



RECUPERAÇÃO DA AVENIDA PERIMETRAL

**RELATÓRIO TÉCNICO - PROJETO DE
PAVIMENTAÇÃO**

OUTUBRO DE 2021

Referências Cadastrais

Cliente	Prefeitura Municipal de Pouso Alegre
Localização	Pouso Alegre, Minas Gerais
Título	Recuperação da Avenida Perimetral
Contato	Rinaldo Lima Oliveira
E-mail	rinaldololiveira@gmail.com
Líder do Projeto:	Felipe G. Alexandre
Coordenador:	Denis de Souza Silva
Projeto/centro de custo:	26/2019-01
Data do documento:	08/10/2021

Elaborador/Autor	Flávia Cristina Barbosa	Engenheira Civil
Verificador/aprovador	Denis de Souza Silva	Coordenador do projeto

Isenção de Responsabilidade:

Este documento é confidencial, destinando-se ao uso exclusivo do cliente, não podendo ser reproduzido por qualquer meio (impresso, eletrônico e afins) ainda que em parte, sem a prévia autorização escrita do cliente.

Este documento foi preparado pela Dac Engenharia com observância das normas técnicas de Pouso Alegre e em estrita obediência aos termos do pedido e contrato firmado com o cliente. Em razão disto, a Dac Engenharia isenta-se de qualquer responsabilidade civil e criminal perante o cliente ou terceiros pela utilização deste documento, ainda que parcialmente, fora do escopo para o qual foi preparado.

Equipe Técnica

Responsável Técnico – Projetos Cíveis

Flávia Cristina Barbosa Engenheira Civil	
Nº CREA: MG 187.842/D	Nº ART: 0637943

Coordenação

Denis de Souza Silva Engenheiro Hídrico	
Nº CREA: MG 127.216/D	Nº ART: 0602613

Equipe

TOPOGRAFIA	Jonas Guerreiro Gonçalves	Eng. Civil - Coordenação
	Anselmo Rafael Wasen	Técnico de Topografia
	Renan Henrique da Costa Santos	Assistente de Topografia
	Tiago Coli Cortes	Assistente de Topografia
	Gabriel Pereira	Auxiliar Eng. Civil
	Faicon	Auxiliar Eng. Civil

DRENAGEM	Igor Paiva Lopes	Eng. Hídrico - Coordenação
	Marcela Cabral	Auxiliar de Drenagem
	Thallis Eduardo Cabral	Auxiliar de Drenagem
	Bianca Baruk	Orçamentista

MEIO AMBIENTE	Reinaldo	Biólogo
	Luis Antônio	Engenheiro Ambiental
	Giulia Camerini	Auxiliar de Biologia
	Isabela Mota	Auxiliar de Meio Ambiente
	Nara Luiza Pedrezzini Silva	Auxiliar de Meio Ambiente

INFRAESTRUTURA	Felipe Guimarães Alexandre	Eng. Civil - Coordenação
	Abraão Ramos	Engenheiro Civil
	Gabriel Gomes	Auxiliar de Sinalização
	Érica de Souza	Auxiliar de Terraplenagem
	Tayla Yasmini	Auxiliar de Terraplenagem
	Letícia Bernardo	Auxiliar de Redes Hidráulicas
	Laura Souza	Auxiliar de Redes Hidráulicas

GESTÃO	Aloisio Caetano Ferreira	Diretor Comercial e Técnico
	Denis de Souza Silva	Diretor Comercial e Técnico
	Flávia Cristina Barbosa	Gerente de Projetos
	Pedro Henrique Justiniano	Subgerente de Projetos

Índice

1.	OBJETO	6
2.	DIAGNÓSTICO	7
2.1.	INVESTIGAÇÃO DO ESTADO DO PAVIMENTO.....	7
2.2.	ANÁLISE DE DADOS.....	9
3.	DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO.....	10
3.1.	MÉTODO UTILIZADO.....	10
3.2.	PARÂMETROS DO DIMENSIONAMENTO	10
3.2.1.	Número "N"	10
3.2.2.	Índice de Suporte do Subleito (CBR)	11
3.3.	DETERMINAÇÃO DAS ESPESSURAS DAS CAMADAS DOS PAVIMENTOS.....	11
3.3.1.	Especificações de Serviços	15

Lista de Tabelas

Tabela 2 – Tráfego por Classificação Funcional da Via.....	10
Tabela 3 – Tipo de revestimento em função de tráfego.....	11
Tabela 4 – Coeficientes k	13

Lista de Figuras

Figura 1 – Avenida Perimetral.	6
Figura 2 – Demonstração dos Carregamentos num Pavimento Flexível.....	7
Figura 3 - Trincas tipo "couro de jacaré" oriundas da fadiga de pavimento.....	8
Figura 4 - Erosão no bordo da pista de rolamento.	8
Figura 5 - Desprendimento da pavimentação asfáltica da via.	9
Figura 6 – Ábaco de determinação da espessura do pavimento.....	12
Figura 7 – Pavimento Flexível Tipo.....	14
Figura 8 – Pavimento Flexível Acostamento.....	14

1. OBJETO

A Avenida Perimetral é uma importante via de ligação entre a rodovia BR-459 e o centro de Pouso Alegre – MG, conforme apresentado na Figura 1.



Figura 1 – Avenida Perimetral.

FONTE: Google Earth Pro, 2021

Devido a importância e o grande volume de veículos que trafegam diariamente pela via, houve a necessidade de buscar melhorias para o seu pavimento que apresenta diversas patologias como trincas, deslocamentos e erosões.

No desenvolvimento do projeto buscou analisar o dimensionamento da via existente, verificar a situação do pavimento e buscar soluções para adequar a pavimentação da via com o volume de veículos que nela trafegarão.

O presente relatório descreve as características e dimensões da via e materiais que devem ser utilizados na recuperação do pavimento, observando e detalhando as etapas de construção.

2. DIAGNÓSTICO

A qualidade de um pavimento impacta diretamente no desempenho de mobilidade e economia de uma determinada região. Um pavimento deteriorado aumenta o custo operacional de transporte, reduz o conforto e a segurança dos passageiros e das cargas, além de causar prejuízos ambientais, como o assoreamento de cursos d'água com material solto nos períodos de chuva.

A má qualidade dos pavimentos implantados é oriunda de subdimensionamentos, escolha inadequada de materiais e até mesmo falta de controle na execução.

Com a passagem de um veículo pesado sob um pavimento, as camadas do pavimento ficam submetidas a um estado variável de tensões que se caracteriza por ser dinâmico e repetitivo ao longo da vida útil da via. O pavimento flexível é submetido a deformações de tração (ϵ_t) nas camadas asfálticas e tensão de compressão (σ_z) no subleito/camada final de terraplenagem.



Figura 2 – Demonstração dos Carregamentos num Pavimento Flexível.

A repetição dessas solicitações na faixa tempo é responsável pelo aparecimento das patologias na estrutura do pavimento, por isso, o pavimento é dimensionado para um período, o que chamamos de vida útil, que é normatizada em 5 anos.

As patologias mais comuns são: a deformação permanente, que tem como efeito a manifestação de trilhas-de-roda, e a fadiga, responsável pelo trincamento da mistura asfáltica que resulta, em seu estágio final, no aparecimento de buracos e “panelas”.

2.1. INVESTIGAÇÃO DO ESTADO DO PAVIMENTO

Em visita à Avenida Perimetral, foi observada que a principal patologia presente no pavimento asfáltico é a fadiga. A fadiga é caracterizada pela deterioração estrutural do pavimento quando ele é submetido a um estado de tensões e de deformações repetidas, resultando no trincamento do mesmo, podendo culminar na sua ruptura após um número suficiente de repetições de carregamento.

O primeiro estágio desse tipo de ruptura é caracterizado pelo surgimento de trincas longitudinais isoladas no sentido do tráfego, pois as deformações de tração transversais tendem a serem maiores que as longitudinais. Posteriormente, o surgimento de trincas

transversais e a união dessas com as longitudinais formam o reticulado conhecido no meio rodoviário como “couro de jacaré” (Figura 3). Neste estágio, ainda ocorre certa transferência de tensões entre as interfaces das trinças.



Figura 3 - Trinças tipo "couro de jacaré" oriundas da fadiga de pavimento

Fonte: DAC Engenharia

Com a contínua ação do tráfego e infiltração de água nas trinças, tem-se a erosão dos bordos das placas, como ilustra a Figura 4. Com essa erosão, as placas ficam sem confinamento, sendo facilmente arrancadas pela ação do tráfego, notadamente quando em presença de água, originando buracos na via como apresentado na Figura 5.



Figura 4 - Erosão no bordo da pista de rolamento.

Fonte: DAC Engenharia



Figura 5 - Desprendimento da pavimentação asfáltica da via.

Fonte: DAC Engenharia

Esse fenômeno de fadiga pode ser descrito como um processo de deterioração estrutural que um material sofre quando submetido a um estado de tensões e de extensões repetidas, resultando no aparecimento de fissuras no material que evoluem para trincas ou ruptura completa, após um número suficiente de repetições de carregamento. Ou seja, é a deterioração do material quando solicitado repetidamente por um carregamento.

Na estrutura ilustrada na Figura 1, quanto maior o nível da deformação a que o revestimento estiver submetido, tanto pela magnitude do carregamento atuante ou pela deficiência estrutural das camadas inferiores, menor será o número de ciclos de carregamento necessários para a manifestação da ruptura por fadiga da mistura.

Assim, o que ocorre na Av. Perimetral é resultante de grande volume de tráfego pesado atrelado a uma estrutura de pavimento deficiente a demanda atual.

2.2. ANÁLISE DE DADOS

Através do relatório fotográfico apresentado no ANEXO I e da visita in loco foi possível constatar o comprometimento estrutural do pavimento da Avenida Perimetral. Os principais fatores que podem ter ocasionado a fadiga do pavimento são o final do tempo de vida útil, as mudanças dos parâmetros adotados em projeto, falhas de execução e uso de materiais de baixa qualidade.

Portando, recomenda-se que seja realizado o incremento da sua capacidade estrutural, através da substituição das camadas existentes. A substituição do pavimento deve ser baseada no estudo geotécnico de todo o trecho que será recuperado e na avaliação do tráfego atual e futuro da via, conforme o dimensionamento apresentado neste documento.

Fotografias de toda a pista são apresentadas no Anexo I.

3. DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

O Projeto de Pavimentação foi desenvolvido com o objetivo de fornecer o detalhamento e o dimensionamento de uma estrutura que possa suportar economicamente as repetições de eixo padrão em condições de conforto e segurança para o usuário da via projetada.

O dimensionamento das espessuras das camadas do pavimento foi determinado em conformidade com as condições gerais indicadas pelo Manual de Pavimentação do DNIT.

3.1. MÉTODO UTILIZADO

No dimensionamento do pavimento flexível, foi utilizado o método do DNER, edição 1996, do Eng^o Murilo Lopes Souza, baseado nas características de resistência dos solos de fundação, dos materiais de constituição do pavimento e do volume e do tipo do tráfego solicitante.

Segundo tal procedimento, determina-se a espessura total necessária para o pavimento, em função do material granular, como os dados geotécnicos e das características do tráfego solicitante, este último parâmetro também é utilizado para a determinação da espessura mínima do revestimento betuminoso.

Um projeto de pavimento flexível deve atender limitações de tensões que possam provocar ruptura por cisalhamento, deformações permanentes e deformações recuperáveis ou elásticas.

3.2. PARÂMETROS DO DIMENSIONAMENTO

Na aplicação do método citado, é necessária a obtenção dos seguintes parâmetros:

3.2.1. Número “N”

O pavimento é dimensionado considerando a vida útil de projeto de 10 anos. E o número “N” utilizado para o dimensionamento do pavimento é estabelecido de acordo com a função predominante da via, conforme a Tabela 8.1 apresentado abaixo:

Tabela 1 – Tráfego por Classificação Funcional da Via

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	$2,7 \times 10^4$ a $1,4 \times 10^5$	10^5
Via Local e Coletora	MÉDIO	10	401 a 1.500	21 a 100	1,50	$1,4 \times 10^5$ a $6,8 \times 10^5$	5×10^5
Vias Coletoras e Estruturais	MEIO PESADO	10	1.501 a 5.000	101 a 300	2,30	$1,4 \times 10^6$ a $3,1 \times 10^6$	2×10^6
	PESADO	12	5.001 a 10.000	301 a 1.000	5,90	$1,0 \times 10^7$ a $3,3 \times 10^7$	2×10^7

	MUITO PESADO	12	> 10.000	1,001 a 2.000	5,90	3,3x10 ⁷ a 6,7x10 ⁷	5x10 ⁷
Faixa Exclusiva de Ônibus	VOLUME MÉDIO	12		< 500		3x10 ⁶	10 ⁷
	VOLUME PESADO	12		> 500		5x10 ⁷	5x10 ⁷

Fonte: Prefeitura de São Paulo, 2004.

A partir da projeção futura de utilização da via após a pavimentação, foi considerado o tráfego de Vias Coletoras e Estruturais (MUITO PESADO). O valor obtido para o período e especificações de projeto citados acima foi de $N = 5 \times 10^7$.

3.2.2. Índice de Suporte do Subleito (CBR)

A definição do CBR característico do subleito para o dimensionamento do pavimento da Avenida Perimetral foi obtido através dos ensaios geotécnicos obtidos junto ao DER, referente ao projeto da Avenida Perimetral. Segundo o relatório apresentado foram executados furos ao longo de toda a rodovia, com profundidade de 1,50 metros abaixo do greide projetado e também foram retiradas amostras do solo para estudos em laboratório. A partir dos estudos geotécnicos e avaliação estrutural realizada da via existente, foi adotado como valor mínimo de CBR 7,00%.

3.3. DETERMINAÇÃO DAS ESPESSURAS DAS CAMADAS DOS PAVIMENTOS

A fixação da espessura mínima a adotar para os revestimentos betuminosos é um dos pontos ainda em aberto na engenharia rodoviária, quer se trate de proteger a camada de base dos esforços impostos pelo tráfego, quer se trate de evitar a ruptura do próprio revestimento por esforços repetidos de tração na flexão.

O método do DNIT recomenda as espessuras mínimas apresentadas na Tabela 8.2 que se segue.

Tabela 2 – Tipo de revestimento em função de tráfego

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

Fonte: DNIT, 2006.

As espessuras mínimas do revestimento são obtidas em função do número "N". Conforme apresentado anteriormente, para o número "N" igual a 5×10^7 , como aponta a estimativa de tráfego, portanto será utilizado uma camada de Revestimento betuminoso com 10,0 cm de espessura.

A determinação das espessuras das demais camadas constituintes do pavimento se faz pelas seguintes inequações:

$$R \times KR + B \times KB \geq h20 \quad (1)$$

$$R \times KR + B \times KB + h20 \times Ks \geq Hn \quad (2)$$

$$R \times KR + B \times KB + h20 \times Ks + hn \times KREF \geq Hm \quad (3)$$

Onde:

- R = espessura do revestimento;
- B = espessura da camada de base;
- H20 = espessura sobre a sub-base;
- h20 = espessura da sub-base;
- Hn = espessura sobre o reforço do subleito;
- hn = espessura do reforço do subleito;
- Hm = espessura total do pavimento;
- KR, KB, KS, KREF = coeficientes de equivalência estrutural.

As espessuras Hm, Hn, e H20 são obtidas através do ábaco apresentado na Figura 8.1, onde a espessura é função do número "N" e do valor do CBR do subleito, da sub-base ou do reforço do subleito.

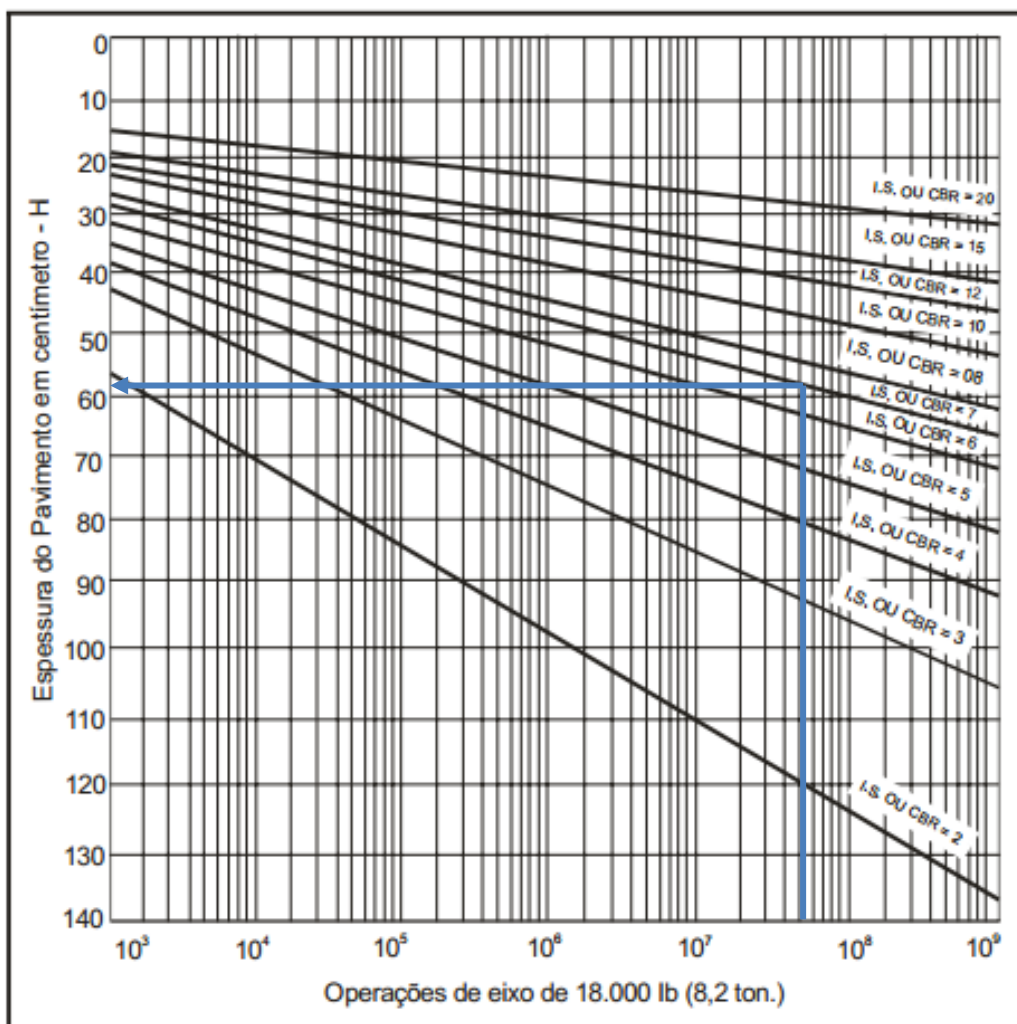


Figura 6 – Ábaco de determinação da espessura do pavimento

Fonte: DNIT, 2006.

O método de dimensionamento do DNIT faz algumas recomendações quanto aos coeficientes de equivalência estrutural dos materiais e quanto às espessuras mínimas de revestimento betuminoso.

Os coeficientes estruturais dos materiais utilizáveis nas camadas do pavimento são apresentados na Tabela 2.3 que se segue.

Tabela 3 – Coeficientes k

Componentes do Pavimento	Coeficiente k
Base ou revestimento do concreto betuminoso	2
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 resistência a compressão a 7 dias superior a 45 kg/cm ²	1,7
Idem, com resistência a compressão a 7 dias entre 45 e 28 kg/cm ²	1,4
Idem, com resistência a compressão a dias entre 28 e 21 kg/cm ²	1,2
Bases de Solo-Cal	1,2

Fonte: DNIT, 2006.

Para determinação das espessuras do pavimento das vias serão adotados os seguintes coeficientes:

- Revestimento betuminoso: $K = 2,00$;
- Base granular: $K = 1,0$;
- Sub-base granular: $K = 1,0$;
- CBR do subleito = 7,00%.

Assim, com a resolução das inequações e atentando-se para as espessuras mínimas das camadas indicadas pelas instruções de execução em vigor, têm-se as espessuras das camadas do pavimento dimensionado:

Revestimento: 5,0 cm de Concreto Betuminoso Usinado a Quente – CBUQ (Camada de Rolamento).

Revestimento: 5,0 cm de Concreto Betuminoso Usinado a Quente – CBUQ (Binder).

Base: 15 cm de Bica Corrida (CBR \geq 60%, Expansão \leq 0,5%, Compactação a 100% Proctor Intermediário).

Sub-Base: 15 cm de Bica Corrida (CBR \geq 30%, Expansão \leq 1,0%, Compactação a 100% Proctor Intermediário).

Reforço Subleito: 12 cm de Bica Corrida Entupida + $H_{\text{variável}}$ de Rachão (espessura média estimado 40cm).

A seguir apresentam-se as camadas da Seção Transversal Tipo do pavimento projetado:

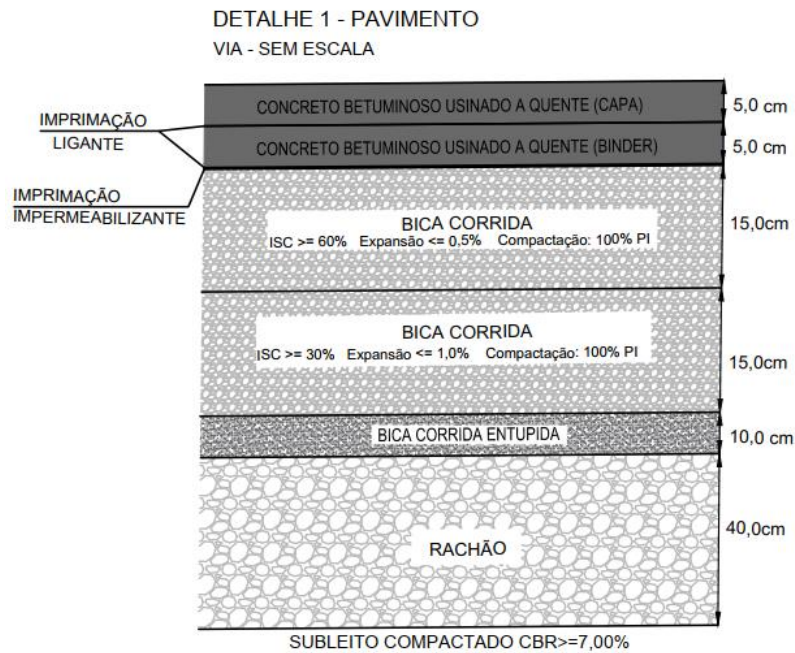


Figura 7 – Pavimento Flexível Tipo.

Para a seção transversal do pavimento presente no acostamento foi utilizado à mesma camada de base e sub-base da pista de rolamento, devido à carga de suporte ser inferior na pista de acostamento, foi considerado uma camada menor de revestimento betuminoso. A seguir apresentam-se as camadas que deverão ser executadas no pavimento do acostamento:

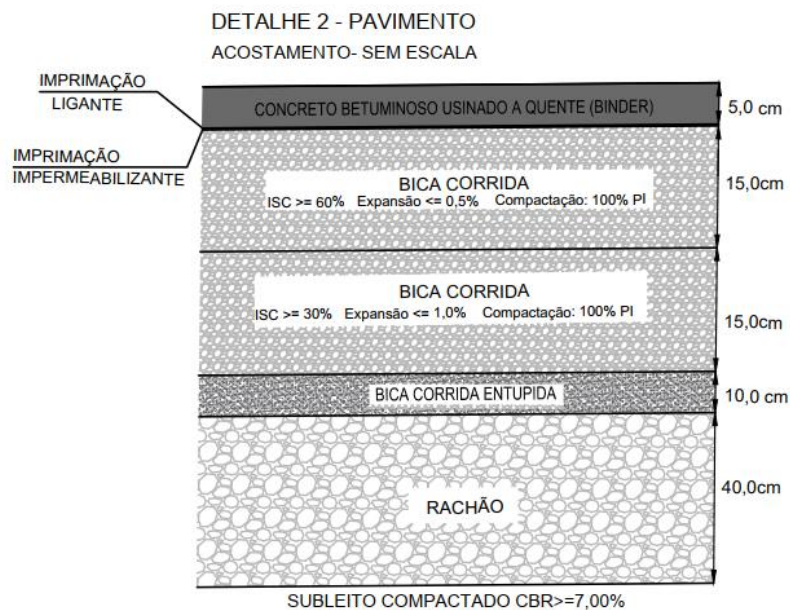


Figura 8 – Pavimento Flexível Acostamento.

Tendo em vista a redução dos custos de pavimento e o diagnóstico de pavimento, no trecho entre a rotatória São Geraldo e a rodoviária será realizado apenas o recapamento na espessura de 5cm.

3.3.1. Especificações de Serviços

Para a execução das camadas, devem-se seguir atentamente as seguintes especificações de serviço:

- Pavimento Flexível: Mistura Asfálticas a Quente – DNER – ES 031/06;
- Imprimação Impermeabilizante – DNIT – ES 144/14;
- Pintura de Ligação Impermeabilizante – DNIT – ES 145/12;
- Base ou Sub-Base Bica Corrida – ET-DE-P00/010_A;
- Preparo do Subleito – DNIT – ES 299/97;
- Reforço do Subleito – DNIT – ES 138/10;
- Execução de Estruturas de Concreto – ABNT – NBR 14931;

Obs.: A Especificação de Serviço ET-DE-P00/010 indicada para a execução da camada de Bica Corrida pertence ao Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo. Esta especificação foi escolhida devido ao fato de que a revisão da especificação de serviço desse material no DNIT ainda não está aprovada.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14.931. Execução de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro, 2004.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Especificação de Serviço Ministério dos Transportes. 2006.

GOOGLE EARTH – Programa Google Earth. 2021.

ANEXO I – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO



















































