

MEMORIAL DE CÁLCULO

Obra: **PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA SOBRE PEDRAS IRREGULARES NO
MUNICÍPIO DE RENASCENÇA/PR**



Renascença - PR, outubro de 2023.

1. DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

O método tem como base o trabalho “design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume”, da autoria de W.J. Turnbull, C.R. Foster e R.G. Ahlvin, do Corpo de Engenheiros do Exército dos E.E.U.U. e conclusões obtidas na pista Experimental da AASHTO.

Relativamente aos materiais integrantes do pavimento, são adotados coeficientes de equivalência estrutural tomando por base os resultados obtidos na pista Experimental da AASHTO, com modificações julgadas oportunas.

A capacidade de Suporte do subleito e dos materiais constituintes dos pavimentos é feita pelo CBR, adotando-se o método de ensaio preconizado pelo DNER (informalmente conhecido como Método Murillo), em corpos-de-prova indeformados ou moldados em laboratório para as condições de massa específica aparente e úmida especificada para o serviço.

O pavimento é dimensionado em função do número equivalente (N) de operações de um eixo tomado como padrão, durante o período de projeto escolhido.

1.1. DADOS DO DIMENSIONAMENTO

Para o dimensionamento foi considerado as seguintes informações:

- Período do projeto: 10 anos
- Veículos de eixo simples: 80,0%
- Veículos de eixo tandem: 20,0%
- Taxa de crescimento anual: 5,0%

1.2. VOLUME MÉDIO DIÁRIO NO PERÍODO

Para a determinação do volume médio, considerou-se o número de solicitações do pavimento através da sua utilização por parte da população lindeira as vias. Sendo assim, o volume médio diário de tráfego no ano de abertura, admitindo-se uma taxa t (%) de crescimento anual, em progressão aritmética durante o período de P anos, é dado pela expressão:

Assim:

$$Vm = \frac{V1 * [2 + (P - 1) * t/100]}{2}$$

$$Vm = \frac{180 * [2 + (10 - 1) * 5/100]}{2}$$

$$Vm = 220,50$$

- Vm = Volume médio diário no período;
- Vo = Volume inicial diário de tráfego no ano de abertura;
- P = Período;
- t = Taxa de crescimento;

1.3. VOLUME TOTAL DE TRAFEGO

Admitindo-se uma taxa t (%) de crescimento anual em progressão geométrica, o volume total do tráfego, Vt , durante o período de projeto, é dado pela expressão:

$$Vt = \frac{365 Vo \left[\left(1 + \frac{t}{100}\right)^p - 1 \right]}{t/100}$$

Onde:

- Vt = Volume total de trafego durante o período
- p = Período
- t = taxa de crescimento anual

Assim:

$$Vt = \frac{365 * 180 \left[\left(1 + \frac{5}{100}\right)^{10} - 1 \right]}{5/100}$$

$$Vt = 826.367,54$$

1.4. FATOR DE EIXO (FE)

É dado pela expressão:

$$FE = \left(\frac{p2}{100}\right) * 2 + \left(\frac{p3}{100}\right) * 3 + \dots \left(\frac{pn}{100}\right) * n$$

Onde:

- FE= Fator de Eixo
- p2 = Porcentagem de veículos de 2 eixos
- p3 = Porcentagem de veículos de 3 eixos
- pn = Porcentagem de veículos de n eixos

Assim:

$$FE = \left(\frac{80}{100}\right) * 2 + \left(\frac{15}{100}\right) * 3 + \left(\frac{5}{100}\right) * 4$$

$$FE = 2,25$$

1.5. FATOR DE CARGA (FC)

É dado pela expressão:

$$FC = \frac{\Sigma \textit{Equivalencia de Opera\c{c}oes}}{100}$$

No projeto em questão, apresenta-se na tabela 01 abaixo, os valores considerados para o cálculo

Tabela 01 – Equivalência de operações

COMPOSIÇÃO DO TRAFEGO				
Eixo Simples Carga por eixo (ton)	(% veículos)	Nº Veículos	Fator de equivalência estrutural	Equivalência de operações
< 5	80,0%	144	0,05	7,2
6	0,0%	0	0,3	0
8	0,0%	0	1	0
Eixo Tandem Carga por eixo (ton)	(% veículos)	Nº Veículos	Fator de equivalência estrutural	Equivalência de operações
12	15,0%	27	1,2	32,4
16	5,0%	9	6	54
20	0,0%	0	20	0
Total	100,0%	180		93,6

Assim:

$$FC = \frac{93,6}{100}$$

$$FC = 0,936$$

1.6. FATOR CLIMÁTICO (FR)

O Fator Climático Regional considera que as variações de umidade dos materiais do pavimento afetam a sua capacidade de suporte.

Este coeficiente é determinado em razão da altura média de precipitação anual, como pode se observar na tabela abaixo.

ALTURA MÉDIA ANUAL DE PRECIPITAÇÃO (mm)	FATOR CLIMÁTICO REGINAL (FR)
Até 800	0,7
De 800 a 1500	1,4
Mais de 1500	1,8

Desta forma, o fator climático adotado para o cálculo será FR = 1,8 para médias anuais de precipitação acima de 1500 mm, conforme os dados encontrados na estação pluviométrica "PONTE MARMELEIRO MTE. ETA - Código 2653024", localizada no município de Marmeleiro/PR a

aproximadamente 5,5 quilômetros do local das obras, sendo a estação mais próxima encontrada.

1.7. CÁLCULO DO NUMERO "N"

É dado pela expressão

$$N = Vt * FE * FC * FR$$

Onde:

- FE= Fator de Eixo
- FC = Fator de Carga
- FR = Fator Climático
- Vt = Volume total de trafego

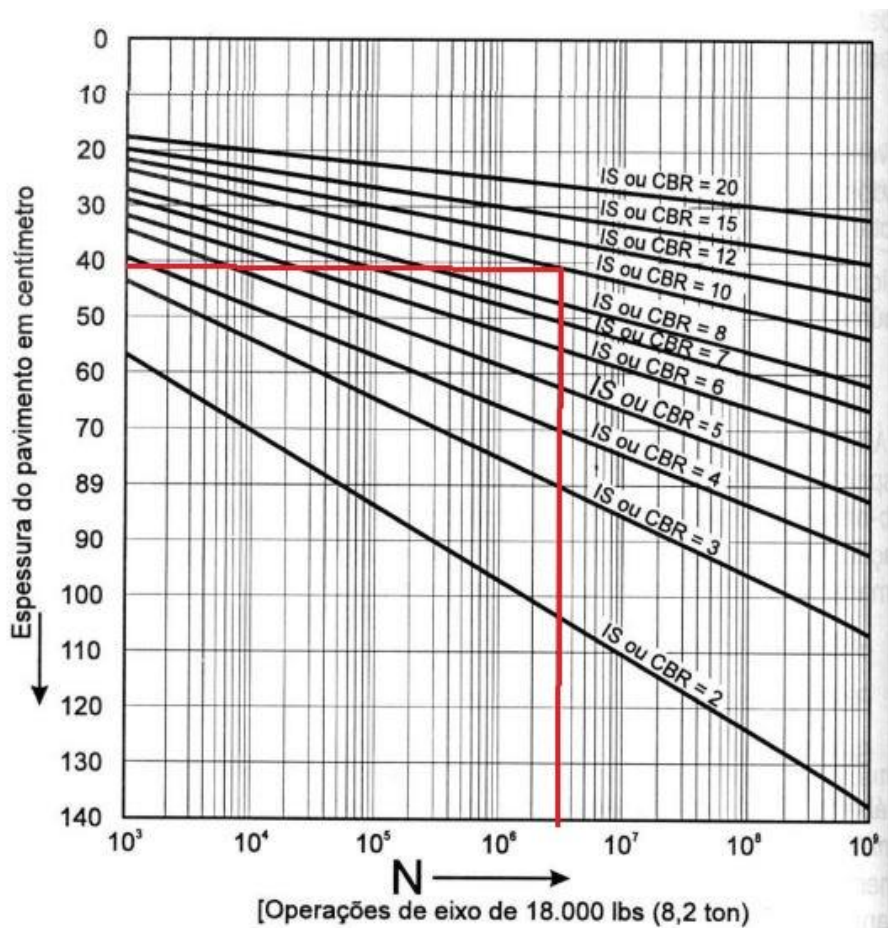
Assim:

$$N = 826.367,54 * 2,25 * 0,936 * 1,8$$

$$N = 3,13E^6$$

1.8. CÁLCULO ALTURA TOTAL DO PAVIMENTO

A espessura total do pavimento é determinada através do ábaco a seguir, é definida em função de "N" e do CBR, onde foram desconsiderados os valores máximos e mínimos do CBR encontrado, e efetuada a média dos valores remanescentes, assim o CBR encontrado é de aproximadamente 9,86, além disto, o trecho a ser pavimentado já apresenta pavimentação poliédrica sobre pedras consolidada e sem deformações, o que indica uma boa capacidade de suporte do subleito.



Ou ainda, através da equação:

$$Ht = 77,67 * N^{0,0482} * (CBR)^{-0,598}$$

$$Ht = 40,65$$

Desta forma, a espessura total do pavimento encontrada é de aproximadamente 40,65 cm.

2. DETERMINAÇÃO DAS CAMADAS DO PAVIMENTO

Em função de “N” determina-se a espessura mínima do revestimento betuminoso de acordo com a tabela 02.

Tabela 02 – Espessura mínima de revestimento betuminoso

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 12,50 cm de espessura

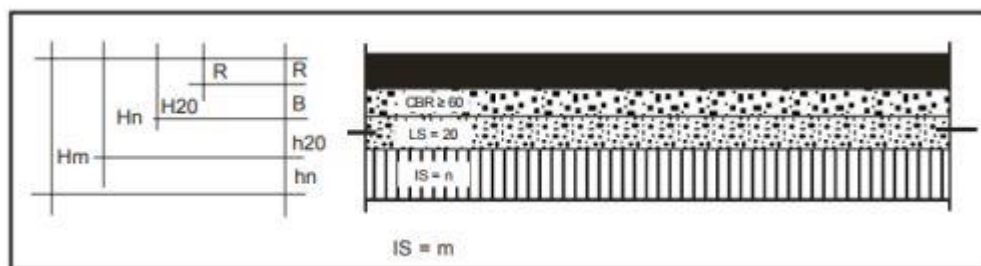
No projeto em questão, encontra-se $10^6 < N > 5 \times 10^6$. Desta forma enquadramo-nos em um Revestimento betuminoso com **5,0 cm de espessura**.

Mesmo que o CBR ou IS da sub-base seja superior a 20, a espessura do pavimento, necessário para protegê-la é determinada como se fosse 20 e, por esta razão, usam-se sempre os símbolos H20 e h20 para designar as espessuras de pavimento em termos de material granular e a espessura de sub-base respectivamente.

Uma vez determinada as espessuras Hn e H20 pelo ábaco, e R pela tabela 02 apresentada, as espessuras de base (B), sub-base (h20), são obtidas pela resolução sucessiva das seguintes inequações:

$$R * KR + B * KB \geq H20$$

$$R * KR + B * KB + h20 * KSB \geq Hn$$



Onde:

- R= Espessura do revestimento (cm)
- B = Espessura da base (cm)
- h20 = Espessura da sub-base
- Hn = Espessura das camadas de revestimento, base e sub-base

- K_R = Coeficiente de equivalência estrutural do revestimento
- K_B = Coeficiente de equivalência estrutural da base
- K_{SB} = Coeficiente de equivalência estrutural da sub base

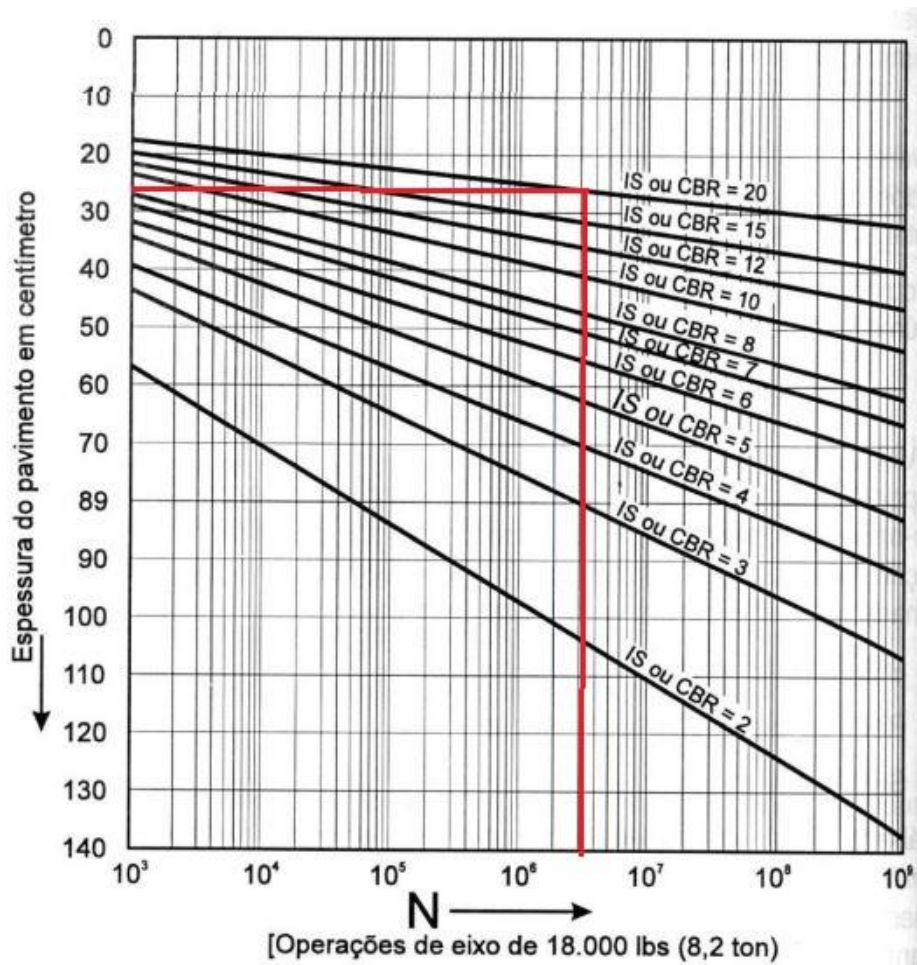
Tabela 03 – Coeficiente K

Componentes do pavimento	Coeficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,7
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,4
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,2
Camadas Granulares	1
Solo cimento com resistencia a compressão a 7 dias superior a 45 kg/cm ²	1,7
Idem, com resistencia a compressão a 7 dias entre 45 e 28 kg/cm ²	1,4
Idem, com resistencia a compressão a 7 dias entre 28 e 21 kg/cm ²	1,2
Bases de solo - Cal	1,2

Assim:

Para o revestimento adotado, temos a espessura de 5,0 cm de CBUQ (Tabela de espessura mínima de revestimento betuminoso que depende do número N);

Desta forma para determinação das camadas granulares de H20 e h20 não temos no ábaco o IS > 20%, adota-se então o IS = 20%;



Logo:

$$R * KR + B * KB \geq H20$$

$$(5,00 * 2) + (B * 1) \geq 26$$

$$B = 16,00 \text{ cm}$$

Para base teríamos uma camada de 16,00 cm de espessura e revestimento de C.B.U.Q. de 5,00 cm. Abaixo se apresenta o cálculo para determinação da camada de sub-base necessária em relação ao CBR do subleito.

$$R * KR + B * KB + h20 * KSB \geq Hn$$

$$(5,00 * 2) + (16,00 * 1) + (h20 * 1) \geq 40,65$$

$$h20 = 14,65 \text{ cm}$$

Pelo que foi exposto nos cálculos anteriores, seria necessário o emprego de uma camada de sub-base (h20) de 14,65 cm e uma camada de base (B) de 16,00 cm.

Porém, deve-se considerar que obra de referência se trata de uma pavimentação com pedras poliédricas existente, que apresenta camada com espessura aproximada 16,00 cm, já consolidada, assim dever-se-á recalculá-las as inequações do dimensionamento levando em consideração as camadas existentes relacionando-as espessuras mínimas exigidas.

Assim:

$$R * KR + B * KB + h20 * KSB \geq Hn$$

$$(R * KR) + (B * KB) + (h20 * KSB) \geq 40,65$$

$$B \geq 14,65$$

$$B = 15,00 \text{ cm (mínimo de norma)}$$

Desta forma, como exposto acima, a camada existente, considerada como sub-base na espessura de 16,00cm acrescida de uma base nova de 15,00cm e um revestimento asfáltico em CBUQ de 5,00 cm é suficiente para atender aos critérios de dimensionamento.

RESUMO DAS CAMADAS

Camada do pavimento	Espessura (cm)
Revestimento em C.B.U.Q.	5,00 cm
Base de Brita Graduada	15,00 cm
Sub-Base Poliedros (existente)	16,00 cm

Renascença, _____ de outubro de 2023.

Arthur Bazzo Faggion

Engenheiro Civil - CREA-PR 174995/D