



Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

Dimensionamento de Recuperação Asfáltica **PAVIMETAÇÃO ASFÁLTICA – Método do** **DNER(Avaliação Estrutural dos Pavimentos** **Flexíveis – DNER-PRO 011/79**

RUA DIONÍZIO WONS ENTRE AS RUAS TAMOIOS E AVENIDA **INDEPENÊNCIA**

FUNDAMENTAÇÃO TÉCNICA:

O presente dimensionamento segue as orientações das especificações do DNER Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis – DNER – PRO 011/79 e o ensaio de viga Benkelman atendendo as normas DNER-ME 24/94 – Pavimento – Determinação das Flexões pela viga Benkelman, DNER -PRO 174/94 Aferição de viga de Benkelman e DNER 061/94.

CÁLCULO DO N

Para estabelecimento do parâmetro “N” (número de operações do eixo padrão de 80 KN), representativo das características de tráfego, são estudados os seguintes tópicos:

▷ Estimativa das percentagens mais prováveis de cada tipo de veículo de carga na composição da frota. Isso é efetuado levando-se em conta a função preponderante de cada classe de via.



Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

▷ Carregamento provável de acordo com cada classe de via. Consta-se que, em viagens curtas e principalmente nas zonas urbanas, a percentagem de veículos circulado com carga abaixo do limite e mesmo “vazios” é elevada

Para o cálculo do fator de equivalência de cada tipo de veículo, necessário à determinação do número “N” (considerando seus carregamentos), são utilizados os estudos realizados para a determinação dos fatores de equivalência, e que constam de:

▷ Estabelecimentos de modelos matemáticos, relacionado a carga útil às cargas resultantes nos eixos dos veículos. Foram obtidos a partir dos dados básicos de cada tipo de veículo (tara, número de eixo, limites máximos de carga por eixo, etc.) e confrontados com modelos obtidos por regressão linear de alguns levantamentos estatísticos. A utilização desses modelos conduz à determinação dos fatores de equivalência correspondentes a:

105% da carga útil máxima

100% da carga útil máxima

75% da carga útil máxima

▷ Estabelecimento de percentuais dos carregamentos para os tipos de veículos comerciais componentes da frota, de acordo com as características de cada classe de via, sendo calculados os fatores de equivalência final e determinado o número “N” na Tabela 1, que segue abaixo.

A reavaliação dos trabalhos deverá ser feita a cada 5 anos, isto é, reavaliação dos percentuais dos carregamentos para os tipos de componentes da frota.



Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

A classificação do tipo de tráfego da via deverá preceder dos métodos de dimensionamentos adotados pela Prefeitura Municipal de Capanema. Essa classificação permite a adequada utilização desses métodos e estimativa de solicitações de veículos a que a via estará submetida em seu período de vida útil.

Na presente classificação foi considerada a carga máxima legal no Brasil, que é de 10 toneladas por eixo simples de rodagem dupla (100 KN/ESRD).

O tráfego e as cargas solicitantes na via a ser pavimentada deverão ser caracterizadas de forma a instruir a aplicação dos métodos adotados. O parâmetro “N” constitui o valor final representativo dos esforços transmitidos à estrutura, na interface pneu/pavimento, por um eixo traseiro simples, de rodagem dupla, com 80 KN, conforme o método para dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNER.

A previsão do valor final de “N” deve tomar como base contagens classificatórias, para utilização dos tipos de tráfego abaixo relacionados. Quando houver disponibilidade de dados de pesagens de eixos, com a respectiva caracterização por tipos, o cálculo do valor final de “N” deverá seguir integralmente as recomendações e instruções do método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNIT – 1996.

As vias urbanas a serem pavimentadas serão classificadas, para fins de dimensionamento de pavimentos, de acordo com o tráfego previsto as mesmas, nos seguintes tipos:



Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

TRÁFEGO LEVE - Ruas de características essencialmente residências, para as quais não é previsto o tráfego de ônibus, podendo existir ocasionalmente passagens de caminhões e ônibus em número não superior a 20 por dia, por faixa de tráfego, caracterizando por um número “N “típico de 10^5 solicitações do eixo simples padrão (80 KN) para o período de projeto de 10 anos.

TRÁFEGO MÉDIO – Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões e ônibus em número de 21 a 100 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número “N “típico de 5×10^5 solicitações do eixo simples padrão (80 KM) para o período de 10 anos.

TRÁFEGO MEIO PESADO – Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões e ônibus em número de 101 a 300 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número “N “típico de 2×10^6 solicitações do eixo simples padrão (80 KM) para o período de 10 anos.

TRÁFEGO PESADO – Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões e ônibus em número de 301 a 1.000 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número “N “típico de 2×10^7 solicitações do eixo simples padrão (80 KM) para o período de 10 anos a 12 anos.

TRÁFEGO MUITO PESADO – Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões e ônibus em número de 1.001 a 2.000 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número “N “típico de 5×10^7 solicitações do eixo simples padrão (80 KM) para o período de 12 anos.

FAIXA EXCLUSIVA DE ÔNIBUS – Vias para as quais é prevista, quase que exclusivamente, a passagem de ônibus e veículos comerciais (em número



Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

reduzido, caracterizando por número “N “de 5×10^7 solicitações do eixo simples padrão (80 KM) para o período de 12 anos.

Segue abaixo a tabela 01, resumo com os principais parâmetros adotados para a classificação das vias da Prefeitura de Capanema.

| Função predominante | Tráfego previsto | Vida de projeto | Volume inicial | | Equivalente / Veículo | N | N característico |
|------------------------------|------------------|-----------------|----------------------|-----------------|-----------------------|--|------------------|
| | | | faixa mais carregada | | | | |
| | | | Veículo Leve | Caminhão/Ônibus | | | |
| Via local | LEVE | 10 | 100 a 400 | 4 a 20 | 1,50 | $2,70 \times 10^4$ a $1,40 \times 10^5$ | 10^5 |
| Via Local e Coletora | MÉDIO | 10 | 401 a 1500 | 21 a 100 | 1,50 | $1,40 \times 10^5$ a $6,80 \times 10^5$ | 5×10^5 |
| Vias Coletoras e Estruturais | MEIO PESADO | 10 | 1501 a 5000 | 101 a 300 | 2,30 | $1,4 \times 10^6$ a $3,1 \times 10^6$ | 2×10^6 |
| | PESADO | 12 | 5001 a 10000 | 301 a 1000 | 5,90 | $1,0 \times 10^7$ a $3,3 \times 10^7$ | 2×10^7 |
| | MUITO PESADO | 12 | > 10000 | 1001 a 2000 | 5,90 | $3,3 \times 10^7$ a $6,7 \times 10^7$ | 5×10^7 |
| Faixa Exclusiva de Ônibus | VOLUME MÉDIO | 12 | | < 500 | | 3×10^6 ⁽¹⁾ | 10^7 |
| | VOLUME PESADO | 12 | | > 500 | | 5×10^7 | 5×10^7 |

Tabela 01



N = valor obtido com uma taxa de crescimento de 5% ao ano, durante o período de projeto.

Notas:

(1) Majorado em função do tráfego (excesso de frenagem e partidas)

(2) Números de solicitações adotadas:

$$N = 365 \times 10 \times V_o \times 1,25 \times e = 4560.V_o.e$$

$$N = 365 \times 12 \times V_o \times 1,30 \times e = 5690.V_o.e$$

Considerando somente o volume de caminhões e ônibus e taxa de crescimento de 5% a.a.

(3) Equivalente expresso em n^o de solicitações do eixo padrão de 82 kN (equivalência do DNIT).

(4) O período de projeto adotado é de 10 anos, em função da duração máxima da camada asfáltica de revestimento (oxidação de ligante), sendo o período recomendado pelo método de dimensionamento do DER/SP (667122), DNIT, e embasado no método da AASHTO.

(5) Para o tráfego muito pesado e corredores de ônibus adotou-se o período de 12 anos, em função de apresentar estruturas robustas e criteriosamente dimensionadas, levando-se em conta estudos mecanicistas das camadas do pavimento, bem como em alguns casos a adoção de estruturas cimentadas.

Para a determinação do valor de “N”, utilizando a tabela 01 observamos que a Rua Dionízio Wons (objeto do dimensionamento) é uma via coletora com trânsito meio pesado, portanto seu valor é de **N = 2 x 10⁶**.

RECUPERAÇÃO ASFÁLTICA

Por questões de ordem técnico econômica os pavimentos, em geral, são dimensionados para atender ciclos de vida entre 5 e 15 anos, sendo que para cada dimensionamento de restauração deve-se considerar o valor estrutural residual do pavimento remanescente e o tráfego previsto para o novo ciclo.

A rua Dionízio Wons foi pavimentada na década de 90, ou seja, considerando a idade do pavimento e o insuficiente recurso aplicado na manutenção/restauração durante o período, conclui-se que o pavimento em questão já superou a vida útil de projeto para o qual foi executado.



Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

O presente projeto visa apresentar um diagnóstico da patologia, ou seja, apresentar identificar e quantificar deteriorações existentes, bem como apresentar a melhor solução técnica de restauração do pavimento.

O Gráfico abaixo apresenta o desempenho do pavimento ao longo do ciclo de vida.

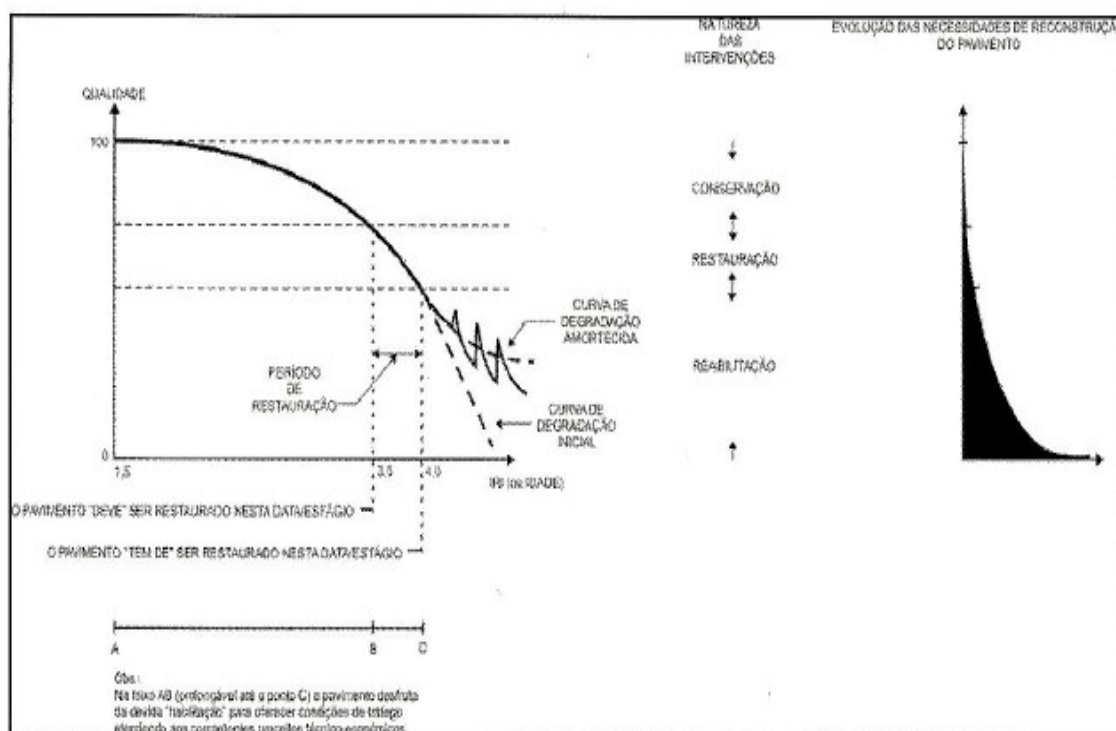


Figura 1 – Curva de Degradação do Pavimento

Em análise visual, pode-se verificar que as patologias existentes na rua Pará são em geral, fendas, afundamentos na pavimentação poliédrica existente, que ocorreram por fadiga do poliédrico, pela penetração de águas nas camadas de base.



Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

A avaliação estrutural é realizada para se conhecer as características das várias camadas que compõem o pavimento, quanto a sua resistência e deformabilidade sob a ação do tráfego, que são funções das propriedades dos materiais e das espessuras das camadas.

Isto posto deve-se iniciar a avaliação estrutural do pavimento que foi executada através da medição das deflexões com viga Benkelman que são ensaios não destrutivos que avaliam a deflexão máxima na superfície do revestimento.

A figura abaixo apresenta o método de medição das deflexões utilizando a viga Benkelman.



Figura 2 – Ensaio na Rua Dionízio Wons



Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

O ensaio de viga de Benkelman foi efetuado atendendo as normas DNER – ME 24/94-Pavimemnto – Determinação das deflexões pela viga de Benkelman, DNER -PRO 175/94 – Aferição de viga de Benkelman e DNER – ME 061/94 – Pavimento – Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da viga de Benkelman. Abaixo segue o levantamento Deflectométrico através do ensaio da viga para o trecho da Rua Dionízio Wons.


|  | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|---|------------|----------|-------|-----------------|--------|----------|--------------|---------------|-----------|----------|-----|-------|--------|----------|
| VIGA BENKELMAN | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Obra: | Cidade | | | | UF | DATA | | | | Horário: | Registro: | | | | | |
| Prefeitura | Capanema | | | | PR | 23/02/2024 | | | | Manha | 4 | | | | | |
| Estaca/Posição: | | | Material: | | | Operador: | | | | Trecho: 04 | | | | | | |
| 0 a 250 | | | Poliédrico | | | Fabionei/Leonel | | | | Dionisio Wons | | | | | | |
| Referência : | | Início ensaio em frente Coagro sentido rodoviária | | | | | | | | | | | | | | |
| PNEUS: 80 lbs | | TON: | 8200 | K: | 2,003 | | | | | | | | | | | |
| ORDEM N° | LADO ESQUERDO | | | | | | | | LADO DIREITO | | | | | | | |
| | ESTACA | T R I | | | L25 | T R E | | | ESTACA | T R I | | | L25 | T R E | | |
| | | LI | LF | Deflexão | | LI | LF | Deflexão | | LI | LF | Deflexão | | LI | LF | Deflexão |
| 1 | 20,00 | 500 | 420 | 160 | | 500 | 390 | 220 | 20,00 | 500 | 420 | 160 | | 500 | 400 | 200 |
| 2 | 40,00 | 500 | 430 | 140 | | 500 | 405 | 190 | 40,00 | 500 | 410 | 180 | | 500 | 389 | 222 |
| 3 | 60,00 | 500 | 420 | 160 | | 500 | 410 | 180 | 60,00 | 500 | 420 | 160 | | 500 | 420 | 160 |
| 4 | 80,00 | 500 | 435 | 130 | | 500 | 400 | 200 | 80,00 | 500 | 425 | 150 | | 500 | 425 | 150 |
| 5 | 100,00 | 500 | 435 | 130 | | 500 | 402 | 196 | 100,00 | 500 | 426 | 148 | | 500 | 390 | 220 |
| 6 | 120,00 | 500 | 440 | 120 | | 500 | 412 | 176 | 120,00 | 500 | 440 | 120 | | 500 | 425 | 150 |
| 7 | 140,00 | 500 | 420 | 160 | | 500 | 400 | 200 | 140,00 | 500 | 430 | 140 | | 500 | 400 | 200 |
| 8 | 160,00 | 500 | 400 | 200 | | 500 | 400 | 200 | 160,00 | 500 | 425 | 150 | | 500 | 398 | 204 |
| 9 | 180,00 | 500 | 405 | 190 | | 500 | 415 | 170 | 180,00 | 500 | 420 | 160 | | 500 | 390 | 220 |
| 10 | 200,00 | 500 | 420 | 160 | | 500 | 410 | 180 | 200,00 | 500 | 430 | 140 | | 500 | 400 | 200 |
| 11 | 220,00 | 500 | 400 | 200 | | 500 | 420 | 160 | 220,00 | 500 | 430 | 140 | | 500 | 398 | 204 |
| 12 | 240,00 | 500 | 425 | 150 | | 500 | 400 | 200 | 240,00 | 500 | 425 | 150 | | 500 | 396 | 208 |
| 13 | 260,00 | 500 | 410 | 180 | | 500 | 405 | 190 | 260,00 | 500 | 440 | 120 | | 500 | 402 | 196 |
| | LADO ESQUERDO | T R I | MEDIA= | 160 | | T R E | MEDIA= | 190 | LADO DIREITO | T R I | MEDIA= | 148 | | T R E | MEDIA= | 196 |

Figura 3 – Deflexões na Rua Dionízio Wons



Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

Sequência do Cálculo:

a) Calcula-se a média aritmética, D, dos valores individuais (Di) sob a fórmula:

$$D = \frac{\sum D_i}{n}$$

| Pontos | Deflexão Obtida |
|--------|-----------------|
| 1 | 160 |
| 2 | 140 |
| 3 | 160 |
| 4 | 130 |
| 5 | 130 |
| 6 | 120 |
| 7 | 160 |
| 8 | 200 |
| 9 | 190 |
| 10 | 160 |
| 11 | 200 |
| 12 | 150 |
| 13 | 180 |
| 14 | 220 |
| 15 | 190 |
| 16 | 180 |
| 17 | 200 |
| 18 | 196 |
| 19 | 176 |
| 20 | 200 |
| 21 | 200 |
| 22 | 170 |
| 23 | 180 |
| 24 | 160 |
| 25 | 200 |
| 26 | 190 |
| 27 | 160 |
| 28 | 180 |
| 29 | 160 |
| 30 | 150 |
| 31 | 148 |
| 32 | 120 |



Município de Capanema – PR

Departamento de Engenharia

| Pontos | Defleção Obtida |
|--------|-----------------|
| 33 | 140 |
| 34 | 150 |
| 35 | 160 |
| 36 | 140 |
| 37 | 140 |
| 38 | 150 |
| 39 | 120 |
| 40 | 200 |
| 41 | 222 |
| 42 | 160 |
| 43 | 150 |
| 44 | 220 |
| 45 | 150 |
| 46 | 200 |
| 47 | 204 |
| 48 | 220 |
| 49 | 200 |
| 50 | 204 |
| 51 | 208 |
| 52 | 196 |
| Total | 8.994,00 |

b) Determina-se o valor do desvio padrão da amostra através da equação:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (D_i - D)^2}{n - 1}}$$



Município de Capanema – PR

Departamento de Engenharia

| $\sum(Di-D)^2$ |
|----------------|
| 168,00 |
| 1.086,46 |
| 168,00 |
| 1.845,69 |
| 1.845,69 |
| 2.804,92 |
| 168,00 |
| 731,08 |
| 290,31 |
| 168,00 |
| 731,08 |
| 527,23 |
| 49,54 |
| 2.212,62 |
| 290,31 |
| 49,54 |
| 731,08 |
| 530,77 |
| 9,23 |
| 731,08 |
| 731,08 |
| 8,77 |
| 49,54 |
| 168,00 |
| 731,08 |
| 290,31 |
| 168,00 |
| 49,54 |
| 168,00 |
| 527,23 |
| 623,08 |
| 2.804,92 |
| 1.086,46 |
| 527,23 |
| 168,00 |
| 1.086,46 |
| 1.086,46 |
| 527,23 |
| 2.804,92 |
| 731,08 |
| 2.404,77 |
| 168,00 |
| 527,23 |
| 2.212,62 |
| 527,23 |
| 731,08 |
| 963,39 |
| 2.212,62 |
| 731,08 |
| 963,39 |
| 1.227,69 |
| 530,77 |
| 42.675,92 |



Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

$$\frac{\sum(D_i - D)^2}{(n-1)}$$

836,78

$\sqrt{836,78}$

Desvio Padrão:

σ , 28,93

c) Calcula-se o valor da deflexão característica que é feito através da equação

$$D_c = D + \sigma$$

Onde D é a média aritmética e σ é o desvio padrão da amostra

$$DC = 172,96 + 28,93,15$$

$$\mathbf{DC = 201,89}$$

d) Deflexão de projeto:

A época mais indicada para a realização das deflexões é após a estação das chuvas, quando o subleito está com o máximo de umidade. Como isto, porém, nem sempre é possível, costuma-se utilizar fatores de correção sazonal para as deflexões obtidas em qualquer época do ano, a fim de corrigí-las para a época mais desfavorável.

Estes fatores de correção sazonal(F_s) dependem de pesquisas regionais, quase inexistentes no Brasil, para serem aplicadas, desta maneira se utilizará os seguintes valores na tabela abaixo extraída da especificação DNER-PRO 011/79 Tabela II:



DNER-PRO 011/79
p. 09/16

TABELA II

| Natureza do Subleito | Fator de Correção Sazonal - F_s | |
|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| | Estação Seca | Estação Chuvosa |
| Arenoso e Permeável | 1,10 - 1,30 | 1,00 |
| Argiloso e Sensível à Umidade | 1,20 - 1,40 | 1,00 |

Figura 4 – fator Sazonal

A deflexão característica corrigida ou deflexão de Projeto (DP) é calculada através da fórmula abaixo.

$$D_p = D_c \times F_s$$

Como o terreno natural é argiloso e a favor da segurança estação seca o F_s adotado é de 1,20.

$$D_p = 201,89 \times 1,20$$



Dp = 242,27

e) Deflexão Admissível (Dam)

Para que não surjam trincas no revestimento é necessário manter a deflexão do pavimento abaixo de um determinado valor (Dam), denominado deflexão admissível.

O valor da deflexão admissível depende dos materiais constituintes do revestimento bem como do número N de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão 8,2 Toneladas.

Para pavimentos flexíveis o valor da deflexão admissível (Dam) em 0,01 mm é dado pela seguinte equação correspondente as deflexões medidas com carga padrão de 8,2 Toneladas por eixo.

$$\text{Log Dam} = 3,01 - 0,176 \log N$$

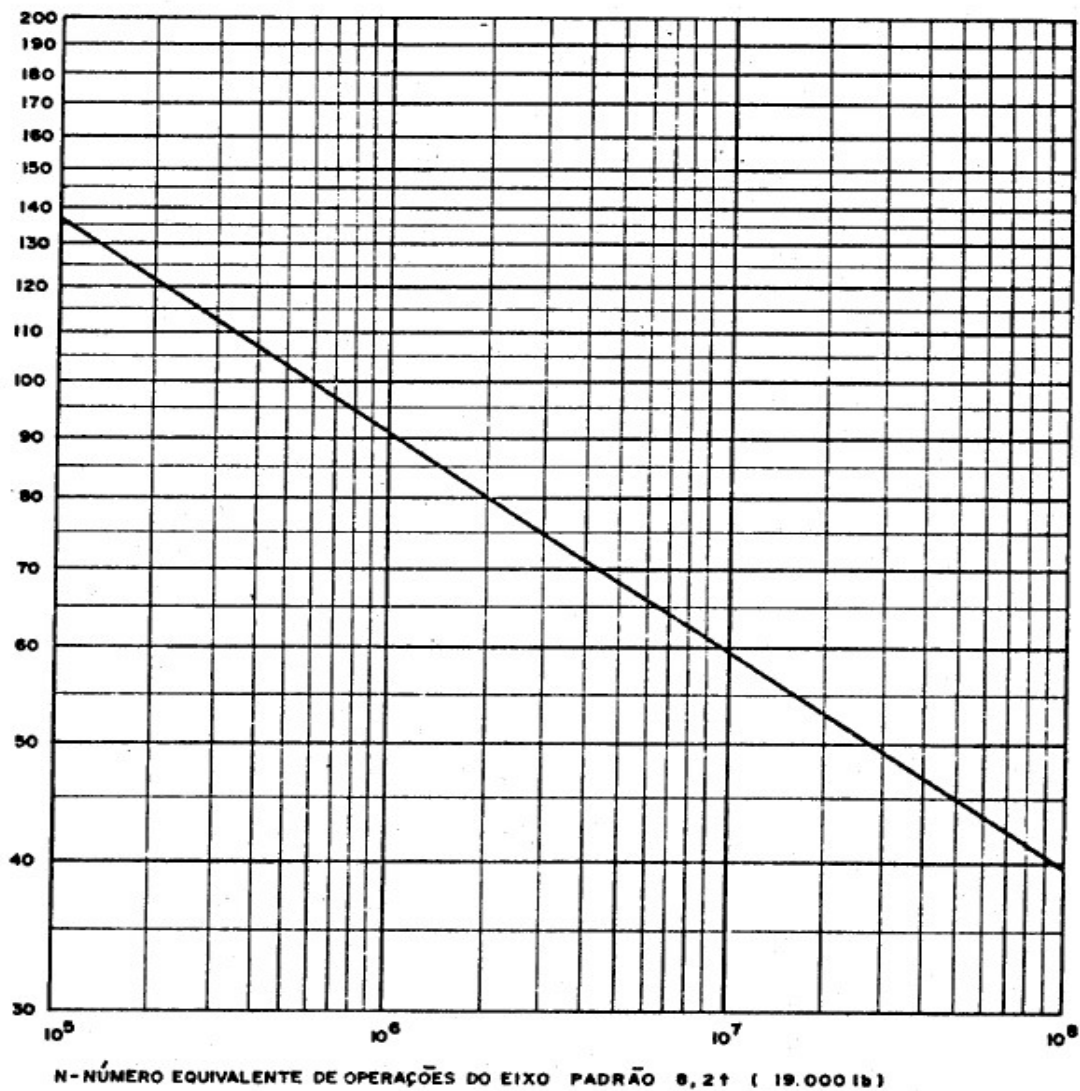
Pode se calcular pela equação acima a Deflexão Admissível ou pelo ábaco da figura abaixo extraída da especificação do DNER 11-79 deflexão admissível para concreto betuminoso, onde o eixo X corresponde o N(numero de operações de eixo padrão 8,2 Toneladas e o eixo y as Deflexões Admissíveis em 0,01 mm.



Município de Capanema – PR

Departamento de Engenharia

DEFLEXÃO ADMISSÍVEL PARA CONCRETO BETUMINOSO
(DEFLEXÕES MEDIDAS COM CARGA POR EIXO DE 8,2t)



$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,175 \log N$$

| N | D _{adm} |
|-----------------|------------------|
| 10 ⁵ | 135 |
| 10 ⁶ | 90 |
| 10 ⁷ | 60 |
| 10 ⁸ | 40 |

FIG. 4

Figura 5 – Tabela de deflexões admissíveis



Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

Portanto com $N = 2 \times 10^6$

Dam = 75

Dando continuidade ao procedimento, serão analisadas as bacias deflectométricas com os dados de deflexão e com isso será possível avaliar o pavimento, se cabe ou não reforço ou um pavimento novo, a partir da tabela extraída da especificação DNER 11/79, que define critérios para estabelecimento de diretrizes de projeto.

| Hipótese | Dados Deflectométricos Obtidos | Qualidade Estrutural | Necessidade de Estudos Complementares | Critério para Cálculo de Reforço | Medidas Corretivas |
|----------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| I | $D_p \leq D_{adm}$ $R \geq 100$ | BOA | NÃO | - | Apenas correções de superfície |
| II | $D_p > D_{adm}$ $R \geq 100$ | Se $D_p \leq 3 D_{adm}$ REGULAR | NÃO | Deflectométrico | Reforço |
| | | Se $D_p > 3 D_{adm}$ MÁ | SIM | Deflectométrico e Resistência | Reforço ou reconstrução |
| III | $D_p \leq D_{adm}$ $R < 100$ | REGULAR PARA MÁ | SIM | Deflectométrico e Resistência | Reforço ou reconstrução |
| IV | $D_p > D_{adm}$ $R < 100$ | MÁ | SIM | Resistência | Reforço ou reconstrução |
| V | - | MÁ | SIM | Resistência | Reconstrução |

Figura 6- Critérios de avaliação



Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

No presente caso foi constatado o seguinte:

| Hipótese | Dp > Dam? | R > 100? | Dp > 3 Dam ? | Qualidade Estrutural | Estudos Complementares | Critério | Medidas Corretivas |
|----------|------------|------------|--------------|----------------------|------------------------|-----------------|--------------------|
| II | VERDADEIRO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | MÁ | SIM | DEFLECTOMÉTRICO | RECONSTRUÇÃO |

Diante os resultados apresentados é necessária uma pavimentação asfáltica completa reconstruindo o pavimentos como um todo, utilizando do ensaio de CBR conforme abaixo.

Dimensionamento de Pavimento Flexível – Método do DNER

CARACTERIZAÇÃO MÍNIMA DOS MATERIAIS

As características mínimas dos materiais por camadas devem ser as seguintes:

Subleito:

CBR \geq 2%;

Foi feito duas amostras, conforme ensaio em anexo, onde foi encontrada os seguintes resultados:

| | |
|-------------|---------|
| Amostra 007 | 10,80% |
| Amostra 008 | 12,57 % |
| Média | 11,69% |



Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

Adotaremos a favor da segurança 10%

Expansão $\leq 2\%$.

Sub base:

CBR $\geq 20\%$; e

Expansão $\leq 1\%$.

Base:

CBR $\geq 80\%$;

Expansão $\leq 0,5\%$;

METODOLOGIA

Além dos materiais, o dimensionamento do pavimento também leva em consideração o efeito destrutivo do tráfego que é representado pelo número equivalente de operações de um eixo tomado como padrão, durante o período de projeto escolhido

De posse das informações das camadas constituintes e do número "N", o próximo passo é determinar os coeficientes de equivalência estrutural para as diferentes camadas que irão constituir o futuro pavimento.

De acordo com o tipo de material é possível determinar o coeficiente através da tabela da Figura 1, tal coeficiente varia de 2 para bases ou revestimento com material betuminoso até 1 para as camadas granulares.



Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

| Componentes do pavimento | Coefficiente K |
|---|-----------------------|
| Base ou revestimento de 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 | 1,00 |
| Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm | 1,70 |
| Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm e 28 kg/cm | 1,40 |
| Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm e 21 kg/cm | 1,20 |

Figura 1 – Coeficientes de Equivalência Estrutural

Segundo o Manual de Pavimentação do DNIT, os coeficientes estruturais são designados por:

- 1 -Revestimento: KR;
- 2 -Base: KB;
- 3 -Sub base: KS;
- 4 -Reforço: KRef.

O primeiro passo para definição das camadas é escolher o tipo de revestimento, o qual está diretamente relacionado com o esforço do tráfego indicado pelo número “N”.

”. A Figura 2 apresenta a tabela na qual o tipo e a espessura mínima do revestimento são definidos.



| 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 |

Figura 2 – Definição do Tipo e Espessura do Revestimento

O revestimento será, portanto, tipo Concreto Betuminoso Usinado a Quente com espessura de 5,00 cm.

Utilizando a tabela mostrada na Figura 2(espessura mínima de Revestimentos Betuminosos) em seguida determinar o coeficiente estrutural do mesmo utilizando a Figura 1(Coeficiente K para componentes do pavimento e camadas granulares).

Como o número "N" é superior a 10^6 e inferior ou igual a 5×10^6 , então o tipo de revestimento a ser utilizado deve ser **Concreto**



Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) com 5cm de espessura.

Sendo assim $K_R = 2$.

Para a sequência nos cálculos seguem as seguintes informações:

- ▷ Subleito existente: CBR=10% (tirado do ensaio de CBR);
- ▷ Material com CBR mínimo para a sub-base: CBR=20%;
- ▷ Material com CBR mínimo para a base: CBR=80%.

O próximo passo para dimensionamento do pavimento é definir as espessuras das camadas utilizando o cruzamento das informações das inequações da figura 03 e o gráfico das Curvas para determinação das espessuras indicadas na Figura 5, as quais determinam a espessura de material que deve estar sobre uma camada considerando parâmetros de tráfego e de suporte dos materiais constituintes.

$$RK_R + BK_B \geq H_{20}$$

$$RK_R + BK_B + h_{20} K_s \geq H_n$$

$$RK_R + BK_B + h_{20} K_s + h_n K_{Ref} \geq H_m$$

Figura 3 – Inequações para determinação das Espessuras das Camadas

Onde,



Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

R= Espessura do revestimento;

B= Espessura da camada de base;

H20= Espessura sobre a camada de sub base;

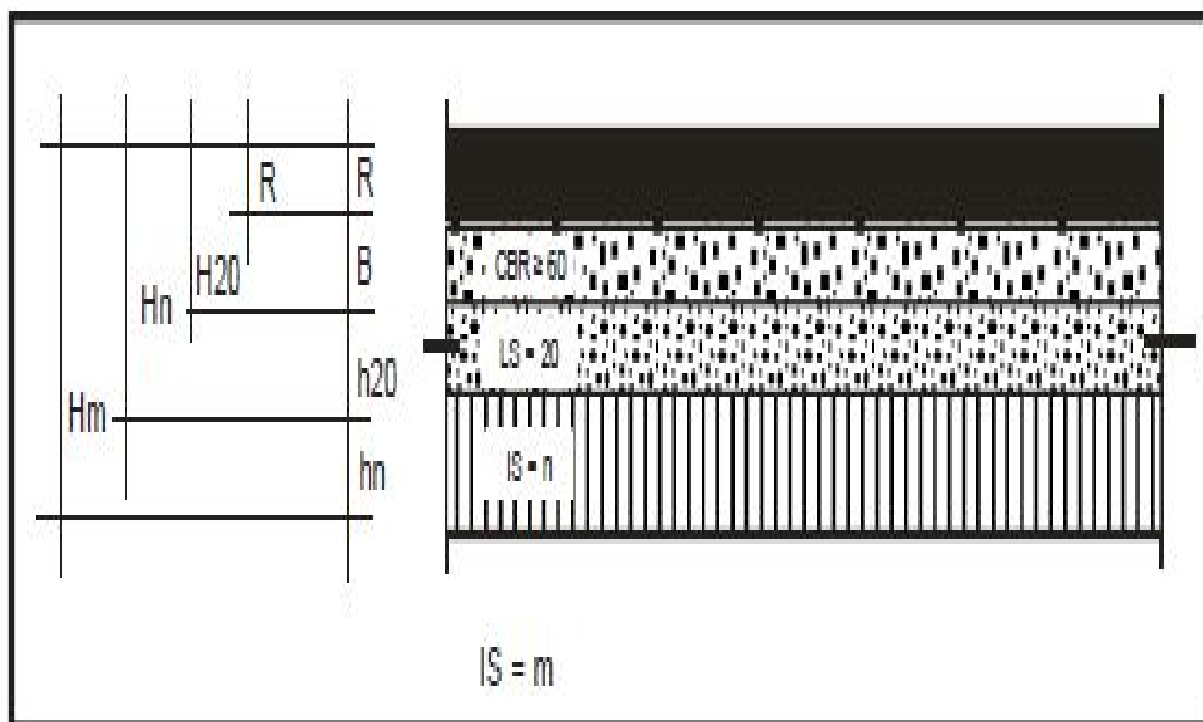
h20= Espessura da camada de sub base;

Hn= Espessura sobre a camada de reforço do subleito;

hN= Espessura da camada de reforço do subleito;

HM= Espessura sobre a camada de subleito;

A figura 4 ajuda no melhor entendimento dos índices apresentados.





Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

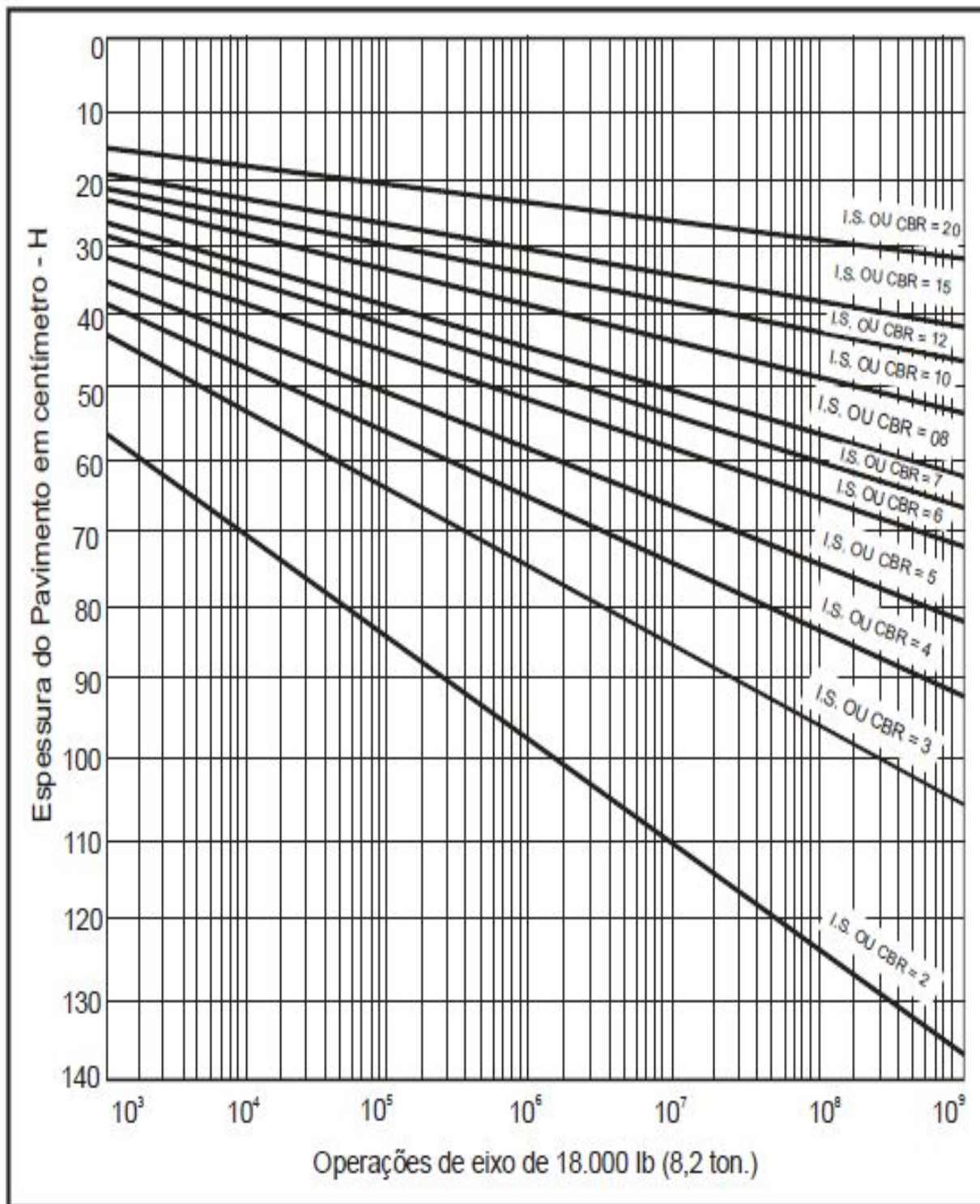


Figura5 –Curvas para determinação das espessuras das camadas



Na figura 5 o eixo das abscissas apresenta a potência de 10 do número "N" e o eixo das ordenadas apresenta a espessura máxima que deve existir sobre a camada estudada em cm.

É importante ressaltar que as normas apresentam que as espessuras máximas e mínimas que devem ser adotadas para cada camada são respectivamente 20cm e 10cm.

As normas ressaltam também que a espessura mínima para facilitar a construção a ser adotada para as camadas deve ser de 15cm.

Dessa forma, utilizando-se as inequações da Figura 3 e as curvas da Figura 5 é possível determinar as espessuras das camadas do pavimento.

DETERMINAÇÃO DAS CAMADAS DE SUB BASE E BASE

Para determinar a espessura da camada sobre a sub base, usando as curvas da figura 5, utilizando o CBR de 20% com o valor de $N = 2 \times 10^6$ obtém se pelo gráfico o valor de $H_{20} = 24,00$ cm.

Para determinar a espessura da camada sobre o sub leito, usando as curvas da figura 5, utilizando o CBR de 10% com o valor de $N = 2 \times 10^6$ obtém se pelo gráfico o valor de $H_n = 41,00$ cm.



Município de Capanema – PR

Departamento de Engenharia

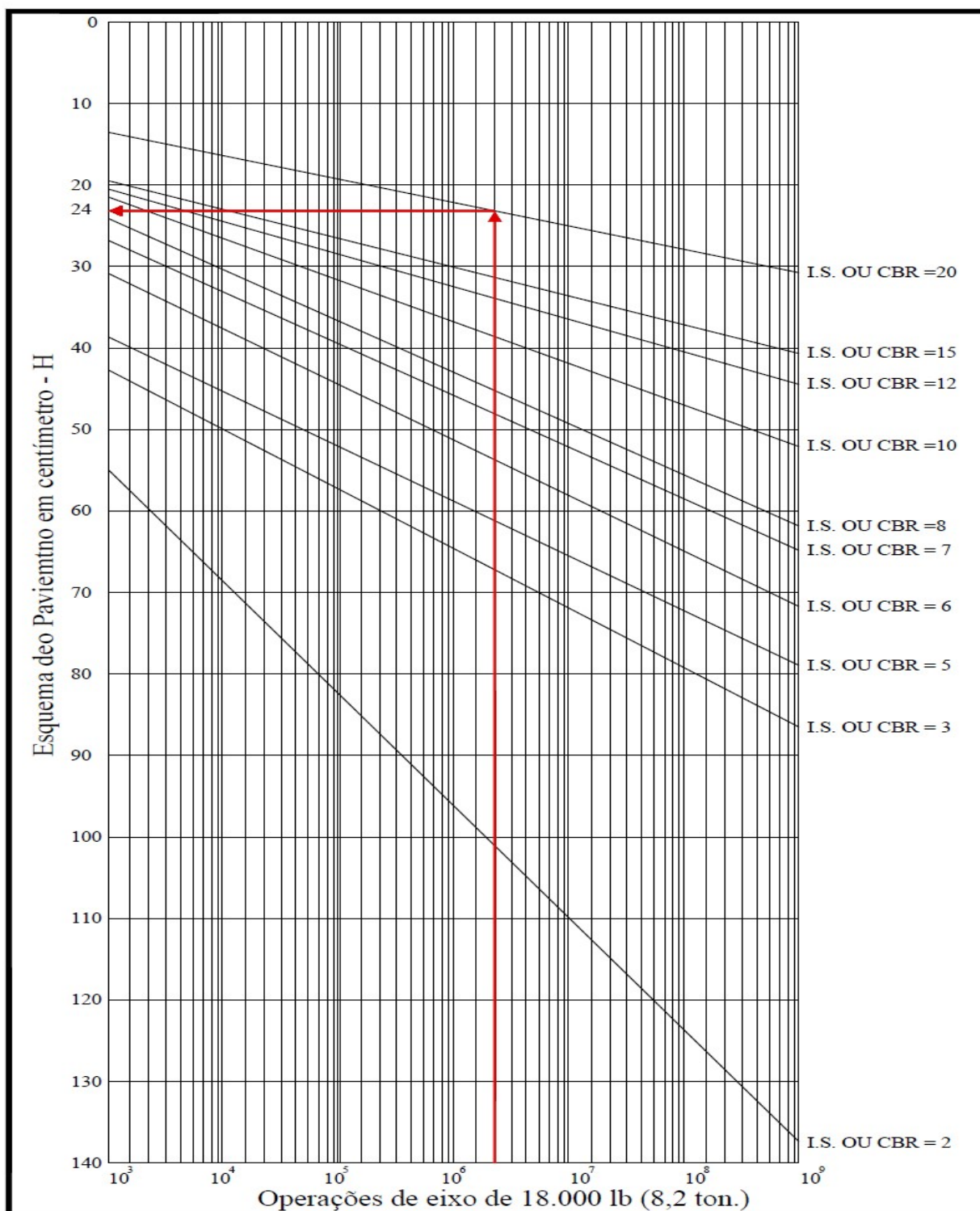


Figura 6 – Determinação do H20 = 24 cm



Município de Capanema – PR

Departamento de Engenharia

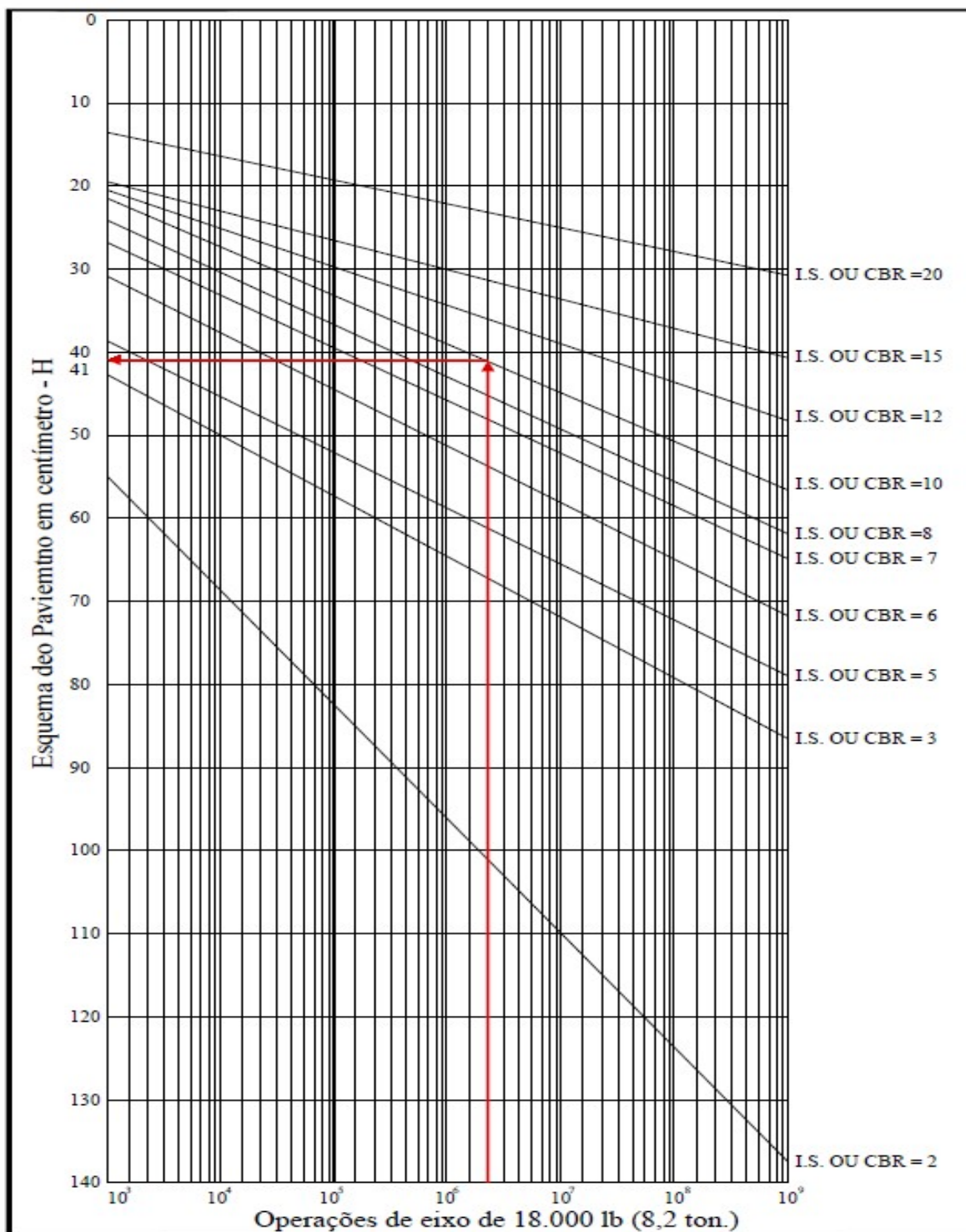


Figura 7 –Determinação do $H_n = 41$ cm



Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

Utilizando a Inequação 01:

$$\mathbf{RKR + BkB \geq H20}$$

$$5 \times 2 + 1 \times B \geq 24$$

$$B \geq 24 - 10$$

$$B \geq 14$$

$$\mathbf{\underline{B \geq 15 \text{ cm}(\text{arredondando})}}$$

Utilizando a Inequação 02:

$$\mathbf{RKR + BkB + h20KS \geq Hn}$$

$$5 \times 2 + 15 + \text{Sub Base} \geq 41$$

$$\text{Sub Base} \geq 16$$

$$\mathbf{\underline{\text{Sub Base} \geq 20 \text{ cm}}}$$



Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

| QUADRO RESUMO DAS ESPESSURAS DO PAVIMENTO | |
|--|----------------|
| Estrutura do Pavimento | Espessura (cm) |
| Revestimento em CBUQ | 5,00 |
| Base de Brita Graduada | 15,00 |
| Sub Base de Rachão | 20,00 |
| Total de Seção Transversal da Estrutura do Pavimento | 40,00 |

Capanema, 26 de março de 2024

Rubens Luis Rolando Souza
Engenheiro Civil
CREA RS 88.296/D