



Código:
RT-BR0000277-344-0.350-2-6C4-P12-001

REV.
00

Emissão:
07/07/2015

Folha:
1/68



Resp. Técnico/Projetista:
Marcelo Montans Zamarian - CREA PR 60.055/D
Luiz Fernando Cirino Zocco - CREA PR 48.415/D

Resp. Técnico/Concessionária:

Lote:
03

Rodovia:
BR-277/PR

DE - DER:

Trecho:
GUARAPUAVA - km 344+000 a 350+200

Verificado - DER/PR:

Objeto:
Relatório Projeto Executivo de Pavimentação

Aprovado - DER/PR:

Documentos de Referência:

Documentos Resultantes:



Rev.	Data	Resp. Téc/Proj.	Resp. Téc/Conces.	DE - DER	Verificado - DER/PR	Aprovado - DER/PR
00	07/07/2015	Marcelo M. Zamarian				

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ

SECRETARIA DE ESTADO DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM - DER

PROJETO EXECUTIVO PARA IMPLANTAÇÃO DA DUPLICAÇÃO DA BR-277 DO KM 344+000 AO KM 350+200 – TRECHO DE GUARAPUAVA

RODOVIA: BR-277/PR

TRECHO: km 344 (Guarapuava) ao km 731 (Foz do Iguaçu)

SUBTRECHO: km 344+000m ao km 350+200m (Trecho Guarapuava)

EXTENSÃO: 6,20 km

LOTE: 03

PROJETO EXECUTIVO DE PAVIMENTAÇÃO

JULHO/2015



PARANÁ
GOVERNO DO ESTADO



ÍNDICE

1. APRESENTAÇÃO	7
2. MAPA DE SITUAÇÃO	10
3. PROJETO EXECUTIVO DE PAVIMENTAÇÃO	12
3.1 Generalidades	14
3.1.1 Métodos de dimensionamento	14
3.2 Estudo de tráfego.....	16
3.2.1 Estimativa de taxas de crescimento do tráfego	17
3.2.2 Incidência de tipo de Veículo	18
3.2.3 Fator de equivalência de carga	18
3.2.4 Determinação do número de repetições equivalentes de um eixo padrão de 8,2 tf (N)	19
3.2.5 Determinação do número “N”	24
3.3 Capacidade de Suporte do Subleito.....	26
3.4 Dimensionamento do pavimento da Rodovia BR-277	28
3.4.1 Método DNER 1966/1981	28
3.4.2 Método DNER – PRO 269/94	30
3.4.3 Desempenho Estrutural do Pavimento - Método Mecanístico	31
3.4.4 Estrutura do Pavimento da Rodovia.....	39
3.5 Dimensionamento do pavimento da Via Marginal	40
3.5.1 Método DNER 1966/1981	40
3.5.2 Método DNER – PRO 269/94	42
3.5.3 Desempenho Estrutural do Pavimento - Método Mecanístico	43
3.5.4 Estrutura do Pavimento da Via Marginal	51
3.6 Verificação das Estruturas de Pavimento Existentes	51
3.6.1 Alça de acesso BR-466	51
3.6.2 Acesso a empresa “VIPAL”	53
3.6.3 Rodovia PR-170	54
3.6.4 Rodovia BR-277 – km 344+720	55
3.6.5 Rodovia BR-277 – km 350+330	56

3.7	Cuidados construtivos na fase de pavimentação	57
3.7.1	Regularização do subleito.....	57
3.7.2	Reforço do Subleito - Macadame Seco.....	57
3.7.3	Brita graduada tratada com cimento	58
3.7.4	Brita graduada simples – 100% PM	59
3.7.5	Imprimação com Asfalto diluído CM-30.....	60
3.7.6	Pinturas asfálticas com emulsão RR-1C e RR-2C	61
3.7.7	Camada anti-reflexão de trincas – com geotêxtil não tecido e emulsão asfáltica RR-1C.....	61
3.7.8	Concreto asfáltico usinado a quente com CAP 60/85	63
3.8	Memória de cálculo de quantidades.....	64
3.8.1	Pavimento a demolir	64
3.8.2	Pavimento a implantar	65
3.9	Resumo de quantidades e especificação de serviços de pavimentação	68
3.10	Apresentação dos Resultados	68

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Contagem de tráfego km 344+870	16
Tabela 2 – Contagem de tráfego ajustada km 344+870	17
Tabela 3 – Contagem de tráfego km 347+700	17
Tabela 4 – Contagem de tráfego ajustada km 347+700	17
Tabela 5 – Contagem de tráfego total e incidência de tipo de Veículos – km 344+870	18
Tabela 6 – Contagem de tráfego total e incidência de tipo de Veículos – km 347+700	18
Tabela 7 – Fator de equivalência de carga por tipo de eixo - AASHTO.....	21
Tabela 8 - Fator de equivalência de carga por tipo de eixo - USACE	21
Tabela 9 – Fator de Equivalência de Carga	22
Tabela 10 – Fator de Veículo Total para Rodovia – km 344+870.....	23
Tabela 11 – Fator de Veículo Total para Rodovia – km 347+700.....	23
Tabela 12 – Fator de Veículo Total para Via Marginal.....	24
Tabela 13 – Quadro resumo dos ensaios de compactação – Lado Direito.....	26
Tabela 14 – Quadro resumo dos ensaios de compactação – Lado Esquerdo.....	26
Tabela 15 – Espessura mínima de revestimento betuminoso	28
Tabela 16 – Coeficientes estruturais das camadas do pavimento	29
Tabela 17 – Valores Usuais de Módulo de Resiliência ou Elasticidade	33
Tabela 18 – Coeficientes de Poisson	33
Tabela 19 – Deflexões características do pavimento dimensionado da Rodovia.....	34
Tabela 20 – Resumo das Verificações da Retroanálise da Rodovia	38
Tabela 21 – Parâmetros de controle deflectométrico - Rodovia	39
Tabela 22 – Camadas constituintes do pavimento dimensionado para a Rodovia ...	40
Tabela 23 – Espessura mínima de revestimento betuminoso	41
Tabela 24 – Valores Usuais de Módulo de Resiliência ou Elasticidade	44
Tabela 25 – Coeficientes de Poisson	45
Tabela 26 – Deflexões características do pavimento dimensionado da Via Marginal	46
Tabela 27 – Resumo das Verificações da Retroanálise da Via Marginal.....	49
Tabela 28 – Parâmetros de controle deflectométrico – Via Marginal.....	50

Tabela 29 – Camadas constituintes do pavimento dimensionado para a Vias Marginais	51
Tabela 30 – Retroanálise BR-466	52
Tabela 31 – Comparativo Retroanálise BR-466	52
Tabela 32 – Retroanálise “VIPAL”	53
Tabela 33 – Comparativo Retroanálise VIPAL	53
Tabela 34 – Retroanálise Rodovia PR-170	54
Tabela 35 – Comparativo Rodovia PR-170	54
Tabela 36 – Retroanálise Rodovia BR-277 km 344+720.....	55
Tabela 37 – Comparativo Retroanálise km 344+720.....	55
Tabela 38 – Retroanálise Rodovia BR-277 km 344+720.....	56
Tabela 39 – Comparativo Retroanálise km 350+330.....	56
Tabela 40 – Faixas granulométricas de Brita Graduada Tratada com Cimento.....	59
Tabela 41 – Faixas granulométricas de Brita Graduada Simples	60
Tabela 42 – Faixas granulométricas de concreto asfáltico	63
Tabela 43 – Memorial de Cálculo de Pavimentação a Demolir	65
Tabela 44 – Memorial de Cálculo de Serviços de Pavimentação	67
Tabela 45 – Resumo especificações do Projeto de Pavimentação	68



1. APRESENTAÇÃO

1. APRESENTAÇÃO

Neste Relatório do Projeto Executivo de Pavimentação são apresentadas as soluções para dimensionamento do pavimento das plataformas a serem implantadas na duplicação da rodovia BR-277 no km 344+000 m ao km 350+200 m e vias marginais no mesmo trecho, por meio da correlação entre as solicitações, caracterizadas pelo tráfego, e a resistência dos materiais do subleito, com as características dos materiais e as espessuras das camadas que receberão os esforços do tráfego e incidirão no subleito, de maneira que o sistema utilize o potencial máximo de suas características.

O Projeto de Pavimentação visa definir e detalhar a estrutura do pavimento rodoviário, capaz de suportar economicamente a repetição de eixos, em condições de segurança e conforto, para o período previsto.

No desenvolvimento de um projeto de pavimentação é de suma importância a caracterização adequada dos materiais que constituirão as diversas camadas dos pavimentos na forma como elas se apresentam na estrutura. Assim sendo, o projeto de pavimentação inicia-se pelos Estudos Geológicos e Geotécnicos, onde são verificadas as características dos materiais envolvidos, tanto do subleito, quanto das camadas da estrutura.

Todas estas informações visam facilitar o entendimento dos executores, fornecedores, da fiscalização do DER/PR, das concepções específicas e concepção global do projeto executivo de pavimentação no trecho da rodovia BR-277 em Guarapuava.

1.1 Dados Contratuais

A seguir estão discriminados os principais elementos que caracterizam esse contrato:

- **Número do Contrato** : ECPR-ENG-011/2014
- **Data da Assinatura do Contrato** : 29 de outubro de 2014

- **Rodovia:** BR-277/PR
- **Trecho:** km 344 (Guarapuava) ao km 731 (Foz do Iguaçu)
- **Subtrecho:** km 344+000 m ao km 350+200 m
- **Cidade:** Guarapuava - Paraná



2. MAPA DE SITUAÇÃO

2. Mapa de Situação

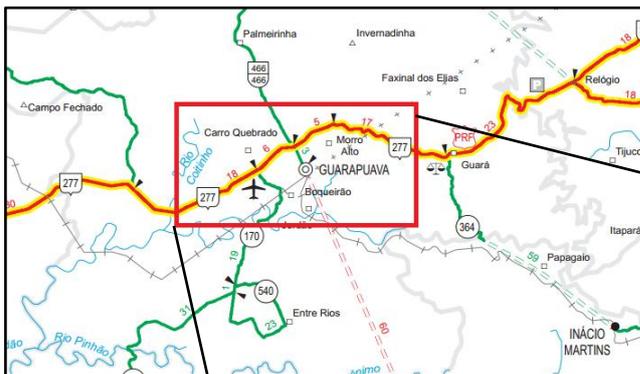
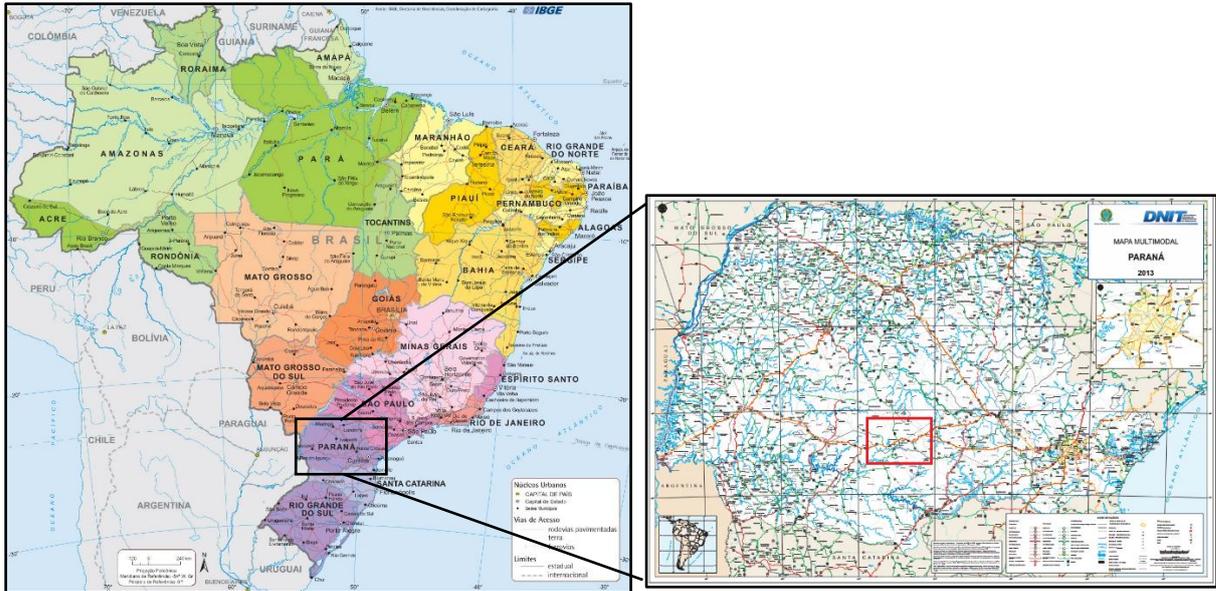


Figura 1- Mapa de Localização da Obra



Figura 2 – Foto Aérea do Local – Fonte: Google Maps

<p>Rodovia: BR-277/PR</p> <p>Trecho: km 344 (Guarapuava) ao km 731 (Foz do Iguaçu)</p> <p>Subtrecho: km 344+000 m ao km 352+000 m</p> <p>Segmento: km 344+000 m ao km 350+200 m</p> <p>Extensão: 6,20 km</p>	<h1>MAPA DE SITUAÇÃO</h1>
---	---------------------------



3. PROJETO EXECUTIVO DE PAVIMENTAÇÃO

3. Projeto de Pavimentação

Este projeto contempla as soluções para pavimento novo para implantação de duplicação da Rodovia BR-277 no km 344+000 ao km 350+200 m e vias marginais direita e esquerda.

A implantação das trincheiras sobre a rodovia BR-277, no trecho de projeto, tem a finalidade de criar o acesso em desnível entre as vias marginais, possibilitando que os usuários que trafegam pela BR-277 possam acessar as marginais direita e esquerda, cruzar a rodovia em segurança para entrar ou sair do Município.

O eixo da pista existente não teve seu traçado modificando, buscando assim apenas a ampliação da rodovia no local. Porém, o greide foi alterado para a implantação das Trincheiras e demais Obras-de-Arte especiais.

A seção-tipo da pista dupla a implantar é de 21,20 m, assim composta: 4 faixas de tráfego de 3,60m (14,40m) + 2 acostamentos externos de 2,50m (5,00m) + 2 acostamentos internos de 0,60m (1,20m), e uma barreira de concreto central de 0,60 metros. Devido às superlaguras necessárias nos trechos em curva, a seção-tipo aumentar, sendo seu máximo na curva com raio de 350 m, seção-tipo de 22,30 m.

A seção-tipo das marginais possui plataforma acabada de 14,00m, assim composta: 2 faixas de tráfego de 4,50m em sentidos opostos (9,00m) + 1 passeio de 2,00m (2,00m) + 1 ciclovia de 3,00m (3,00m).

A área total de pavimento novo a implantar na Rodovia e acessos é de 75.031,00 m².

A área total de acostamento novo a implantar na Rodovia é de 20.615,00 m².

A área total de recapeamento a executar na Rodovia é de 45.414,00 m².

A área total de pavimento novo a implantar na Marginal Direita é de 50.911,00 m².

A área total de pavimento novo a implantar na Marginal Esquerda é de 41.758,00 m².

A área total de revestimento a implantar nas OAEs é de 2.813,00 m².

3.1 Generalidades

Dimensionar um pavimento consiste em se definir as várias camadas constituintes e/ou verificar espessura previamente adotada e compatibilizar os materiais a serem utilizados de forma que a vida útil corresponda a certo número projetado de repetições de carga.

Encontrar a relação existente entre as características da estrutura do pavimento (propriedades dos materiais utilizados nas camadas, seção, variabilidade e heterogeneidade construtiva), as condições climáticas, magnitude das cargas de tráfego a que o pavimento está submetido e condições de drenagem não é uma tarefa fácil, devido ao grande número de variáveis envolvidas que influenciam no comportamento do pavimento.

Relações envolvendo estas variáveis são descritas nos modelos de previsão de desempenho, os quais são aplicados em projetos de pavimentos novos ou na restauração de pavimentos degradados, mas tal dimensionamento tem sua eficácia limitada pela confiabilidade e acurácia dos modelos de previsão de desempenho embutidos nos projetos adotados.

Assim, o dimensionamento consiste em compatibilizar duas variáveis independentes principais que são as solicitações, caracterizadas pelo tráfego, e a resistência dos materiais do subleito, com as características dos materiais e as espessuras das camadas que receberão os esforços do tráfego e passarão ao subleito, de maneira que o sistema utilize o potencial máximo de suas características.

3.1.1 Métodos de dimensionamento

Como o pavimento é uma estrutura complexa, para prever o seu desempenho é necessário um grande número de simplificações. A formulação para o desenvolvimento do dimensionamento e/ou reforço dos pavimentos pode ser analisada através de métodos: empíricos, mecânicos e teóricos- experimentais.

A opção por um método de dimensionamento deve se dar de tal forma que o mesmo forneça uma espessura de pavimento compatível com o comportamento do solo de fundação e com o tráfego esperado e, ao mesmo tempo, seja econômico.

Os métodos empíricos de dimensionamento de pavimentos asfálticos, ainda são os mais usados no Brasil, são aqueles baseados na experiência acumulada e

correlacionam o desempenho do pavimento com algumas propriedades dos materiais utilizados na construção. Não leva em conta o conceito de deformabilidade das camadas do pavimento e do subleito no cálculo da espessura do pavimento. Baseia-se em observação do desempenho de estruturas existentes.

No Brasil, são dois os procedimentos para dimensionamento de pavimentos flexíveis normalizados pelo DNIT:

- **Método Empírico do DNER ou Método do DNER:** Este procedimento consiste em uma adaptação elaborada pelo Eng^o Murillo Lopes de Souza, em 1966, do método de dimensionamento desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos, com a inclusão de alguns resultados da pista experimental da AASHTO. É um método baseado nas características de resistência dos solos de fundação e dos materiais de constituição do pavimento;
- **Método da Resiliência do DNER:** Este procedimento é resultante de estudos realizados por Ernesto Preussler e Salomão Pinto, apoiado nos resultados da pesquisa sobre Avaliação Estrutural de Pavimentos, empreendida pelo IPR/DNER. Esta metodologia consta no Manual de Pavimentação de 1996, numa introdução, ainda que com considerações simplificadas, do conceito da Resiliência como parâmetro norteador do dimensionamento de pavimentos. O método é baseado na deformação elástica ou recuperável de solos e de estruturas de pavimentos sob a ação de cargas repetidas.

O Método do DNER possui a vantagem de ser facilmente empregado, pois os ensaios de caracterização são simples e não requerem aparelhagem sofisticada. Entretanto é limitado pelas condições de contorno (materiais de construção, clima da região, condições de tráfego, etc.), limita a utilização de novos materiais e diferentes cargas de tráfego.

3.2 Estudo de tráfego

Com base no estudo de tráfego realizado em agosto de 2014 e disponibilizado pela Concessionária Ecorodovias para o trecho em projeto de implantação da duplicação da BR-277 do km 344+000m ao km 350+200m e vias marginais, apresentamos a contagem volumétrica para o trecho urbano, compreendido entre os km 344+100m e 350+100m da BR-277.

A contagem volumétrica, com 12 horas, foi realizada em quatro pontos:

- No km 344+870m na rodovia BR-277 – pista leste;
- No km 344+870m na rodovia BR-277 – pista oeste;
- No km 347+700m na rodovia BR-277 – pista leste;
- No km 347+700m na rodovia BR-277 – pista oeste.

As marginais direita e esquerda projetadas receberão o fluxo dos veículos provenientes da rodovia que adentram ou saem de Guarapuava, entre os km 344+000m e km 350+200m.

Para cálculo do TDMA nas marginais, considerou-se o tráfego total da rodovia BR-277 durante o primeiro ano de funcionamento da marginal, e então 10% deste tráfego total nos anos seguintes.

As tabelas a seguir apresentam os dados da contagem dividido pelo tipo de veículo disponibilizados pela Concessionária para períodos de 12 e 24 horas.

BR-277
TH 1 - Km 344,1 a 346,0 Contagem Km 344+870 (19/08/14 - 24 h)

<i>Pista Leste</i>										Total	VDMA Pesados - TH1 - Leste
Caminhões			Carretas					Ônibus			
2 Eixos	3 Eixos	4 eixos	3 E	4 E	5 E	6 E	7 E ou +	2 E	3 E ou +		
340	715	-	-	49	226	628	538	97	21	2.614	2591
13,0%	27,4%	0,0%	0,0%	1,9%	8,6%	24,0%	20,6%	3,7%	0,8%	100,0%	
<i>Pista Oeste</i>										Total	VDMA Pesados - TH1 - Oeste
Caminhões			Carretas					Ônibus			
2 Eixos	3 Eixos	4 eixos	3 E	4 E	5 E	6 E	7 E ou +	2 E	3 E ou +		
409	670	-	-	30	237	525	485	142	11	2.509	3132
16,3%	26,7%	0,0%	0,0%	1,2%	9,4%	20,9%	19,3%	5,7%	0,4%	100,0%	

Tabela 1 – Contagem de tráfego km 344+870

VDMA Leste										
Caminhões			Carretas					Ônibus		Total
2 Eixos	3 Eixos	4 eixos	3 E	4 E	5 E	6 E	7 E ou +	2 E	3 E ou +	
337	709	0	0	49	224	622	533	96	21	2591

VDMA Oeste										
Caminhões			Carretas					Ônibus		Total
2 Eixos	3 Eixos	4 eixos	3 E	4 E	5 E	6 E	7 E ou +	2 E	3 E ou +	
511	836	0	0	37	296	655	605	177	14	3132

Tabela 2 – Contagem de tráfego ajustada km 344+870

BR-277

TH 2 - Km 346 a 350,1

Contagem Km 347+700 (20/08/2014 - 07 h às 19 h)

<i>Pista Leste</i>											VDMA Pesados - TH - Leste
Caminhões			Carretas					Ônibus		Total	
2 Eixos	3 Eixos	4 eixos	3 E	4 E	5 E	6 E	7 E ou +	2 E	3 E ou +		
253	662	-	-	69	112	386	355	62	14	1.913	2591
13,2%	34,6%	0,0%	0,0%	3,6%	5,9%	20,2%	18,6%	3,2%	0,7%	100,0%	

<i>Pista Oeste</i>											VDMA Pesados - TH - Oeste
Caminhões			Carretas					Ônibus		Total	
2 Eixos	3 Eixos	4 eixos	3 E	4 E	5 E	6 E	7 E ou +	2 E	3 E ou +		
369	804	-	-	115	171	423	342	66	23	2.313	3132
16,0%	34,8%	0,0%	0,0%	5,0%	7,4%	18,3%	14,8%	2,9%	1,0%	100,0%	

Tabela 3 – Contagem de tráfego km 347+700

VDMA Leste										
Caminhões			Carretas					Ônibus		Total
2 Eixos	3 Eixos	4 eixos	3 E	4 E	5 E	6 E	7 E ou +	2 E	3 E ou +	
343	897	0	0	93	152	523	481	84	19	2591

VDMA Oeste										
Caminhões			Carretas					Ônibus		Total
2 Eixos	3 Eixos	4 eixos	3 E	4 E	5 E	6 E	7 E ou +	2 E	3 E ou +	
500	1089	0	0	156	232	573	463	89	31	3132

Tabela 4 – Contagem de tráfego ajustada km 347+700

3.2.1 Estimativa de taxas de crescimento do tráfego

Os valores de taxa de crescimento utilizados nesta projeção baseiam-se na combinação de diversos fatores associados ao crescimento sócio econômico regional, ao crescimento médio anual do PIB brasileiro, crescimento da frota de veículos e às correlações com outras taxas de crescimento fixadas em estudos recentes de tráfego feitos no estado do Paraná, em especial na Região Norte do Estado.

Os valores de taxa de crescimento definidos pela Concessionária e utilizados para projeção 10 (dez) anos de projeto, com abertura de tráfego a partir de 2015, foram de 3% para ônibus e caminhões.

3.2.2 Incidência de tipo de Veículo

A incidência de veículos da categoria “I” corresponde à precisão dos percentuais de cada categoria e de todas as categorias que deverão circular na pista a ser implantada.

A seguir, apresenta-se o quadro de contagem de tráfego total (pista leste e oeste), assim como a precisão de distribuição de incidência:

19/08/2014	TOTAL: BR-277 km 344 + 870 m											
Nº EIXOS	ÔNIBUS		CAMINHÕES			CAMINHÕES					TREMINHÃO	TOTAL
	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	3C4	
	2	3	2	3	4	3	4	5	5	6	7	
TDMA	273	35	848	1545			86	520		1277	1138	5722
%	4,8%	0,6%	14,8%	27,0%			1,5%	9,1%		22,3%	19,9%	100%

Tabela 5 – Contagem de tráfego total e incidência de tipo de Veículos – km 344+870

20/08/2014	TOTAL: BR-277 km 347 + 700 m											
Nº EIXOS	ÔNIBUS		CAMINHÕES			CAMINHÕES					TREMINHÃO	TOTAL
	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	3C4	
	2	3	2	3	4	3	4	5	5	6	7	
TDMA	173	50	843	1986			249	384		1096	944	5725
%	3,0%	0,9%	14,7%	34,7%			4,3%	6,7%		19,1%	16,5%	100%

Tabela 6 – Contagem de tráfego total e incidência de tipo de Veículos – km 347+700

Quando tratamos de faixas de tráfego, a incidência de veículos também se faz importante para dimensionarmos o pavimento para a faixa de tráfego mais solicitada. Foi utilizado uma incidência de 85% conforme diretriz da Concessionária.

3.2.3 Fator de equivalência de carga

O Eixo Padrão Rodoviário é o eixo utilizado para o dimensionamento de um pavimento.

Como em uma via ou rodovia trafegam diferentes tipos de veículos como ônibus, caminhões, carretas, utilitários e de passeio, e com variadas cargas em seus eixos, introduziu-se o conceito de Eixo Padrão Rodoviário. Ele é um eixo simples de duas rodas de cada lado e com as seguintes características:

- Carga por eixo: 8,2tf = 80kN
- Carga por roda: 2,04tf = 20kN
- Pressão de enchimento dos pneus: 5,6 kgf/cm²
- Pressão de contato pneu/pavimento: 5,6 kgf/cm²
- Afastamento entre pneus, por roda: 32,4cm
- Raio da área de contato pneu/pavimento: 10,8cm

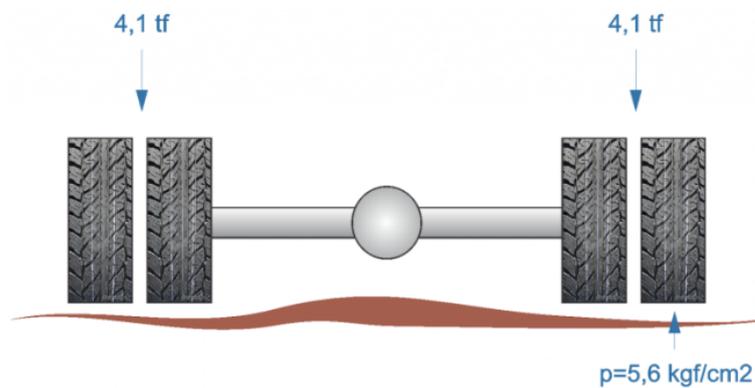


Figura 3 – Representação do eixo padrão de 8,2 tf

Várias pesquisas e metodologias tem sido utilizadas na busca da melhor correlação entre peso dos eixos e seu efeito destruidor, entre elas destacam-se os estudos da AASHTO no estado de Illinois - E.U.A, TRRL da Inglaterra e a pesquisa ICR no Geipot no Brasil.

Os estudos recentes desenvolvidos nas rodovias federais do Paraná e na região do entorno do trecho em projeto indicam fatores de equivalência de carga com base na metodologia do Corpo do Exército Americano (USACE).

3.2.4 Determinação do número de repetições equivalentes de um eixo padrão de 8,2 tf (N)

$$N = 365 \times F_p \times F_r \times \sum V_i \cdot F_i$$

Onde:

N = número de atuações do eixo padrão de 8,2 tf;

F_p = fator de pista;

F_r = fator climático regional;

V_i = número de veículos da categoria i iniciante na faixa mais solicitada;

F_i = fator de equivalência do veículo da categoria i .

O **fator de pista** é definido como sendo o inverso do número de pistas. Para as pistas em estudo $F_p = 0,5$.

O **fator climático regional** (FR) representa o coeficiente de constituição para aumento ou decréscimo das condições de solicitações de eixo de uma dada via, em função de condições climáticas incidentes mais ou menos adversas e intensas. No presente estudo, de acordo com as recomendações do DNIT, adotou-se $FR=1$.

O **fator de equivalência de carga** dos veículos representa o número de passagens de um eixo carregado com uma carga padrão de 8.200 kg (18.000 lb) que produziria o efeito no pavimento equivalente a carga do eixo em questão.

As tabelas abaixo representam este fator de equivalência para cada tipo de eixo de veículo, considerando veículo sem carga, com carga legal e com carga em excesso com tolerância de 10% permitida por eixo segundo a Resolução Contran nº 489/2014 e calculando os $F_{eq-CARGA}$ segundo as equações da USACE e AASHTO a seguir demonstradas.

AASHTO

Tipos de eixo	Equações (P em tf)
Simplex de rodagem simples	$FC = (P / 7,77)^{4,32}$
Simplex de rodagem dupla	$FC = (P / 8,17)^{4,32}$
Tandem duplo (rodagem dupla)	$FC = (P / 15,08)^{4,14}$
Tandem triplo (rodagem dupla)	$FC = (P / 22,95)^{4,22}$

P = Peso bruto total sobre o eixo

USACE

Tipos de eixo	Faixas de Cargas (t)	Equações (P em tf)
Dianteiro simples e traseiro simples	0 – 8	$FC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	≥ 8	$FC = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
Tandem duplo	0 – 11	$FC = 1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$
	≥ 11	$FC = 1,5280 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$
Tandem triplo	0 – 18	$FC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
	≥ 18	$FC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$

P = peso bruto total sobre o eixo

TIPOS DE EIXOS	Cargas			FC-AASHTO		
	Sem carga	Com Carga	Com excesso	Sem carga	Com Carga	Com excesso
Simple de Rodas Simples	3	6	6,6	0,016	0,327	0,494
Simple de Rodas Duplas	5	10	11	0,120	2,394	3,614
Duplo Tandem	6	17	18,7	0,022	1,642	2,437
Triplo Tandem	9	25,5	28,05	0,019	1,560	2,332

Tabela 7 – Fator de equivalência de carga por tipo de eixo - AASHTO

TIPOS DE EIXOS	Cargas			FC-USACE		
	Sem carga	Com Carga	Com excesso	Sem carga	Com Carga	Com excesso
Simple de Rodas Simples	3	6	6,6	0,017	0,278	0,408
Simple de Rodas Duplas	5	10	11	0,134	3,289	5,970
Duplo Tandem	6	17	18,7	0,080	8,549	14,418
Triplo Tandem	9	25,5	28,05	0,128	9,300	15,827

Tabela 8 - Fator de equivalência de carga por tipo de eixo - USACE

A tabela a seguir apresenta os fatores de veículos para cada caso de carga: sem carga, carga legal e em excesso para cada veículo, nas formulações da AASHTO e da USACE.

FATORES DE VEÍCULOS PARA CARGA MÁXIMA COM TOLERÂNCIA DE 10% (RESOLUÇÃO CONTRAN Nº 489/2014)

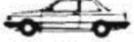
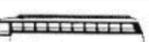
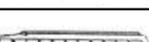
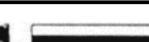
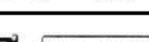
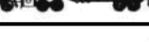
Classe / Tipo		Configuração	Tipos de Eixos				Fatores de veículos - Sem carga					Fatores de veículos - Carga legal						
			1º	2º	3º	4º	F.V.	1º	2º	3º	4º	F.V. (veículos)	F.V.	1º	2º	3º		
Veículos Leves	PASSEIO		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS SIMPLES			AASHTO						AASHTO					
							USACE						USACE					
	UTILITÁRIOS		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS SIMPLES			AASHTO						AASHTO					
							USACE						USACE					
Onibus	ÔNIBUS		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS			AASHTO	0.0164	0.264			0.280	AASHTO	0.057	0.691			
							USACE	0.017	0.278			0.295	USACE	0.0545	0.681			
	TRIBUS		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS			AASHTO						AASHTO					
							USACE						USACE					
VEÍCULOS COMERCIAIS	CAMINHÃO LEVE	2C LEVE		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS			AASHTO	0.0001	0.0023			0.002	AASHTO	0.003	0.046		
								USACE	0.0002	0.0034			0.004	USACE	0.0034	0.055		
	CAMINHÕES MÉDIOS E PESADOS	2C		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS			AASHTO	0.016	0.120			0.136	AASHTO	0.327	2.394		
								USACE	0.017	0.134			0.151	USACE	0.278	3.289		
		3C		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO TANDEM			AASHTO	0.016	0.022			0.038	AASHTO	0.327	1.642		
								USACE	0.017	0.080			0.097	USACE	0.278	8.549		
		4C		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	TRIPLO TANDEM			AASHTO	0.016	0.019			0.036	AASHTO	0.327	1.560		
								USACE	0.017	0.128			0.145	USACE	0.278	9.300		
	CAMINHÕES COM SEMI-REBOQUE	2S1		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	SIMPLES DE RODAS DUPLAS		AASHTO	0.016	0.120	0.120		0.256	AASHTO	0.327	2.394	2.394	
								USACE	0.017	0.134	0.134		0.284	USACE	0.278	3.289	3.289	
		2S2		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	DUPLO TANDEM		AASHTO	0.016	0.120	0.022		0.158	AASHTO	0.327	2.394	1.642	
								USACE	0.017	0.134	0.080		0.231	USACE	0.278	3.289	8.549	
		2S3		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	TRIPLO TANDEM		AASHTO	0.016	0.120	0.019		0.156	AASHTO	0.327	2.394	1.560	
								USACE	0.017	0.134	0.128		0.279	USACE	0.278	3.289	9.300	
		3S2		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO TANDEM	DUPLO TANDEM		AASHTO	0.016	0.022	0.022		0.060	AASHTO	0.327	1.642	1.642	
								USACE	0.017	0.080	0.080		0.177	USACE	0.278	8.549	8.549	
		3S3		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO TANDEM	TRIPLO TANDEM		AASHTO	0.016	0.022	0.019		0.058	AASHTO	0.327	1.642	1.560	
								USACE	0.017	0.080	0.128		0.225	USACE	0.278	8.549	9.300	
		CAMINHÕES COM REBOQUE	2C2		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	AASHTO	0.016	0.120	0.120	0.120	0.376	AASHTO	0.327	2.394	2.394
									USACE	0.017	0.134	0.134	0.134	0.418	USACE	0.278	3.289	3.289
	2C3			SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	DUPLO TANDEM	AASHTO	0.016	0.120	0.120	0.022	0.278	AASHTO	0.327	2.394	2.394	
								USACE	0.017	0.134	0.134	0.080	0.364	USACE	0.278	3.289	3.289	
	3C2			SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO TANDEM	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	AASHTO	0.016	0.022	0.120	0.120	0.278	AASHTO	0.327	1.642	2.394	
								USACE	0.017	0.080	0.134	0.134	0.364	USACE	0.278	8.549	3.289	
	3C3			SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO TANDEM	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	DUPLO TANDEM	AASHTO	0.016	0.022	0.120	0.022	0.180	AASHTO	0.327	1.642	2.394	
								USACE	0.017	0.080	0.134	0.080	0.311	USACE	0.278	8.549	3.289	
	TREMINHÃO	3C4		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO TANDEM	DUPLO TANDEM	DUPLO TANDEM	AASHTO	0.016	0.022	0.022	0.022	0.082	AASHTO	0.327	1.642	1.642	
								USACE	0.017	0.080	0.080	0.080	0.257	USACE	0.278	8.549	8.549	

Tabela 9 – Fator de Equivalência de Carga

O fator de veículo total foi calculado com base nas incidências constatadas na região por tipo de veículo, conforme quadros abaixo:

Fator de veículo - total para Rodovia BR-277 km 347+700											
Veículo	Incidência na faixa mais solicitada	% por classe	USACE				AASHTO				
			Sem carga	Com carga	Com excesso	FV por classe	Sem carga	Com carga	Com excesso	FV por classe	
			20%	70%	10%		20%	70%	10%		
Veículo leve											
Ônibus		85%	5,38%	0,30	0,74	3,57	0,04	0,28	0,75	2,72	0,04
Caminhões	2C	85%	14,82%	0,15	3,57	6,38	0,40	0,14	2,72	4,11	0,30
	3C	85%	27,00%	0,10	8,83	14,83	1,76	0,04	1,97	2,93	0,39
	4C	85%		0,14	9,58	16,23	-	0,04	1,89	2,83	-
Caminhões com semi-reboque	2S1	85%		0,28	6,86	12,35	-	0,26	5,12	7,72	-
	2S2	85%	1,50%	0,23	12,12	20,80	0,14	0,16	4,36	6,55	0,05
	2S3	85%	9,09%	0,28	12,87	22,21	0,87	0,16	4,28	6,44	0,28
	3S2	85%		0,18	17,38	29,24	-	0,06	3,61	5,37	-
	3S3	85%	22,32%	0,23	18,13	30,65	3,00	0,06	3,53	5,26	0,57
Caminhões com reboque	2C2	85%		0,42	10,15	18,32	-	0,38	7,51	11,34	-
	2C3	85%		0,36	15,41	26,77	-	0,28	6,76	10,16	-
	3C2	85%		0,36	15,41	26,77	-	0,28	6,76	10,16	-
	3C3	85%		0,31	20,66	35,21	-	0,18	6,01	8,98	-
Treminhão	3C4	85%	19,89%	0,26	25,92	43,66	3,81	0,08	5,25	7,80	0,76
FV TOTAL							10,02				2,38

Tabela 10 – Fator de Veículo Total para Rodovia – km 344+870

Fator de veículo - total para Rodovia BR-277 km 347+700											
Veículo	Incidência na faixa mais solicitada	% por classe	USACE				AASHTO				
			Sem carga	Com carga	Com excesso	FV por classe	Sem carga	Com carga	Com excesso	FV por classe	
			20%	70%	10%		20%	70%	10%		
Veículo leve											
Ônibus		85%	3,90%	0,30	0,74	3,57	0,03	0,28	0,75	2,72	0,03
Caminhões	2C	85%	14,72%	0,15	3,57	6,38	0,40	0,14	2,72	4,11	0,29
	3C	85%	34,69%	0,10	8,83	14,83	2,26	0,04	1,97	2,93	0,50
	4C	85%		0,14	9,58	16,23	-	0,04	1,89	2,83	-
Caminhões com semi-reboque	2S1	85%		0,28	6,86	12,35	-	0,26	5,12	7,72	-
	2S2	85%	4,35%	0,23	12,12	20,80	0,39	0,16	4,36	6,55	0,14
	2S3	85%	6,71%	0,28	12,87	22,21	0,64	0,16	4,28	6,44	0,21
	3S2	85%		0,18	17,38	29,24	-	0,06	3,61	5,37	-
	3S3	85%	19,14%	0,23	18,13	30,65	2,57	0,06	3,53	5,26	0,49
Caminhões com reboque	2C2	85%		0,42	10,15	18,32	-	0,38	7,51	11,34	-
	2C3	85%		0,36	15,41	26,77	-	0,28	6,76	10,16	-
	3C2	85%		0,36	15,41	26,77	-	0,28	6,76	10,16	-
	3C3	85%		0,31	20,66	35,21	-	0,18	6,01	8,98	-
Treminhão	3C4	85%	16,49%	0,26	25,92	43,66	3,16	0,08	5,25	7,80	0,63
FV TOTAL							9,46				2,28

Tabela 11 – Fator de Veículo Total para Rodovia – km 347+700

Fator de veículo - total para Via Marginal											
Veículo	Incidência na faixa mais solicitada	% por classe	USACE				AASHTO				
			Sem carga	Com carga	Com excesso	FV por classe	Sem carga	Com carga	Com excesso	FV por classe	
			20%	70%	10%		20%	70%	10%		
Veículo leve											
Ônibus	85%	5.38%	0.30	0.74	3.57	0.04	0.28	0.75	2.72	0.04	
Caminhões	2C	85%	14.82%	0.15	3.57	6.38	0.40	0.14	2.72	4.11	0.30
	3C	85%	27.00%	0.10	8.83	14.83	1.76	0.04	1.97	2.93	0.39
	4C	85%		0.14	9.58	16.23	-	0.04	1.89	2.83	-
Caminhões com semi-reboque	2S1	85%		0.28	6.86	12.35	-	0.26	5.12	7.72	-
	2S2	85%	1.50%	0.23	12.12	20.80	0.14	0.16	4.36	6.55	0.05
	2S3	85%	9.09%	0.28	12.87	22.21	0.87	0.16	4.28	6.44	0.28
	3S2	85%		0.18	17.38	29.24	-	0.06	3.61	5.37	-
Caminhões com reboque	3S3	85%	22.32%	0.23	18.13	30.65	3.00	0.06	3.53	5.26	0.57
	2C2	85%		0.42	10.15	18.32	-	0.38	7.51	11.34	-
	2C3	85%		0.36	15.41	26.77	-	0.28	6.76	10.16	-
	3C2	85%		0.36	15.41	26.77	-	0.28	6.76	10.16	-
Treminhão	3C3	85%		0.31	20.66	35.21	-	0.18	6.01	8.98	-
	3C4	85%	19.89%	0.26	25.92	43.66	3.81	0.08	5.25	7.80	0.76
FV TOTAL						10.02					2.38

Tabela 12 – Fator de Veículo Total para Via Marginal

3.2.5 Determinação do número “N”

Para cálculo de N levou-se em conta a incidência de veículos após 10 anos de tráfego, com um percentual de crescimento de tráfego de 3% para todas as categorias. A seguir, resumo dos cálculos realizados:

PROJEÇÃO DO "VMDAT" E DO NÚMERO "N" PARA RODOVIA									
RODOVIA: BR-277 - KM 344+100 A 346+000									
ANO	Volumes de Tráfego			Fv		Valores do Número "N"			
	Diário (Taxa = 3%)	FP = 0,5	Anual	USACE	AASHTO	USACE		AASHTO	
	VMDA	VMDA x 0,5	VMDA x 365	FV _{Total}	FV _{Total}	N _{ano} x 10 ⁶	N _{acum} x 10 ⁶	N _{ano} x 10 ⁶	N _{acum} x 10 ⁶
2014	5722	2861	1,044,265	10.0	2.4				
2015	5893	2947	1,075,473	10.0	2.4				
2016	6069	3035	1,107,593	10.0	2.4				
2017	6251	3126	1,140,808	10.0	2.4	11.43	11.43	2.71	2.71
2018	6438	3219	1,174,935	10.0	2.4	11.78	23.21	2.79	5.51
2019	6631	3316	1,210,158	10.0	2.4	12.13	35.34	2.88	8.39
2020	6829	3415	1,246,293	10.0	2.4	12.49	47.83	2.96	11.35
2021	7033	3517	1,283,523	10.0	2.4	12.86	60.69	3.05	14.40
2022	7243	3622	1,321,848	10.0	2.4	13.25	73.94	3.14	17.55
2023	7460	3730	1,361,450	10.0	2.4	13.65	87.59	3.24	20.78
2024	7683	3842	1,402,148	10.0	2.4	14.05	101.64	3.33	24.12
2025	7913	3957	1,444,123	10.0	2.4	14.47	116.12	3.43	27.55
2026	8150	4075	1,487,375	10.0	2.4	14.91	131.02	3.54	31.09
						N _{USACE} 1.31E+08		N _{AASHTO} 3.11E+07	

PROJEÇÃO DO "VMDAT" E DO NÚMERO "N" PARA RODOVIA									
RODOVIA: BR-277 - KM 346+000 A 350+100									
ANO	Volumes de Tráfego			Fv		Valores do Número "N"			
	Diário (Taxa = 3%)	FP = 0,5	Anual	USACE	AASHTO	USACE		AASHTO	
	VMDA	VMDA x 0,5	VMDA x 365	FV _{Total}	FV _{Total}	N _{ano} x 10 ⁶	N _{acum} x 10 ⁶	N _{ano} x 10 ⁶	N _{acum} x 10 ⁶
2014	5725	2863	1,044,813	9.5	2.3				
2015	5896	2948	1,076,020	9.5	2.3				
2016	6072	3036	1,108,140	9.5	2.3				
2017	6254	3127	1,141,355	9.5	2.3	10.80	10.80	2.60	2.60
2018	6441	3221	1,175,483	9.5	2.3	11.12	21.92	2.68	5.29
2019	6634	3317	1,210,705	9.5	2.3	11.45	33.37	2.76	8.05
2020	6833	3417	1,247,023	9.5	2.3	11.80	45.17	2.84	10.89
2021	7037	3519	1,284,253	9.5	2.3	12.15	57.32	2.93	13.82
2022	7248	3624	1,322,760	9.5	2.3	12.51	69.83	3.02	16.84
2023	7465	3733	1,362,363	9.5	2.3	12.89	82.72	3.11	19.95
2024	7688	3844	1,403,060	9.5	2.3	13.27	96.00	3.20	23.15
2025	7918	3959	1,445,035	9.5	2.3	13.67	109.67	3.30	26.44
2026	8155	4078	1,488,288	9.5	2.3	14.08	123.75	3.40	29.84
						N _{USACE} 1.24E+08		N _{AASHTO} 2.98E+07	

PROJEÇÃO DO "VMDAT" E DO NÚMERO "N" PARA VIAS MARGINAIS									
RODOVIA: BR-277 - VIA MARGINAL KM 344+100 A 350+000									
OBSERVAÇÃO: 10% VMDAT A PARTIR DO 2º ANO DE FUNCIONAMENTO									
ANO	Volumes de Tráfego			Fv		Valores do Número "N"			
	Diário (Taxa = 3%)	FP = 0,5	Anual	USACE	AASHTO	USACE		AASHTO	
	VMDA	VMDA x 0,5	VMDA x 365	FV _{Total}	FV _{Total}	N _{ano} x 10 ⁶	N _{acum} x 10 ⁶	N _{ano} x 10 ⁶	N _{acum} x 10 ⁶
2014	5722	2861	1,044,265	10.0	2.4				
2015	5893	2947	1,075,473	10.0	2.4				
2016	6069	3035	1,107,593	10.0	2.4				
2017	3126	1563	570,404	10.0	2.4	5.72	5.72	1.36	1.36
2018	322	161	58,747	10.0	2.4	0.59	6.31	0.14	1.50
2019	331	166	60,408	10.0	2.4	0.61	6.91	0.14	1.64
2020	340	170	62,050	10.0	2.4	0.62	7.53	0.15	1.79
2021	350	175	63,875	10.0	2.4	0.64	8.17	0.15	1.94
2022	360	180	65,700	10.0	2.4	0.66	8.83	0.16	2.10
2023	370	185	67,525	10.0	2.4	0.68	9.51	0.16	2.26
2024	381	191	69,533	10.0	2.4	0.70	10.21	0.17	2.42
2025	392	196	71,540	10.0	2.4	0.72	10.92	0.17	2.59
2026	403	202	73,548	10.0	2.4	0.74	11.66	0.17	2.77
						N _{USACE} 1.17E+07		N _{AASHTO} 2.77E+06	

Como $N_{344+870} > N_{347+700}$, considerou-se o número N da contagem feita no km 344+870m para todo o projeto, a fim de mantermos um único padrão. Além disso $N_{USACE} > N_{AASHTO}$, adotou-se, portanto, para os dimensionamentos feitos neste projeto $N = N_{USACE} = 1,31 \times 10^8$ para as pistas da Rodovia e $N = N_{USACE} = 1,17 \times 10^7$ para as Vias Marginais.

3.3 Capacidade de Suporte do Subleito

Os ensaios geotécnicos apresentados no Volume 3A – Estudos Geotécnicos, apresentaram os seguintes resultados quanto a análise de compactação:

QUADRO RESUMO DOS ENSAIOS - LADO DIREITO														
LOCAL		GUARAPUAVA - PR												
SOLICITANTE		ZOOO PROJETO / ECOCATARATAS												
AMOSTRA		ST 01	ST 02	ST 03	ST 04	ST 05	ST 06	ST 07	ST 08	ST 09	ST 10	ST 11	ST 12	
KM		344+480	344+680	344+880	345+080	345+280	345+600	345+800	346+000	346+120	346+320	346+520	346+800	
LABORATÓRIO	COMPACTAÇÃO	PROFUNDIDADE:		1,50	1,80	1,50	1,50	1,50	1,50	3,00	5,00	1,50	1,50	1,50
		ρ_d máx. (g/cm ³)	0,95	1,38	1,46	1,42	1,37	1,45	1,23	1,34	1,27	1,36	1,33	1,51
		Umidade ótima h_{ot} (%)	59,0	29,5	29,0	29,0	33,0	26,0	37,5	33,0	32,5	34,0	36,0	30,0
		Expansão (%)	0,19	0,04	0,14	0,01	0,03	0,02	0,38	0,48	0,03	0,28	0,02	0,02
		ISC - CBR (%)		18,4	22,0	25,0	24,0	14,5	5,0	5,6	24,4	15,8	13,6	12,5

QUADRO RESUMO DOS ENSAIOS - LADO DIREITO															
LOCAL		GUARAPUAVA - PR													
SOLICITANTE		ZOOO PROJETO / ECOCATARATAS													
AMOSTRA		ST 13	ST 14	ST 15	ST 16	ST 17	ST 18	ST 19	ST 20	ST 21	ST 22	ST 23	ST 24	ST 25	
KM		347+010	347+200	347+450	347+650	347+850	348+060	348+260	348+460	348+580	348+780	349+000	349+210	349+420	
LABORATÓRIO	COMPACTAÇÃO	PROFUNDIDADE:		2,50	2,50	1,50	1,50	3,00	3,00	2,00	2,00	1,50	1,50	1,50	
		ρ_d máx. (g/cm ³)		1,42	1,52	1,38	1,43	1,44	1,22	1,26	1,41	1,22	1,47	1,47	1,40
		Umidade ótima h_{ot} (%)		32,8	31,0	34,0	33,0	31,0	44,0	37,0	35,5	39,0	30,0	29,5	35,0
		Expansão (%)		0,02	0,13	0,04	0,01	0,01	0,12	0,01	0,00	0,03	0,01	0,01	0,00
		ISC - CBR (%)		27,0	26,3	28,2	20,0	30,0	12,4	11,0	2,3	18,5	11,0	26,0	18,0

Tabela 13 – Quadro resumo dos ensaios de compactação – Lado Direito

QUADRO RESUMO DOS ENSAIOS - LADO ESQUERDO														
LOCAL		GUARAPUAVA - PR												
SOLICITANTE		ZOOO PROJETO / ECOCATARATAS												
AMOSTRA		ST 26	ST 27	ST 28	ST 29	ST 30	ST 31	ST 32	ST 33	ST 34	ST 35	ST 36	ST 37	
KM		345+740	345+920	346+120	346+320	346+520	346+720	346+920	347+120	347+320	347+520	347+720	347+920	
LABORATÓRIO	COMPACTAÇÃO	PROFUNDIDADE:		2,00	3,00	1,50	1,50	1,50	1,50	1,00	2,00	1,50	2,00	2,00
		ρ_d máx. (g/cm ³)	1,49	1,52	1,35	1,42	1,44	1,44	1,52	1,45	1,47	1,40	1,47	1,42
		Umidade ótima h_{ot} (%)	29,0	25,0	34,0	34,0	30,0	34,0	27,0	30,0	29,0	34,0	31,0	32,0
		Expansão (%)	0,09	0,28	0,10	0,09	0,76	0,02	0,01	0,05	0,22	0,03	0,01	0,08
		ISC - CBR (%)	30,5	16,0	21,60	26,6	4,7	15,3	33,0	6,9	10,5	26,40	37,1	27,4

QUADRO RESUMO DOS ENSAIOS - LADO ESQUERDO														
LOCAL		GUARAPUAVA - PR												
SOLICITANTE		ZOOO PROJETO / ECOCATARATAS												
AMOSTRA		ST 38	ST 39	ST 40	ST 41	ST 42	ST 43	ST 44	ST 45	ST 46	ST 47	ST 48	ST 49	
KM		348+100	348+320	348+560	348+770	348+980	349+200	349+430	349+590	349+790	349+990	349+500	349+700	
LABORATÓRIO	COMPACTAÇÃO	PROFUNDIDADE:		2,00	2,50	3,00	1,50	3,00	1,50	5,00	1,50	1,50	2,00	2,00
		ρ_d máx. (g/cm ³)	1,42	1,40	1,39	1,51	1,46	1,42	1,38	1,46	1,24	1,39	1,45	1,40
		Umidade ótima h_{ot} (%)	32,0	33,5	34,0	26,5	31,0	33,0	34,0	32,0	38,0	37,0	31,0	32,5
		Expansão (%)	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,36	0,08	0,01
		ISC - CBR (%)	28,3	31,9	21,0	23,0	21,1	19,0	24,0	29,7	15,0	11,1	25,0	28,2

Tabela 14 – Quadro resumo dos ensaios de compactação – Lado Esquerdo

Os resultados de CBR foram separados em grupos homogêneos e então calculados o CBR de projeto para cada grupo de cada lado da Rodovia através da seguinte equação:

$$CBR_p = \overline{CBR} - \frac{\sigma \cdot t_{0,90}}{\sqrt{n-1}}$$

Onde:

CBR_p = CBR de projeto

\overline{CBR} = CBR médio

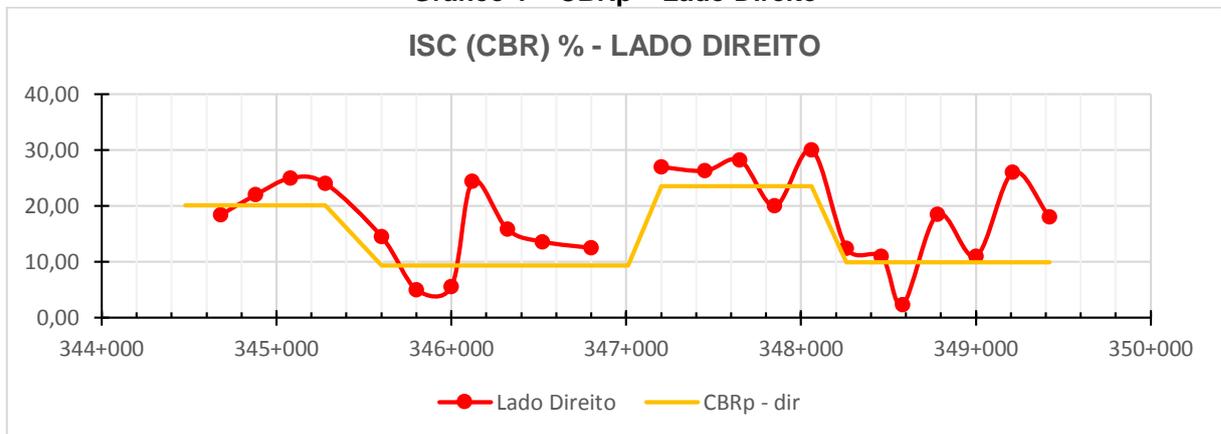
σ = desvio padrão das amostras

$t_{0,90}$ = distribuição “t” de Student em função dos valores “n-1”

n = número de amostras

O lado direito foi dividido em 4 segmentos: ST01 ao ST05; ST06 ao ST13; ST14 ao ST18; ST19 ao ST25. E os resultados do CBR_p foram, respectivamente: 20,12%; 9,38%; 23,52% e 9,98%, conforme é demonstrado no gráfico a seguir:

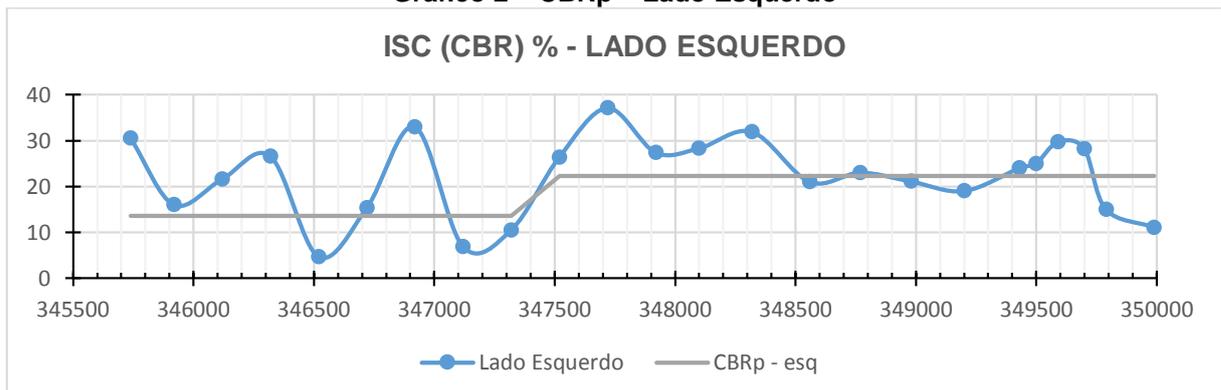
Gráfico 1 – CBRp – Lado Direito



Para fins de dimensionamento da estrutura do pavimento, foram compatibilizados os segmentos de valores aproximados de CBR_p , ou seja, considerou apenas 2 (dois) CBRs de projeto para o lado direito. Sendo eles: $CBR_p=9,98\%=9,38\%$ e $CBR_p=23,52\%=20,12\%$.

O lado esquerdo foi dividido em 2 segmentos: ST026 ao ST34 e ST35 ao ST49. Os resultados do CBR_p foram, respectivamente: 13,58% e 22,25%, conforme é demonstrado no gráfico a seguir:

Gráfico 2 – CBRp – Lado Esquerdo



3.4 Dimensionamento do pavimento da Rodovia BR-277

Para os estudos de dimensionamento considerou-se o **Número N** de **1,31x10⁸** para o pavimento, número este proveniente do estudo de tráfego. E **CBR de projeto** igual a **9,38%**.

3.4.1 Método DNER 1966/1981

✓ **CBR_p = 9,38%**

Dados:

$$N = 1,31 \times 10^8$$

$$\text{CBR Subleito} = 9,38\%$$

$$\text{CBR Reforço} = 10\%$$

$$\text{CBR SubBase} \geq 20\%$$

$$\text{CBR Base} \geq 80\%$$

a) 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 12,5 cm de espessura

Tabela 15 – Espessura mínima de revestimento betuminoso

Em função do valor N a espessura mínima deve ser 12,50cm em Concreto Betuminoso Usinado a Quente.

b) Coeficiente de equivalência estrutural

Conforme o DNIT e em função da experiência nacional no desenvolvimento de novas tecnologias para serviços de pavimentação asfáltica com BGS e/ou misturas asfálticas de alto desempenho com módulos de resiliência superiores àquelas obtidas, respectivamente, para camadas granulares (BGS e MS) e CBUQ's convencionais, os

valores previstos atuais para coeficientes estruturais em função das diferentes camadas e suas naturezas são:

Componente do pavimento	K
Revestimento de concreto asfáltico convencional com CAP	2,0
Base e revestimentos de pré misturado a quente de graduação densa	1,7
Base e revestimentos betuminosos por penetração	1,2
Camadas granulares de BGS, bica corrida, macadame seco e macadame hidráulico	1,0
Solo cimento com resistência a compressão a 7 dias superior a 45Kg/cm ²	1,7
Solo cimento com resistência a compressão a 7 dias entre 45Kg/cm ² e 28Kg/cm ²	1,4
Solo cimento com resistência a compressão a 7 dias entre 28Kg/cm ² e 21Kg/cm ²	1,2

Tabela 16 – Coeficientes estruturais das camadas do pavimento

c) Espessura total de pavimento

$$H_{9,38} = 50,13 \text{ cm (para CBR} = 9,38\%)$$

$$H_{10} = 48,25 \text{ cm (para reforço c/ CBR} = 10\%)$$

$$H_{20} = 31,88 \text{ cm (para sub-base c/CBR} = 20\%)$$

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

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

$$R.K_R + B.K_B + h_{20}.K_s + h_n.K_{re} f \geq H_n \text{ (3)}$$

Adotou-se: Revestimento de CBUQ igual a 12,50cm – R = 12,50 cm

$$R.K_R + B.K_B \geq H_{20}$$

$$(12,50 \times 2,0 + B \times 1,7) \geq 31,88$$

$$25,00 + B \geq 31,88$$

$$B \geq 4,05$$

Adotou-se: Base de BGTC com espessura igual a 15,0cm – B = 15 cm

$$H_n = H_{10} = 48,25 \text{ cm (para CBR} = 10\%)$$

$$R.K_R + B.K_B + h_{20}.K_s \geq H_n$$

$$12,50 \times 2,0 + 15 \times 1,7 + h_{20} \times 1,0 \geq 48,25$$

$$h_{20} \times 1,0 \geq 48,25 - 25,00 - 25,50$$

$$h_{20} \geq -2,25$$

Adotou-se: Sub-base de BGS com espessura mínima igual a 12,0cm – SB = 12 cm, a fim de evitar agulhamento do macadame seco na camada de BGTC.

$$H_t = H_{9,38} = 50,13 \text{ cm (para CBR} = 9,38\%)$$

$$R.KR + B.KB + h_{20}.K_s + h_n.K_{ref} \geq H_t$$

$$12,50 \times 2,0 + 15 \times 1,7 + 12 \times 1,0 + h_n \times 1,0 \geq 50,13$$

$$25,00 + 25,50 + 12,00 + h_n \geq 50,13$$

$$62,50 + h_n \geq 50,13$$

Adotou-se: Reforço de subleito de Macadame Seco com 20,0 cm de espessura e expansão de 0% em substituição aos últimos 20 cm da camada final de terraplenagem (CFT).

3.4.2 Método DNER – PRO 269/94

Dados:

$$N = 1,31 \times 10^8$$

Solos finos: Tipo II

$$\text{CBR} = 9,38\%$$

a) Determinação da espessura total do pavimento

$$H_t = 77,67 N^{0,0482} \cdot \text{CBR}^{-0,598}$$

$$H_t (\text{pavimento}) = 77,67(1,31 \times 10^8)^{0,0482} \cdot (9,38)^{-0,598}$$

$$H_t (\text{pavimento}) = 50,13\text{cm}$$

b) Espessura mínima do revestimento betuminoso

$$H_{CB} = -5,737 + \frac{807,961}{D_p} + 0,972 I_1 + 4,101 I_2$$

Solos Tipo II: $I_1 = 1$ e $I_2 = 0$

D_p = deflexão de projeto

$$D_p \leq \bar{D}$$

$$\text{Log } \bar{D} (\text{pavimento}) = 3,148 - 0,188 \text{ Log } (1,31 \times 10^8)$$

—

$$D (\text{pavimento}) = 41,87$$

$$H_{CB} (\text{pavimento}) = -5,737 + \frac{807,961}{41,87} + 0,972 I_1 + 4,101 I_2$$

$$H_{CB} (\text{pavimento}) = 14,53 \text{ cm}$$

O método em questão exige uma camada muito espessa para o revestimento em CBUQ, preferiu-se então adotar a espessura mínima em função do volume de tráfego, e verifica-la através da Retroanálise.

$H_{CB}(\text{pavimento}) \text{ adotado} = 12,50 \text{ cm}$

c) Espessura total da camada granular

$$H_{CB} \times K_{CB} + H_{CG} \times K_{CG} = H_t$$

$$(12,50 \times 2,0 + H_{CG} \times 1,0) = 50,13$$

$$H_{CG} (\text{camada granular}) = 25,13 \text{ cm}$$

$$H_{CG} = B \times 1,7 + SB \times 1,0 + R \times 1,0 = 25,23$$

Adotou-se portanto os seguintes valores:

$$B = 15,0 \text{ cm de BGTC}$$

$$SB = 12,0 \text{ cm de BGS}$$

$$R = 20,0 \text{ cm de Macadame seco}$$

$$H_{CG} = 15 \times 1,7 + 12 + 1,0 + 20 \times 1,0 = 57,50 \geq 25,23$$

Adotou-se um reforço de subleito de macadame seco com expansão de 0% em substituição à terceira camada de terraplanagem do projeto (CFT).

3.4.3 Desempenho Estrutural do Pavimento - Método Mecanístico

A avaliação foi baseada na análise racional das estruturas a partir do cálculo das tensões e das deformações que atuam nas camadas de um sistema estratificado, solicitado por cargas exteriores. Os fundamentos desta técnica são ditados pelos princípios da Mecânica dos Pavimentos e da Teoria da Elasticidade.

Os estudos efetuados compreendem os seguintes itens:

- Dimensionamento;
- Determinação do Estado de Tensões;
- Estimativa de Vida Útil.

3.4.3.1 Dimensionamento

O dimensionamento do pavimento por análise mecânica se baseia na avaliação das tensões e deformações que atuarão na estrutura do mesmo. Para tal é preciso inferir os módulos de elasticidade (E) e os coeficientes de Poisson (μ) do subleito, das camadas de reforço do subleito, sub-base e base, e da camada de revestimento asfáltico, conforme indicado na Figura abaixo.

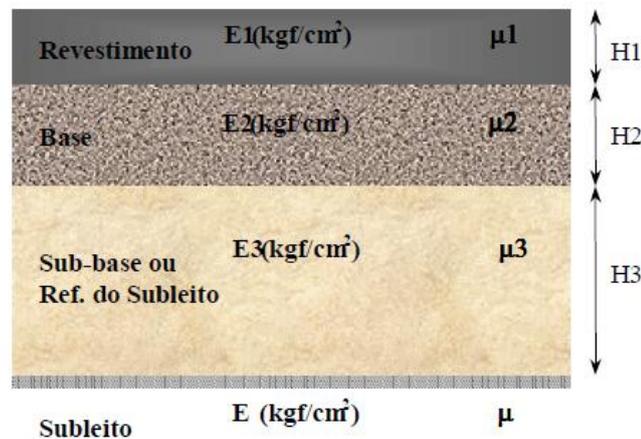


Figura 4 – Estrutura modelada para o cálculo mecânico

Nas tabelas a seguir, apresentam-se alguns valores recomendados pelo DER, conforme documento “Instrução de Projeto – IP-DE-P00/001” para as propriedades dos materiais de pavimentação.

Material	Intervalos de Valores de Módulo de Resiliência (MPa)
Concretos Asfálticos:	
- revestimento (CAP 50-70)	2000 - 5000
- revestimento (CAP 30-45)	2500 - 4500
- binder (CAP 50-70)	2000 - 3000
- binder (CAP 30-45)	2500 - 4000
Materiais granulares	
- brita graduada	150 - 300
- macadame hidráulico	250 - 450
Materiais estabilizados quimicamente:	
- solo-cimento	5000 - 10000
- brita graduada tratada com cimento	7000 - 18000
- concreto compactado com rolo	7000 - 22000
Concreto de Cimento <i>Portland</i>	30000 - 35000

Material	Intervalos de Valores de Módulo de Resiliência (MPa)
Solos finos em subleito e reforço do subleito: - solos de comportamento laterítico LA, LA ¹ , LG ¹ - solos de comportamento não laterítico	100 - 200 25 - 75
Solos finos melhorados com cimento para reforço de subleito	200 - 400
Concreto de Cimento Portland	28000 - 45000

Tabela 17 – Valores Usuais de Módulo de Resiliência ou Elasticidade

A partir dos dados apresentados no Volume 3A, pode-se considerar como premissa básica a adoção de um subleito com capacidade de suporte (CBRp) mínima de 9,38%, cujo parâmetro elástico adotado foi estimado a partir da seguinte expressão de *Heukelon e Klomp*:

$$E = 100 \times \text{CBR (em kgf/cm}^2\text{)}$$

Desta forma, o módulo de resiliência adotado é de **938 kgf/cm²**.

Para definição dos valores dos coeficientes de Poisson, utilizou-se a sugestão dos seguintes valores da Especificação ET-S2.001.000-PAV-027:

MATERIAL	COEFICIENTES μ	ADOTADO
Camadas asfálticas	0,25 a 0,40	0,40
Camadas granulares	0,30 a 0,45	0,35
Camadas cimentadas	0,15 a 0,25	0,20
Subleito	0,35 a 0,50	0,40

Tabela 18 – Coeficientes de Poisson

Para a estrutura do pavimento dimensionado, tem-se, então, que:

Camada	Composição		Espessura (cm)	Módulo de Elasticidade (kgf/cm ²)	Coef. de Poisson
1	Revestimento	CBUQ Faixa Caltrans D	5,00*	40.000	0,40
		Binder Faixa DNIT B	7,50*		
2	Base	Brita Graduada Tratada com Cimento	15,00	80.000	0,20
3	Sub-Base	Brita Graduada Simples	12,00	2.500	0,35
4	Reforço Subleito	Macadame Seco	20,00	3.500	0,35
5	Subleito	Solo Laterítico	Semi-infinita	938	0,40

*Espessuras a serem reduzidas devido à utilização de polímero

Figura 5 – Estrutura do pavimento dimensionado da Rodovia

Conhecidos os valores das tensões e deformações que atuam nas diversas camadas do pavimento, comparam-se os valores calculados com valores limites, obtidos a partir de modelos de fadiga específicos para cada tipo de material e solicitação.

3.4.3.2 Metodologia de Análise

Os princípios da Mecânica dos Pavimentos pela aplicação da Teoria da Elasticidade, permitem prever de uma forma mais racional o comportamento das estruturas de pavimentos quando submetidos a carregamentos.

No desenvolvimento do estudo utiliza-se a teoria das camadas elásticas para o cálculo das deflexões, das tensões e das deformações nas estruturas simuladas. Nesta tarefa, se fez uso do programa específico para tal finalidade - ELSYM5 desenvolvido no Instituto de Transporte e Engenharia de Tráfego da Universidade da Califórnia em Berkeley, USA, aplicado a um sistema de camadas elásticas.

Os pontos de análise foram na fibra inferior do revestimento (deformações horizontais de tração – t) e no topo do subleito (deformação vertical do subleito – v). Estão baseados nos critérios de fadiga estabelecidos para camada betuminosa e pelo acúmulo de deformações permanentes.

A magnitude das cargas e a geometria dos pontos de aplicação e análise são:

- Carga padrão considerando levantamento FWD: 40 kN;
- Raio de contato: 15 cm;
- Pontos de análise no plano horizontal: (x = 0 ; y = 0);
- Profundidade avaliada: Z = superfície do pavimento, fibra inferior da camada betuminosa, fibra inferior da base e no topo do subleito.

Dos resultados obtidos, é possível verificar que:

CAMADA	ESP. (cm)	0,01 mm							Et (caract)	Ev (caract)
		D0	D20	D30	D45	D65	D90	D120		
1	12,5	21,56	19,05	18,12	16,64	14,68	12,47	10,27	3,99E-06	7,67E-05
2	15	21,04	19,46	18,46	16,84	14,78	12,52	10,28		
3	12	20,56	19,30	18,39	16,80	14,76	12,52	10,28		
4	20	18,99	18,16	17,55	16,27	14,45	12,35	10,20		
5	SEMI-INF	17,48	16,85	16,43	15,43	13,90	12,03	10,05		

Tabela 19 – Deflexões características do pavimento dimensionado da Rodovia

A análise comparativa de desempenho das estruturas é feita através da verificação da compatibilidade entre esforços solicitantes (devidos à aplicação de cargas de tráfego) e os esforços resistentes, intrínsecos de cada material, traduzidos pelas equações de fadiga apresentadas no item a seguir.

3.4.3.3 Análise de Fadigas dos Materiais

a) Fadiga Quanto às Deformações das Misturas Asfálticas

Existe um número muito grande de procedimentos analíticos de projeto que consideram a deformação específica de tração na face inferior da camada asfáltica como o fator determinante da fadiga.

Para misturas asfálticas densas sugere-se o modelo de fadiga proposto pelo Instituto do Asfalto, com uma adequação do fator campo/laboratório (f_0) às condições menos severas do clima no Brasil. O fator original é igual a 18,4. Porém, é recomendado a adoção de um fator entre 35 e 50. Para este projeto, utilizou-se $f_0=45$.

Apresenta-se a seguir a equação de fadiga:

ϵt (limite) = A. N^B , onde:

$$A = a^{1/b}$$

$$B = -1/b$$

N = número de solicitações de tráfego pelo método da AASHTO

$$a = f_0 \times 10^M \times 4,325 \times 10^{-3} \times (0,06894 / E)^{0,854}$$

$$b = 3,291$$

$$M = 4,84 \times \{ [V_b / (V_v + V_b)] - 0,69 \}$$

f_0 = fator campo/laboratório, entre 35 e 50

E = módulo de elasticidade do revestimento (Kgf/cm²)

V_b = volume de betume do revestimento

V_v = volume de vazios do revestimento

Para este projeto, temos que:

De acordo com a especificação técnica da Ecorodovias para concreto asfáltico com CAP modificado por polímeros elastoméricos:

- Para as Faixas Granulométricas Descontínuas (CALTRANS – Gap Graded)

DISCRIMINAÇÃO	CALTRANS
Porcentagem de vazios	4 a 6 %
Relação betume/vazios	65 a 78
Estabilidade mínima: 75 golpes	8,5 kN
Resistência à tração por compressão diametral a 25 °C (MPa)- mínima	≥ 0,7
Fluência: mm 1/100"	2,0 – 4,0 8 - 16

$$Vv = 0,05$$

$$Vb = 0,17$$

$$RVB = \frac{Vb}{Vv + Vb} = 0,78$$

$$M = 4,84 * \{[0,78] - 0,69\} = 0,44$$

$$a = 45 * 10^{0,43} * 4,325 * 10^{-3} * \left(\frac{0,06894}{40.000}\right)^{0,854} = 6,35 * 10^{-6}$$

$$N = 3,11 * 10^7$$

$$\epsilon t(\limite) = (6,35 * 10^{-6})^{\frac{1}{3,291}} * (3,11 * 10^7)^{\frac{-1}{3,291}}$$

$$\epsilon t(\limite) = 1,39 * 10^{-4}$$

E do resultado da análise pelo ELSYM5, foi obtido que o ϵt (caract.), no programa dado como a Deformação Principal PE1 na camada $z = 12,50$ cm, é igual a $3,99 * 10^{-6}$. Portanto:

$$\epsilon t(\limite) = 1,39 * 10^{-4} > 3,99 * 10^{-6} = \epsilon t(caract)$$

Pode-se observar que o dimensionamento do pavimento em questão **está** adequado quanto à fadiga proveniente das deformações das misturas asfálticas.

b) Fadiga Quanto às Deformações de Compressão do Subleito

O solo de fundação é normalmente o material menos resistente da estrutura, portanto é por ele que se inicia a verificação estrutural.

A análise é feita comparando-se a máxima deformação específica vertical de compressão (v) atuante no topo do subleito, considerando-se um sistema de camadas elásticas, comparando as com os valores admissíveis correspondentes ao material utilizado.

Nos pavimentos rodoviários onde o tráfego é canalizado, a deformação permanente em geral se manifesta nas chamadas trilhas de roda. Essa deformação devida ao cisalhamento é um dos fatores que precisa ser levado em conta no projeto racional de pavimentos, objetivando-se minimizar as deformações totais dos mesmos.

O critério da fadiga para deformações verticais de compressão do subleito é idêntico aos modelos adotados para a fadiga de misturas asfálticas sendo sugerida uma equação da seguinte forma, também proposta pelo Instituto do Asfalto:

$\epsilon_v(\text{limite}) = a \cdot N^b$, onde:

$$a = 0,0105$$

$$b = -0,223$$

N = número de solicitações de tráfego pelo método da AASHTO = $3,11 \times 10^7$

Então:

$$\epsilon_v(\text{limite}) = 0,0105 * (3,11 * 10^7)^{-0,223}$$

$$\epsilon_v(\text{limite}) = 2,24 * 10^{-4}$$

E do resultado da análise pelo ELSYM5, foi obtido que o $\epsilon_v(\text{caract})$, no programa dado como a Deformação Principal PE3 na camada $z = 59,50$ cm é igual a $0,77 \times 10^{-4}$. Portanto:

$$\epsilon_v(\text{limite}) = 2,24 * 10^{-4} > 0,77 * 10^{-4} = \epsilon_v(\text{caract})$$

Pode-se observar que o dimensionamento do pavimento em questão **está** adequado quanto à fadiga proveniente das deformações de compressão do subleito.

3.4.3.4 Estimativa da Vida Útil do Pavimento

A estimativa de vida útil do pavimento das rodovias em questão fundamentou-se no conhecimento das tensões e deformações atuantes, através da utilização de equações que determinam o número de solicitações de um carregamento padrão que promovam a fadiga desta estrutura. As solicitações do tráfego se baseiam nos parâmetros da metodologia do Corpo de Engenheiros do Exército do Estados Unidos da América - USACE.

Adotou-se a equação de fadiga proposta na norma rodoviária DNIT Pro 269 – TECNAPAV.

Equações da metodologia DNIT Pro 269/94

$$\text{Log } D_{\text{adm}} = 3,148 - 0,188 \log N_p$$

Onde:

D_{adm} : Deflexão máxima admissível

N_p : Número de operações do eixo padrão de 8,2 tf durante o período de projeto.

Sabendo que D_0 , obtido na análise do ELSYM5, é igual a 21,56 (0,01 mm), tem-se que:

$$\log 21,56 = 3,148 - 0,188 * \log N_p$$

Logo:

$$N_p = 10^{\left(\frac{3,148 - \log 21,56}{0,188}\right)}$$

$$N_p = 4,48 * 10^9$$

Do previsto em projeto, tem-se que o número de solicitações de tráfego para o período de 10 anos é:

$$N_{\text{acum USACE}} = 1,31 * 10^8$$

Portanto, pela análise da deflexão admissível, o pavimento dimensionado resiste a um maior número de solicitações de tráfego do que aquelas previstas em 10 anos conforme projeto.

A seguir, apresenta-se um resumo dos valores comparados:

ϵ_t (caract)	ϵ_t (limite)	ϵ_v (caract)	ϵ_v (limite)	CONTAGEM	DNER 1994
				$N_{\text{ACUMULADO USACE}}$	N_p CALCULADO USACE
3,99E-06	1,39E-04	7,67E-05	2,24E-04	1,31E+08	4,48E+09

Tabela 20 – Resumo das Verificações da Retroanálise da Rodovia

3.4.3.5 Controle deflectométrico

Apresenta-se a seguir os parâmetros de controle deflectométrico por camada da estrutura de pavimento nova a implantar na Rodovia BR-277:

PARÂMETROS DE CONTROLE DEFLECTOMÉTRICO RODOVIA			
CAMADA		ESP.	VALOR MÁXIMO DE DEFLEXÃO ADMITIDO NO TOPO DA CAMADA
1	CBUQ	5,00 cm	21,56 x 0,01 mm
	BINDER	7,50 cm	24,35 x 0,01 mm
2	BGTC	15,00 cm	31,01 x 0,01 mm
3	BGS	12,00 cm	79,58 x 0,01 mm
4	MACADAME SECO	20,00 cm	87,37 x 0,01 mm
5	REGULARIZAÇÃO DE SUBLEITO		155,80 x 0,01 mm

Tabela 21 – Parâmetros de controle deflectométrico - Rodovia

3.4.3.6 Redução da espessura do revestimento

A utilização de polímero nas camadas de CBUQ, possibilita projetar revestimentos mais delgados sem prejuízo do desempenho do pavimento. Segundo PREUSSLER & PINTO (2002), e de acordo com TECNAPAV – PRO 269/2004, essa redução é dada pela seguinte equação:

$$H_R(mod) = H_R(c) \times K$$

Onde:

$H_R(mod)$ = espessura do modificado;

$H_R(c)$ = espessura do comum;

K = fator = 0,50 (DOT – Georgia)

0,77 (IPR – RJ)

Portanto:

$$H_R(mod) = 5,00 \times 0,77 = 3,85 \text{ cm}$$

$$H_R(mod) = 7,50 \times 0,77 = 5,78 \text{ cm}$$

3.4.4 Estrutura do Pavimento da Rodovia

Com base nos estudos de dimensionamento e levando em consideração espessura mínima construtiva por camada para garantia de sua homogeneidade e qualidade, esta Consultora define as seguintes estruturas de pavimento:

Rodovia	
Serviço	Espessura (cm)
Camada superior com CBUQ, com emprego de CAP modificado por polímero 60/85, Faixa D do Caltrans	4,00 ($H_{R(mod)}$)
Pintura de ligação e emulsão RR-1C	-
Camada intermediária com CBUQ com emprego de CAP modificado por polímero 60/85, Faixa B do DNIT	6,00 ($H_{R(mod)}$)
Dispositivo anti-reflexão de trincas: CART – com geotêxtil não tecido agulhado e emulsão RR-1C	-
Pintura de proteção com emulsão RR-2C	-
Base de brita graduada tratada com cimento	15,00
Sub-base de brita graduada simples- 100% P.M	12,00
Reforço de Subleito - Macadame Seco	20,00

Tabela 22 – Camadas constituintes do pavimento dimensionado para a Rodovia

3.5 Dimensionamento do pavimento da Via Marginal

Para os estudos de dimensionamento considerou-se o **Número N** de $1,17 \times 10^7$ para o pavimento, número este proveniente do estudo de tráfego.

Para a Marginal Direita, considerou-se 2 (dois) CBRs de projeto: 9,38% e 20,12%. Para a Marginal Esquerda, também foi considerado 2 (dois) CBRs de projeto: 13,58% e 22,25%.

Para fins de cálculo da estrutura do pavimento das vias marginais, foi considerado apenas o menor CBR de projeto, visto que a estrutura dimensionada com base neste já apresenta as espessuras mínimas de cada camada como é demonstrado no item a seguir.

3.5.1 Método DNER 1966/1981

Dados:

$$N = 1,17 \times 10^7$$

$$\text{CBR Sub-leito} = 9,38\%$$

$$\text{CBR Reforço} = 10\%$$

$$\text{CBR Sub-base} \geq 20\%$$

$$\text{CBR Base} \geq 80\%$$

a) 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 12,5 cm de espessura

Tabela 23 – Espessura mínima de revestimento betuminoso

Em função do valor N a espessura mínima deve ser 10,00 cm em Concreto Betuminoso Usinado a Quente.

b) Espessura total de pavimento

$$H_{CBR} = 77,67 N^{0,0482} \cdot CBR^{-0,598}$$

$$H_{9,38} = 44,62 \text{ cm (para CBR = 9,38\%)}$$

$$H_{10} = 42,95 \text{ cm (para CBR = 10\%)}$$

$$H_{20} = 28,37 \text{ cm (para CBR = 20\%)}$$

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B \geq H_{20} \quad (1)$$

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B + h_{20} \cdot K_s \geq H_n \quad (2)$$

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B + h_{20} \cdot K_s + h_n \cdot K_{re} f \geq H_n \quad (3)$$

$$H_{20} = B + R = 28,37 \text{ cm}$$

Adotou-se: Revestimento de CBUQ igual a 10,00cm – R = 10 cm

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B \geq H_{20}$$

$$(10,00 \times 2,0 + B \times 1,0) \geq 28,37$$

$$B \geq 8,37$$

Adotou-se: Base de BGS com espessura igual a 12,0 cm – B = 12 cm

$$H_n = H_{10} = 42,95 \text{ cm (para CBR = 10\%)}$$

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B + h_{20} \cdot K_s \geq H_{10}$$

$$10 \times 2,0 + 12 \times 1,0 + h_{20} \cdot K_s \geq 42,95$$

$$h_{20} \geq 10,95$$

Adotou-se: Sub-base de BGS com espessura de 12,0 cm – S = 12 cm

$$H_t = H_{9,38} = 44,62 \text{ cm (para CBR} = 9,38\%)$$

$$R.KR + B.KB + h_{20}.Ks + h_n.Kref \geq H_t$$

$$10,00 \times 2,0 + 12 \times 1,0 + 12 \times 1,0 + h_n \times 1,0 \geq 44,62$$

$$20 + 12 + 12 + h_n \geq 44,62$$

$$h_n \geq 0,62$$

Adotou-se: Reforço de subleito de Macadame Seco com 20,0 cm de espessura e expansão de 0% em substituição aos últimos 20 cm da camada final de terraplenagem (CFT).

3.5.2 Método DNER – PRO 269/94

Dados:

$$N = 1,17 \times 10^7$$

Solos finos: Tipo II

$$\text{CBR} = 9,38\%$$

a) Determinação da espessura total do pavimento

$$H_t = 77,67 N^{0,0482} \cdot \text{CBR}^{-0,598}$$

$$H_t (\text{pavimento}) = 77,67 (1,17 \times 10^7)^{0,0482} \cdot (9,38)^{-0,598}$$

$$H_t (\text{pavimento}) = 44,62 \text{ cm}$$

b) Espessura mínima do revestimento betuminoso

$$H_{CB} = -5,737 + \frac{807,961}{D_p} + 0,972 I_1 + 4,101 I_2$$

Solos Tipo II: $I_1 = 1$ e $I_2 = 0$

D_p = deflexão de projeto

$$D_p \leq \bar{D}$$

$$\text{Log } \bar{D} (\text{pavimento}) = 3,148 - 0,188 \text{ Log } (1,17 \times 10^7)$$

$$\bar{D} (\text{pavimento}) = 65,94$$

$$H_{CB} (\text{pavimento}) = -5,737 + \frac{807,961}{65,94} + 0,972 I_1 + 4,101 I_2$$

$$H_{CB} \text{ (pavimento)} = 7,49$$

$$H_{CB} \text{ (pavimento) adotado} = 10,00 \text{ cm}^*$$

*Adota-se esta espessura em virtude do volume de tráfego ($N=1,17 \times 10^7$)

c) Espessura da camada granular

$$H_{CB} \times K_{CB} + H_{CG} \times K_{CG} = H_t$$

$$(10,00 \times 2,0 + H_{CG} \times 1,0) = 44,62$$

$$H_{CG} \text{ (pavimento)} = 24,62 \text{ cm}$$

$$H_{CG} = B \times 1,0 + SB \times 1,0 + R \times 1,0 = 24,62$$

Adotou-se portanto os seguintes valores:

$$B = 12,0 \text{ cm de BGS}$$

$$SB = 12,0 \text{ cm de BGS}$$

$$R = 20,0 \text{ cm de Macadame seco}$$

$$H_{CG} = 12 \times 1,0 + 12 \times 1,0 + 20 \times 1,0 = 44 \geq 24,62$$

Adotou-se um reforço de subleito de macadame seco com expansão de 0% em substituição à terceira camada de terraplanagem do projeto (CFT).

3.5.3 Desempenho Estrutural do Pavimento - Método Mecanístico

A avaliação foi baseada na análise racional das estruturas a partir do cálculo das tensões e das deformações que atuam nas camadas de um sistema estratificado, solicitado por cargas exteriores. Os fundamentos desta técnica são ditados pelos princípios da Mecânica dos Pavimentos e da Teoria da Elasticidade.

Os estudos efetuados compreendem os seguintes itens:

- Dimensionamento;
- Determinação do Estado de Tensões;
- Estimativa de Vida Útil.

3.5.3.1 Dimensionamento

O dimensionamento do pavimento por análise mecânica se baseia na avaliação das tensões e deformações que atuarão na estrutura do mesmo. Para tal é preciso inferir os módulos de elasticidade (E) e os coeficientes de Poisson (μ) do subleito, das camadas de reforço do subleito, sub-base e base, e da camada de revestimento asfáltico, conforme indicado na Figura abaixo.

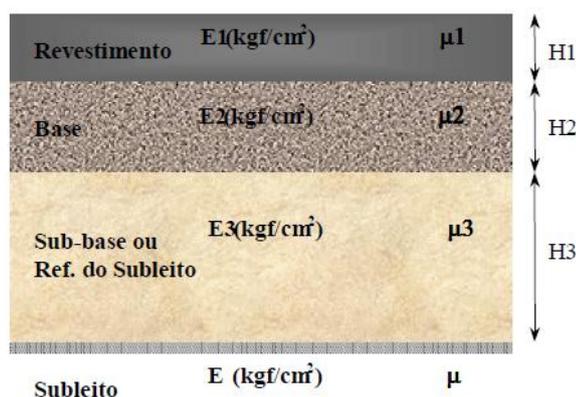


Figura 6 – Estrutura modelada para o cálculo mecânico

Nas tabelas a seguir, apresentam-se alguns valores recomendados pelo DER, conforme documento “Instrução de Projeto – IP-DE-P00/001” para as propriedades dos materiais de pavimentação.

Material	Intervalos de Valores de Módulo de Resiliência (MPa)
Concretos Asfálticos:	
- revestimento (CAP 50-70)	2000 - 5000
- revestimento (CAP 30-45)	2500 - 4500
- binder (CAP 50-70)	2000 - 3000
- binder (CAP 30-45)	2500 - 4000
Materiais granulares	
- brita graduada	150 - 300
- macadame hidráulico	250 - 450
Materiais estabilizados quimicamente:	
- solo-cimento	5000 - 10000
- brita graduada tratada com cimento	7000 - 18000
- concreto compactado com rolo	7000 - 22000
Concreto de Cimento Portland	30000 - 35000
Solos finos em base e sub-base	150 - 300
Solos finos em subleito e reforço do subleito:	
- solos de comportamento laterítico LA, LA', LG'	100 - 200
- solos de comportamento não laterítico	25 - 75
Solos finos melhorados com cimento para reforço de subleito	200 - 400
Concreto de Cimento Portland	28000 - 45000

Tabela 24 – Valores Usuais de Módulo de Resiliência ou Elasticidade

A partir dos dados apresentados no Volume 3A, pode-se considerar como premissa básica a adoção de um subleito com capacidade de suporte (CBRp) mínima de 9,38%, cujo parâmetro elástico adotado foi estimado a partir da seguinte expressão de *Heukelon e Klomp*:

$$E = 100 \times \text{CBR (em kgf/cm}^2\text{)}$$

Desta forma, o módulo de resiliência adotado é de **938 kgf/cm²**.

Para definição dos valores dos coeficientes de Poisson, utilizou-se a sugestão dos seguintes valores da Especificação ET-S2.001.000-PAV-027:

MATERIAL	COEFICIENTES μ	ADOTADO
Camadas asfálticas	0,25 a 0,40	0,40
Camadas granulares	0,30 a 0,45	0,35
Camadas cimentadas	0,15 a 0,25	0,20
Subleito	0,35 a 0,50	0,40

Tabela 25 – Coeficientes de Poisson

Para a estrutura do pavimento dimensionado, tem-se, então, que:

Camada	Composição		Esp. (cm)	Módulo de Elasticidade (kgf/cm ²)	Coef. de Poisson
1	Revestimento	CBUQ Faixa Caltrans D	4,50*	40.000	0,40
		CBUQ Faixa DNIT B	5,50*		
2	Base	Brita Graduada Simples	12,00	2.500	0,35
3	Sub-Base	Brita Graduada Simples	12,00	2.500	0,35
4	Reforço Subleito	Macadame Seco	20,00	3.500	0,35
5	Subleito	Solo Laterítico	Semi-infinita	938	0,40

*Espessuras a serem reduzidas devido à utilização de polímero

Figura 7 – Estrutura do pavimento dimensionado da Via Marginal

Conhecidos os valores das tensões e deformações que atuam nas diversas camadas do pavimento, comparam-se os valores calculados com valores limites, obtidos a partir de modelos de fadiga específicos para cada tipo de material e solicitação.

3.5.3.2 Metodologia de Análise

Os princípios da Mecânica dos Pavimentos pela aplicação da Teoria da Elasticidade, permitem prever de uma forma mais racional o comportamento das estruturas de pavimentos quando submetidos a carregamentos.

No desenvolvimento do estudo utiliza-se a teoria das camadas elásticas para o cálculo das deflexões, das tensões e das deformações nas estruturas simuladas. Nesta tarefa, se fez uso do programa específico para tal finalidade - ELSYM5 desenvolvido no Instituto de Transporte e Engenharia de Tráfego da Universidade da Califórnia em Berkeley, USA, aplicado a um sistema de camadas elásticas.

Os pontos de análise foram na fibra inferior do revestimento (deformações horizontais de tração – t) e no topo do subleito (deformação vertical do subleito – v). Estão baseados nos critérios de fadiga estabelecidos para camada betuminosa e pelo acúmulo de deformações permanentes.

A magnitude das cargas e a geometria dos pontos de aplicação e análise são:

- Carga padrão considerando levantamento FWD: 40 kN;
- Raio de contato: 15 cm;
- Pontos de análise no plano horizontal: (x = 0 ; y = 0);
- Profundidade avaliada: Z = superfície do pavimento, fibra inferior da camada betuminosa, fibra inferior da base e no topo do subleito.

Dos resultados obtidos, é possível verificar que:

CAMADA	ESP. (cm)	0,01 mm							Et (caract)	Ev (caract)
		D0	D20	D30	D45	D65	D90	D120		
1	10	42,50	32,92	27,24	21,27	16,49	12,90	10,10	2,32E-04	1,88E-04
2	12	41,95	33,03	27,36	21,36	16,55	12,93	10,11		
3	12	33,92	29,47	25,86	21,10	16,59	12,96	10,12		
4	20	29,13	26,62	24,27	20,57	16,48	12,91	10,09		
5	SEMI-INF	25,24	23,68	22,12	19,39	15,98	12,73	10,05		

Tabela 26 – Deflexões características do pavimento dimensionado da Via Marginal

A análise comparativa de desempenho das estruturas é feita através da verificação da compatibilidade entre esforços solicitantes (devidos à aplicação de cargas de tráfego) e os esforços resistentes, intrínsecos de cada material, traduzidos pelas equações de fadiga apresentadas no item a seguir.

3.5.3.3 Análise de Fadigas dos Materiais

a) Fadiga Quanto às Deformações das Misturas Asfálticas

Apresenta-se a seguir a equação de fadiga:

ϵt (limite) = $A \cdot N^B$, onde:

$$A = a^{1/b}$$

$$B = -1/b$$

N = número de solicitações de tráfego pelo método da AASHTO

$$a = f_0 \times 10^M \times 4,325 \times 10^{-3} \times (0,06894 / E)^{0,854}$$

$$b = 3,291$$

$$M = 4,84 \times \{ [V_b / (V_v + V_b)] - 0,69 \}$$

f_0 = fator campo/laboratório, entre 35 e 50

E = módulo de elasticidade do revestimento (Kgf/cm²)

V_b = volume de betume do revestimento

V_v = volume de vazios do revestimento

Para este projeto, temos que:

De acordo com a especificação técnica da Ecorodovias para concreto asfáltico com CAP modificado por polímeros elastoméricos:

- Para as Faixas Granulométricas Descontínuas (CALTRANS – Gap Graded)

DISCRIMINAÇÃO	CALTRANS
Porcentagem de vazios	4 a 6 %
Relação betume/vazios	65 a 78
Estabilidade mínima: 75 golpes	8,5 kN
Resistência à tração por compressão diametral a 25 °C (MPa)- mínima	≥ 0,7
Fluência: mm 1/100"	2,0 – 4,0 8 - 16

$$V_v = 0,05$$

$$V_b = 0,17$$

$$RVB = \frac{Vb}{Vv + Vb} = 0,78$$

$$M = 4,84 * \{[0,78] - 0,69\} = 0,44$$

$$a = 45 * 10^{0,43} * 4,325 * 10^{-3} * \left(\frac{0,06894}{40.000}\right)^{0,854} = 6,35 * 10^{-6}$$

$$N = 2,77 * 10^6$$

$$\varepsilon t(\text{limite}) = (5,83 * 10^{-6})^{\frac{1}{3,291}} * (2,77 * 10^6)^{\frac{-1}{3,291}}$$

$$\varepsilon t(\text{limite}) = 2,91 * 10^{-4}$$

E do resultado da análise pelo ELSYM5, foi obtido que o $\varepsilon t(\text{caract.})$, no programa dado como a Deformação Principal PE1 na camada $z = 10,00$ cm, é igual a $2,32 * 10^{-4}$. Portanto:

$$\varepsilon t(\text{limite}) = 2,91 * 10^{-4} > 2,32 * 10^{-4} = \varepsilon t(\text{caract})$$

Pode-se observar que o dimensionamento do pavimento em questão **está** adequado quanto à fadiga proveniente das deformações das misturas asfálticas.

b) Fadiga Quanto às Deformações de Compressão do Subleito

O critério da fadiga para deformações verticais de compressão do subleito é idêntico aos modelos adotados para a fadiga de misturas asfálticas sendo sugerida uma equação da seguinte forma, também proposta pelo Instituto do Asfalto:

$$\varepsilon v(\text{limite}) = a \cdot N^b, \text{ onde:}$$

$$a = 0,0105$$

$$b = -0,223$$

$$N = \text{número de solicitações de tráfego pelo método da AASHTO} = 2,77 * 10^6$$

Então:

$$\varepsilon v(\text{limite}) = 0,0105 * (2,77 * 10^6)^{-0,223}$$

$$\varepsilon v(\text{limite}) = 3,84 * 10^{-4}$$

E do resultado da análise pelo ELSYM5, foi obtido que o $\varepsilon v(\text{caract.})$, no programa dado como a Deformação Principal PE3 na camada $z = 54,00$ cm, é igual a $1,88 * 10^{-4}$. Portanto:

$$\varepsilon v(\text{limite}) = 3,84 * 10^{-4} > 1,88 * 10^{-4} = \varepsilon v(\text{caract})$$

Pode-se observar que o dimensionamento do pavimento em questão também **está** adequado quanto à fadiga proveniente das deformações de compressão do subleito.

3.5.3.4 Estimativa da Vida Útil do Pavimento

Adotou-se a equação de fadiga proposta na norma rodoviária DNIT Pro 269 – TECNAPAV.

Equações da metodologia DNIT Pro 269/94

$$\text{Log } D_{\text{adm}} = 3,148 - 0,188 \log N_p$$

Onde:

D_{adm} : Deflexão máxima admissível

N_p : Número de operações do eixo padrão de 8,2 tf durante o período de projeto.

Sabendo que D_0 , obtido na análise do ELSYM5, é igual a 42,50 (0,01 mm), tem-se que:

$$\log 42,50 = 3,148 - 0,188 * \log N_p$$

Logo:

$$N_p = 10^{\left(\frac{3,148 - \log 42,50}{0,188}\right)}$$

$$N_p = 1,21 * 10^8$$

Do previsto em projeto, tem-se que o número de solicitações de tráfego para o período de 10 anos é:

$$N_{\text{acum USACE}} = 1,17 * 10^7$$

Portanto, pela análise da deflexão admissível, o pavimento dimensionado resiste a um maior número de solicitações de tráfego do que aquelas previstas em 10 anos conforme projeto.

A seguir, apresenta-se um resumo dos valores comparados:

Et (caract)	Et (limite)	EV (caract)	EV (limite)	CONTAGEM	DNER 1994
				N _{ACUMULADO} USACE	N _p CALCULADO USACE
2,32E-04	2,91E-04	1,88E-04	3,84E-04	1,17E+07	1,21E+08

Tabela 27 – Resumo das Verificações da Retroanálise da Via Marginal

3.5.3.5 Controle deflectométrico

Apresenta-se a seguir os parâmetros de controle deflectométrico por camada da estrutura de pavimento nova a implantar nas Vias Marginais:

PARÂMETROS DE CONTROLE DEFLECTOMÉTRICO VIA MARGINAL			
CAMADA		ESP.	VALOR MÁXIMO DE DEFLEXÃO ADMITIDO NO TOPO DA CAMADA
1	CBUQ	4,50 cm	42,50 x 0,01 mm
	BINDER	5,50 cm	56,28 x 0,01 mm
2	BGS	12,00 cm	76,48 x 0,01 mm
3	BGS	12,00 cm	79,58 x 0,01 mm
4	MACADAME SECO	20,00 cm	87,37 x 0,01 mm
5	REGULARIZAÇÃO DE SUBLEITO		155,80 x 0,01 mm

Tabela 28 – Parâmetros de controle deflectométrico – Via Marginal

3.5.3.6 Redução da espessura do revestimento

A utilização de polímero nas camadas de CBUQ, possibilita projetar revestimentos mais delgados sem prejuízo do desempenho do pavimento. Segundo PREUSSLER & PINTO (2002), e de acordo com TECNAPAV – PRO 269/2004, essa redução é dada pela seguinte equação:

$$H_R(mod) = H_R(c) \times K$$

Onde:

$H_R(mod)$ = espessura do modificado;

$H_R(c)$ = espessura do comum;

K = fator = 0,50 (DOT – Georgia)

0,77 (IPR – RJ)

Portanto:

$$H_R(mod) = 4,50 \times 0,77 = 3,47 \text{ cm}$$

$$H_R(mod) = 5,50 \times 0,77 = 4,24 \text{ cm}$$

3.5.4 Estrutura do Pavimento da Via Marginal

Com base nos estudos de dimensionamento e levando em consideração espessura mínima construtiva por camada para garantia de sua homogeneidade e qualidade, esta Consultora define as seguintes estruturas de pavimento:

Via Marginal	
Serviço	Espessura (cm)
Camada superior com CBUQ com emprego de CAP modificado por polímero 60/85, Faixa D do Caltrans	3,50
Pintura de ligação c/emulsão RR-1C	-
Camada intermediária com CBUQ com emprego de CAP modificado por polímero 60/85, Faixa B do DNIT	4,50
Pintura de ligação c/emulsão RR-1C	-
Imprimação com CM-30	-
Base de brita graduada simples – 100%PM	12,00
Sub base de brita graduada simples – 100%PM	12,00
Reforço do Subleito - Macadame Seco	20,00

Tabela 29 – Camadas constituintes do pavimento dimensionado para a Vias Marginais

3.6 Verificação das Estruturas de Pavimento Existentes

As estruturas existente de pavimentos foram verificadas quanto às deformações de compressão do subleito e deformações das misturas asfálticas. Foi adicionada uma capa de CBUQ com espessura de 5,0 centímetros para compatibilização com a pista nova a ser implantada.

3.6.1 Alça de acesso BR-466

A estrutura da alça de acesso da Rodovia BR-466 é apresentada a seguir:

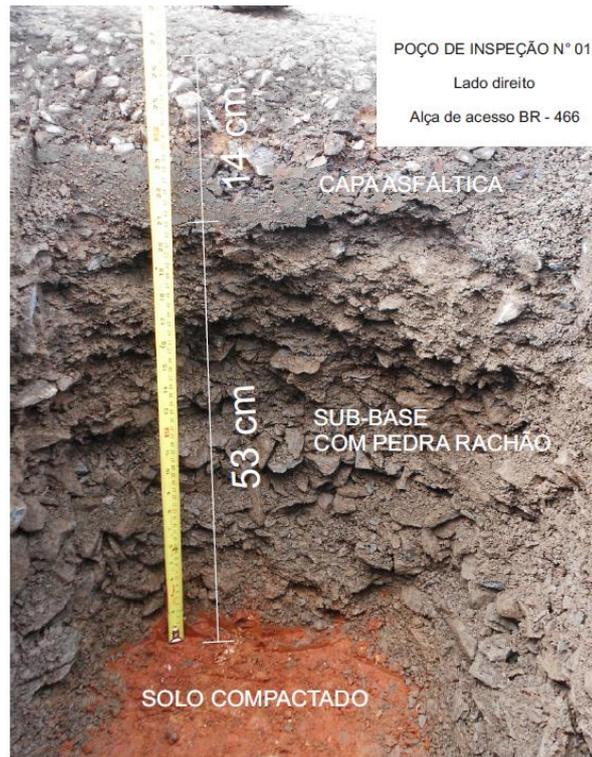


Figura 8 – Pavimento Existente BR-466

Tal pavimento foi verificado no método mecanístico, obtendo os seguintes resultados:

CAMADA	ESP. (cm)	COEF. POISSON	MOD. RESILIENCIA (kg/cm ²)	0,01 mm							Et (caract)	EV (caract)
				D0	D20	D30	D45	D65	D90	D120		
RECAPE	5	0,4	40000	18,27	14,12	11,94	94,12	7,06	5,21	3,91	1,74E-05	7,63E-05
1	14	0,35	35000	18,31	14,36	12,06	9,45	7,06	5,21	3,90		
2	53	0,35	3500	16,86	14,04	11,97	9,45	7,09	5,23	3,91		
4	SEMI-INF	0,4	2440	8,65	8,30	7,91	7,18	6,12	4,94	3,87		

Tabela 30 – Retroanálise BR-466

De maneira análoga ao descrito nos itens 3.3.3 e 3.4.3, a estrutura foi verificada:

RESULTADOS					CONTAGEM	DNER 1994
	Et (caract)	Et (limite)	EV (caract)	EV (limite)	N _{ACUMULADO} USACE	N _p CALCULADO USACE
	1,74E-05	1,39E-04	7,63E-05	2,24E-04	1,31E+08	1,08E+10

Tabela 31 – Comparativo Retroanálise BR-466

Como pode-se ver, o pavimento existente com uma capa adicional de 5,0 cm está adequado ao tráfego estimado para os 10 anos de projeto.

3.6.2 Acesso a empresa “VIPAL”

A estrutura da alça de acesso à empresa “VIPAL” é apresentada a seguir:



Figura 9 – Pavimento Existente “VIPAL”

Tal pavimento foi verificado no método mecanístico, obtendo os seguintes resultados:

CAMADA	ESP. (cm)	COEF. POISSON	MOD. RESILIENCIA (kg/cm ²)	0,01 mm						Et (caract)	EV (caract)	
				D0	D20	D30	D45	D65	D90			D120
RECAPE	5	0,40	40000	20,51	15,57	12,85	9,8	7,15	5,2	3,88	1,78E-05	1,00E-04
1	11	0,35	35000	20,62	15,82	12,96	9,83	7,15	5,20	3,88		
2	47	0,35	3500	19,34	15,55	12,90	9,84	7,18	5,22	3,89		
4	SEMI-INF	0,40	2440	9,90	9,39	8,84	7,82	6,46	5,07	3,90		

Tabela 32 – Retroanálise “VIPAL”

De maneira análoga ao descrito nos itens 3.3.3 e 3.4.3, a estrutura foi verificada:

RESULTADOS	Et (caract)	Et (limite)	EV (caract)	EV (limite)	CONTAGEM	DNER 1994
					N _{ACUMULADO}	N _p CALCULADO
					USACE	USACE
	1,78E-05	1,39E-04	1,00E-04	2,24E-04	1,31E+08	5,84E+09

Tabela 33 – Comparativo Retroanálise VIPAL

Como pode-se ver, o pavimento existente com uma capa adicional de 5,0 cm está adequado ao tráfego estimado para os 10 anos de projeto.

3.6.3 Rodovia PR-170

A estrutura da Rodovia PR-170 é apresentada a seguir:

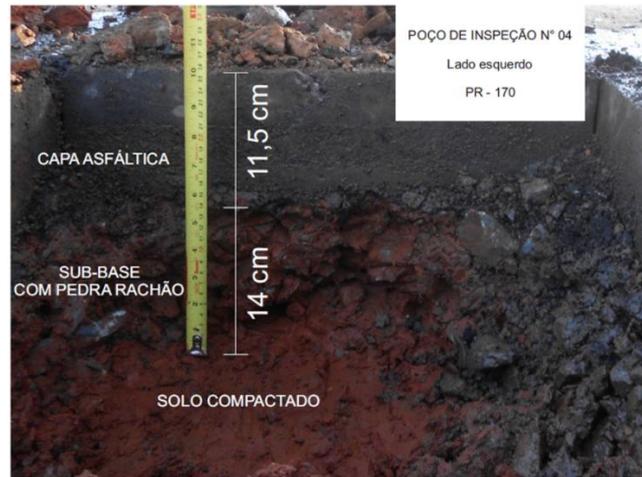


Figura 10 – Pavimento Existente Rodovia PR-170

Tal pavimento foi verificado no método mecanístico, obtendo os seguintes resultados:

CAMADA	ESP. (cm)	COEF. POISSON	MOD. RESILIENCIA (kg/cm ²)	0,01 mm						Et (caract)	EV (caract)	
				D0	D20	D30	D45	D65	D90			D120
CAPA	5	0,40	40000	28,64	23,35	20,16	16,18	12,19	8,85	6,43	2,29E-05	2,66E-04
1	11,5	0,35	35000	28,84	23,68	20,33	16,24	12,20	8,85	6,42		
2	14	0,35	3500	27,50	23,36	20,23	16,23	12,21	8,87	6,44		
4	SEMI-INF	0,40	1500	23,24	20,90	18,74	15,54	12,00	8,85	6,47		

Tabela 34 – Retroanálise Rodovia PR-170

De maneira análoga ao descrito nos itens 3.3.3 e 3.4.3, a estrutura foi verificada:

RESULTADOS					CONTAGEM	DNER 1994
	Et (caract)	Et (limite)	EV (caract)	EV (limite)	N _{ACUMULADO} USACE	N _p CALCULADO USACE
	2,29E-05	1,39E-04	2,66E-04	2,24E-04	1,31E+08	9,88E+08

Tabela 35 – Comparativo Rodovia PR-170

Como pode-se ver, o pavimento existente com uma capa adicional de 5,0 cm **não está** adequado ao tráfego estimado para os 10 anos de projeto. Por isso, preferiu adotar a estrutura a implantar das vias marginais para esta rodovia, visto que esta não será submetida ao mesmo tráfego da rodovia principal.

3.6.4 Rodovia BR-277 – km 344+720

A estrutura da rodovia BR-277 no km 344+720 é apresentada:



Figura 11 – Pavimento Existente Rodovia BR-277 km 344+720

Tal pavimento foi verificado no método mecanístico, obtendo os seguintes resultados:

CAMADA	ESP. (cm)	COEF. POISSON	MOD. RESILIENCIA (kg/cm ²)	0,01 mm						Et (caract)	EV (caract)	
				D0	D20	D30	D45	D65	D90			D120
CAPA	5	0,4	40000	23,05	18,49	15,93	12,81	9,73	7,16	5,26	2,23E-05	1,81E-04
1	13	0,35	35000	23,16	18,78	16,07	12,86	9,74	7,16	5,26		
2	22	0,35	3500	21,77	18,47	15,98	12,85	9,76	7,17	5,27		
4	SEMI-INF	0,4	1840	16,47	15,18	13,89	11,82	9,38	7,10	5,30		

Tabela 36 – Retroanálise Rodovia BR-277 km 344+720

De maneira análoga ao descrito nos itens 3.3.3 e 3.4.3, a estrutura foi verificada:

RESULTADOS					CONTAGEM	DNER 1994
	Et (caract)	Et (limite)	EV (caract)	EV (limite)	N _{ACUMULADO} USACE	N _p CALCULADO USACE
	2,23E-05	1,39E-04	1,81E-04	2,24E-04	1,31E+08	3,14E+09

Tabela 37 – Comparativo Retroanálise km 344+720

Como pode-se ver, o pavimento existente com uma capa adicional de 5,0 cm está adequado ao tráfego estimado para os 10 anos de projeto.

3.6.5 Rodovia BR-277 – km 350+330

A estrutura da rodovia BR-277 no km 350+330 é apresentada:

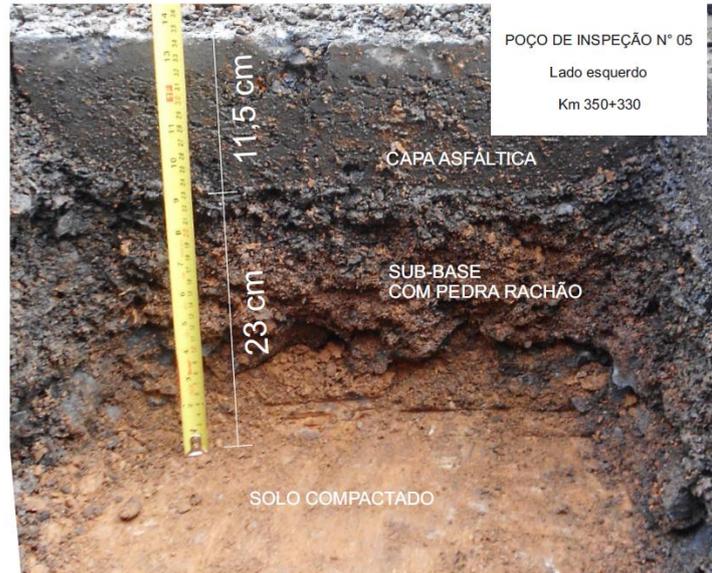


Figura 12 – Pavimento Existente Rodovia BR-277 km 350+330

Tal pavimento foi verificado no método mecanístico, obtendo os seguintes resultados:

CAMADA	ESP. (cm)	COEF. POISSON	MOD. RESILIENCIA (kg/cm ²)	0,01 mm							Et (caract)	EV (caract)
				D0	D20	D30	D45	D65	D90	D120		
CAPA	5	0,40	40000	27,00	21,94	18,97	15,34	11,75	8,74	6,47	2,43E-05	2,01E-04
1	11,5	0,35	35000	27,17	22,25	19,13	15,40	11,77	8,74	6,47		
2	23	0,35	3500	25,86	21,96	19,05	15,40	11,79	8,76	6,48		
4	SEMI-INF	0,40	1500	19,82	18,29	16,75	14,29	11,39	8,68	6,51		

Tabela 38 – Retroanálise Rodovia BR-277 km 344+720

De maneira análoga ao descrito nos itens 3.3.3 e 3.4.3, a estrutura foi verificada:

RESULTADOS	Et (caract)	Et (limite)	EV (caract)	EV (limite)	CONTAGEM	DNER 1994
					NACUMULADO	Np CALCULADO
					USACE	USACE
	2,43E-05	1,39E-04	2,01E-04	2,24E-04	1,31E+08	1,35E+09

Tabela 39 – Comparativo Retroanálise km 350+330

Como pode-se ver, o pavimento existente com uma capa adicional de 5,0 cm está adequado ao tráfego estimado para os 10 anos de projeto.

3.7 Cuidados construtivos na fase de pavimentação

3.7.1 Regularização do subleito

Além das recomendações e critérios indicados nas especificações de serviço DER/PR ES-P 01/05 e Ecorodovias ET-S2.001.000-PAV/001, para obter-se após a execução de todo o pavimento os valores de medidas de irregularidades é fundamental que se proceda a um controle rigoroso a partir desta fase de serviço com elaboração de nota de serviço de pavimentação com no mínimo 5 pontos e espaçados no máximo a cada 20,0m.

Em relação às deflexões do pavimento a ser construído estas verificações devem ser feitas a partir desta fase cujos valores encontrados podem dar uma resposta confiável sobre a deflexão máxima admissível por camada e para o conjunto das camadas de forma a obter um pavimento com vida útil conforme a expectativa de projeto.

VERIFICAÇÃO DE ABAULAMENTO TRANSVERSAL E LONGITUDINAL
Pontos: eixo pista nova (EPN), - 4,50 EPN, + 4,50 EPN, -8,10 EPN e +8,10 EPN eixo marginais (EM), -4,20 EM, +4,20 EM Afastamento: 20 – 20m
VERIFICAÇÃO DE DEFLEXÕES
Distância do bordo do acostamento: 0,50m
Espaçamento: 50 – 50m.

3.7.2 Reforço do Subleito - Macadame Seco

Os trabalhos de reforço do subleito devem seguir a especificação Ecorodovias ET-S2.001.000-PAV/002 juntamente com as especificações para os trabalhos de Macadame Seco: DER/PR ES-P 03/05 Ecorodovias ET-S2.001.000-PAV/006.

Macadame seco é a camada granular composta por agregados graúdos, naturais ou britados, preenchidos a seco por agregados miúdos, cuja estabilidade é obtida pela ação mecânica da compactação, utilizada como reforço do subleito e sub-base em rodovias com leve e médio volume de tráfego; ou como base em rodovias de trafego leve.

Agregado graúdo

O agregado graúdo deverá ser constituído por pedra britada tipo rachão, produto da britagem primária, devendo ser constituído de fragmentos duros, limpos e duráveis, livres de excessos de partículas lamelares ou alongadas, macias ou de fácil desintegração, e de outras substâncias prejudiciais.

O diâmetro máximo do agregado graúdo deverá ser de 4". No entanto, devido ao processo de obtenção da pedra rachão, admitir-se-á um percentual de até 10% de agregado com granulometria entre 4" e 5".

O agregado graúdo deverá se enquadrar na faixa granulométrica a seguir apresentada:

PENEIRA		
ASMT	(mm)	% passando em peso
5"	127,0	100
4"	101,6	90 - 100
3"	76,2	65 - 80
2"	50,8	15 - 55
1"	25,4	0 - 20
½"	12,7	0 - 10
nº. 4	4,8	0 - 5

A compressão poderá ser executada com o rolo grelha rebocado por trator de esteira e, ou, com rolo liso vibratório operando sem vibrar. A camada de pedra rachão deverá ser executada em camadas de no máximo 25 cm de espessura.

3.7.3 Brita graduada tratada com cimento

Os trabalhos de de brita graduada tratada com cimento devem seguir a especificação Ecorodovias ET-S2.001.000-PAV/004 e DER/PR ES-P 16/05.

Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC) é o produto resultante da mistura, em usina, de agregados obtidos por britagem de rochas sãs, cimento Portland e água, empregada como camada semi-rígida de pavimentação, executada sobre a sub-base, subleito ou reforço do subleito devidamente regularizado e compactado.

Agregados

Os agregados, para execução da camada de brita graduada tratada com cimento, serão produtos provenientes de britagem de rochas sãs, devendo apresentar as seguintes características:

a) Quando submetidos aos ensaios dos métodos DNER-ME 080/94 e DNER-ME 054/97:

O equivalente de areia deverá ser maior que 35 %;

Deverão possuir composição granulométrica satisfazendo a faixa do quadro a seguir:

Peneiras		FAIXA GRANULOMÉTRICA DA DERSA	
		% em peso que passa	
TIPO	mm	MÍN.	MÁX.
1"	25,4	100	100
¾"	19,1	88	100
3/8"	9,5	55	75
Nº 4	4,8	41	56
Nº 10	2,0	30	44
Nº 20	0,840	20	31
Nº 40	0,420	15	25
Nº 80	0,175	8	15
Nº 200	0,074	2	7

Tabela 40 – Faixas granulométricas de Brita Graduada Tratada com Cimento

b) O agregado retido na peneira nº 10 deverá ser constituído de partículas duras e resistentes, isento de fragmentos moles, alongados ou achatados, de matéria vegetal ou outra substância prejudicial, devendo apresentar:

- Desgaste Los Angeles igual ou inferior a 40% (DNER-ME 035/98). Entretanto, poderão ser admitidos valores de desgaste maiores no caso de desempenho satisfatório em utilização anterior;
- Durabilidade, determinada em cinco ciclos, pelo método (DNER ME 089/94), com perdas menores que: 20% em sulfato de sódio; ou 30% em sulfato de magnésio;
- Quanto ao tamanho e à forma das partículas: Índice de forma do agregado maior ou igual a 0,5.

c) Quanto às impurezas: a brita graduada deverá ser isenta de impurezas tais como torrões de solo e materiais orgânicos.

3.7.4 Brita graduada simples – 100% PM

É de conhecimento nacional no meio técnico há mais de duas décadas que deve se tomar muito cuidado com a execução de pavimentos com camadas

granulares, que tem sido as principais contribuidoras de elevada resiliência, em função de espessuras elevadas e/ou baixo intertravamento.

Para resolver ou reduzir o risco de resiliência elevada de camada granular o DNER adotou como limite máximo de espessura o valor de 35,0cm. Por outro lado verificou-se, muitas vezes, que mesmo para camadas de espessuras menores que 35,0cm havia uma resiliência ainda elevada devido a deficiência de intertravamento que é função da seleção da faixa granulométrica, mistura dos agregados e compactação inadequada.

Recomenda-se na execução de brita graduada simples a adoção das seguintes faixas granulométricas, conforme especificação da Ecorodovias ET-22.000.000-00-P09/005 e DNER-ES 303/97.

PENEIRAS		FAIXA GRANULOMÉTRICA da NCSA			FAIXA GRANULOMÉTRICA B da DERSA	
		% em peso que passa			% em peso que passa	
TIPO	mm	MÍN.	MÁX.	TOLERÂNCIA	MÍN.	MÁX.
2"	50,8	-	-		100	100
1 1/2"	38,1	100	100	-	-	-
1"	25,4	77	100	+/- 5	75	90
3/4"	19,1	66	88	+/- 5	-	-
3/8"	9,5	46	71	+/- 8	40	75
Nº 4	4,8	30	56	+/- 8	30	60
Nº 10	2,0	-	-	-	20	45
Nº 30	0,60	8	28	+/- 5	-	-
Nº 40	0,42	-	-	-	15	30
Nº 200	0,075	5	10	+/- 3	5	15

Tabela 41 – Faixas granulométricas de Brita Graduada Simples

- A fração que passa na peneira nº 40 deverá apresentar limite de liquidez inferior ou igual a 25% e índice de plasticidade inferior a 6%;
- O equivalente de areia deverá ser maior que 35%;
- Deverão possuir composição granulométrica satisfazendo uma das faixas do quadro abaixo (preferencialmente na faixa da “National Crushed Stone Association” – NCSA)

3.7.5 Imprimação com Asfalto diluído CM-30

A execução das pinturas asfálticas deve obedecer a especificação de serviço da Ecorodovias ET-S2.001.000-PAV/008 e DER/PR DES-P 17/05.

A pintura asfáltica com função de promover a impermeabilização da camada de base de brita graduada à intermediária de CBUQ c/asfalto 60/85, a qual deve ser aplicada com taxa de ligante de 0,8 a 1,6l/m².

A temperatura de aplicação deverá ser escolhida de modo a ser obtida viscosidade Saybolt-Furol entre 20 e 60 segundos (DNER - ME 004/94).

3.7.6 Pinturas asfálticas com emulsão RR-1C e RR-2C

A execução das pinturas asfálticas deve obedecer a especificação de serviço da Ecorodovias ET-S2.001.000-PAV/009 e do DER/PR ES-P 17/05.

Pintura de Ligação (ou Imprimadura Ligante) - consiste na aplicação de ligante asfáltico sobre a superfície de base coesiva já imprimada ou pavimento asfáltico anterior à execução de uma camada asfáltica qualquer, objetivando promover condições de aderência entre as camadas.

O ligante asfáltico empregado na pintura de ligação é do seguinte tipo:
- Emulsões asfálticas de ruptura rápida, tipo RR-1C e RR-2c, satisfazendo às exigências contidas na P-EB 472/84 da ABNT/IBP e DNER – EM 369/97.

A pintura asfáltica com função de promover a cura da camada de sub-base de brita graduada tratada com cimento e promover a ligação da camada de base de brita graduada à intermediária de CBUQ c/asfalto 60/85, e esta à camada superior de CBUQ. A taxa recomendada de ligante asfáltico residual é de 0,4 l/m² a 0,6 l/m². Antes da aplicação, a emulsão deverá ser diluída na proporção de 1:1 com água a fim de garantir uniformidade na distribuição desta taxa residual. A taxa de aplicação de emulsão diluída é da ordem de 0,8 l/m² a 1,2 l/m².

Quando além de servir como ligação, o ligante asfáltico residual tiver a finalidade de impermeabilizar a camada subjacente, as taxas de aplicação deverão ser aumentadas de forma que o ligante residual possa obturar os vazios ou fissuras dela.

3.7.7 Camada anti-reflexão de trincas – com geotêxtil não tecido e emulsão asfáltica RR-1C

Deve atender as condições da especificação de serviço do DER/SP ET-DE-P00/043 e DNER-PRO 380/98.

A utilização de geossintéticos, geotêxteis e geogrelhas, como elemento anti-reflexão de trincas em estruturas de pavimentos flexíveis melhora o comportamento no que diz respeito à propagação das trincas. Atuam como elementos de reforço, aliviando as tensões na interface entre a base de brita graduada tratada com cimento e a camada de revestimento reduzindo as tensões cisalhantes e redistribuindo estas tensões, também atuam direcionando e retardando a trinca mantendo o pavimento impermeável aumentando desta forma a vida útil do pavimento.

Os materiais constituintes do tratamento anti-reflexão de trincas com geossintético são as emulsões asfálticas de ruptura rápida que podem ser modificados ou não por polímeros e, os geotêxteis não tecidos de poliéster, os quais devem satisfazer as normas pertinentes e as especificações aprovadas pelo DER/SP.

Geotêxtil

O geotêxtil é um produto têxtil bidimensional permeável, composto de fibras cortadas ou filamentos contínuos, distribuídos aleatoriamente, os quais são interligados por processos mecânicos, térmicos ou químicos.

Os geotêxteis recomendados são os não tecidos agulhados, podendo ser de filamentos contínuos ou de fibras longas cortadas.

Deve possuir as seguintes propriedades:

- a) resistência a tração > 7 kN/m, no sentido de menor resistência, cf. NBR 12824;
- b) capacidade de retenção de ligante betuminoso $> 0,9$ l/m², Task Force 25;
- c) ponto de amolecimento > 180 °C.

Taxas de Aplicação da Emulsão Asfáltica

A taxa de aplicação é função do grau de trincamento, da porosidade do pavimento antigo e da capacidade de absorção do geotêxtil e da geogrelha a ser utilizada. A película de emulsão asfáltica deve ser suficiente para fazer a ligação entre o pavimento antigo ou a base de brita graduada tratada com cimento, o geotêxtil ou a geogrelha e o pavimento novo. Para que sejam obtidos os efeitos de absorção de tensões e aderência adequada da camada asfáltica de recapeamento, deve ser dada atenção especial à taxa de aplicação do ligante asfáltico, e deve ser suficiente para impregnação da manta bem como para a ligação com o revestimento antigo e o revestimento novo.

3.7.8 Concreto asfáltico usinado a quente com CAP 60/85

Deve atender as condições da especificação de serviço do DER/PR ES-P 15/05, e Ecorodovias ET-S2.001.000-PAV/011.

A composição granulométrica dos agregados do concreto asfáltico com CAP modificado por polímeros deve satisfazer os requisitos dos quadros seguintes com as respectivas tolerâncias no que diz respeito à granulometria e aos percentuais do ligante asfáltico.

Peneiras de Malha Quadrada		% PASSANDO, EM PESO			
Tipo	mm	IVb (IA)	IVc (IA)	Caltrans Gap-Graded B	Caltrans Gap-Graded D
1"	25,4	100	100	100	-
3/4"	19,1	100	80-100	90 - 100	-
5/8"	15,9	-	-	-	100
1/2"	12,7	80 -100	-	75 - 90	90 - 100
3/8"	9,5	70 - 90	60 - 80	60 - 75	78 - 92
Nº4	4,8	50 -70	48 - 65	25 - 40	28 - 42
Nº8	2,4	35 - 50	35 - 50	15 - 25	15 - 25
Nº30	0,60	18 - 29	19 - 30	5 - 15	10 - 20
Nº50	0,30	13 - 23	13 - 23	4 - 13	7 - 15
Nº 100	0,149	8 - 16	7 - 15	3 - 10	5 - 10
Nº200	0,074	4 -10	1 - 8	2 - 7	2 - 7
Asfalto (CAP c/ asfalto polimérico) %		4,5 – 7,0	4,5 – 6,5	5,3 – 8,0	5,5 – 8,0
Emprego		Rolamento	Binder	Rolamento	

Tabela 42 – Faixas granulométricas de concreto asfáltico

Para as faixas IVb e IVc do Asphalt Institute, a rolagem será iniciada com o rolo de pneu com baixa pressão a qual será aumentada à medida que a mistura for sendo compactada e, conseqüentemente, suportando pressões mais elevadas. O acabamento final da superfície será feito com os rolos tipo tandem vibratório.

Para a faixa CALTRANS ("Gap-Graded") a rolagem será iniciada com rolo liso de menor peso. Em seguida deve-se iniciar as rolagens com rolos lisos pesados. Os rolos lisos utilizados devem ser de 10t a 12t.

No caso de execução de capa asfáltica sobre pontes ou viadutos não deverá usar vibração na compactação.

A mistura de agregados e filler deve ser constituídos por materiais finamente divididos, tais como cimento Portland, cal hidratada e que atendam a seguinte granulometria:

Peneira	% mínima, passando
Nº 400	100
Nº 80	95
Nº 200	65

Para a camada intermediária com CAUQ o valor da deformação permanente em trilha de roda admissível é de 5% para 30.000 ciclos.

3.8 Memória de cálculo de quantidades

Área de pavimento a demolir: 38.254,00 m²

Área de pavimento novo: 191.290,00 m²

Área de camada asfáltica (OAE): 2.813,00 m²

Área de recape: 45.414,00 m²

Nota: por recomendações ambientais a porção de camada asfáltica a ser demolida deve ter seus materiais reaproveitados mediante processo de fresagem e estocagem de material.

3.8.1 Pavimento a demolir

Memorial de Cálculo de Pavimentação a Demolir			
Local	Área (m ²)	Área (m ²)	Área devido a dispositivos de drenagem (m ²)
Rodovia BR-277 e Acessos	110,00	816,00	82,00
	426,00	749,00	57,00
	479,00	2.060,00	28,00
	892,00	2.177,00	27,00
	102,00	1.720,00	71,00
	803,00	235,00	29,00
	696,00	246,00	82,00
	246,00	242,00	39,00
	1.381,00	711,00	30,00
	258,00	1.514,00	142,00
	2.896,00	1.287,00	70,00
	245,00	611,00	
	157,00	420,00	
	157,00	391,00	
	293,00	2.673,00	
	223,00	7.475,00	
	60,00	661,00	
	1.582,00	1.900,00	
	239,00	464,00	
Total a Demolir	38.254,00		

Tabela 43 – Memorial de Cálculo de Pavimentação a Demolir

3.8.2 Pavimento a implantar

Memorial de Cálculo de Pavimentação a Implantar												
Local	Estaca		Área (m²)	Regularização do Subleito (m²)	Ref. de Subleito - Macadame Seco	B.G.S.	B.G.T.C.	Pintura de proteção e emulsão RR-2C	CART - com geotêxtil não tecido agulhado e emulsão RR-1C	CBUQ c/ CAP 60/85 Faixa B	Pintura de Ligação RR-1C	CBUQ c/ CAP 60/85 Faixa D
	Inicial	Final										
Pista Direita	17200+00,00	17510+00,00	26.238,00	26.238,00	5.247,60	3.148,56	3.935,70	26.238,00	26.238,00	3.935,70	26.238,00	2.623,80
	17200+00,00	17510+00,00	10.591,00	10.591,00	2.118,20	1.270,92	1.588,65	10.591,00	10.591,00	1.588,65		
Pista Esquerda	17200+00,00	17510+00,00	29.083,00	29.083,00	5.816,60	3.489,96	4.362,45	29.083,00	29.083,00	4.362,45	29.083,00	2.908,30
	17200+00,00	17510+00,00	10.024,00	10.024,00	2.004,80	1.202,88	1.503,60	10.024,00	10.024,00	1.503,60		
Alça BR-466	4000+00,00	4011+14,66	1.570,00	1.570,00	314,00	188,40	235,50	1.570,00	1.570,00	235,50	1.570,00	157,00
	2000+00,00	2013+19,07	1.049,00	1.049,00	209,80	125,88	157,35	1.049,00	1.049,00	157,35	1.049,00	104,90
Taper 2000	2102+00,00	2109+00,00	522,00	522,00	104,40	62,64	78,30	522,00	522,00	78,30	522,00	52,20
	2200+00,00	2210+00,00	725,00	725,00	145,00	87,00	108,75	725,00	725,00	108,75	725,00	72,50
Taper 2300	2300+00,00	2308+00,00	561,00	561,00	112,20	67,32	84,15	561,00	561,00	84,15	561,00	56,10
	2402+00,00	2412+00,00	777,00	777,00	155,40	93,24	116,55	777,00	777,00	116,55	777,00	77,70
Taper 2500	2500+00,00	2509+00,00	652,00	652,00	130,40	78,24	97,80	652,00	652,00	97,80	652,00	65,20
	2600+00,00	2609+00,00	619,00	619,00	123,80	74,28	92,85	619,00	619,00	92,85	619,00	61,90
Taper 2700	2701+00,00	2712+00,00	801,00	801,00	160,20	96,12	120,15	801,00	801,00	120,15	801,00	80,10
	2800+00,00	2807+00,00	446,00	446,00	89,20	53,52	66,90	446,00	446,00	66,90	446,00	44,60
Taper 2800	2901+10,00	2913+00,00	779,00	779,00	155,80	93,48	116,85	779,00	779,00	116,85	779,00	77,90
	3000+00,00	3009+00,00	674,00	674,00	134,80	80,88	101,10	674,00	674,00	101,10	674,00	67,40
Taper 3100	3100+00,00	3111+00,00	1.185,00	1.185,00	237,00	142,20	177,75	1.185,00	1.185,00	177,75	1.185,00	118,50
	6000+00,00	6005+00,00	180,00	180,00	36,00	21,60	27,00	180,00	180,00	27,00	180,00	18,00
Taper 6100	6101+00,00	6112+00,00	781,00	781,00	156,20	93,72	117,15	781,00	781,00	117,15	781,00	78,10
	6200+00,00	6208+10,00	560,00	560,00	112,00	67,20	84,00	560,00	560,00	84,00	560,00	56,00
Taper 6300	6300+00,00	6307+10,00	755,00	755,00	151,00	90,60	113,25	755,00	755,00	113,25	755,00	75,50
	6401+10,00	6409+00,00	609,00	609,00	121,80	73,08	91,35	609,00	609,00	91,35	609,00	60,90
Taper 6500	6501+00,00	6501+10,00	610,00	610,00	122,00	73,20	91,50	610,00	610,00	91,50	610,00	61,00
	6600+00,00	6609+00,00	655,00	655,00	131,00	78,60	98,25	655,00	655,00	98,25	655,00	65,50
Taper 6700	6701+10,00	6712+10,00	642,00	642,00	128,40	77,04	96,30	642,00	642,00	96,30	642,00	64,20
	6800+00,00	6809+00,00	635,00	635,00	127,00	76,20	95,25	635,00	635,00	95,25	635,00	63,50
Taper 6900	6901+10,00	6912+10,00	787,00	787,00	157,40	94,44	118,05	787,00	787,00	118,05	787,00	78,70
	7000+00,00	7009+00,00	631,00	631,00	126,20	75,72	94,65	631,00	631,00	94,65	631,00	63,10
Taper 7100	7101+10,00	7112+00,00	740,00	740,00	148,00	88,80	111,00	740,00	740,00	111,00	740,00	74,00
	7200+00,00	7211+00,00	1.179,00	1.179,00	235,80	141,48	176,85	1.179,00	1.179,00	176,85	1.179,00	117,90
Reconstrução de pavimento devido dispositivos de drenagem	GERAL		586,00	586,00	117,20	70,32	87,90	586,00	586,00	87,90	586,00	58,60

VIAS MARGINAIS												
Local	Estaca		Área (m²)	Regularização do Subleito (m²)	Ref.de Subleito - Macadame Seco 20 cm	B.G.S	B.G.S	Imprimação com CM-30	Pintura de emulsão RR-1C	CBIUQ c/ CAP 60/85 Faixa B 4,5 cm	Pintura de Ligação RR-1C	CBIUQ c/ CAP 60/85 Faixa D 3,5 cm
	Inicial	Final										
Marginal Direita	1008+00,00	1283+00,00	49.434,00	49.434,00	9.886,80	5.932,08	5.932,08	1	1	5.561,33	49.434,00	4.325,48
Acesso Rua Itambé	1072+00,00	1077+00,00	1.477,00	1.477,00	295,40	177,24	177,24	1.477,00	1.477,00	166,16	1.477,00	123,24
Marginal Esquerda	5063+00,00	5287+00,00	41.687,00	41.687,00	8.337,40	5.002,44	5.002,44	41.687,00	41.687,00	4.689,79	41.687,00	3.647,61
Marginal Esquerda (reconstrução de pavimento devido drenagem)	5062+15,00	5063+02,00	71,00	71,00	14,20	8,52	8,52	71,00	71,00	7,99	71,00	6,21
Trincheira 01	100+00,00	102+00,00	390,00	390,00	78,00	46,80	46,80	390,00	390,00	43,88	390,00	34,13
Trincheira 02	200+00,00	202+00,00	448,00	448,00	89,60	53,76	53,76	448,00	448,00	50,40	448,00	39,20
Trincheira 03	300+00,00	302+00,00	425,00	425,00	85,00	51,00	51,00	425,00	425,00	47,81	425,00	37,19
PR-170	8000+00,00	8003+00,00	523,00	523,00	104,60	62,76	62,76	523,00	523,00	58,84	523,00	45,76
Taper A - PR-170	8100+00,00	8105+00,00	420,00	420,00	84,00	50,40	50,40	420,00	420,00	47,25	420,00	36,75
Taper B - PR-170	8200+00,00	8210+00,00	769,00	769,00	153,80	92,28	92,28	769,00	769,00	86,51	769,00	67,29
VIADUTO												
Local	Estaca		Área (m²)	Pintura de Ligação RR-1C	CBIUQ c/ CAP 60/85 Faixa D							
	Inicial	Final										
Ponte 01	Via Marginal Direita		280,00									
Ponte 02	Rodovia BR-277		418,00									
Ponte 03	Via Marginal Esquerda		280,00									
Trincheira 01 (Laje sup.)	100+00,00	102+00,00	385,00									
Trincheira 01 (Laje inf.)	100+00,00	102+00,00	385,00									
Trincheira 02 (Laje sup.)	200+00,00	202+00,00	360,00									
Trincheira 02 (Laje inf.)	200+00,00	202+00,00	360,00									
Trincheira 03 (Laje sup.)	300+00,00	302+00,00	345,00									
CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE - RECAPES												
Local	Estaca		Área (m²)	Imprimação com CM-30	Pintura de Ligação e emulsão RR-1C	CBIUQ c/ CAP 60/85 Faixa B 6,0 cm	CBIUQ c/ CAP 60/85 Faixa D 4,0 cm					
	Inicial	Final										
Recape Pista Existente	17200+00,00	17263+00,00	14.772,00	1	1	14.772,00	1.477,20					
Recape Pista Existente	17287+00,00	17296+00,00	1.539,00			1.539,00	153,90					
Recape Pista Existente	17308+00,00	17418+00,00	20.017,00			20.017,00	2.001,70					
Recape Pista Existente	17433+00,00	17466+00,00	5.101,00			5.101,00	510,10					
Recape Pista Existente	17495+00,00	17510+00,00	3.362,00			3.362,00	336,20					
Reforço Acost. Existente	17204+10,00	17215+00,00	357,00	2,00		357,00						
Reforço Acost. Existente	17503+00,00	17510+00,00	266,00	2,00		266,00						
Total a Implantar - Geral												
			Regularização do Subleito (m²)	Pintura de proteção e emulsão RR-2C	Imprimação com CM-30	CART - com geotêxtil não tecido agulhado e emulsão RR-1C	CBIUQ c/ CAP 60/85 Faixa B					
			191.290,00 m²	95.646,00 m²	95.648,00 m²	95.646,00 m²	25.200,30 t					
			38.258,00 m³	14.259,00 m³	34.432,08 m³	14.259,00 m³	20.702,68 t					
			34.432,08 m³	14.259,00 m³	95.646,00 m²	314.546,00 m²	20.702,68 t					

Tabela 44 – Memorial de Cálculo de Serviços de Pavimentação

3.9 Resumo de quantidades e especificação de serviços de pavimentação

Apresenta-se na sequência quadro resumo de quantidades e a especificação técnica pertinente de serviços de pavimentação, a ser obedecida na execução.

ITEM	CÓD.	DISCRIMINAÇÃO	ESPECIFICAÇÃO	UNID.	QUANTIDADE
2.0		PAVIMENTAÇÃO			
2.1	511.000	Regul., compactação subleito 100% PI	DER/PR ES-P 01/05 e ET-S2.001.000-PAV/001	m ²	191.290,00
2.2	512.000	Demolição e Transp. de Pavimento (Mec)	DER/PR ES-P 27/05	m ³	19.127,00
2.3	Pref. SP 05-90-00	Brita Graduada tratada com Cimento	DER/PR ES-P 16/05 e ET-S2.001.000-PAV/004	m ³	14.259,00
2.4	531.100	Base Brita graduada simples 100% PM	DER/PR ES-P 05/05 e ET-S2.001.000-PAV/005	m ³	34.432,08
2.5	531.300	Macadame Seco	DER/PR ES-P 03/05 e ET-S2.001.000-PAV/006	m ³	38.258,00
2.6	561.100	Pintura de ligação com emulsão RR 1C	DER/PR ES-P 17/05 e ET-S2.001.000-PAV/009	m ²	314.546,00
2.7	561.100	Pintura de proteção com emulsão RR 2C	DER/PR ES-P 17/05 e ET-S2.001.000-PAV/009	m ²	95.646,00
2.8	560.400	Imprimação com CM-30	DER/PR ES-P 17/05 e ET-S2.001.000-PAV/008	m ²	95.648,00
2.9		Anti-reflexão de trincas: CART - com geotêxtil não tecido agulhado e emulsão RR-1C	ET-DE-P00/043 e DNER-PRO 380/98	m ²	95.646,00
2.10	570.200	CBUQ c/ CAP modificado por polímero 60/85, Faixa DNIT B	DER/PR ES-P 15/05 e ET-S2.001.000-PAV/011	t	25.200,30
2.11	570.000	CBUQ c/ CAP modificado com polímero 60/85, Faixa Caltrans D	ET-S2.001.000-PAV/011	t	20.702,68

Tabela 45 – Resumo especificações do Projeto de Pavimentação

3.10 Apresentação dos Resultados

Além desta memória o Projeto do Pavimentação é apresentado no Volume 2

- Projeto de Execução:

- Projeto do pavimento: é apresentado, em planta, os locais para execução de demolição de pavimento existente, fresagem, e execução de pavimento novo.
- Seções transversais tipo: Desenho mostrando as seções transversais do pavimento.