:
 - ❖ R – espessura do revestimento
 - ❖ B – espessura da base
 - ❖ h_{20} – espessura da sub-base
 - ❖ h_s – espessura do reforço

OBTENÇÃO DOS COEFICIENTES ESTRUTURAIS K_r – REVESTIMENTO e K_b - BASE.

Camada de Pavimento	Coeficiente Estrutural (K)
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento de pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento de pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
Base de brita graduada e de macadame hidráulico	1,10
Bases estabilizadas granulometricamente e bases de solo arenoso fino	1,00
Sub-bases granulares	Variável
Reforço do subleito	Variável
Idem, solo-cimento, com resistência a compressão, aos 7 dias, maior ou igual a 45 Km/cm ²	1,70
Idem, com resistência a compressão, aos 7 dias, entre 45 e 28	1,40
Idem, com resistência a compressão, aos 7 dias, menor que 28 e maior ou igual a 21 kg/cm ²	1,20
Idem, com resistência a compressão, aos 7 dias, inferior a 21 kg/cm ²	1,00

ETAPA 03



OBTENÇÃO DOS COEFICIENTES ESTRUTURAIS **K_s – SUB-BASE e K_{ref} - REFORÇO.**

O coeficiente estrutural de reforço do subleito ou da sub-base granular será igual a 1,00 toda vez que o CBR do material de um ou outro for igual ou superior a 3 vezes o do subleito. Para relações inferiores, o coeficiente será:

CBR_1 / CBR_2	K
1,1	0,72
1,2	0,75
1,3	0,76
1,4	0,78
1,5	0,80
1,6	0,82
1,7	0,83
1,8	0,85
1,9	0,86
2,0	0,88

CBR_1 / CBR_2	K
2,1	0,90
2,2	0,91
2,3	0,92
2,4	0,94
2,5	0,95
2,6	0,96
2,7	0,97
2,8	0,98
2,9	0,99
3,0	1,00

ETAPAS PARA RESOLUÇÃO

1. Definição da espessura e material do revestimento R;
2. Definição das espessuras necessárias para proteção; das camadas inferiores: Hm, Hn e H20;
3. Definição dos coeficientes estruturais das camadas;

$$K_r = 2$$

$$K_b = 1,1$$

$$K_s = 1$$

$$K_{ref} = 0,88$$

1. Utilização das equações;
2. Espessuras das camadas obtidas:
 - ❖ R – espessura do revestimento
 - ❖ B – espessura da base
 - ❖ h20 – espessura da sub-base
 - ❖ hs – espessura do reforço



UTILIZAÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA DEFINIR AS ESPESSURAS DAS CAMADAS

B – BASE, h₂₀ – SUB-BASE e h_n - REFORÇO

As espessuras de base (B), sub-base (h₂₀) e reforço do subleito (h_{ref}) poderão ser obtidas pela resolução sucessiva das seguintes equações:

- $RK_R + BK_B = H_{20} \quad (1)$

- $RK_R + BK_B + h_{20}K_S = H_n \quad (2)$

- $RK_R + BK_B + h_{20}K_S + h_nK_{ref} = H_m \quad (3)$

ETAPA 04

UTILIZAÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA DEFINIR AS ESPESSURAS DAS CAMADAS

B - BASE,

$$RK_R + BK_B = H_{20} \quad (1)$$

$$10 * 2 + B * 1,1 = 30 \text{ cm}$$

$$B = 9 \text{ cm}$$

ADOTAR 10 cm

espessura mínima de camadas granulares

ETAPA 04

UTILIZAÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA DEFINIR AS ESPESSURAS DAS CAMADAS

h₂₀

-

SUB-BASE

$$RK_R + BK_B + h_{20}K_S = H_n \quad (2)$$

$$10*2 + 10*1,1 + h_{20}*1 = 45 \text{ cm}$$

h₂₀ = **14 cm**

ETAPA 04

UTILIZAÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA DEFINIR AS ESPESSURAS DAS CAMADAS

h_n - REFORÇO

$$RK_R + BK_B + h_{20}K_S + h_n K_{ref} = H_m \quad (3)$$

$$10 \cdot 2 + 10 \cdot 1,1 + 14 \cdot 1 + h_n \cdot 0,88 = 70 \text{ cm}$$

28 cm

$$\underline{h_n = 28 \text{ cm}}$$

ETAPA 04

ETAPAS PARA RESOLUÇÃO

1. Definição da espessura e material do revestimento R;
2. Definição das espessuras necessárias para proteção; das camadas inferiores: Hm, Hn e H20;
3. Definição dos coeficientes estruturais das camadas;
4. Utilização das equações;
5. Espessuras das camadas obtidas:
 - ❖ R – espessura do revestimento = 10 cm
 - ❖ B – espessura da base = 10 cm
 - ❖ h20 – espessura da sub-base = 14 cm
 - ❖ hs – espessura do reforço = 28 cm