



2.5 PROJETO DE RESTAURAÇÃO DO PAVIMENTO

O Projeto de Restauração da Estrada Municipal São Marcos tem por objetivo definir, de forma técnica e economicamente viável, a metodologia de avaliação e dimensionamento necessária para restabelecer a capacidade estrutural e funcional da rodovia existente.

As soluções de restauração propostas foram desenvolvidas com base no diagnóstico das condições funcionais e estruturais do pavimento, nos resultados dos ensaios de campo e laboratório, na avaliação do tráfego de projeto e nas condições geotécnicas do subleito e das camadas existentes.

Todos os procedimentos adotados no projeto seguem as recomendações do Termo de Referência e das publicações técnicas aplicáveis, dentre as quais destacam-se:

- Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos – DNIT;
- Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários – DNIT (2006);
- PRO-11 – Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis – DNER.

Com base nessas informações, definiu-se o conjunto de intervenções necessárias para a restauração do pavimento, realizou-se o dimensionamento da solução proposta e elaboraram-se os respectivos detalhes e memoriais de cálculo que compõem o projeto executivo.

2.5.1 Cálculo do número N

A carga de tráfego, isto é, o número de solicitações equivalentes do eixo padrão de 8,2 t atuante no 10º ano após a abertura do pavimento. O número N foi fornecido pela secretaria de obras do município de Mercedes – PR, sendo este: **1 x 10⁶**.

2.5.2 Avaliação Estrutural do Pavimento

A avaliação estrutural verifica a capacidade de carga do pavimento, compreendendo o estudo das características de resistência e de deformabilidade de suas



camadas. Os resultados deste levantamento recebem tratamentos estatísticos fornecendo assim, a real condição de cada camada constituinte da estrutura do pavimento existente, em cada segmento homogêneo analisado.

Na mecânica dos pavimentos convencionou-se chamar de deflexão a deformação elástica, ou recuperável, de estruturas de pavimentos sob a ação de cargas repetidas.

Desta maneira, a deformação resiliente deixa de existir assim que a carga se desloca para outro ponto da superfície podendo ser mensurada pelos deflectômetros.

Já as deformações permanentes, ou plásticas, são o somatório de deformações que ocorre no pavimento ao longo dos anos com a passagem do tráfego, ou seja, uma parcela da estrutura do pavimento que se deformou, não retorna ao seu estado natural e se acumula durante os anos com a passagem do tráfego.

A deflexão recuperável máxima é um parâmetro importante para avaliação estrutural de pavimentos flexíveis, pois possibilita a aferição do comportamento da estrutura como um todo e permite a partir da previsão de tráfego futuro e das características do subleito, avaliar as necessidades estruturais do trecho para o período de projeto.

O método utilizado para avaliação do pavimento foi utilizado o método não destrutivo, através do levantamento deflectométrico da estrutura com o emprego da Viga Benkelman, relativo à carga no pavimento devido a ação do tráfego atuante.

O procedimento utilizado seguiu as normativas do DNER-ME-24/94 e NBR 8547.

O caminhão padronizado para este tipo de levantamento tem suas rodas duplas traseiras com pneus calibrados à pressão de 0,55 Mpa (5,6 kgf/cm² ou 80 lb/pol²) e carga de 80 KN (8,2 tf) no eixo traseiro simples.

No gráfico apresentado na Figura 6, são apresentados os resultados do levantamento deflectométrico, fornecidos pelo município de Mercedes, os quais, foram realizados pela empresa Consolotec Controle Tecnológico, cujo responsável técnico é o sr. Fernando Guth.

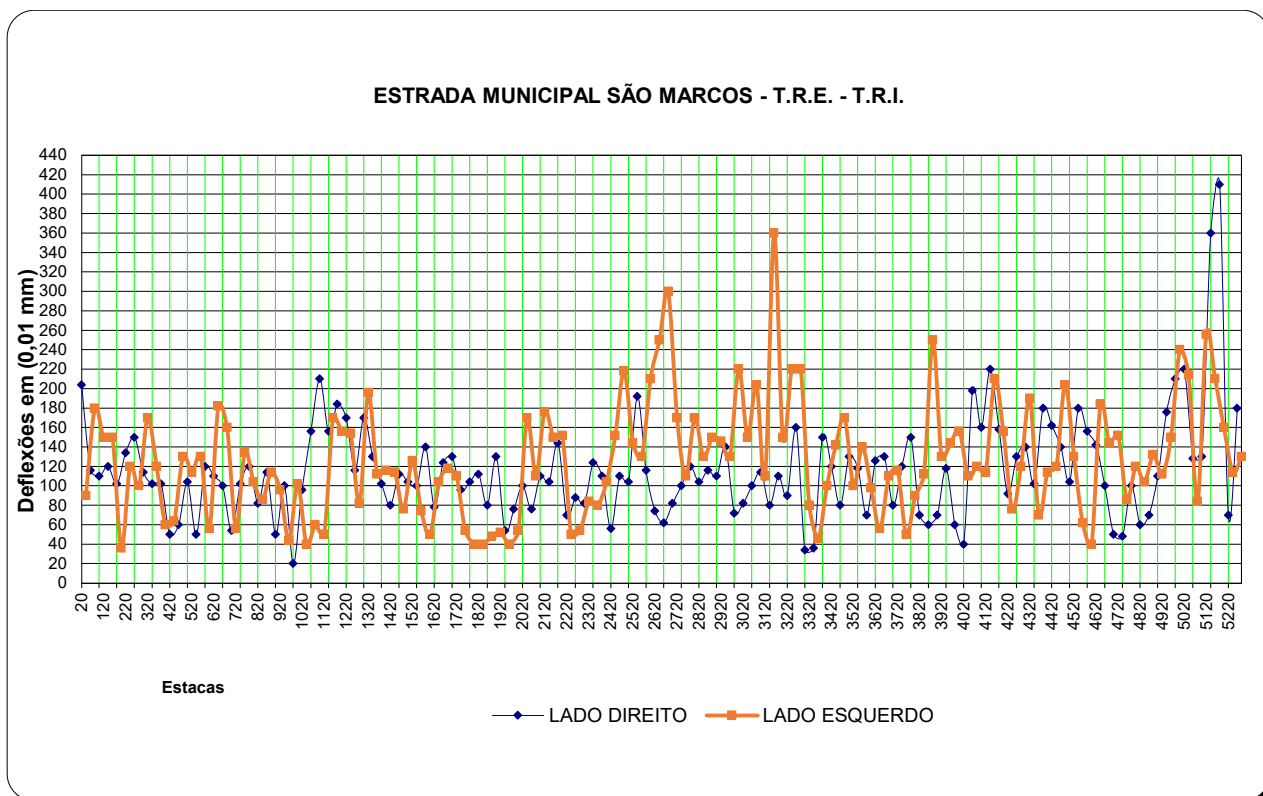


Figura 6 - Gráfico do levantamento deflectométrico.

2.5.3 Dimensionamento da Restauração do Pavimento – Método 011/079

As deformações são partes do caráter elástico do material dos pavimentos quando sobre eles atua uma carga, mas se tem que considerar que também intervêm esforços plásticos nesse processo. Os primeiros (elásticos) desaparecem quando se remove a carga enquanto os segundos (plásticos) são permanentes e a repetição das cargas produz distorções e trilhas na superfície do pavimento.

O método de cálculo de espessura de reforço estrutural descrito a seguir foi extraído da norma técnica DNER-PRO 11/79. Os procedimentos preconizados por esta norma foram desenvolvidos baseados no critério de deformabilidade dos pavimentos flexíveis, expressos na prática pela medida de deflexões recuperáveis, uma vez que a experiência tem demonstrado que existe uma correlação entre a magnitude das deflexões (e do raio de curvatura correspondente) e o aparecimento de falhas nos pavimentos flexíveis.

A análise considera o comportamento de um pavimento bem construído, que ao longo de sua vida é solicitado não só pelo tráfego, que o submete a esforços diversos de compressão, cisalhamento e flexão, como também pelos fatores climáticos, como precipitações pluviométricas e mudanças de temperatura, causando a fadiga de toda a estrutura.

2.5.3.1 Raio de Curvatura

A deflexão recuperável máxima é um parâmetro importante para a compreensão do comportamento da estrutura. Quanto maior seu valor, mais elástica ou resiliente é a estrutura, e maior o seu comprometimento estrutural. No entanto, a análise isolada de seu valor pode não esclarecer completamente a questão, já que nas estruturas de pavimentos distintas podem apresentar a mesma deflexão máxima, porém com arqueamentos diferenciados na deformada. A forma da deformada é de extrema importância numa avaliação estrutural.

O raio de curvatura é um parâmetro indicativo do arqueamento da deformada na sua porção mais crítica, considerada a 25 cm do centro da carga. A Figura 7 apresenta o arco parabólico.

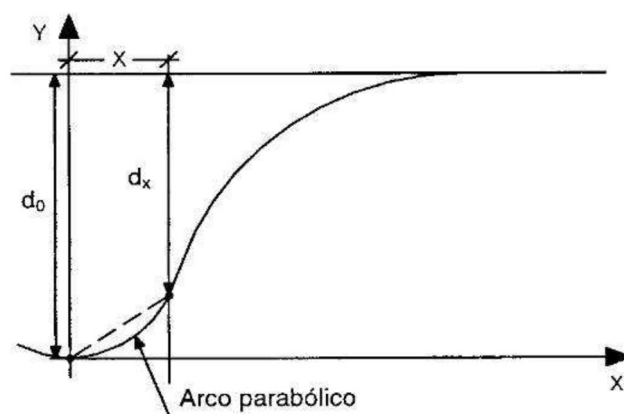


Figura 7 - Arco Parabólico.

A expressão de cálculo utilizada para a determinação do raio de curvatura é:

$$R = \frac{6250}{2 * (D_0 - D_{25})}$$

Onde:

- Raio de curvatura da bacia de deformação, em m;
- Deslocamento vertical recuperável junto à ponta de prova carga, em 10-2 mm;



- Deslocamento vertical recuperável à 25 cm da ponta de prova carga, em 10-2 mm;

Um raio de curvatura baixo é indicativo de um severo arqueamento da deformada, denotando uma condição estrutural crítica.

2.5.3.2 Cálculo das Deflexões Características

As deflexões foram medidas com o emprego da Viga Benkelman, e compatibilizadas com o emprego das equações constantes no manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos DNIT 2006 IPR 720.

Podem distinguir-se, com respeito à deflexão, as seguintes fases da vida do pavimento:

- Fase de Consolidação:

Fase que sucede imediatamente à construção, sendo caracterizada por um decréscimo desacelerado do valor da deflexão, decorrente da consolidação adicional pelo tráfego nas diversas camadas do pavimento. O valor da deflexão tende a se estabilizar ao fim desta primeira fase.

- Fase Elástica:

Fase que sucede à de consolidação e ao longo da qual o valor da deflexão do pavimento, a menos das variações sazonais, se mantém aproximadamente constante ou cresce ligeiramente. Essa fase define a vida útil do pavimento, tendendo a se alongar na proporção da diferença verificada entre a deflexão admissível e a deflexão suportada pelo pavimento.

- Fase de Fadiga:

Fase que sucede à elástica, caracterizando-se por um crescimento acelerado do valor de deflexão do pavimento na medida em que a estrutura começa a exteriorizar os efeitos da fadiga, representados por fissuras, trincas e acúmulo de deformações permanentes sob cargas repetidas. Caso não sejam tomadas medidas para reforço e recuperação do pavimento, observa-se, geralmente, um processo de degradação do pavimento.

A Figura 8 ilustra as fases da vida do pavimento descritas anteriormente.

Para efeito de cálculo a deflexão D passa a ser expressa pelo valor de Dc (Deflexão característica) que é calculado pela equação a seguir.

$$D_c = D + s$$

onde D e s representam, respectivamente, a média aritmética e o desvio-padrão dos valores de deflexão sob a ação da carga do segmento analisado.

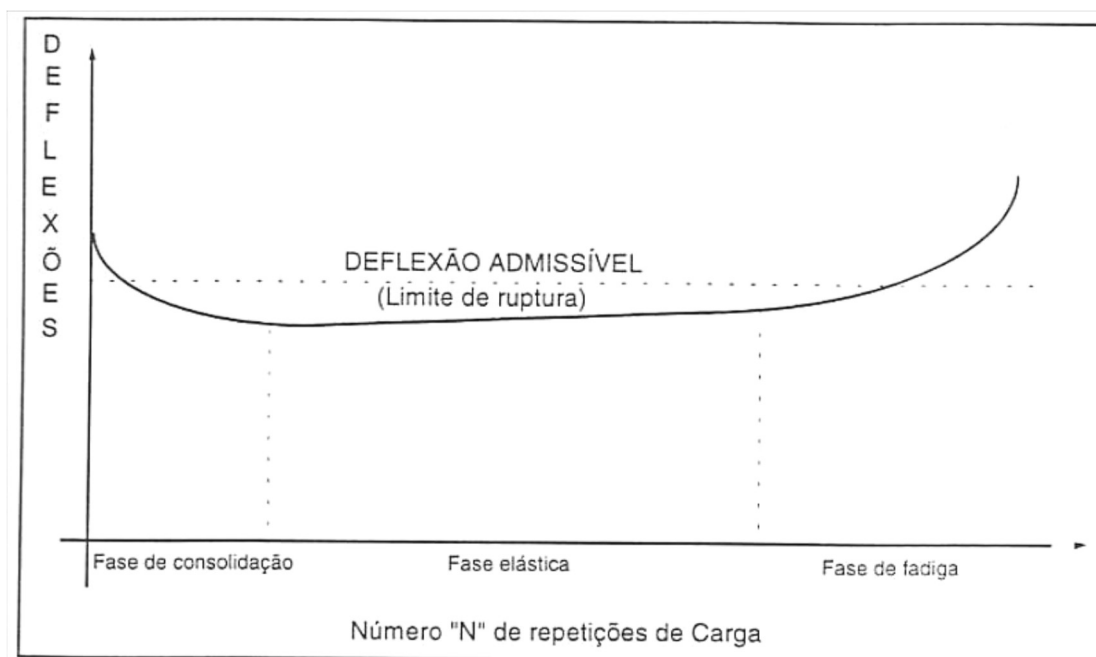


Figura 8 - Fases da vida do pavimento.

Para que não surjam trincas no revestimento, é necessário manter a deflexão, D, abaixo de um valor máximo, Dadm (Deflexão admissível), e o raio de curvatura, R, do pavimento, acima de um certo valor mínimo. Isto garante que a tensão de tração σ_t , correspondente à deformação σ_t , na face inferior do revestimento, não ultrapasse um determinado valor, acima do qual o revestimento betuminoso romper-se-á por fadiga.

O valor da deflexão admissível depende dos materiais constituintes do revestimento e da base do pavimento, bem como do número N de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 80 kN.

Para pavimentos flexíveis, constituídos de revestimento de concreto betuminoso executado sobre base granular, o valor da deflexão admissível (Dadm) em 0,01 mm é dado pela seguinte expressão, correspondente a deflexões medidas com a carga padrão de 80 kN em eixo simples de roda dupla:

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 * \log N$$



PREFEITURA MUNICIPAL DE MERCEDES
Rua Dr. Osvaldo Cruz, nº 555 – Centro – Fone (45) 3256-8000 – CEP 85.998-000 – Mercedes – PR.

Para o cálculo da espessura de reforço estrutural simples utilizando a norma técnica DNER-PRO 11/79 deve-se conhecer os seguintes parâmetros, por segmentos homogêneos.

A Tabela 5 apresenta os critérios para a avaliação estrutural:

<i>Hipótese</i>	<i>Dados Deflectométricos obtidos</i>	<i>Qualidade Estrutural</i>	<i>Necessidade de Estudos Complementares</i>	<i>Critério para cálculo de Reforço</i>	<i>Medidas Corretivas</i>
I	Dc ≤ Dam R ≥ 100	Boa	NÃO	-	Apenas correção superfície
II	Dc > Dam R ≥ 100	Se Dp ≤ 3 Dam Regular	NÃO	Deflectométrico	Reforço
		Se Dp > 3 Dam Má	SIM	Deflectométrico e resistência	Reforço ou reconstrução
III	Dc ≤ Dam R < 100	Regular para má	SIM	Deflectométrico e resistência	Reforço ou reconstrução
IV	Dc > Dam R < 100	Má	SIM	Resistência	Reforço ou reconstrução
V	-	Má (IGG > 180).	SIM	Resistência	Reconstrução

Tabela 5 - Critérios da Avaliação Estrutural.

2.5.3.3 Dimensionamento do Reforço em Concreto Asfáltico

Para calcular a espessura do reforço do pavimento, H_{ref} , em termos de concreto betuminoso, utiliza-se a expressão a seguir:

$$h_{ref} = 40 * \log \frac{D_p}{D_{adm}}$$

Onde:

- h_{ref} = Espessura do reforço do pavimento, em cm;
- D_p = Deflexão de projeto determinada para o sub-trecho homogêneo, objeto do dimensionamento, em 10-2 mm;
- D_{adm} = Deflexão admissível após a execução do reforço do pavimento, em 10-2 mm;

Face as considerações feitas sobre a divisão dos segmentos homogêneos em função das informações fornecidas pelos levantamentos das deflexões, das porcentagens



de trincamento e da confirmação realizada em campo, serão adotadas as seguintes soluções:

SEGMENTO HOMOGÊNEO			AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO		DNER PRO 11/79			SOLUÇÃO ADOTADA		
SH	ESTACA		Extensão (m)	Dc Benkelman	TRÁFEGO	Dad _m (0,01 mm)	D _p > Dad _m ~	Espessura do Reforço hCB LE (cm)	Medida Corretiva	Espessura - CA (cm)
	Inicial	Final								
01	0+00	72+00	1.440,00	127	1,00E+06	90	SIM	5,98	Reforço	6,00
02	72+00	100+00	560,00	70	1,00E+06	90	NÃO	-	-	-
03	100+00	111+00	220,00	152	1,00E+06	90	SIM	9,10	Reconstrução	9,50
04	111+00	120+00	180,00	67	1,00E+06	90	NÃO	-	-	-
05	120+00	264+00	2.880,00	161	1,00E+06	90	SIM	10,10	Reconstrução	12,00

Tabela 6 - Resumo do dimensionamento pelo método PRO 11/79.

2.5.4 Análise Técnica de Alternativas

Em alguns segmentos verificou-se insuficiência da capacidade de suporte da camada de base frente às solicitações do tráfego atual. Dessa forma, a solução de restauração deve considerar que a base existente não pode ser mantida, sendo necessária sua substituição, sua reciclagem ou a execução de uma nova camada de base, de modo a garantir a adequada sustentação das camadas de revestimento projetadas e a vida útil do pavimento.

Alguns desses segmentos apresentam, adicionalmente, raios de curvatura críticos, o que demanda intervenções geométricas e a execução de TCI – Tratamento das Camadas Inferiores, contemplando sub-base e subleito, para restabelecimento da capacidade estrutural e geométrica da via.

Por outro lado, alguns segmentos apresentam condições estruturais satisfatórias, permitindo a manutenção do revestimento e da base existentes.

Adicionalmente, considerando que o traçado existente não se encontra integralmente em conformidade com os parâmetros geométricos recomendados, bem como que a pista, em grande parte de sua extensão, não apresenta capacidade estrutural compatível com as solicitações de tráfego, foi prevista a correção do traçado horizontal e vertical, visando à melhoria das condições de segurança e conforto operacional da via.



PREFEITURA MUNICIPAL DE MERCEDES
Rua Dr. Osvaldo Cruz, nº 555 – Centro – Fone (45) 3256-8000 – CEP 85.998-000 – Mercedes – PR.

Diante desse cenário, a solução adotada consiste, predominantemente, na **reconstrução do pavimento**, de modo a garantir desempenho estrutural adequado e atendimento aos critérios geométricos vigentes.



2.6 PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO

O Projeto de Pavimentação, faz parte do Projeto de Engenharia Rodoviária para Implantação da Pavimentação Asfáltica na comunidade São Marcos, em uma extensão de 5,85 Km.

Essa etapa tem por objetivo a determinação da metodologia de dimensionamento da estrutura mais adequada para a restauração da rodovia, do ponto de vista técnico e econômico. Sendo apresentado os seguintes tópicos:

- Resultado das sondagens realizadas;
- Disponibilidade de materiais locais com potencialidade para a composição de camadas estruturais de base e sub-base;
- Disponibilidade de ligantes para a formação de pinturas asfálticas e das misturas asfálticas;
- Período de projeto;
- Carga de tráfego;
- Metodologia de dimensionamento do pavimento; e
- Processo construtivo mais adequado.

As soluções de pavimentação propostas foram desenvolvidas com base nos estudos geotécnicos do subleito e da avaliação da solicitação de tráfego futura.

Todos os procedimentos adotados no projeto seguem às recomendações de Termo de Referência e das seguintes publicações:

- Manual de Pavimentação, DNIT – 2006;
- Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários – 2006;
- IS-211 – Projeto de Pavimentos Flexíveis.

Inicialmente, foi efetuada a análise dos dados obtidos nos levantamentos realizados na fase de estudos, que são:

- Tratamento e análise dos parâmetros de tráfego necessários para o dimensionamento das estruturas de pavimento;
- Investigações geotécnicas obtidas nos Estudos Geotécnicos do subleito;



Com base nestas informações, definiu-se a concepção estrutural para os pavimentos, efetuou-se o seu dimensionamento e detalhou-se o projeto em todos os seus principais aspectos.

2.6.1 Estudo Geotécnico

A capacidade de suporte do subleito pode ser determinada diretamente por uma prova de carga estática ou por meio de correlação entre o Índice de Suporte Califórnia (CBR ou ISC). Portanto, os materiais do subleito devem apresentar uma expansão, medida no ensaio de CBR, menor ou igual a 2% e um CBR maior ou igual a 2%.

Na Tabela 7, é apresentado o resumo das sondagens que foram disponibilizadas pelo município de Mercedes, o qual, foi realizado pela empresa Consolotec Controle Tecnológico, cujo responsável técnico é o sr. Fernando Guth.

Amostra	Dens. Aparente Máxima (g/cm³)	Umidade Ótima (%)	I.S.C. (%)	Expansão (%)
2R017COL	1,548	27,60	8,50	0,00
2R018COL	1,634	23,60	8,00	0,20
2R019COL	1,586	26,20	8,00	0,00
2R020COL	1,560	25,90	6,80	0,00
2R021COL	1,633	26,20	6,90	-0,10
2R022COL	1,620	26,30	7,60	0,10
2R023COL	1,586	26,20	7,80	0,00
2R024COL	1,573	25,90	8,80	0,00
2R025COL	1,640	26,10	7,30	0,10
2R026COL	1,552	26,50	7,20	-0,10
2R027COL	1,604	26,50	6,70	0,00
2R028COL	1,584	26,60	6,30	0,20
2R029COL	1,595	25,30	6,80	0,00
2R030COL	1,624	26,00	8,70	0,00
2R031COL	1,640	25,30	8,10	0,10
2R032COL	1,604	25,10	7,70	0,20
2R033COL	1,630	26,00	7,50	0,00
2R034COL	1,610	25,50	8,40	-0,10
2R035COL	1,591	25,30	7,00	0,10
2R036COL	1,557	26,00	7,30	0,00
2R037COL	1,629	26,00	8,10	0,00
2R038COL	1,642	26,30	7,30	0,00
2R039COL	1,599	26,30	8,00	-0,10
2R040COL	1,577	25,60	7,90	-0,10
2R041COL	1,603	26,40	7,30	-0,10
2R042COL	1,619	26,00	8,40	0,20



PREFEITURA MUNICIPAL DE MERCEDES
Rua Dr. Osvaldo Cruz, nº 555 – Centro – Fone (45) 3256-8000 – CEP 85.998-000 – Mercedes – PR.

Amostra	Dens. Aparente Máxima (g/cm ³)	Umidade Ótima (%)	I.S.C. (%)	Expansão (%)
2R043COL	1,569	26,20	7,90	0,20
2R044COL	1,627	26,40	7,20	0,20
2R045COL	1,638	26,20	9,00	0,10
2R046COL	1,629	26,00	7,80	0,10
2R047COL	1,621	26,20	8,70	0,20
2R048COL	1,647	26,20	8,70	-0,10
2R049COL	1,618	26,00	7,90	0,10
2R050COL	1,643	26,00	9,00	0,00
2R051COL	1,621	26,20	8,10	0,10
2R052COL	1,585	26,30	8,40	-0,10
2R053COL	1,552	26,00	8,50	0,20
2R054COL	1,575	26,40	9,20	0,00
2R055COL	1,644	26,50	8,30	0,10
2R056COL	1,648	26,20	6,40	0,20
2R057COL	1,593	26,10	7,30	0,00
2R058COL	1,596	26,10	8,20	0,20
2R059COL	1,578	26,30	7,10	0,40
2R060COL	1,635	26,30	7,30	0,00
2R061COL	1,628	26,00	8,30	0,00
2R062COL	1,625	26,50	7,60	0,00
2R063COL	1,590	26,10	8,50	-0,10
2R064COL	1,599	26,10	8,00	0,10
2R065COL	1,645	26,20	7,80	0,20
2R066COL	1,640	26,50	8,50	0,10
2R067COL	1,623	26,30	8,00	0,20
2R068COL	1,561	26,20	6,70	0,00
2R069COL	1,606	26,30	7,90	0,20
2R070COL	1,648	26,50	9,20	0,00
2R071COL	1,539	28,40	8,80	0,10
2R072COL	1,554	25,80	8,90	0,30
2R073COL	1,629	26,30	7,00	0,10
2R074COL	1,558	26,10	6,60	0,20
2R075COL	1,550	26,20	6,70	0,10

Tabela 7 - Resumo dos resultados por amostra.

2.6.1.1 Análise Estatística dos Resultados

Para a análise estatística dos resultados dos ensaios será utilizado o plano de amostragem indicado no Manual de Pavimentação de 2006 do DNIT, conforme a equação abaixo:



$$ISC_{Proj} = ISC_{med} \pm \frac{1,29 \sigma}{\sqrt{N}} \pm 0,68 \sigma$$

Efetuada a análise estatística, determinou-se o valor do Índice de Suporte de Califórnia de Projeto (ISC Proj), conforme apresentado a seguir:

$$ISC_{Projeto} = 7,83 \pm \frac{1,29 * 0,75}{\sqrt{59}} \pm 0,68 * 0,75$$

$$ISC_{máx} = 8,46 \quad | \quad ISC_{min} = 7,19$$

A fim de uma maior segurança, a norma recomenda utilizar o Índice de Suporte (I.S.), que é o CBR corrigido em função do Índice de Grupo (IG), conforme expressão a seguir:

$$IS_{Projeto} = \frac{IS_{ISC} + IS_{IG}}{2}$$

Onde:

IS ISC: índice de suporte numericamente igual ao Índice de Suporte Califórnia (CBR – obtido em ensaio e dado em %),

IS IG: índice de suporte derivado do índice de grupo, correspondendo praticamente a uma inversão de escala, fazendo com que solos de boa qualidade tenham os maiores valores de I.S.IG.

Índice de Grupo (IG)	Índice de Suporte (IS IG)
0	20
1	18
2	15
3	13
4	12
5	10
6	9
7	8
8	7
9 a 10	6
11 a 12	5
13 a 14	4
15 a 17	3
18 a 20	2

O método impõe a condição de que o Índice de Suporte máximo seja igual ao valor do CBR; isto significa que quando o I.S. for maior que o CBR, o valor adotado para o I.S. será o do próprio CBR.



Deste modo, temos:

$$IS_{Projeto} = \frac{IS_{ISC} + IS_{IG}}{2} = \frac{7,83 + 8}{2} = 7,91\%$$

$$ISC_{adotado} = 7,80 \%$$

2.6.2 Período de Projeto

O espaço de tempo para o qual o pavimento da rodovia está sendo projetado, ou seja, período de projeto foi definido como sendo de 10 anos após a abertura do tráfego no pavimento.

2.6.3 Carga de Tráfego

A carga de tráfego, isto é, o número de solicitações equivalentes do eixo padrão de 8,2 t atuante no 10º ano após a abertura do pavimento.

O número N foi fornecido pela secretaria de obras do município de Mercedes – PR, sendo este: 1×10^6 .

2.6.4 Dimensionamento dos Pavimentos pelo método do Eng. Murillo Lopes de Souza (DNER 1979)

As espessuras das camadas total mínima necessária dos pavimentos novos (H), resulta da soma de todas as camadas que compõe o pavimento, considerando-se que a camada deve ter a sua espessura convertida através da aplicação de um coeficiente de equivalência (K) que é a relação entre a resistência do material realmente empregado.

Foram dimensionadas de acordo o método do Eng. Murillo Lopes de Souza (DNER 1979), onde adotou-se para subleito, o Índice de Suporte Califórnia de projeto (ISCp) igual a 7,80% e para o número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 t (N) o valor de $1,0 \times 10^6$, utilizando:

- Equação do método:

$$H = 77,67 * N^{0,0482} * CBR^{-0,598}$$

- Inequações de equivalências estruturais:

$$R * Kr + B * Kb \geq H_{20}$$

$$R * Kr + B * Kb + Sb * Ks \geq H_n$$



PREFEITURA MUNICIPAL DE MERCEDES
Rua Dr. Osvaldo Cruz, nº 555 – Centro – Fone (45) 3256-8000 – CEP 85.998-000 – Mercedes – PR.

Onde:

H = espessura do pavimento (cm);

N = número de operações equivalente ao eixo padrão (8,2t)

R = espessura do revestimento;

Kr = coeficiente estrutural do revestimento (para CAUQ, Kr = 2);

B = espessura da base;

Kb = coeficiente estrutural da base (para Base Granular, Kb = 1).

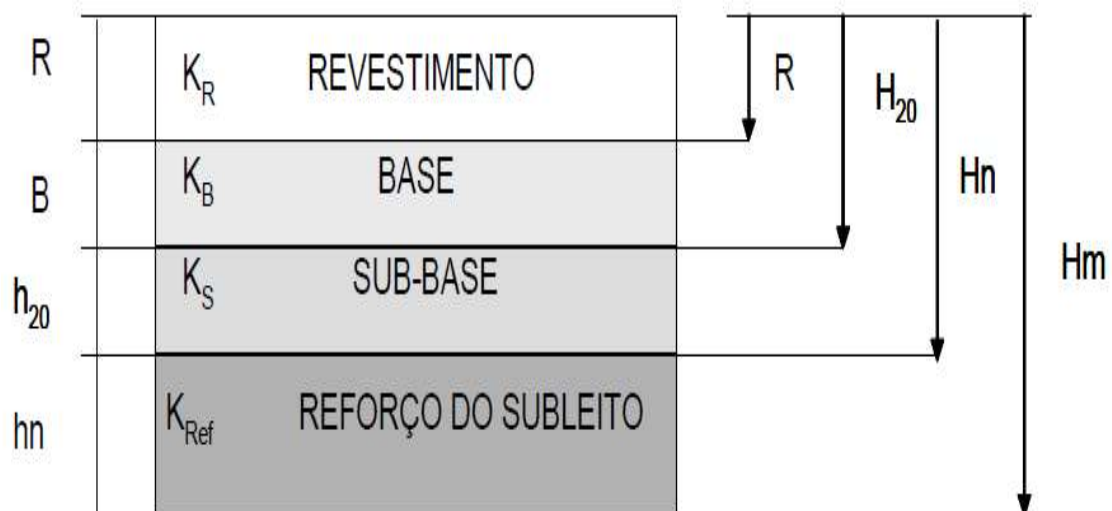
Sb = espessura da sub-base / preparo-de-subleito;

Ks = coeficiente estrutural da camada subjacente a base (para Sub-leito, Ks = 0,77)

CBR = coeficiente estrutural de suporte $\leq 20\%$;

H20 = espessura equivalente para CBR = 20%;

Hn = espessura equivalente para sub-leito.





PREFEITURA MUNICIPAL DE MERCEDES
Rua Dr. Osvaldo Cruz, nº 555 – Centro – Fone (45) 3256-8000 – CEP 85.998-000 – Mercedes – PR.

Componentes dos pavimentos	Coefficiente de equivalência estrutural (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 por penetração	1,20
Base granular	1,00
Sub-base granular	0,77(1,00)
Reforço do subleito	0,71 (1,00)
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 Kg/cm ²	1,70
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 Kg/cm ² e 28 Kg/cm ²	1,40
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 Kg/cm ² e 21 Kg/cm ²	1,20
Bases de Solo-Cal	1,20

O cálculo da espessura total do pavimento (Hm) é:

$$Hm = 77,67 * (1,00 \times 10^6)^{0,0482} * 7,80^{-0,598} = 44 \text{ cm}$$

O H₂₀ a se adotar é encontrado no ábaco ilustrado na publicação 667/22 (DNER, 1981), ou submetendo os dados à mesma equação acima, alterando apenas o CBR para 20%.

O cálculo do H₂₀ é:

$$H_{20} = 77,67 * (1,00 \times 10^6)^{0,0482} * 20^{-0,598} = 25 \text{ cm}$$

Definidos os valores de R, Hm e H₂₀, iniciam-se as inequações para calcular as espessuras.

- Espessura do revestimento:

Adotado **h_R = 5,0 cm**

- Espessura da Base de Brita Graduada:

Do Ábaco → h₂₀ = 25,0 cm

$$h_R \times K_R + h_B \times K_B \geq h_{20}$$

$$5,0 \times 2,0 + h_B \times 1,0 \geq 25,0$$

$$h_B = 15,0$$

Espessura adotada **h_B = 15,0 cm**

- Determinação da sub-base de Macadame Seco:

Do Ábaco → $h_g = 44,0$ cm

$$h_R \times K_R + h_B \times K_B + h_S \times K_S \geq h_n$$

$$5,0 \times 2,0 + 15,0 \times 1,0 + h_S \times 1,0 \geq 44,0$$

$$h_S = 19,0$$

Espessura adotada $h_S = 20,0$ cm

- Verificação:

$$h_R \times K_R + h_B \times K_B + h_S \times K_S \geq h_m$$

$$5,0 \times 2,0 + 15,0 \times 1,0 + 20,0 \times 1,0 \geq 44,0$$

$$45,0 \geq 44,0 - \text{OK!}$$

Assim, a estrutura do pavimento será composta por uma sub-base de rachão com 20 cm de espessura, uma base de brita graduada simples de 15 cm de espessura e um revestimento de concreto asfáltico de 5 cm de espessura. Conforme a ilustração da Figura 9.

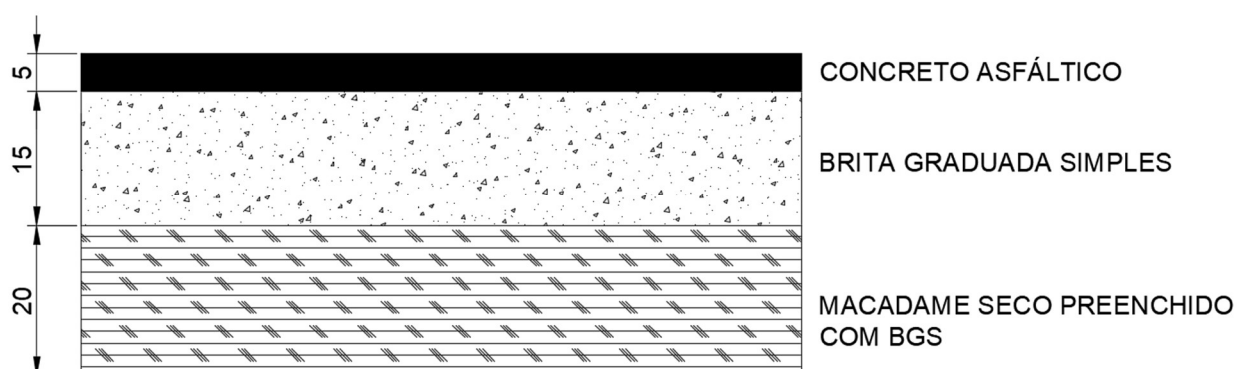


Figura 9 - Estrutura do pavimento dimensionado.



PREFEITURA MUNICIPAL DE MERCEDES
Rua Dr. Osvaldo Cruz, nº 555 – Centro – Fone (45) 3256-8000 – CEP 85.998-000 – Mercedes – PR.

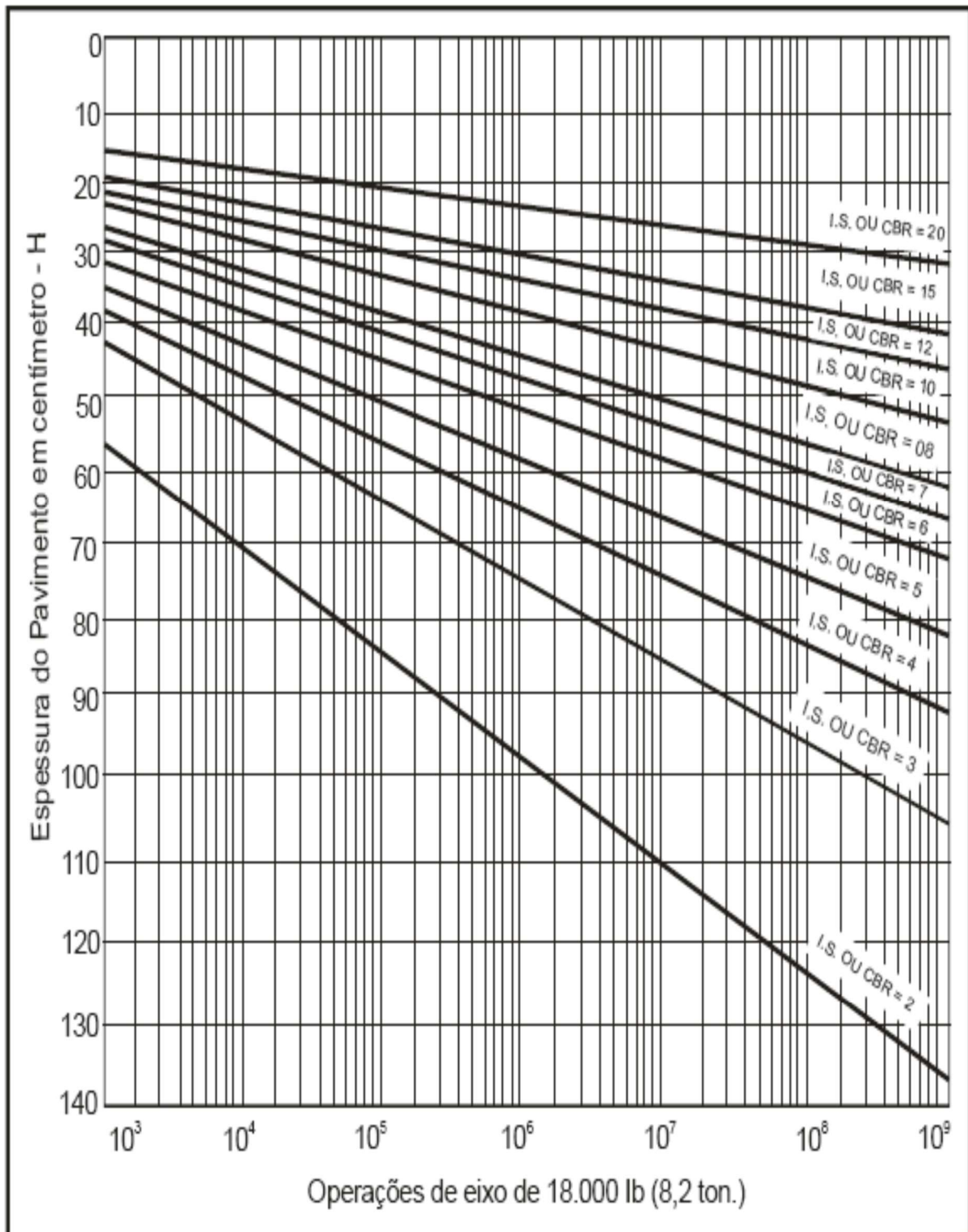


Figura 10 - Ábaco para dimensionamento.



2.6.5 Solução Adotada

Após ser apresentada a análise dos estudos executados, foram definidas as soluções finais para a implantação do pavimento existente, ficando constituídas da seguinte maneira:

CAMADA	MATERIAL	ESPESSURA (cm)
Revestimento	CAUQ	5,00
Base	Brita Graduada	15,00
Sub-base	Macadame seco	20,00

Tabela 8 - Solução adotada para o pavimento a implantar na comunidade São Marcos.

2.6.6 Memória de Cálculo das Quantidades

No quadro abaixo está apresentado a metodologia de cálculo das quantidades dos serviços necessários para a implantação da estrutura de pavimentação.

Discriminação	Extensão (m)	Espessura (m)	Área (m²)	Volume (m³)	Massa (ton)	Densidade ou Taxa de		Unid.	Quantidade
						Valor	Unid.		
CAUQ	5.859,22	0,05	35.155,32	1.757,77	4.394,43	2,5	ton/m3	ton	4.394,43
Brita Graduada	5.859,22	0,15	48.924,49	7.338,67				m3	7.338,67
Macadame Seco	5.859,22	0,20	50.975,21	10.195,04				m3	10.195,04
Imprimação	5.859,22		46.873,76					m2	46.873,76
Pintura de Ligação	5.859,22		46.873,76					m2	46.873,76
Reg. Subleito	5.859,22		17.577,66					m2	17.577,66
Fornec. De CAP 50/70	5.859,22		35.155,32			5,25	%	ton	230,71
Fornec. De EAI	5.859,22		46.873,76			1,2	l/m2	ton	56,25
Fornec. De RR-1C	5.859,22		46.873,76			0,5	l/m2	ton	23,44

As taxas referentes ao revestimento de CAUQ deverão ser determinadas no local da obra antes do início de cada etapa, respeitando as normas.

Para fins deste projeto foi considerada uma faixa de trabalho C do DER PR e utilizada uma taxa de CAP 50/70 para a camada de rolamento de 5,25%. Para a pintura de ligação foram utilizadas as taxas de 0,5 l/m² respectivamente de RR-1C e para imprimação foi considerada uma taxa de 1,2 l/m² de EAI.



2.6.7 Processo Construtivo Mais Adequado

Após as investigações de tráfego, geológicas e geotécnicas, foi dimensionada a estrutura do pavimento a ser implantado a ser utilizado, seguindo as seguintes considerações:

- Os materiais indicados para a camada final de terraplenagem, ou seja, os últimos 60 cm deverão ser executados com material com CBR igual ou superior ao adotado no projeto de pavimentação, expansão <2% e grau de compactação de 100% proctor normal;
- As camadas inferiores do aterro deverão ser compactadas em toda a sua altura a 95% do grau de compactação PN;
- Os taludes foram projetados com inclinação 1(H)/1(V) em cortes em solo e 1,5(H)/1(V) nos aterros;
- Nas seções mistas (corte e aterro) foram previstos denteamentos, com o intuito de melhorar a solidarizarão da parte projetada com a existente;
- Durante a fase de obra no caso de ser encontrado locais onde a geometria encontra-se projetada sobre material de baixa capacidade de suporte, será considerada a remoção do material inservível e posterior reposição com camada drenante em rocha;
- Os serviços de cortes e aterros deverão ser executados em acordo com as Especificações Gerais para Obras Rodoviárias do Departamento de Estradas de Rodagem - DER/PR.

2.6.8 Especificações e Aspectos Executivos

REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DO SUBLEITO

Para a execução da obra, primeiramente deve ser realizada a regularização do subleito, conformando a camada final de terraplanagem, mediante cortes ou aterros em até 20 cm, conferindo-lhe condições adequadas em termos geométricos e de compactação a 100% do PN. O subleito representa o terreno de fundação do pavimento acabado, inclinação transversal de 3% em duas rampas opostas.

Os materiais a serem empregados deverão apresentar as seguintes características:



PREFEITURA MUNICIPAL DE MERCEDES
Rua Dr. Osvaldo Cruz, nº 555 – Centro – Fone (45) 3256-8000 – CEP 85.998-000 – Mercedes – PR.

- Diâmetro Máximo de partículas igual ou inferior a 76 mm.
- Índice Suporte Califórnia – ICS igual ou superior ao considerado para o subleito no dimensionamento do pavimento.

- O grau de compactação mínimo a ser atingido será de 100% do PN.

São indicados os seguintes tipos de equipamentos:

- Motoniveladora pesada, com escarificador;
- Carro tanque distribuidor de água;
- Rolos compactados tipo pé-de-carneiro, liso-vibratório e pneumático;
- Grade de disco;
- Pulvimisturador.

Os equipamentos de compactação e misturas são escolhidos de acordo com o tipo de material empregado.

Execução:

- Toda a vegetação e material orgânico porventura existente no leito serão removidos.
- Após a execução de cortes, aterros e adição do material necessário para atingir o greide de projeto, procede-se a escarificação geral na profundidade de 20 cm, seguida de pulverização, umedecimento ou secagem, compactação e acabamento.

SUB-BASE MACADAME SECO PREENCHIDO COM BGS

Após esta etapa, será executado a sub-base sobre o subleito em macadame seco preenchido com brita graduada, devidamente regularizado, cuja estabilidade é obtida por ação mecânica de compactação, composta por produtos resultantes de britagem primária de rocha sã, enquadrados em uma composição granulométrica do macadame preenchido com brita graduada.

São indicados os seguintes equipamentos para execução de base granular:

- Rolos compactadores tipo, liso, liso vibratório e pneumático.

A execução da sub-base compreende as operações de espalhamento, compactação e acabamento, realizadas na pista devidamente preparada, na largura desejada, nas quantidades que permitam, após compactação, atingir a espessura projetada.



BASE EM BRITA GRADUADA

A base em brita graduada, será executada sobre a sub-base, composta por produtos resultantes de britagem primária de rocha sã, enquadrados em uma composição granulométrica satisfazendo a faixa III DER/PR, que assegura estabilidade a camada depois de adequadas operações de espalhamento e compactação.

Equipamentos:

São indicados os seguintes equipamentos para execução de base granular para recomposição de pavimento.

- Carro tanque distribuidor de água.
- Rolos compactadores tipo, liso, liso vibratório e pneumático.
- Central de mistura.

Execução:

A execução da base compreende as operações de mistura de pulverização, umedecimento ou secagem dos materiais, realizada na pista ou em central de mistura, bem como o espalhamento, compactação e acabamento na pista devidamente preparada na largura desejada, nas quantidades que permitam, após compactação, atingir a espessura projetada.

IMPRIMAÇÃO

Aplicação de uma camada de material betuminoso, emulsão asfáltica tipo EAI, sobre a superfície de base granular concluída, antes da execução de um revestimento betuminoso qualquer, objetivando conferir coesão superficial, impermeabilizar e permitir condições de aderência entre esta e o revestimento a ser executado.

A taxa de aplicação “T” é aquela que pode ser absorvida pela base em 24 horas, devendo ser determinada experimentalmente, no canteiro da obra. As taxas de aplicação usual são da ordem de 0,8 a 1,20/m², conforme o tipo e a textura da base e do ligante betuminoso escolhido.

Equipamento:

- Para a varredura da superfície da base, usam-se, de preferência, vassouras mecânicas rotativas, podendo, entretanto, a operação ser executada manualmente. O jato de ar comprimido poderá também ser usado.



- A distribuição do ligante deve ser feita por carros equipados com bomba reguladora de pressão e sistema completo de aquecimento que permitam a aplicação do ligante betuminosos em quantidades uniforme.
- Os carros distribuidores do ligante betuminoso, especialmente construídos para este fim, devem ser providos de dispositivos de aquecimento, dispondo de tacômetro, observação e, ainda, possuir aspersor manual para tratamento de pequenas superfícies com dispositivo de ajustamentos verticais e larguras variáveis de espalhamento uniforme do ligante.
- O depósito do ligante betuminoso, quando necessário, deve ser equipado com dispositivos que permita o aquecimento adequado e uniforme do conteúdo do recipiente.
- O depósito deve ter uma capacidade tal que possa armazenar a quantidade de ligante betuminoso a ser aplicado em, pelo menos, um dia de trabalho.

Execução:

- Após a perfeita conformação geométrica da base, proceder a varredura da superfície, de modo a eliminar todo e qualquer material solto antes da aplicação do ligante betuminoso.
- Aplica-se, a seguir, o ligante betuminoso adequado, na temperatura compatível com o seu tipo, na quantidade certa e da maneira mais uniforme. A temperatura de aplicação do ligante betuminoso deve ser fixada para cada tipo de ligante, em função da relação temperatura x viscosidade, escolhendo-se a temperatura que proporcione a melhor viscosidade, escolhendo-se a temperatura que proporciona a melhor viscosidade para espalhamento. A faixa recomendada para asfaltos diluídos 20 a 60 segundos, "Saybol-Furol" (DNER-ME 004).

A tolerância admitida para a taxa de aplicação do ligante betuminoso ajustada experimentalmente no campo, variando-se de 0,5l/m² a 0,7 l/m² de emulsão, acrescentando-se proporcionalmente água variando de 0,5 l/m² a 0,3 l/m², de forma que a taxa total de emulsão e água seja sempre igual a 1,0 l/m².

- Deve-se imprimir a pista inteira em um mesmo turno de trabalho e deixa-lá, sempre que possível, fechada ao tráfego. Quando isto não for possível, trabalha-se em meia pista, executando a imprimação da adjacente, assim que a primeira for permitida ao tráfego.



PINTURA DE LIGAÇÃO

Pintura de ligação é a pintura asfáltica executada com a função básica de promover a aderência ou ligação da superfície da camada pintada com a camada asfáltica a ser sobreposta. É aplicável em camadas de base, em camadas de ligação ou intermediárias de duas ou mais camadas asfálticas na construção de pavimentos flexíveis e ainda, sobre antigos revestimentos asfálticos, previamente à execução de um reforço, recapeamento e reperfilagens com misturas asfálticas a frio ou a quente, neste projeto será executada uma pintura de ligação sobre a base imprimada.

Pintura de ligação é a pintura asfáltica executada com função básica de promover a aderência ou ligação da superfície da camada pintada com a camada asfáltica a ser sobreposta.

A pintura de ligação da camada de brita graduada deve ser realizada após a conclusão da compactação, tão logo se constate a evaporação do excesso de material superficial. Antes da aplicação da pintura betuminosa, a superfície deve ser perfeitamente limpa, mediante emprego de processos e equipamentos adequados.

A superfície a ser pintada deve ser varrida, eliminando o pó e todo e qualquer material solto, podendo também, ser necessário, o emprego de jato de ar comprimido.

Antes da aplicação do ligante betuminoso, no caso de bases de solo coesivos, tratados ou não, a superfície da base deve ser umedecida. Nas demais superfícies a serem pintadas são permitidas o ligeiro umedecimento, visando facilitar a penetração do ligante.

A temperatura de aplicação do ligante asfáltico deve ser fixada para cada tipo de ligante, em função da relação temperatura versus viscosidade correspondente. A faixa de viscosidade recomendada para espalhamento do ligante, no caso da emulsão asfáltica é de 20 a 100 segundos Saybolt-furol (DNER-ME 004/84).

A fim de evitar a superposição de ligante nas juntas, devem ser colocadas faixas ou tiras de papel transversalmente à pista, de modo que o início e o término da aplicação se situem sobre estas faixas ou tiras de papel, as quais devem a seguir ser retiradas e removidas para local ambientalmente correto.



Havendo falha na aplicação do ligante, deve ser imediatamente corrigido com o emprego do Espargidor manual (“caneta”), ou em alguns casos, até mesmo com o refazimento da pintura asfáltica.

Após a aplicação do ligante deve-se esperar o escoamento da água e a evaporação em decorrência da ruptura.

A diluição em água da emulsão asfáltica utilizada na pintura de ligação deve ser feita no caminhão distribuidor, tomando-se os necessários cuidados para assegurar a correta proporção entre os dois componentes e a sua necessária homogeneização.

O tempo de cura do serviço é função do tipo de ligante asfáltico empregado, das condições climáticas e da natureza da superfície da camada. Assim sendo, a determinação do tempo necessário à liberação da pintura é definida, em cada caso, em função das condições particulares vigentes.

O preço cotado inclui o fornecimento de mão de obra, materiais e equipamentos necessários para a execução dos serviços.

A medição para pagamento será feita por metro quadrado (m²) de pintura asfáltica efetivamente realizada.

REVESTIMENTO EM CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE

Concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ) é uma mistura asfáltica em usina apropriada, composta de agregados minerais e cimento asfáltico de petróleo, espalhada e comprimida a quente.

Para a execução do revestimento em CAUQ para a camada da capa asfáltica de rolamento deverá ser observada a Especificação de Serviços Rodoviários do DER/PR.

A mistura empregada deve apresentar estabilidade e flexibilidade compatíveis com o funcionamento elástico da estrutura e condições de rugosidade que proporcionem segurança ao tráfego.

Antes do início dos trabalhos a empresa vencedora deverá apresentar o projeto da composição da massa asfáltica, devendo satisfazer aos requisitos do quadro apresentado abaixo, e seguir ao percentual do ligante betuminoso no projeto.

Para este projeto, é indicado:

- Capa de Rolamento: Faixa “C” DER/PR.



Peneira de malha quadrada		Porcentagem passando, em peso					
ABNT	Abertura, mm	Faixa A	Faixa B	Faixa C	Faixa D	Faixa E	Faixa F
1 ½"	38,1	100	100	–	–	–	–
1"	25,4	95 – 100	90 – 100	100	–	–	–
¾"	19,1	80 – 100	–	90 – 100	100	100	–
½"	12,7	–	56 – 80	–	80 – 100	90 – 100	–
⅜"	9,5	45 – 80	–	56 – 80	70 – 90	75 – 90	100
n.º 4	4,8	28 – 60	29 – 59	35 – 65	50 – 70	45 – 65	75 – 100
n.º 10	2,00	20 – 45	18 – 42	22 – 46	33 – 48	25 – 35	50 – 90
n.º 40	0,42	10 – 32	8 – 22	8 – 24	15 – 25	8 – 17	20 – 50
n.º 80	0,18	8 – 20	–	–	8 – 17	5 – 13	7 – 28
n.º 200	0,075	3 – 8	1 – 7	2 – 8	4 – 10	2 – 10	3 – 10
Utilização como		Ligação		Rolamento		Reperfilagem	
Variação do teor de ligante		4,0 – 5,5		4,5 – 6,0		5,0 – 6,5	
Espessura máx., cm		6,0		5,0		3,0	

Tabela 9 - Requisitos de composição da mistura. Fonte: DER/PR - ESP PA 21/23.

A usina deve estar equipada com uma unidade classificadora de agregados, após o secador, dispor de misturador capaz de produzir uma mistura uniforme e provida de coletor de pó. Um termômetro, com proteção metálica e escala de 90°C a 210°C (precisão $\pm 1^\circ\text{C}$), deve ser fixado no dosador de ligante ou na linha de alimentação do asfalto, em local adequado, próximo à descarga do misturador. A usina deve ser equipada, além disso, com pirômetro elétrico, ou outros instrumentos termométricos aprovados, colocados na descarga do secador, com dispositivos para registrar a temperatura dos agregados, com precisão de $\pm 5^\circ\text{C}$.

Não é permitida a execução deste revestimento sem o preparo prévio da superfície, caracterizado por sua limpeza e preparo preliminar, quando a temperatura ambiente for igual ou inferior a 10°C e em dias de chuva.

Todo carregamento de ligante betuminoso, que chegar à obra, deve apresentar o certificado de resultados de análise correspondente à data de fabricação ou ao dia de carregamento e transporte para o canteiro de serviço. Deve trazer também a indicação clara da procedência, do tipo, da quantidade do seu conteúdo e da distância de transporte entre a fonte de produção e o canteiro de obras.

É recomendado o emprego de cimento asfáltico de petróleo tipo, CAP 50-70.



A superfície deve apresentar-se limpa, isenta de pó ou outras substâncias prejudiciais.

A temperatura da mistura, no momento da distribuição, não deve ser inferior a 140°C.

Caso ocorram irregularidades na superfície da camada acabada, estas devem ser corrigidas de imediato, pela adição manual de massa, sendo o espalhamento desta efetuado por meio de ancinhos e/ou rodos metálicos. Esta alternativa deve ser, no entanto, minimizada, já que o excesso de reparo manual é nocivo à qualidade do serviço.

A compressão da mistura asfáltica tem início imediatamente após a distribuição da mesma.

As coberturas dos equipamentos de compressão utilizados devem atender às seguintes orientações gerais:

- A compressão deve ser executada em faixas longitudinais, sendo sempre iniciada pelo ponto mais baixo da seção transversal, e progredindo no sentido do ponto mais alto;
- Em cada passada, o equipamento deve recobrir, ao menos, a metade da largura rolada na passagem anterior.

O processo de execução das juntas transversais e longitudinais deve assegurar adequadas condições de acabamento.

A camada de concreto asfáltico recém-acabada somente deve ser liberada ao tráfego após o seu completo resfriamento.

O preço cotado inclui o fornecimento de mão de obra, materiais e equipamentos necessários para a execução dos serviços.

A medição para pagamento será feita por tonelada (t) de revestimento asfáltico em CAUQ efetivamente realizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SENÇO, W., Manual de Técnicas de Pavimentação. Ed. Pini: São Paulo, 2001. Vol. 02
- SOUZA, Murilo Lopes. Pavimentação Rodoviária, Ed. DNER: Rio de Janeiro, 1976. Vol. 01
- CONTRAN: Resoluções nº. 210 e 211/06.