

**MEMÓRIA DE CÁLCULO DE PAVIMENTAÇÃO
DO BAIRRO DE VÁRZEA DAS MOÇAS -
NITERÓI/RJ**

MEMORIAL DE CÁLCULO

Dezembro/2022

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVO	3
3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	3
4. VOLUME DE TRÁFEGO	3
5. ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC)	4
6. ESTRUTURA DO PAVIMENTO	6
6.1. Parâmetros de projeto	6
6.1.1 Camada de revestimento	6
6.1.2. Camada de base	7
6.1.3. Camada de sub-base	7
6.1.4. Camada de reforço	7
6.1.5. Subleito	7
6.2. Dimensionamento	8

1. INTRODUÇÃO

O pavimento é uma estrutura composta por várias camadas sobre a superfície final da terraplanagem. Essas camadas são responsáveis em resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, além de garantir aos usuários melhores condições de rolamento, conforto e segurança. Assim, seu êxito fica a cargo do conjunto formado pelas diferentes camadas do pavimento.

2. OBJETIVO

A presente memória apresenta as premissas adotadas no projeto e o dimensionamento das camadas constituintes do pavimento, determinando a espessura de cada camada para pavimentação, como parte do projeto de pavimentação das vias no bairro Várza das Moças em Niterói/RJ. Este dimensionamento será feito com base nas práticas correntes da Engenharia, além das recomendações e técnicas utilizadas pelos órgãos responsáveis por boa parte das estradas brasileiras.

3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- [1] Relatórios de ensaios de solos realizados pela ACTop Geo;
- [2] Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis do DNIT de autoria do Eng. Murillo Lopes de Souza;
- [3] DNIT - Especificação de Serviço: ES-299/97 – Pavimentação - Regularização do subleito;
- [4] DNIT - Especificação de Serviço: ES-301/97 - Sub-base estabilizada granulometricamente;
- [5] IP – 02/2004 Classificação de vias da Prefeitura do Município de São Paulo - PMSP;

4. VOLUME DE TRÁFEGO

A via em questão é classificada como local de tráfego médio. Para estimar o volume de tráfego é considerado o método do DNER (1981), onde é simulado os efeitos de repetições de um eixo padrão de 82 kN. Tendo já conhecido o número de repetições do eixo padrão (N) e o California Bearing Ratio (CBR), também conhecido como Índice Suporte Califórnia (ISC) para o subleito, o dimensionamento ocorre através de ábacos [2].

Para estudo do volume de tráfego da via, adotaram-se algumas recomendações do Manual de classificação de vias [5]. Foi adotado este manual pois o mesmo leva consideração os seguintes fatores:

- Uma taxa de crescimento de 5% ao ano;

- Majorado em função do tráfego (excesso de frenagem e partidas);
- Simula efeitos de solicitações de um eixo padrão de 82 kN;
- 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 Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), e embasado no método American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO);

A Tabela 1 apresenta a classificação das vias e parâmetros de tráfego segundo o manual de classificação de vias [5].

Tabela 1 – Classificação das vias e parâmetros de tráfego [5].

Função predominante	Tráfego previsto	Vida de projeto	Volume inicial faixa mais carregada		Equivalente / Veículo	N	N característico
			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		$3 \times 10^6^{(1)}$	10^7
	VOLUME PESADO	12		> 500		5×10^7	5×10^7

Considerando uma via local com tráfego previsto médio, segundo orientações da Tabela 1, considera-se o número de operações de um eixo padrão (N) = 5×10^5 .

5. ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC)

Para a determinação do ISC é realizado um ensaio que consiste em um método para avaliar a resistência do solo a penetração de um cilindro padronizado com relação a penetração em uma brita padrão, ou seja, compara as propriedades mecânicas de uma amostra de solo a uma brita padrão. Os

resultados são apresentados de maneira percentual, sendo por exemplo, um valor de ISC de 15% significa que a resistência a penetração do solo testado é de 15% do valor da brita padronizada.

Os ensaios foram realizados pela ACTopGeo, os resultados dos ensaios, as normas adotadas, os boletins e o croqui de locação dos pontos ensaiados são apresentados em seus relatórios.

O solo da região consiste em um tipo principal, sendo em sua grande maioria de areia, mas apresenta também areia argilosa, areia fina e algumas regiões com silte arenoso. A Tabelas 2 apresenta, os valores de ISC de cada amostra para as amostras de solo, junto do valor médio, metodologia utilizada em projetos de pavimentação [2]. Apesar de apresentar um valor de ISC razoavelmente alto, a composição de um solo argiloso não garante capacidade suficiente para seu uso na estrutura do pavimento, sendo necessárias correções como compactação ou substituição parcial por materiais arenosos da mesma área, mesclando solo de ISC maior nas regiões com ISC menor.

Tabela 2 – Valores de Índice Suporte California (ISC) das amostras de solo.

Nº amostra	Material	Índice ISC
1	Argila pouco siltosa, cor marrom e cinza variegada	22,9%
2	Areia pouco argilosa, micácea, cor cinza	12,6%
3	Areia argilosa, cor marrom e cinza variegada	5,9%
4	Areia grossa, pouco argilosa, cor cinza	17,0%
5	Silte argiloso, cor vermelha	7,3%
6	Areia pouco argilosa, com pedregulho, cor marrom	14,9%
7	Areia silto-argilosa, cor cinza e marrom variegada	15,9%
8	Argila arenosa amarela	4,4%
9	Areia grossa pouco argilosa, cor cinza	18,9%
10	Areia pouco argilosa, com pedregulho, cor cinza	6,0%
11	Areia pouco argilosa cor variegada	7,3%
12	Silte areno-argiloso, com pedregulho, cor cinza	8,8%
13	Areia pouco argilosa, cor cinza	6,2%
14	Areia argilosa, com pedregulho, cor marrom	9,5%
15	Areia argilosa, com pedregulho, cor marrom claro	8,2%
16	Areia argilosa, com pedregulho, cor marrom e cinza variegada	6,2%
17	Argila arenosa, pouco siltosa, cor cinza e marrom variegada	12,0%
18	Argila com pedregulho, cor cinza	9,1%
19	Argila arenosa, pouco siltosa, cor cinza	9,3%
Média [2]		10,7%

Considerando os resultados obtidos na Tabelas 2 conclui-se que o ISC médio de projeto para a região é de 10,7%.

6. ESTRUTURA DO PAVIMENTO

O pavimento considerado neste projeto é o flexível, também conhecido como concreto betuminoso ou asfáltico. É aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas.

O revestimento asfáltico em bom estado garante não só a segurança e o conforto ao rolamento, como também a impermeabilização das camadas inferiores do pavimento. Para garantir a integridade desse revestimento é necessário evitar a fadiga devida à tração na fibra inferior e assegurar que a tensão no subleito seja inferior àquela de ruptura, a fim de evitar a deformação permanente do pavimento.

Como mencionado anteriormente, a deformabilidade do revestimento asfáltico é compatibilizada com as demais camadas, de forma que essas suportem o número de operações do eixo padrão para o período preconizado no projeto com perda de serventia admissível. Além disso, o método de pavimentos flexíveis, do Eng. Murillo L. de Souza, também conhecido como Método DNER/DNIT [2], lança mão de conceitos de equivalência estrutural, o que garante proteção quanto à ruptura por cisalhamento ou acúmulo de deformações permanentes.

6.1. Parâmetros de projeto

Neste capítulo será apresentado todas as premissas adotadas no projeto, bem como os parâmetros de projeto, e os coeficientes que serão utilizados para o dimensionamento de cada camada de pavimento, sendo elas a camada de revestimento em concreto betuminoso, camada de base e sub-base, camada de reforço e subleito.

6.1.1. Camada de Revestimento

O Método de Projetos de Pavimentos Flexíveis [2], que utiliza como base de cálculo o método do DNER/ DNIT, possui uma tabela de equivalência que correlaciona o número de operações do eixo padrão (N) com uma espessura mínima de revestimento betuminoso. A Tabela 3 apresenta essas relações.

Tabela 3 – Definição do tipo e espessura do revestimento [2].

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

Segundo a Tabela 4 do manual do DNER, para $N < 10^6$ deve ser adotado tratamentos superficiais betuminosos. Porém para garantir uma maior vida útil para o revestimento de concreto asfáltico, será adotado uma espessura de revestimento com 3,5 cm. Coeficiente estrutural $K_R = 2,0$.

6.1.2. Camada de Base

Efetuar melhoria no material do próprio subleito, mesclando os materiais mais nobres existentes na área, cujos ensaios apresentam $ISC \geq 15\%$, com adição de cimento Portland CP II-E ou CP V-ARI, entre 2% a 4% em peso do total da mistura (DNIT 142/2010 – ES), para compactação da Base a 100% do Proctor Modificado, pelo Método de Ensaio DNIT 164/2013 – ME Método C (55 golpes), para obter $ISC \geq 80\%$. Coeficiente estrutural $K_B = 1,0$.

6.1.3. Camada Sub-base

Adotar material granular de jazidas próximas ou efetuar estabilização do solo com o material do próprio subleito, preferencialmente, mesclando os materiais mais nobres existentes na área, cujos ensaios apresentam $ISC \geq 15\%$, de forma a homogeneizar, para obter um produto final, solo, para compactação da Sub-Base a 100% do Proctor Intermediário, pelo Método de Ensaio DNIT 164/2013 – ME Método -B (26 golpes), para obter $ISC \geq 20\%$. Coeficiente estrutural $K_S = 1,0$.

6.1.4. Camada de Reforço

Idem ao item anterior, todavia essa camada deve apresentar ao final da regularização e compactação $ISC \geq 15\%$. $K_{Ref} = 1,0$.

6.1.5. Subleito

Efetuar a regularização, em 15 cm de espessura, na camada subjacente às cotas finais de terraplenagem, escarificando e mesclando os materiais do subleito, de forma a homogeneizar, para obter um produto final, solo, a ser compactando a 100% do Proctor Normal, pelo Método de Ensaio DNIT 164/2013 – ME Método -A (12 golpes), para obter o ISC $\geq 12\%$.

Caso, em algum setor da área, haja necessidade, empregar a energia de compactação “Internormal”, que é equivalente a 1,5 vezes a energia do Proctor Normal, para obter o valor de ISC desejado. Mesmo não sendo, a energia “Internormal”, utilizada oficialmente no meio rodoviário brasileiro, tem apresentado bons resultados em termos de acréscimo de resistência mecânica do solo a custos mínimos.

6.2. Dimensionamento

A espessura do revestimento asfáltico foi definida por meio da Tabela 4 retirada do Manual do DNER [2]. Já para as demais camadas, deve ser usado o ábaco do manual do DNER [2], reproduzido pela Figura 1.

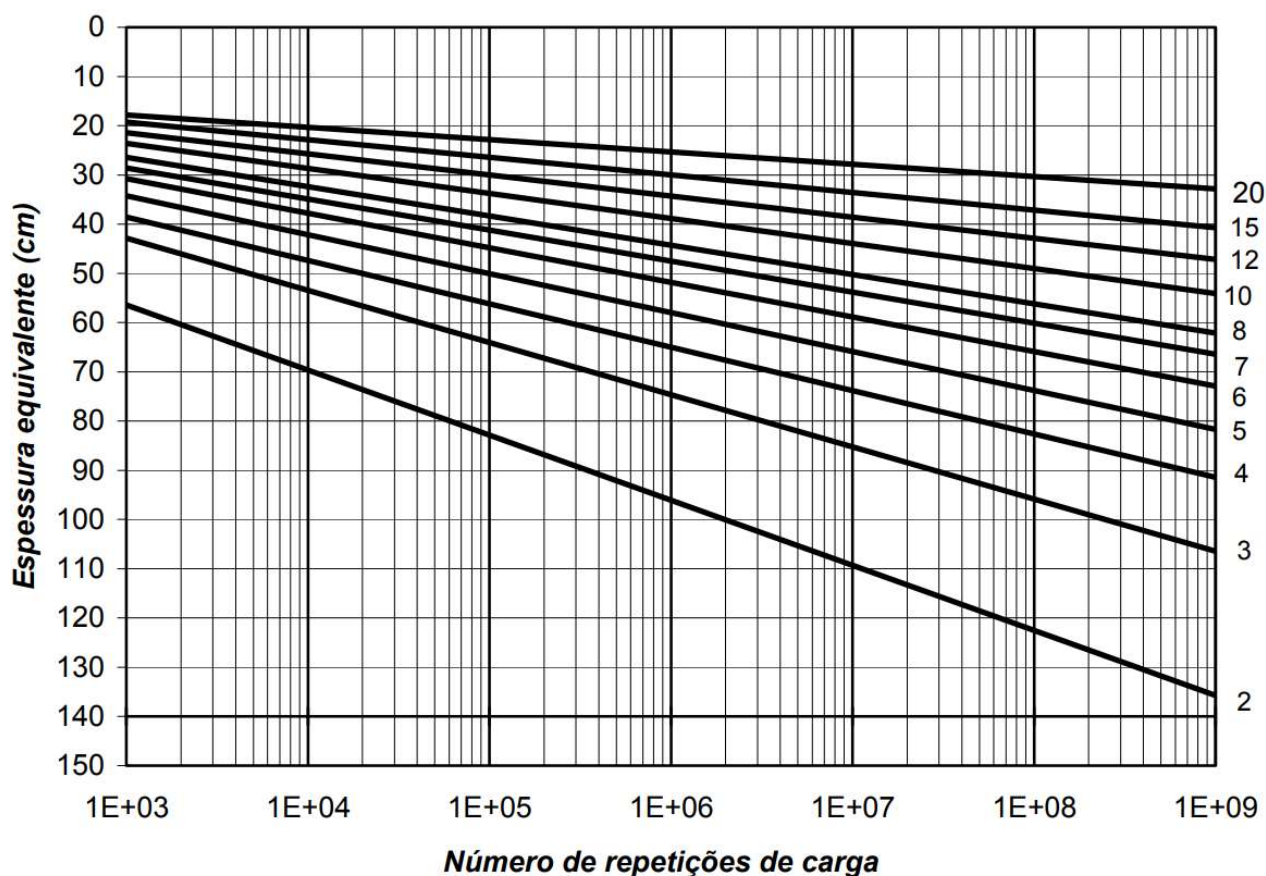


Figura 1 – Ábaco para definir espessura das camadas [2].

Vale ressaltar que a espessura fornecida por este gráfico é em termos de material com $K = 1,0$. Portanto, para camadas onde o $K \neq 1,0$, iremos multiplicar o coeficiente de equivalência estrutural da camada pela dada espessura, como é o caso da camada de base. A Figura 2 apresenta a classificação do solo e seus respectivos ISCs.

	Revestimento
ISC $\geq 80\%$	Base
ISC $\geq 20\%$	Sub-base
ISC $\geq 15\%$	Reforço
ISC $\geq 12\%$	Subleito

Figura 2 – Ábaco para definir espessura das camadas para solos argilosos.

Dando sequência no dimensionamento do pavimento, o próximo passo é definir as espessuras das camadas utilizando inequações pré-definidas no método DNER [2] e as curvas indicadas nas Figuras 1 e 2, as quais determinam a espessura de material que deve estar sobre uma camada considerando parâmetros de tráfego e de suporte dos materiais constituintes definidos no capítulo 6.1 deste documento.

Para determinação da espessura sobre a camada de base (H_{20}) deverá ser utilizada a Equação 1, para obter a espessura sobre a camada de reforço do subleito (H_n) a Equação 2 deverá ser aplicada, e por fim para a espessura sobre a camada do subleito (H_m) a Equação 3 é utilizada.

$$(R \times K_R) + (B \times K_B) \geq H_{20} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$(R \times K_R) + (B \times K_B) + h_{20} \geq H_n \quad (\text{Eq. 2})$$

$$(R \times K_R) + (B \times K_B) + h_{20} \times K_S + h_n \times K_{Ref} \geq H_m \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

R = Espessura do revestimento;

K_R = Coeficiente estrutural do revestimento;

B = Espessura da camada de base;

K_B = Coeficiente estrutural da base;

H_{20} = Espessura sobre a camada de sub-base;

h_{20} = Espessura da camada de sub-base;

K_S = Coeficiente estrutural da sub-base;

H_n = Espessura sobre a camada de reforço do subleito;

h_n = Espessura da camada de reforço do subleito;

K_{Ref} = Coeficiente estrutural da camada de reforço;

H_m = Espessura sobre a camada de subleito;

Considerando os parâmetros adotados no capítulo 6.1 desta memória e utilizando o ábaco da Figura 1, pode-se resolver as inequações acima, para a determinação de cada camada. A Tabela 4 apresenta os coeficientes utilizados e os resultados obtidos, e a Figura 3 ilustra um esquemático do pavimento com todas as suas camadas.

Tabela 4 – Coeficientes utilizados e resultados.

Variável	Resultado	Unidade
R	3,5	cm
KR	2,0	-
KB	1,0	-
H20	25,0	cm
Ks	1,0	-
Hn	30,0	cm
Kref	1,0	-
Hm	45,0	cm
B	18,0	cm
h20	15,0	cm
hn	5,0	cm

33,5 cm	3,5 cm	Camada de Revestimento	Revestimento em CBUQ: 1 cm de binder + pintura de ligação + 2,5 cm de capa
	15,0 cm	Base	Base: Solo local estabilizado melhorado com cimento - ISC $\geq 80\%$
	15,0 cm	Sub-base	Sub-base: Solo local estabilizado - ISC $\geq 20\%$
15,0 cm	5,0 cm	Reforço do Subleito	Reforço de subleito - ISC $\geq 15,0\%$ (apenas para solos argilosos com ISC < 12,0%)
	10,0 cm	Subleito	Subleito regularizado, escarificar o solo mesclando - ISC $\geq 12,0\%$

Figura 3 – Esquemático do pavimento revestido em concreto asfáltico.

