

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ
SECRETARIA DE ESTADO DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA
DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM – DER

**PROJETO DE ENGENHARIA PARA AMPLIAÇÃO
DA CAPACIDADE E SEGURANÇA DA RODOVIA
PR-092
km 200+190 ao km 327+300**

RODOVIA: PR-092
TRECHO: AC. IV JAGUARIAÍVA - ENTR. BR-153 (A)
FASE: EXECUTIVO
EXTENSÃO: 127,11 km

VOLUME 3
MEMÓRIA JUSTIFICATIVA
TOMO II



DEZEMBRO / 2020

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ
SECRETARIA DE ESTADO DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA
DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM - DER

**PROJETO DE ENGENHARIA PARA AMPLIAÇÃO
DA CAPACIDADE E SEGURANÇA DA RODOVIA
PR-092
km 200+190 ao km 327+300**

RODOVIA: PR-092
TRECHO: AC. IV JAGUARIAÍVA - ENTR. BR-153 (A)
FASE: EXECUTIVO
EXTENSÃO: 127,11 km

VOLUME 3
MEMÓRIA JUSTIFICATIVA
TOMO II

Revisão	Data	Descrição
A	10/12/2020	Emissão inicial
B	18/12/2020	Análise RAP

ÍNDICE

TOMO I

1. APRESENTAÇÃO.....	2
2. MAPA DE SITUAÇÃO.....	5
3. ESTUDOS REALIZADOS.....	7
3.1 INTRODUÇÃO	8
3.2 COLETA DE DADOS	9
3.3 ESTUDOS DE TRÁFEGO, CAPACIDADE E SEGURANÇA	51
3.4 ESTUDOS TOPOGRÁFICOS E CADASTRAIS	99
3.5 ESTUDOS GEOTÉCNICOS	227

TOMO II

4. PROJETOS ELABORADOS.....	316
4.1 PROJETO GEOMÉTRICO	317
4.2 PROJETO DE DRENAGEM	326
4.3 PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO.....	326
4.4 PROJETO DE SINALIZAÇÃO E SEGURANÇA VIÁRIA.....	396
5. TERMO DE ENCERRAMENTO.....	427

4. PROJETOS ELABORADOS

4.1 PROJETO GEOMÉTRICO

4.1.1 Introdução

O Projeto Geométrico, parte integrante do Projeto de Engenharia para Ampliação da Capacidade e Segurança da Rodovia PR-092, no trecho: AC. IV JAGUARIAÍVA - ENTR. BR-153 (A) correspondentes aos segmentos definidos entre o km 200+190 ao km 327+300, foi desenvolvido objetivando a definição das características técnicas e operacionais, tais como: curvas horizontais, superelevações, rampas e curvas verticais, tráfego, velocidade de operação e comprimentos das faixas de mudança de velocidade para determinação da adequada seção transversal e detalhamento dos elementos necessários à implantação das terceiras faixas.

Para o dimensionamento dos elementos geométricos que deverão ser considerados na ampliação da capacidade e segurança da rodovia foram consideradas as diretrizes gerais do programa iRAP.

4.1.2 Metodologia adotada

O Projeto foi desenvolvido em consonância com as instruções de serviço descritas a seguir:

- IS-208: Projeto Geométrico;
- IS-241: Projeto Geométrico para Projeto Executivo de Engenharia para Construção de Rodovias Vicinais;
- IS-213: Projeto de Interseções, Retornos e Acessos.

Para as definições das diretrizes de projeto foram utilizados os seguintes manuais:

- Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, DNER/1999;
- Manual de Projeto de Interseções, IPR-718/2005.

4.1.3 Definições do projeto

Cada segmento teve a geometria de intervenção definida considerando a incorporação de faixa de ultrapassagem (terceira faixa) e as condicionantes da plataforma da pista existente. O projeto não previu ajustes no greide, mantendo-se as cotas existentes, efetuando-se apenas correções de deformações no pavimento em função da metodologia de reconstrução do pavimento indicada no item 4.3.

A partir da avaliação das larguras de pista e acostamentos observadas no item 3.2.2 – Vistoria de campo e no item 3.4 – Estudos Topográficos e Cadastrais notou-se que para a implantação da terceira faixa com largura não inferior a 3,25 m (recomendação da metodologia iRAP referente ao atributo Largura da Faixa) seria necessário o deslocamento do eixo existente. De fato, com a adoção deste método de execução serão garantidas as premissas definidas no Projeto de Pavimentação evitando-se defeitos nos pavimentos observados em implantação de terceiras faixas sobre acostamentos ao longo da rodovia PR-092.

A concepção do projeto geométrico considerada ideal seria a implantação de 2 (duas) faixas de rolamento com largura de 3,60 m, 1 (uma) faixa de ultrapassagem com largura de 3,30 m, 1 (uma) faixa de segurança ao longo da faixa de ultrapassagem com largura mínima de 0,60 m e acostamento com largura mínima de 1,40 m no sentido oposto. Entretanto, em função das condicionantes físicas da pista existente, essencialmente a largura da plataforma atual (incluídos os acostamentos existentes) esses valores foram adequados para cada segmento. Mais uma vez ressalta-se que a largura mínima para a faixa de tráfego foi de 3,25 m.

Para os segmentos onde houve interface com as faixas de ultrapassagem existentes, quer por continuidade ou por entrelaçamento, a concepção da geometria foi adaptada, pois implicaria em ajustes na geometria da pista existente além da área de intervenção deste projeto. Portanto, nos segmentos onde já existe faixa de ultrapassagem no sentido oposto foi implementado ajustes nas faixas sem deslocamento no eixo, preservando a largura mínima das terceiras faixas. Assim, no segmento 12, foi necessário adotar uma configuração da seção transversal com 4 (quatro) faixas de 3,25 m, no trecho inicial da faixa implantada, utilizando toda a largura disponível da plataforma.

Em alguns segmentos foram observadas variações da seção transversal da pista existente que em função da nova geometria proposta conduziram a necessidade de complementações pontuais da estrutura da pista existente descritas no Quadro Demonstrativo de Pavimentação apresentado no item 3.2 do Volume 3E – Memória de Cálculo de Quantidades.

Nos segmentos críticos de zonas de mudança de faixa (taper), nas interfaces em segmentos consecutivos de terceira faixa em sentidos opostos, o projeto de sinalização

e segurança indicou elementos de sinalização complementar aumentando a percepção e alerta do usuário quanto a mudança de direção. Esse conceito foi adotado para os segmentos 1-2-3, 12 e 15-16 nos quais foi projetada reversão no eixo da via para acomodar a implantação das novas faixas.

Destarte, a geometria das intervenções propostas acompanha a via existente, representando ajustes menores no alinhamento para permitir o aproveitamento adequado da plataforma existente com a inclusão das terceiras faixas. Não acarretam alteração significativa no alinhamento (variações de 1,4m a 1,8 m do eixo), e a extensão dos ajustes representou alteração de apenas centímetros em relação ao eixo longitudinal da pista existente.

No tocante a adoção de superlargura, seguindo as recomendações preconizadas no Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, DNER/1999, foram analisadas as curvas com raio abaixo de 600 m considerando a velocidade diretriz de 80 km/h. Os valores de superlargura calculados foram adotados para as 2 faixas de tráfego da rodovia. A distribuição da superlargura foi realizada de forma simétrica para as faixas principais. Não foi adotada superlargura para a faixa auxiliar, sendo essa adoção dispensável, conforme preconizado pelo próprio Manual (item 5.4.4.1, página 82).

O segmento 9 apresentou curva existente com raio igual a 187 m e velocidade operacional de 60 km/h, conforme placas de sinalização existente. Além disso, o segmento em questão possui proximidade com a área urbana do município de Wenceslau Braz. Diante do exposto e das recomendações do Manual, a superlargura para esse trecho foi adotada em conformidade com a velocidade operacional existente.

Além da largura de faixa propriamente dita, foram definidas condições de transição destas larguras. Para a transição de largura das faixas de rolamento, entre a adotada para os segmentos projetados e as faixas existentes na continuidade da via, foi adotado comprimento padrão de 30 m, atendendo o recomendado no item 9.4.7 Redução de faixas do Manual de interseções do DNIT (IPR-718), para ajustes graduais na seção transversal da rodovia. Recomenda-se adotar uma relação mínima de 50:1 entre o comprimento do taper e sua largura máxima.

Outro aspecto considerado foram os tapers de aceleração e desaceleração calculados conforme o preconizado no Manual de interseções do DNIT (IPR-718), sendo adotada a extensão de 70 m.

Os elementos geométricos estão apresentados nos desenhos em planta e perfil no Volume 2 – Projeto de Execução, e constam da tabela de coordenadas de levantamento topográfico apresentada no item 3.4.8.2 – Quadros de locação e nivelamento.

A Tabela 4.1.1 apresentada a seguir mostra as transições entre a pista existente e o projeto, o taper de entrada e saída, a faixa adicional, o lado de implantação da terceira faixa, extensão total e observações pertinentes.

Tabela 4.1.1 – Quadro descritivo de segmentos de projeto.

ID	Sentido	Início da Transição	Início do Taper	Início da 3ª Faixa	Final da 3ª Faixa	Final do Taper	Final da Transição	Extensão	Observações
01	D	204,410	204,480	204,550	205,130		205,200	0,790	Transição Entrelaçada dos segmentos 1 e 2
02	C	205,200		205,270	206,670		206,740	1,540	Transições Entrelaçadas dos segmentos 1 e 3
03	D	206,740		206,810	208,660	208,730	208,780	2,040	Transição Entrelaçada dos segmentos 2 e 3
04	D	210,920	210,950	211,020	212,060	212,130	212,160	1,240	
05	C	220,190	220,340	220,410	221,500	221,570	221,740	1,550	Início do segmento prolonga o final da 3ª faixa existente no sentido oposto. Final do segmento recupera pavimento na extensão 140m no trecho de encaixe entre o alinhamento existente e o projetado.
06	C	235,500	235,550	235,620	236,920	236,990	237,020	1,520	
07	D	245,360	245,390	245,460	246,070	246,140	246,180	0,820	
08	D	249,180	249,210	249,280	250,380	250,450	250,520	1,340	
09	D	254,930	254,960	255,030	256,350	256,420	256,470	1,540	
10	C	263,740	263,790	263,860	264,220	264,290	264,340	0,600	
11	D	267,260	267,310	267,380	267,970	268,040	268,090	0,830	
12	D	289,000	289,030	289,100	289,820	289,890	289,940	0,940	Início do segmento recupera final da 3ª faixa existente no sentido oposto. Transição de 190m com 4 faixas de 3,25m.
13	D	300,580	300,610	300,680	301,120	301,190	301,220	0,640	
14	D	316,040	316,070	316,140	316,730	316,800	316,830	0,790	
15	C	322,790	322,820	322,890	323,360		323,430	0,640	Transição Entrelaçada dos segmentos 15 e 16
16	D	323,430		323,500	324,070	324,140	324,170	0,740	Transição Entrelaçada dos segmentos 15 e 16

4.1.4 Seções transversais tipo

As seções transversais tipo foram apresentadas no Volume 2 – Projeto de Execução. Nelas são apresentadas as configurações da seção transversal, bem como as variações de larguras definidas na Tabela 4.1.2.

Nota-se com relação ao pavimento acabado a existência de desnível apenas nos segmentos de acostamentos com largura média não inferior a 1,0 m. Os desníveis foram definidos com espessura de 5,0 cm, considerado o limite seguro para manobras de entrada e saída da pista. Isso significa que haverá redução de 5,0 cm na espessura do pavimento dos acostamentos.

A seguir são apresentadas algumas características técnicas básicas complementares adotadas no projeto.

- Em função das avaliações dos taludes existentes foram representadas nas seções transversais tipo as seguintes inclinações.
 - Corte : 1 (V) / 1 (H)
 - Aterro: 2 (V) / 3 (H)
 - Rocha: 8 (V) / 1 (H) - eventual
- A declividade transversal observada foi de 2,0% em tangentes.
- Características do relevo da região: ondulada.
- Declividade longitudinal máxima: -4,91% / +6,18%.
- Raio mínimo de curva com transição: 187,0 m.
- Raio mínimo de curva simples: 1.730,0 m.
- Velocidade diretriz: 80 km/h e 60 km/h na proximidade urbana (segmento 9).
- Superelevação máxima: 8%.
- Faixa de domínio: definida como 70m (45 m para o lado esquerdo e 25 m para o lado direito).

Tabela 4.1.2 – Configurações da seção transversal dos segmentos de projeto.

ID	Faixa Seg/Acost	3ª faixa	Faixa de tráfego	Faixa de tráfego	3ª faixa	Faixa Seg/Acost	Largura Total	Observações
01	0,5	3,3	3,5	3,5	0,0	1,0	11,8	Transição Entrelaçada dos segmentos 1 e 2
02	0,5	0,0	3,5	3,5	3,3	0,5	11,3	Transições Entrelaçadas com os segmentos 1 e 3
03	0,5	3,3	3,5	3,5	0,0	1,0	11,8	Transição Entrelaçada dos segmentos 2 e 3 Acostamento variando: LD 1,0 a 1,2
04	0,5	3,3	3,5	3,5	0,0	0,5	11,3	Acostamento variando: LE 0,5 a 0,6 e LD 0,5 a 1,0
05	1,0	0,0	3,5	3,5	3,3	0,6	11,9	Acostamento LE variando de 1,0 a 1,3
06	1,0	0,0	3,5	3,5	3,3	0,5	11,8	
07	0,5	3,3	3,5	3,5	0,0	1,0	11,8	
08	0,6	3,5	3,5	3,5	0,0	1,0	12,1	Acostamento LD variando de 1,0 a 3,0
09	0,5	3,25	3,5	3,5	0,0	0,5	11,25	Acostamento LE e LD variando de 1,0 a 3,0
10	0,5	0,0	3,5	3,5	3,3	0,5	11,3	
11	0,5	3,3	3,5	3,5	0,0	0,5	11,3	Acostamento LD variando de 0,5 a 0,7
12	0,5	3,5	3,5	3,5	0,0	0,5	11,5	Início com 190 m de transição com 4 faixas de 3,25 m
13	0,6	3,5	3,5	3,5	0,0	1,5	12,6	
14	0,6	3,3	3,5	3,5	0,0	0,6	11,5	Acostamento LD variando de 0,6 a 1,2
15	0,5	0,0	3,5	3,5	3,3	0,5	11,3	Transição Entrelaçada dos segmentos 15 e 16 Acostamento variando: LE 0,50 a 1,00
16	0,5	3,3	3,5	3,5	0,0	0,5	11,3	Transição Entrelaçada dos segmentos 15 e 16 Acostamento variando: LD 0,50 a 1,00

4.1.5 Resultados obtidos

O Projeto Geométrico é apresentado no Volume 2 – Projeto de Execução, onde constam em planta e perfil todos os elementos descritos a seguir. Também são apresentadas as seções transversais tipo descritas anteriormente. A planta foi desenhada nas escalas 1:500 e o perfil nas escalas 1:500 na horizontal e 1:50 na vertical.

Constam do projeto em planta:

- Eixo estaqueado de 20 em 20 metros, assinalando-se as Estacas correspondentes às centenas de metros;
- Linhas de bordo da pista;

- Representação por hachuras das faixas de tráfego, acostamentos e terceiras faixas;
- Limites da faixa de domínio;
- Indicação de cursos d'água;
- Numeração de todas as curvas horizontais do traçado, bem como nomes dos ramos, sendo seus elementos descritos em tabelas;
- Azimutes de direção dos ramos de projeto;
- Declividade transversal das pistas;
- Malha cartesiana de abscissas e de ordenadas;
- Curvas de nível com equidistância vertical de 1,0 m;
- Marcos topográficos com sua designação e localização;
- Cadastro das rodovias existentes e das edificações;
- Indicação de interferências (redes de água, gasoduto, posteamentos e outros) e
- Representação dos furos de sondagem.

Constam do projeto em perfil:

- Indicação da linha do greide de projeto referido à superfície do pavimento acabado, no eixo de projeto. São apresentadas as declividades e comprimento das rampas, e as curvas verticais, indicando o comprimento das projeções horizontais e os parâmetros definidores das curvas (flecha máxima e parâmetro de curvatura K);
- Estacas e cotas dos pontos notáveis do alinhamento vertical (PCV, PIV e PTV);
- Indicação do perfil geotécnico de amostras deformadas (classificação TRB, ISC, expansão e profundidade).

Constam como informações complementares do projeto:

- Folha de convenções;
- Abreviaturas do projeto;
- Quadro de referências de nível.

Os Quadros Resumo de Características Técnicas Básicas do projeto são apresentados a seguir.

4.2 PROJETO DE DRENAGEM

4.2.1 Introdução

O Projeto de Drenagem, parte integrante do Projeto de Engenharia para Ampliação da Capacidade e Segurança da Rodovia PR-092, no trecho: AC. IV JAGUARIAÍVA - ENTR. BR-153 (A) correspondentes aos segmentos definidos entre o km 200+190 ao km 327+300, foi desenvolvido objetivando a avaliação dos dispositivos existentes ao longo dos trechos de implantação das terceiras faixas projetadas, indicando a substituição dos dispositivos existentes que se encontrem danificados ou que estejam com cotas muito abaixo da estrutura do pavimento projetada. Para os dispositivos que se encontrem em bom estado serão indicados apenas os serviços de limpeza e desobstrução, sempre que necessário.

4.2.2 Drenagem Superficial

A drenagem superficial é a que se destina a interceptar as águas que chegam ao complexo viário, provenientes de suas áreas adjacentes e a capturar aquelas que se precipitam diretamente sobre ele, conduzindo-as para um local de desague seguro de modo a resguardar a via de quaisquer danos.

No projeto de drenagem superficial foi utilizado o método comparativo pelo qual o comprimento crítico é determinado pela razão entre a vazão admissível obtida pela fórmula de Manning associada à equação da continuidade e a descarga afluyente resultante da aplicação do método Racional.

- **Fórmula de Manning**

$$Q_{adm} = \frac{1}{n} \times A \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \times 10^3$$

onde:

Q_{adm} = Descarga máxima admissível, em l/s;

n = Coeficiente de rugosidade de Manning;

A = Área da seção molhada, em m²;

R = Raio hidráulico, em m;

S = Declividade, em m/m.

- **Fórmula do Método Racional**

$$Q_{\text{afl}} = \frac{2,78 \times c \times i \times a}{10.000}$$

onde:

Q_{afl} = Descarga afluente, em l/s. m;

c = Coeficiente de deflúvio;

i = Intensidade pluviométrica, em mm/h;

a = Largura da faixa de contribuição, em m.

As contribuições do escoamento superficial provêm, de modo geral, da plataforma viária, assim sendo, buscou-se formular um plano de escoamento de águas capaz de coletar e de conduzir esses deflúvios, por meio de um conjunto de dispositivos, de forma ordenada, até locais de deságue seguros.

O dimensionamento das seções dos dispositivos a serem utilizados, visa atender as necessidades das vias, em função de suas características geométricas, áreas de implúvio, coeficientes de escoamento, coeficientes de rugosidade e da segurança dos usuários, considerando as precipitações ($P_{0,1}$) de 10 minutos de duração, no tempo de recorrência de 10 anos para a drenagem superficial e de 15, 25 e 50 anos para a drenagem de transposição de talwegues, como podem ser observadas na Tabela 4.2.1 a seguir.

Tabela 4.2.1 – Precipitações para os tempos de recorrência.

T (anos)	10	15	25	50	100
P_{dia} (cm)	12,50	13,48	14,73	16,39	18,03
P_{1/P24}	0,397	0,395	0,392	0,388	0,384
P_{0,1/P24}	0,098	0,098	0,098	0,098	0,088
P₂₄ (cm)	13,75	14,83	16,20	18,03	19,83
P₁ (cm)	5,46	5,86	6,35	6,99	7,62
P_{0,1} (cm)	1,35	1,45	1,59	1,77	1,75

4.2.3 Sarjetas de corte

As sarjetas de corte são dispositivos destinados a captar as águas que se precipitem sobre o corpo estradal e sobre o talude de corte e conduzi-las até um deságue seguro, seja ele no ponto de passagem de corte para aterro permitindo a saída lateral para o terreno natural ou em caixas coletoras de sarjeta quando atingido seu comprimento crítico. Desta forma, foram escolhidas no álbum de projetos tipo do DER-PR os dispositivos tipo Tipo 2 e Tipo 4.

Os desenhos dos dispositivos estão sendo apresentados a seguir. Os seus comprimentos críticos foram determinados pelo método comparativo, já descrito no item 4.2.2, e estão sendo apresentados no item 4.2.5.

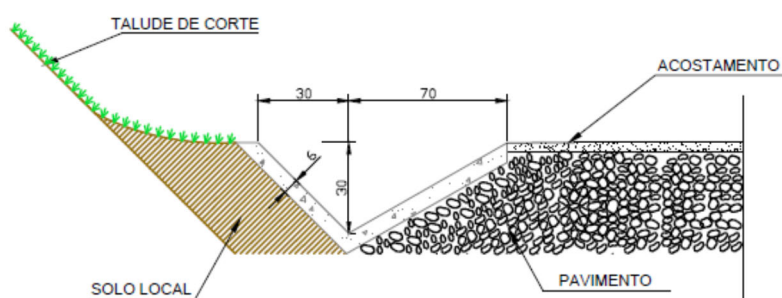


Figura 4.2.2 – Dispositivo STC-Tipo 2.

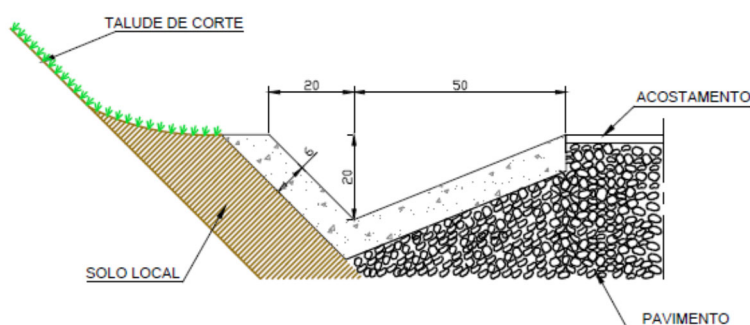


Figura 4.2.3 – Dispositivo STC-Tipo 4.

No segmento 4, lado direito, há um deságue no km 211+742 da sarjeta de corte projetada onde existe o início de um processo de erosão está sendo proposta a construção de um berço de alvenaria de pedra argamassada sob parte da sarjeta projetada. É proposto o uso de pedra de mão argamassada no entorno da sarjeta e do deságue no fundo da vala existente, essa estrutura tem como finalidade garantir a proteção do pavimento local garantindo que o deságue do dispositivo de drenagem projetado não venha a apresentar falhas relativas a quebra ou erosão da plataforma da pista.

Orienta-se que a vala local identificada próxima ao deságue seja restaurada impedindo o avanço desse processo erosivo para a pista.



Figura 5.2.5 – Processo de erosão da vala de deságue da drenagem existente no segmento 4.

4.2.4 Transposição de segmento de Sarjetas

Quando da necessidade de interrupção das sarjetas devido a existência de acessos secundários a propriedades rurais, foram escolhidas no álbum de projetos tipo de DER-PR os dispositivos tipo TSS-Tipo 2, Tipo 4 e Tipo 6, compatíveis com os tipos de sarjeta escolhidos. O tipo 6 utiliza-se de placas de concreto armado, utilizado na

saída de vias de tráfego de veículos pesados, como entrada e saída de terminais fabris.

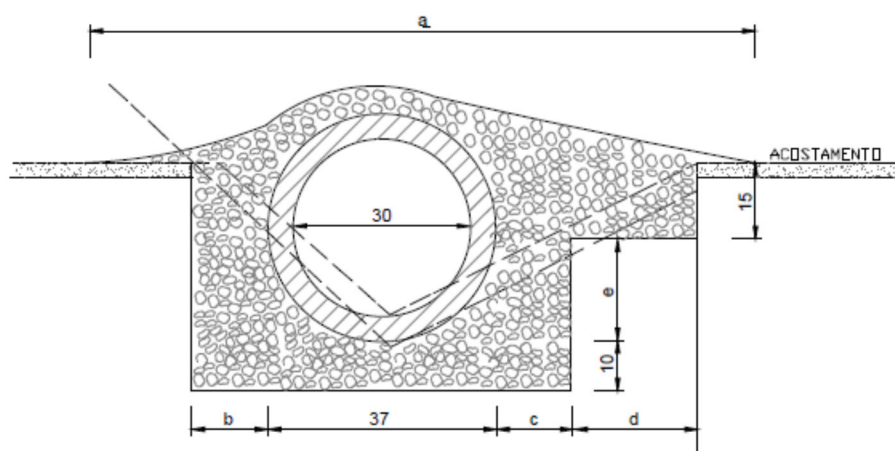


Figura 4.2.6 – Seção transversal do dispositivo TSS-Tipo 2 e Tipo 4.

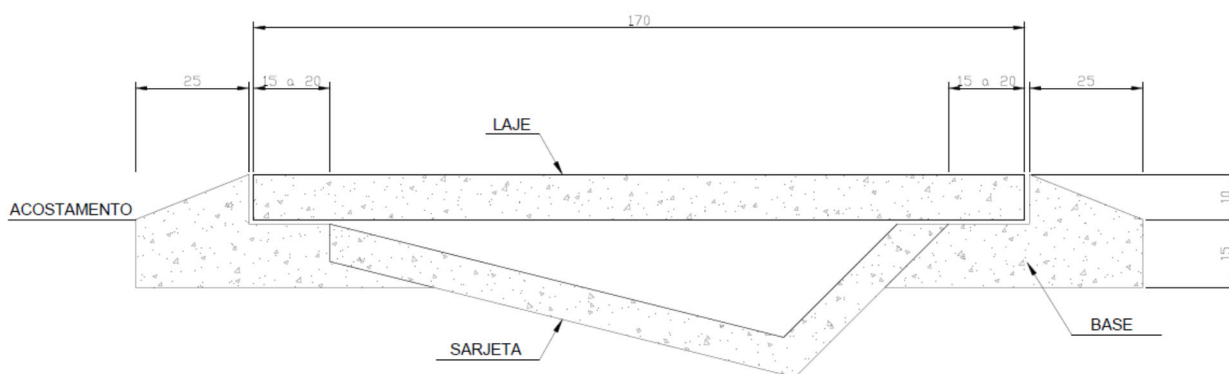


Figura 4.2.7 – Seção transversal do dispositivo TSS-Tipo 6.

Tabela 4.2.2 – Especificações geométricas das transposições.

Tipo	Adaptável em	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)	e (m)
2	STC-Tipo2	1,40	0,20	0,27	0,25	0,20
4	STC-Tipo4	1,20	0,10	0,10	0,22	0,12

4.2.5 Cálculo do comprimento crítico

Como mencionado no item 4.2.2 – Drenagem Superficial, para a determinação do comprimento crítico dos dispositivos de drenagem foi utilizado o método comparativo, que consiste na razão entre a vazão admissível, obtida através da fórmula de Manning, associada à equação da continuidade e a descarga afluyente, resultante da aplicação do método Racional.

Para a determinação dos coeficientes de escoamento superficial “c”, buscou-se traduzir a influência de cada superfície para a contribuição do deflúvio final. Desta forma, foram utilizados os seguintes coeficientes individuais:

- Pavimento Asfáltico - $c = 0,90$;
- Taludes Gramados - $c = 0,30$;
- Solo argiloso, médio (2 a 7 %) - $c = 0,20$.

A seguir estão sendo apresentadas as Tabelas 4.2.3 a 4.2.5, contendo o comprimento crítico dos dispositivos de drenagem superficial para diversas declividades visando a implantação das terceiras faixas.

Tabela 4.2.4 – Comprimento crítico para sarjeta STC Tipo 2 x declividade do greide.

DISPOSITIVO-TIPO		STC TIPO 2																										
ELEMENTO DA SEÇÃO MOLHADA	SEÇÃO PISTA		Tangente												Curva													
	ÁREA DA SEÇÃO (m ²)	PERÍMETRO MOLHADO (m)	RAIO HIDRAULICO (m)	COEFICIENTE DE RUGOSIDADE	DESCAR. MÁX. ADMISSÍVEL (S ^{1/2} /s)	LAR. DA FAIXA DE CONTRIBUIÇÃO (m) (Largura da plataforma + Talude de Corte)	COEFICIENTE DE DEFLÚVIO	INTENS. PLUVIOMÉTRICA (mm/h)	DESCAR. AFLUENTE (l/s.m)	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000		
	1,1858	1,1858	0,1265	0,015	2,519,862	6,00	0,81	180	0,2397	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000		
	0,1265	0,1265	0,015	0,015	2,519,862	0,80	0,81	180	0,2397	1,1858	1,1858	1,1858	1,1858	1,1858	1,1858	1,1858	1,1858	1,1858	1,1858	1,1858	1,1858	1,1858	1,1858	1,1858	1,1858	1,1858		
	0,015	0,015	0,015	0,015	2,519,862	180	180	180	0,2397	0,1265	0,1265	0,1265	0,1265	0,1265	0,1265	0,1265	0,1265	0,1265	0,1265	0,1265	0,1265	0,1265	0,1265	0,1265	0,1265	0,1265		
	2,519,862	2,519,862	2,519,862	2,519,862	2,519,862	2,519,862	2,519,862	2,519,862	2,519,862	2,519,862	2,519,862	2,519,862	2,519,862	2,519,862	2,519,862	2,519,862	2,519,862	2,519,862	2,519,862	2,519,862	2,519,862	2,519,862	2,519,862	2,519,862	2,519,862			
	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	1,00	3,00	5,00	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00	18,00	19,00	20,00	21,00	22,00	23,00	24,00	25,00	26,00	27,00		
	0,80	0,81	0,83	0,83	0,72	0,74	0,65	0,67	0,30	0,30	0,30	0,85	0,86	0,86	0,79	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81			
	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180		
			0,2397	0,2847	0,3296	0,3746	0,3596	0,4045	0,3896	0,4345	0,0150	0,0449	0,0749	0,5544	0,5993	0,6443	0,6293	0,6143	0,6592	0,7042								
ESCOMENTO SUPERFICIAL																												
	DECLIVIDADE DO GREIDE (%)																											
	0,100	332	280	242	213	222	197	205	183	5318	1773	1064	144	133	124	127	130	121	113									
	0,150	407	343	296	261	271	241	251	225	6514	2171	1303	176	163	151	155	159	148	139									
	0,200	470	396	342	301	313	279	289	259	7521	2507	1504	203	188	175	179	183	171	160									
	0,250	526	443	382	336	350	311	323	290	8409	2803	1682	227	210	196	200	205	191	179									
	0,300	576	485	419	368	384	341	354	318	9212	3071	1842	249	230	214	219	225	209	196									
	0,350	622	524	452	398	415	369	383	343	9950	3317	1990	269	249	231	237	243	226	212									
	0,400	665	560	483	425	443	394	409	367	10637	3546	2127	287	266	247	253	259	242	226									
	0,450	705	594	513	451	470	418	434	389	11282	3761	2256	305	282	262	269	275	256	240									
	0,500	743	626	541	476	496	440	457	410	11892	3964	2378	321	297	277	283	290	270	253									
	0,550	780	656	567	499	520	462	480	430	12473	4158	2495	337	312	290	297	304	283	265									
	0,600	814	686	592	521	543	483	501	449	13028	4343	2606	352	326	303	310	318	296	277									
	0,650	847	714	616	542	565	502	522	468	13559	4520	2712	366	339	315	323	331	308	288									
	0,700	879	741	640	563	586	521	541	485	14071	4690	2814	380	352	327	335	343	320	299									
	0,750	910	767	662	583	607	539	560	502	14565	4855	2913	394	364	339	347	355	331	310									
	0,800	940	792	684	602	627	557	579	519	15043	5014	3009	407	376	350	358	367	342	320									
	0,850	969	816	705	620	646	574	596	535	15506	5169	3101	419	388	361	369	378	352	330									
	0,900	997	840	725	638	665	591	614	550	15955	5318	3191	431	399	371	380	389	363	339									
	0,950	1025	863	745	656	683	607	630	565	16393	5464	3279	443	410	381	390	400	373	349									
	1,000	1051	885	764	673	701	623	647	580	16818	5606	3364	455	420	391	400	410	382	358									
	1,500	1287	1084	936	824	858	763	792	710	20598	6866	4120	557	515	479	490	502	468	438									
2,000	1487	1252	1081	951	991	881	915	820	23785	7928	4757	643	595	553	566	580	541	506										
2,500	1662	1400	1209	1064	1108	985	1023	917	26592	8864	5318	719	665	618	633	649	604	566										
3,000	1821	1533	1324	1165	1214	1079	1120	1004	29130	9710	5826	787	728	677	694	710	662	620										
3,500	1967	1656	1430	1259	1311	1165	1210	1085	31464	10488	6293	850	787	732	749	767	715	669										
4,000	2102	1770	1529	1345	1402	1246	1294	1160	33637	11212	6727	909	841	782	801	820	764	716										
4,500	2230	1878	1622	1427	1487	1321	1372	1230	35677	11892	7135	964	892	830	849	870	811	759										
5,000	2350	1979	1709	1504	1567	1393	1446	1297	37607	12536	7521	1016	940	875	895	917	855	800										
5,500	2465	2076	1793	1578	1643	1461	1517	1360	39443	13148	7889	1066	986	917	939	962	896	839										
6,000	2575	2168	1873	1648	1717	1526	1584	1421	41197	13732	8239	1113	1030	958	981	1005	936	877										
6,500	2680	2257	1949	1715	1787	1588	1649	1479	42879	14293	8576	1159	1072	997	1021	1046	975	912										
7,000	2781	2342	2023	1760	1854	1648	1711	1534	44497	14832	8899	1203	1112	1035	1059	1085	1011	947										

Tabela 4.2.5 – Comprimento crítico para sarjeta STC Tipo 4 x declividade do greide.

DISPOSITIVO-TIPO		STC TIPO 4															
ESCOMENTO SUPERFICIAL	ELEMENTOS DA SEÇÃO MOLHADA	Tangente								Curva							
		0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000
SEÇÃO PISTA	ÁREA DA SEÇÃO (m ²)	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000	0,07000
	PERÍMETRO MOLHADO (m)	0,8214	0,8214	0,8214	0,8214	0,8214	0,8214	0,8214	0,8214	0,8214	0,8214	0,8214	0,8214	0,8214	0,8214	0,8214	0,8214
	RAIO HIDRÁULICO (m)	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852
	COEFICIENTE DE RUGOSIDADE	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
	DESCAR. MÁX. ADMISSÍVEL (S ^{1/2} /s)	903,753	903,753	903,753	903,753	903,753	903,753	903,753	903,753	903,753	903,753	903,753	903,753	903,753	903,753	903,753	903,753
	LAR. DA FAIXA DE CONTRIBUIÇÃO (m) (Largura da plataforma + Talude de Corte)	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	1,00	3,00	5,00	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00
	COEFICIENTE DE DEFLÚVIO	0,80	0,81	0,83	0,83	0,72	0,74	0,65	0,67	0,30	0,30	0,30	0,85	0,86	0,79	0,72	0,73
	INTENS. PLUVIOMÉTRICA (mm/h)	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
	DESCAR. AFLUENTE (l/s.m)	0,2397	0,2847	0,3296	0,3746	0,3596	0,4045	0,3896	0,4345	0,0150	0,0449	0,0749	0,5544	0,5993	0,6443	0,6293	0,6592
	DECLIVIDADE DO GREIDE (%)	119	100	87	76	79	71	73	66	1907	636	381	52	48	44	45	43
		146	123	106	93	97	87	90	81	2336	779	467	63	58	54	56	53
		169	142	123	108	112	100	104	93	2698	899	540	73	67	63	64	61
		188	159	137	121	126	112	116	104	3016	1005	603	82	75	70	72	69
		206	174	150	132	138	122	127	114	3304	1101	661	89	83	77	79	75
		223	188	162	143	149	132	137	123	3569	1190	714	96	89	83	85	81
		238	201	173	153	159	141	147	132	3815	1272	763	103	95	89	91	87
		253	213	184	162	169	150	156	140	4046	1349	809	109	101	94	96	92
		267	224	194	171	178	158	164	147	4265	1422	853	115	107	99	102	97
		280	235	203	179	186	166	172	154	4473	1491	895	121	112	104	107	102
		292	246	212	187	195	173	180	161	4672	1557	934	126	117	109	111	106
		304	256	221	195	203	180	187	168	4863	1621	973	131	122	113	116	111
		315	266	229	202	210	187	194	174	5047	1682	1009	136	126	117	120	115
		326	275	237	209	218	193	201	180	5224	1741	1045	141	131	121	124	119
		337	284	245	216	225	200	208	186	5395	1798	1079	146	135	125	128	123
		348	293	253	222	232	206	214	192	5561	1854	1112	150	139	129	132	126
		358	301	260	229	238	212	220	197	5722	1907	1144	155	143	133	136	130
		367	309	267	235	245	218	226	203	5879	1960	1176	159	147	137	140	134
		377	317	274	241	251	223	232	208	6032	2011	1206	163	151	140	144	137
		462	389	336	296	308	274	284	255	7388	2463	1478	200	185	172	176	168
		533	449	388	341	355	316	328	294	8530	2843	1706	231	213	198	203	194
		596	502	434	381	397	353	367	329	9537	3179	1907	258	238	222	227	217
		653	550	475	418	435	387	402	360	10448	3483	2080	282	261	243	249	237
		705	594	513	451	470	418	434	389	11285	3762	2257	305	282	262	269	256
		754	635	548	483	503	447	464	416	12064	4021	2413	326	302	281	287	274
		800	673	582	512	533	474	492	441	12796	4265	2559	346	320	298	305	291
		843	710	613	540	562	500	519	465	13488	4496	2698	365	337	314	321	307
		884	745	643	566	589	524	544	488	14146	4715	2829	382	354	329	337	322
		923	778	672	591	616	547	568	509	14775	4925	2955	399	369	344	352	336
		961	809	699	615	641	570	591	530	15379	5126	3076	416	384	358	366	350
		997	840	725	638	665	591	614	550	15959	5320	3192	431	399	371	380	363

4.2.6 Meio Fio de Concreto

O dispositivo meio-fio de concreto tipo 02 pré-moldado tem a finalidade de limitar a área da plataforma, orientar o tráfego e conter o revestimento em grama no bordo da ilha do canteiro central, evitando a contaminação do acostamento com material solto e atuando de forma importante na questão da segurança.

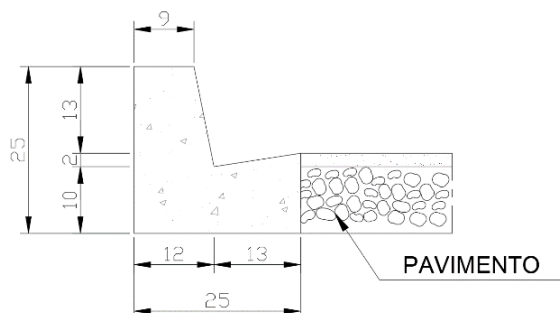


Figura 4.3.10 – Meio Fio de Concreto tipo 2 – MFC 02.

4.2.7 Soluções adotadas

As soluções adotadas para o Projeto de Drenagem dos diversos segmentos de terceira faixa são descritas na Tabela 4.2.7 a seguir.

Tabela 4.2.7 – Resumo das soluções adotadas.

Segmento			Sarjeta de Corte (m)		Transposição de Sarjeta (m)			Meio Fio (m)	Demolição de Concreto (m³)
Nº	km Inicial	km Final	Tipo 2	Tipo 4	Tipo 2	Tipo 4	Tipo 6		
1 a 3	204,4	208,8	2.413,00	519,00	-	-	-	-	213,46
4	210,9	212,2	305,00	933,00	-	-	-	-	61,97
5	220,2	221,7	267,00	631,00	-	-	-	215,00	66,24
6	235,5	237,0	1.851,00	-	4,00	-	-	-	126,65
8	249,2	250,5	317,00	957,00	16,00	-	-	-	68,23
9	254,9	256,5	-	495,00	-	-	-	62,00	28,84
10	263,7	264,3	407,00	-	11,00	-	-	-	36,22
11	267,3	268,1	1.281,00	278,00	-	11,00	23,00	-	128,74
12	289,0	289,9	136,00	571,00	-	18,00	-	-	43,35
14	316,0	316,8	-	363,00	-	-	-	-	19,24
15 e 16	322,8	324,2	1.503,00	-	8,00	-	-	-	133,77
TOTAL			8.480,00	4.747,00	39,00	29,00	23,00	277,00	926,70

4.3 PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO

4.3.1 Introdução

O Projeto de Pavimentação, parte integrante do Projeto de Engenharia para Ampliação da Capacidade e Segurança da Rodovia PR-092, no trecho: AC. IV JAGUARIAÍVA - ENTR. BR-153 (A) correspondentes aos segmentos definidos entre o km 200+190 ao km 327+300, foi desenvolvido objetivando o dimensionamento das novas estruturas de terceira faixa e/ou reabilitação das estruturas do pavimento para incorporação de terceira faixa.

4.3.2 Metodologia adotada

O Projeto de Pavimentação foi desenvolvido com base nas instruções de serviço IS-211: Projeto de Pavimentação (Pavimentos Flexíveis) e IS-212: Avaliação Estrutural e Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos e nas diretrizes do Manual de Pavimentação – Publicação IPR 726/2006 e Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos – Publicação IPR 720/2006 ambos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT.

O projeto de pavimentos flexíveis previsto no Manual de Pavimentação foi avaliado, de forma complementar, por meio de projeto mecanístico empírico referente ao programa do Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos Asfálticos (MeDiNa), distribuído pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR).

4.3.3 Diagnóstico do Pavimento

4.3.3.1 Histórico do Pavimento

A pavimentação da rodovia PR-092 se deu no ano de 1974, com camadas de revestimento asfáltico (T.S. sobre acostamentos + CBUQ nas faixas de rolamento) sobre base e sub-base de brita graduada. A espessura de base definida em projeto foi de 16 cm, enquanto que a sub-base foi definida com 20 cm ou 27 cm em função do subleito local.

Ocorreram obras de restauração de Jaguariaíva a BR-153 entre 1981 a 1983 com aplicação de PMQ (com espessura da ordem de 4 cm a 8 cm) e CBUQ (5 cm).

Já entre 2007 a 2010 foram realizadas obras de restauração com soluções de reciclagem com correção granulométrica e adição de cimento, remendos superficiais e profundos e aplicação de reforço com CBUQ Faixa B e CBUQ Faixa D com polímero no trecho entre Jaguariaíva e Wenceslau Braz.

No ano de 2002 foram iniciadas obras de reciclagem do revestimento com espuma asfáltica e reforço com CBUQ Faixa B e C entre Wenceslau Braz e o entroncamento com a BR-153, porém esta obra foi paralisada. A maior parte do trecho já havia recebido reforço com CBUQ Faixa B e C e uma parte apenas com CBUQ Faixa B.

Já entre o ano de 2003 e 2006 foram retomadas as obras, porém com soluções distintas daquelas previstas considerando-se a execução de camada de brita graduada, remendos superficiais e CBUQ Faixa C ou conforme a Faixa da Engelog em todo o trecho entre Wenceslau Braz e o entroncamento com a BR-153. Uma parte do trecho recebeu revestimento asfáltico com asfalto borracha.

Estas obras com sobreposição de camadas de revestimento asfáltico na pista de rolamento, sem o devido preenchimento dos acostamentos, resultaram, ao longo dos anos, em desníveis entre a pista e o acostamento com até 13 cm, colocando em risco a segurança viária. Nota-se que o recapeamento atingiu de forma geral apenas a pista de rolamento.

Recentemente, a rodovia PR-092 referente ao trecho indicado no projeto está contemplada por serviços de manutenção do contrato CREMEP, conforme apresentado em maiores detalhes no item 3.2.1 – Contratos de conservação e manutenção do pavimento.

4.3.3.2 Parâmetros levantados

O diagnóstico do pavimento se fez baseado nas conclusões das avaliações funcionais, estruturais e operacionais da rodovia, como preveem os critérios de Parâmetros Funcionais (Medidas de Irregularidade Longitudinal – IRI e Inventário do Estado de Superfície do pavimento), Parâmetros Estruturais (Deflexão Característica, Raio de Curvatura e CBR) e Parâmetros Operacionais (Número “N” e Deflexão Admissível).

4.3.3.2.1 Medidas de Irregularidade Longitudinal

A seguir estão descritos os resultados obtidos por meio dos levantamentos apresentados no item 3.5.2.3, processadas suas médias para cada segmento de projeto.

Tabela 4.3.1 – Medidas de irregularidade longitudinal.

		MEDIDAS DE IRREGULARIDADE LONGITUDINAL					
RODOVIA: PR-092				FONTE: EPL - Empresa de Planejamento e Logística			
TRECHO: km 200+190 ao km 327+300							
SH	km ini	km fim	Ext. (m)	Sentido	Trilha Esquerda	Trilha Direita	Média
1	204 + 410,00	205 + 200,00	790,00	C	2,67	2,81	2,74
	204 + 410,00	205 + 200,00	790,00	D	2,76	3,03	2,90
2	205 + 200,00	206 + 740,00	1540,00	C	2,82	2,95	2,88
	205 + 200,00	206 + 740,00	1540,00	D	2,78	3,07	2,92
3	206 + 740,00	208 + 780,00	2040,00	C	2,46	2,63	2,55
	206 + 740,00	208 + 780,00	2040,00	D	2,60	2,84	2,72
4	210 + 920,00	212 + 160,00	1240,00	C	2,39	2,74	2,56
	210 + 920,00	212 + 160,00	1240,00	D	2,53	2,48	2,51
5	220 + 190,00	221 + 740,00	1550,00	C	3,43	3,35	3,39
	220 + 190,00	221 + 740,00	1550,00	D	2,86	2,61	2,74
6	235 + 500,00	237 + 20,00	1520,00	C	2,53	2,05	2,29
	235 + 500,00	237 + 20,00	1520,00	D	1,98	1,71	1,85
7	245 + 360,00	246 + 180,00	820,00	C	3,19	3,96	3,58
	245 + 360,00	246 + 180,00	820,00	D	2,88	2,11	2,50
8	249 + 180,00	250 + 520,00	1340,00	C	1,97	2,00	1,99
	249 + 180,00	250 + 520,00	1340,00	D	1,78	1,75	1,77
9	254 + 930,00	256 + 470,00	1540,00	C	2,86	2,65	2,76
	254 + 930,00	256 + 470,00	1540,00	D	2,16	2,41	2,28
10	263 + 740,00	264 + 340,00	600,00	C	2,59	2,74	2,67
	263 + 740,00	264 + 340,00	600,00	D	2,56	2,61	2,58
11	267 + 260,00	268 + 90,00	830,00	C	2,23	1,95	2,09
	267 + 260,00	268 + 90,00	830,00	D	1,82	1,81	1,82
12	289 + 0,00	289 + 940,00	940,00	C	3,83	4,33	4,08
	289 + 0,00	289 + 940,00	940,00	D	2,94	3,42	3,18
13	300 + 580,00	301 + 220,00	640,00	C	3,91	3,65	3,78
	300 + 580,00	301 + 220,00	640,00	D	3,35	3,19	3,27
14	316 + 40,00	316 + 830,00	790,00	C	3,62	4,09	3,85
	316 + 40,00	316 + 830,00	790,00	D	3,50	3,22	3,36
15	322 + 790,00	323 + 380,00	590,00	C	3,88	3,48	3,68
	322 + 790,00	323 + 380,00	590,00	D	3,79	3,49	3,64
16	323 + 380,00	324 + 170,00	790,00	C	3,16	2,68	2,92
	323 + 380,00	324 + 170,00	790,00	D	2,61	2,37	2,49

4.3.3.2.2 Medidas de deflexão do pavimento

A seguir estão descritos os resultados obtidos por meio dos levantamentos apresentados no item 3.5.2.2, processadas suas médias, desvios padrão, deflexão característica, raio de curvatura, deflexão de projeto e deflexão admissível para cada segmento de projeto.

Tabela 4.3.2 – Medidas de deflexão do pavimento.

 ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS MEDIDAS DEFLECTOMÉTRICAS 																
RODOVIA: PR-092			TRECHO: km 200+190 ao km 327+300								FONTE: EPL - Empresa de Planejamento e Logística					
SH	km ini	km fim	Ext. (m)	Sentido	Deflexão Média (0,01 mm)	D25 (Médio) (0,01 mm)	Desvio Padrão	n	Z	Dmín	Dmáx	Dc (Defl. Característica)	Rc (Raio de Curvatura médio)	Fs (Fator de correção sazonal)	Dp (Deflexão de Projeto)	Dadm (Deflexão Admissível)
1	204 + 410,00	205 + 200,00	790,00	C	35,89	16,17	14,45	5	2,0	6,98	64,80	50,34	158,45	1,20	60,41	56,05
	204 + 410,00	205 + 200,00	790,00	D	28,94	12,03	15,92	5	2	0,00	60,78	44,86	184,83	1,20	53,83	56,05
2	205 + 200,00	206 + 740,00	1540,00	C	22,02	12,22	13,44	9	2,5	0,00	55,62	35,46	318,89	1,20	42,55	56,05
	205 + 200,00	206 + 740,00	1540,00	D	19,56	12,09	7,43	8	2,5	0,99	38,12	26,98	418,35	1,20	32,38	56,05
3	206 + 740,00	208 + 780,00	2040,00	C	25,89	13,94	17,82	11	2,5	0,00	70,43	43,70	261,58	1,20	52,45	56,05
	206 + 740,00	208 + 780,00	2040,00	D	27,04	15,66	18,59	10	2,5	0,00	73,51	45,63	274,54	1,20	54,75	56,05
4	210 + 920,00	212 + 160,00	1240,00	C	42,78	18,06	15,47	7	2,5	4,10	81,45	58,25	126,42	1,20	69,90	56,05
	210 + 920,00	212 + 160,00	1240,00	D	43,20	17,91	13,25	8	2,5	10,07	76,32	56,45	123,57	1,20	67,74	56,05
5	220 + 190,00	221 + 740,00	1550,00	C	45,03	22,14	40,76	9	2,5	0,00	146,93	85,79	136,57	1,20	102,95	56,05
	220 + 190,00	221 + 740,00	1550,00	D	26,76	14,68	16,70	9	2,5	0,00	68,52	43,46	258,66	1,20	52,16	56,05
6	235 + 500,00	237 + 20,00	1520,00	C	10,62	8,40	1,59	9	2,5	6,65	14,60	12,21	1404,93	1,20	14,65	56,05
	235 + 500,00	237 + 20,00	1520,00	D	13,90	9,18	11,47	9	2,5	0,00	42,57	25,37	663,07	1,20	30,44	56,05
7	245 + 360,00	246 + 180,00	820,00	C	19,16	10,99	14,16	5	2	0,00	47,47	33,31	382,56	1,20	39,98	56,05
	245 + 360,00	246 + 180,00	820,00	D	25,35	11,78	12,86	5	2	0,00	51,07	38,21	230,21	1,20	45,85	56,05
8	249 + 180,00	250 + 520,00	1340,00	C	30,42	20,18	25,01	8	2,5	0,00	92,94	55,43	305,11	1,20	66,52	56,05
	249 + 180,00	250 + 520,00	1340,00	D	14,89	9,38	6,01	8	2,5	0,00	29,92	20,90	567,82	1,20	25,08	56,05
9	254 + 930,00	256 + 470,00	1540,00	C	30,51	11,78	12,46	8	2,5	0,00	61,65	42,96	166,89	1,20	51,56	56,05
	254 + 930,00	256 + 470,00	1540,00	D	17,54	9,71	8,13	9	2,5	0,00	37,87	25,67	399,10	1,20	30,81	56,05
10	263 + 740,00	264 + 340,00	600,00	C	29,90	15,13	16,01	4	1,5	5,90	53,91	45,91	211,55	1,20	55,09	56,05
	263 + 740,00	264 + 340,00	600,00	D	18,50	11,20	7,21	4	1,5	7,68	29,32	25,72	427,66	1,20	30,86	56,05
11	267 + 260,00	268 + 90,00	830,00	C	29,72	17,00	16,49	5	2	0,00	62,70	46,21	245,54	1,20	55,45	56,05
	267 + 260,00	268 + 90,00	830,00	D	40,59	16,26	5,76	5	2	29,08	52,11	46,35	128,44	1,20	55,62	56,05
12	289 + 0,00	289 + 940,00	940,00	C	31,45	11,11	19,44	5	2	0,00	70,34	50,89	153,63	1,20	61,07	56,05
	289 + 0,00	289 + 940,00	940,00	D	27,86	10,57	18,36	6	2	0,00	64,58	46,22	180,73	1,20	55,47	56,05
13	300 + 580,00	301 + 220,00	640,00	C	33,84	14,65	11,91	5	2	10,02	57,67	45,76	162,78	1,20	54,91	56,05
	300 + 580,00	301 + 220,00	640,00	D	34,22	14,69	11,96	5	2	10,29	58,15	46,19	159,97	1,20	55,43	56,05
14	316 + 40,00	316 + 830,00	790,00	C	32,53	11,72	11,48	5	2	9,57	55,49	44,01	150,18	1,20	52,81	56,05
	316 + 40,00	316 + 830,00	790,00	D	30,69	11,67	14,58	5	2	1,54	59,85	45,27	164,28	1,20	54,33	56,05
15	322 + 790,00	323 + 380,00	590,00	C	38,52	14,82	11,05	5	2	16,41	60,63	49,57	131,88	1,20	59,49	56,05
	322 + 790,00	323 + 380,00	590,00	D	38,60	14,89	11,05	4	1,5	22,04	55,17	49,65	131,78	1,20	59,58	56,05
16	323 + 380,00	324 + 170,00	790,00	C	33,10	13,35	9,69	5	2	13,72	52,49	42,80	158,23	1,20	51,35	56,05
	323 + 380,00	324 + 170,00	790,00	D	31,23	12,93	10,92	6	2	9,38	53,08	42,15	170,79	1,20	50,58	56,05

4.3.3.2.3 Inventário do estado da superfície do pavimento

A seguir estão descritos os resultados obtidos por meio dos levantamentos apresentados no item 3.5.2.4, processadas suas médias ponderadas do ICPF, IGGE e IES para cada segmento de projeto.

Tabela 4.3.3 – Inventário do estado da superfície do pavimento.

RODOVIA: PR-092			FONTE: EPL - Empresa de Planejamento e Logística							
TRECHO: km 200+190 ao km 327+300										
SH	km ini	km fim	Ext. (m)	Sentido	ICPF	ICPF calc	IGGE	Calculo ponderado IGGE	IES	CONCEITO
1	204 + 410,00	205 + 200,00	790,00	C	3,00	3,00	34	45	3	REGULAR
2	205 + 200,00	206 + 740,00	1540,00	C	3,50	3,50	53	75	4	REGULAR
3	206 + 740,00	208 + 780,00	2040,00	C	3,50	3,38	32	43	3	REGULAR
4	210 + 920,00	212 + 160,00	1240,00	C	3,50	3,50	10	10	1	BOM
5	220 + 190,00	221 + 740,00	1550,00	C	3,50	3,48	51	93	4	REGULAR
6	235 + 500,00	237 + 20,00	1520,00	C	3,50	3,37	25	26	3	REGULAR
7	245 + 360,00	246 + 180,00	820,00	C	3,00	3,00	109	109	10	PÉSSIMO
8	249 + 180,00	250 + 520,00	1340,00	C	3,50	3,50	70	62	7	RUIM
9	254 + 930,00	256 + 470,00	1540,00	C	3,50	3,50	90	118	10	PÉSSIMO
10	263 + 740,00	264 + 340,00	600,00	C	3,50	3,50	66	66	7	RUIM
11	267 + 260,00	268 + 90,00	830,00	C	3,50	3,50	65	65	7	RUIM
12	289 + 0,00	289 + 940,00	940,00	C	3,50	3,50	20	20	1	BOM
13	300 + 580,00	301 + 220,00	640,00	C	3,00	3,00	96	96	10	PÉSSIMO
14	316 + 40,00	316 + 830,00	790,00	C	0,00	3,00	66	66	8	PÉSSIMO
15	322 + 790,00	323 + 380,00	590,00	C	3,00	3,00	69	69	7	RUIM
16	323 + 380,00	324 + 170,00	790,00	C	3,00	3,00	62	62	7	RUIM

4.3.3.2.4 Medidas de afundamento de trilha de roda

A seguir estão descritos os resultados obtidos por meio dos levantamentos apresentados no item 3.5.2.5, processadas suas médias para cada segmento de projeto.

Tabela 4.3.4 – Medidas de afundamento de trilha de roda.

		MEDIDAS DE AFUNDAMENTO DE TRILHA DE RODA					
RODOVIA: PR-092			FONTE: EPL - Empresa de Planejamento e Logística				
TRECHO: km 200+190 ao km 327+300							
SH	km ini	km fim	Ext. (m)	Sentido	Trilha Esquerda	Trilha Direita	Média
1	204 + 410,00	205 + 200,00	790,00	C	3,00	2,80	2,90
	204 + 410,00	205 + 200,00	790,00	D	2,97	2,86	2,92
2	205 + 200,00	206 + 740,00	1540,00	C	3,04	2,92	2,98
	205 + 200,00	206 + 740,00	1540,00	D	3,05	2,84	2,95
3	206 + 740,00	208 + 780,00	2040,00	C	3,15	3,02	3,09
	206 + 740,00	208 + 780,00	2040,00	D	3,19	3,01	3,10
4	210 + 920,00	212 + 160,00	1240,00	C	3,26	3,03	3,14
	210 + 920,00	212 + 160,00	1240,00	D	3,03	2,99	3,01
5	220 + 190,00	221 + 740,00	1550,00	C	2,36	2,43	2,40
	220 + 190,00	221 + 740,00	1550,00	D	2,67	2,75	2,71
6	235 + 500,00	237 + 20,00	1520,00	C	3,08	3,25	3,17
	235 + 500,00	237 + 20,00	1520,00	D	1,97	2,09	2,03
7	245 + 360,00	246 + 180,00	820,00	C	2,37	2,29	2,33
	245 + 360,00	246 + 180,00	820,00	D	2,52	2,79	2,65
8	249 + 180,00	250 + 520,00	1340,00	C	2,98	3,00	2,99
	249 + 180,00	250 + 520,00	1340,00	D	3,08	3,15	3,11
9	254 + 930,00	256 + 470,00	1540,00	C	3,03	3,18	3,11
	254 + 930,00	256 + 470,00	1540,00	D	3,38	3,32	3,35
10	263 + 740,00	264 + 340,00	600,00	C	3,23	2,92	3,08
	263 + 740,00	264 + 340,00	600,00	D	3,20	3,09	3,15
11	267 + 260,00	268 + 90,00	830,00	C	3,36	3,47	3,41
	267 + 260,00	268 + 90,00	830,00	D	3,53	3,51	3,52
12	289 + 0,00	289 + 940,00	940,00	C	14,19	10,47	12,33
	289 + 0,00	289 + 940,00	940,00	D	2,96	2,73	2,85
13	300 + 580,00	301 + 220,00	640,00	C	2,53	2,66	2,59
	300 + 580,00	301 + 220,00	640,00	D	2,69	2,84	2,76
14	316 + 40,00	316 + 830,00	790,00	C	2,43	2,24	2,34
	316 + 40,00	316 + 830,00	790,00	D	2,39	2,55	2,47
15	322 + 790,00	323 + 380,00	590,00	C	2,47	2,57	2,52
	322 + 790,00	323 + 380,00	590,00	D	2,37	2,57	2,47
16	323 + 380,00	324 + 170,00	790,00	C	2,79	3,05	2,92
	323 + 380,00	324 + 170,00	790,00	D	3,16	3,16	3,16

4.3.3.2.5 Sondagens da estrutura do pavimento

Os resultados das sondagens da estrutura do pavimento foram apresentados no item 4.5.2.6 onde foram obtidas informações complementares sobre a estrutura do pavimento da rodovia PR-092 relativo aos acostamentos em segmentos de implantação de 3ª faixa.

4.3.3.2.6 Cálculo do Número “N” e Deflexão Admissível

A definição da vida útil para os diversos segmentos de projeto foi estabelecida para um período de 5 anos. O ciclo do projeto foi definido a partir do ano de 2021 (ano de abertura do projeto) até o ano de 2025.

Os cálculos do Número “N” foram apresentados no item 3.3 – Estudos de Tráfego, Capacidade e Segurança onde foram definidos: as zonas de tráfego, as estimativas de tráfego, as taxas de crescimento, a composição da frota e os fatores de veículos. A partir destes dados foram obtidos os volumes médios diários comerciais VMDAc e o Número “N”, que são apresentados, em resumo, a seguir. Nesta tabela também se apresenta a deflexão admissível calculada através da equação:

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

Tabela 4.3.5 – Planilha resumo dos cálculos do Número “N” e deflexão admissível.

Zona	Segmento	VMDAc 2021	VMDAc 2025	Número “N” AASHTO (2025)	Número “N” USACE (2025)	Dadm
1	AC. IV Jaguariaíva a ENTR. BR-153 (A)	466	527	3,45E+06	1,47E+07	56,05

4.3.3.3 Causas da deterioração

Conforme descrito anteriormente, a rodovia PR-092 desde sua pavimentação a cerca de 45 anos recebeu obras de restauração de maior relevância na década de 1980. Após estas, foram realizadas novas obras de restauração entre os anos de 2002 e 2010 com técnicas de reciclagem do revestimento asfáltico, porém marcadas por alguns

insucessos devido a espessura limitada da reciclagem ou pelo uso de alternativas de pavimentação com asfalto borracha.

As causas associadas as falhas na restauração estão relacionadas a: 1 – reflexão de trincas, quando a reciclagem não é capaz de tratar toda a espessura do revestimento flexível, que em função do estado de degradação do revestimento existente pode causar o aparecimento de trincas no revestimento e 2 – dificuldade de homogeneização da mistura de asfalto borracha, que à época ainda se mostrava como uma tecnologia incipiente.

Desde sua implantação a rodovia PR-092 vem sofrendo com o tráfego crescente de caminhões e o desgaste natural das camadas do pavimento flexível em função do avanço da idade do pavimento, inclusive daquelas relativas a brita graduada presente nas camadas de base (trechos A e B) e sub-base (trecho B).

As soluções de conserva e manutenção verificadas ao longo do tempo, embora úteis, não são eficazes no tocante ao rejuvenescimento da estrutura do pavimento existente. Os serviços de maior monta referem-se a fresagem do revestimento betuminoso, reperfilagem e substituição por novas camadas de asfalto em frações da rodovia.

Uma análise aprofundada nas regiões com defeitos severos (afundamentos, escorregamentos, ondulações e panelas) indicam que as camadas inferiores de revestimento asfáltico se apresentam oxidadas e extensamente trincadas, o que compromete sua capacidade de transferência e absorção de tensões. Além disso, as deformações plásticas observadas podem estar relacionadas a veículos com excesso de carga ou propriedades restritas das camadas asfálticas (baixo módulo de resiliência e de temperatura de amolecimento). Em alguns casos, a nova camada de revestimento asfáltico aplicada sobre o pavimento envelhecido apresenta reflexão de trincas. Verifica-se a ausência de técnicas de reforço com geossintéticos que ajudam a prevenir tais efeitos.

Ainda assim, conforme observado nas sondagens das camadas de base de pedregulho mal graduado notam-se materiais com capacidade de suporte limitadas (ISC < 80%). Com isso, camadas de reforço em pavimento flexível com maior módulo de

resiliência absorvem as maiores tensões sem a devida contribuição das camadas inferiores resultando em decréscimo da vida útil do pavimento.

Outro fato observado é a implantação de terceiras faixas sob a estrutura do acostamento em diversos segmentos da rodovia. Estes procedimentos foram realizados, de modo geral, nos contratos de manutenção da rodovia visando melhorias pontuais da capacidade da rodovia. Contudo, a complementação de camada asfáltica sobre os acostamentos revela-se ineficiente em função da restrita capacidade de suporte das camadas de base, já mencionada anteriormente, e compactação inadequada destas camadas asfálticas. Com isso, observa-se a incidência de defeitos generalizados no pavimento na área de implantação destas terceiras faixa, notadamente afundamentos de trilha de roda e escorregamentos.

4.3.4 Segmentos de projeto

Neste item, são apresentadas na Tabela 4.3.6 as premissas iniciais referentes ao tipo de estrutura e o local de implantação do dimensionamento do pavimento dos diversos segmentos de projeto da PR-092. Observa-se a indicação da estrutura obtida a partir da reciclagem do pavimento.

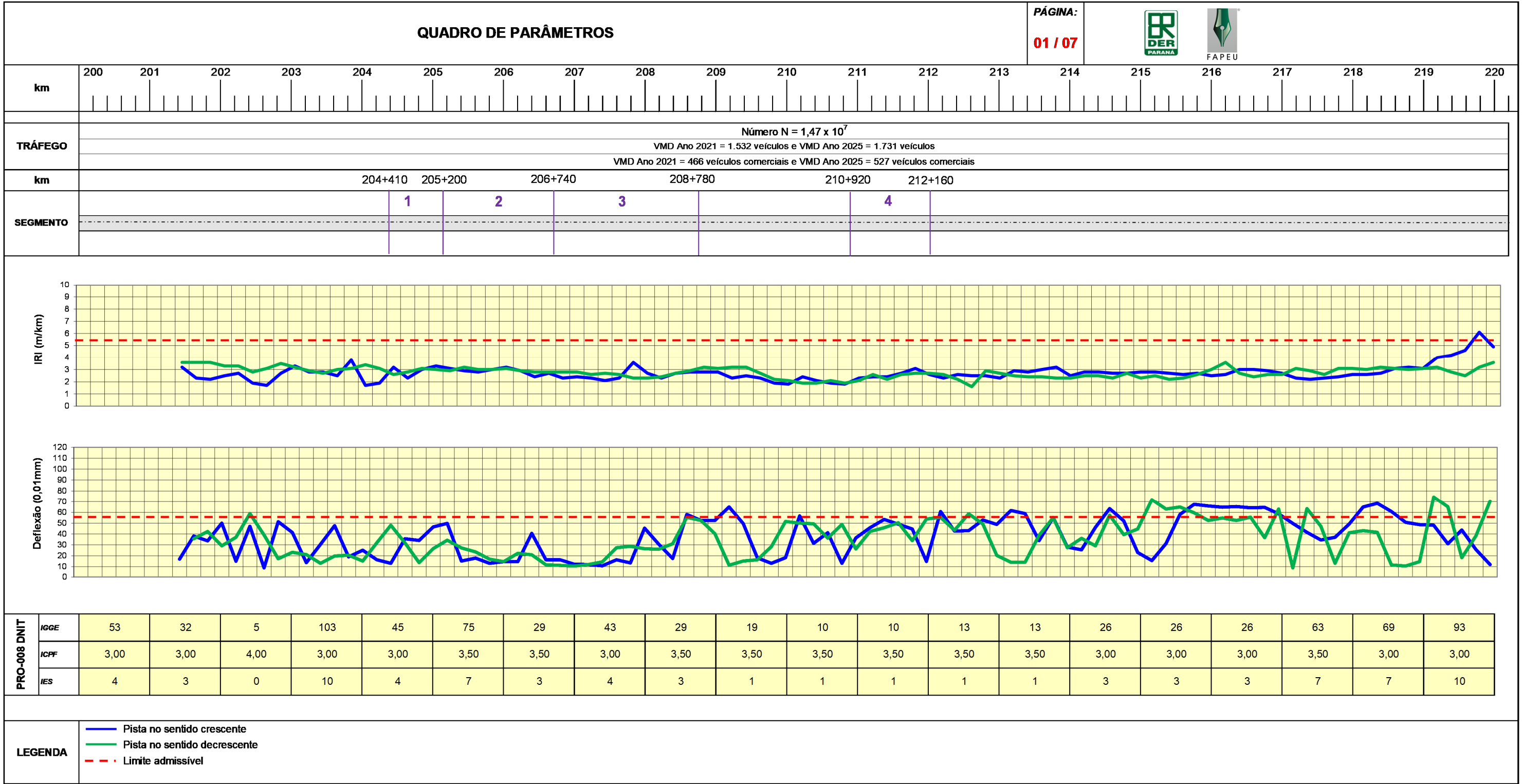
A reciclagem do pavimento considera a incorporação do revestimento asfáltico à base com espuma asfáltica e cimento com adição de brita. Esta metodologia visa a implantação das terceiras faixas com deslocamento do eixo, adequação da geometria e definição de estrutura do pavimento adequada a previsão do tráfego.

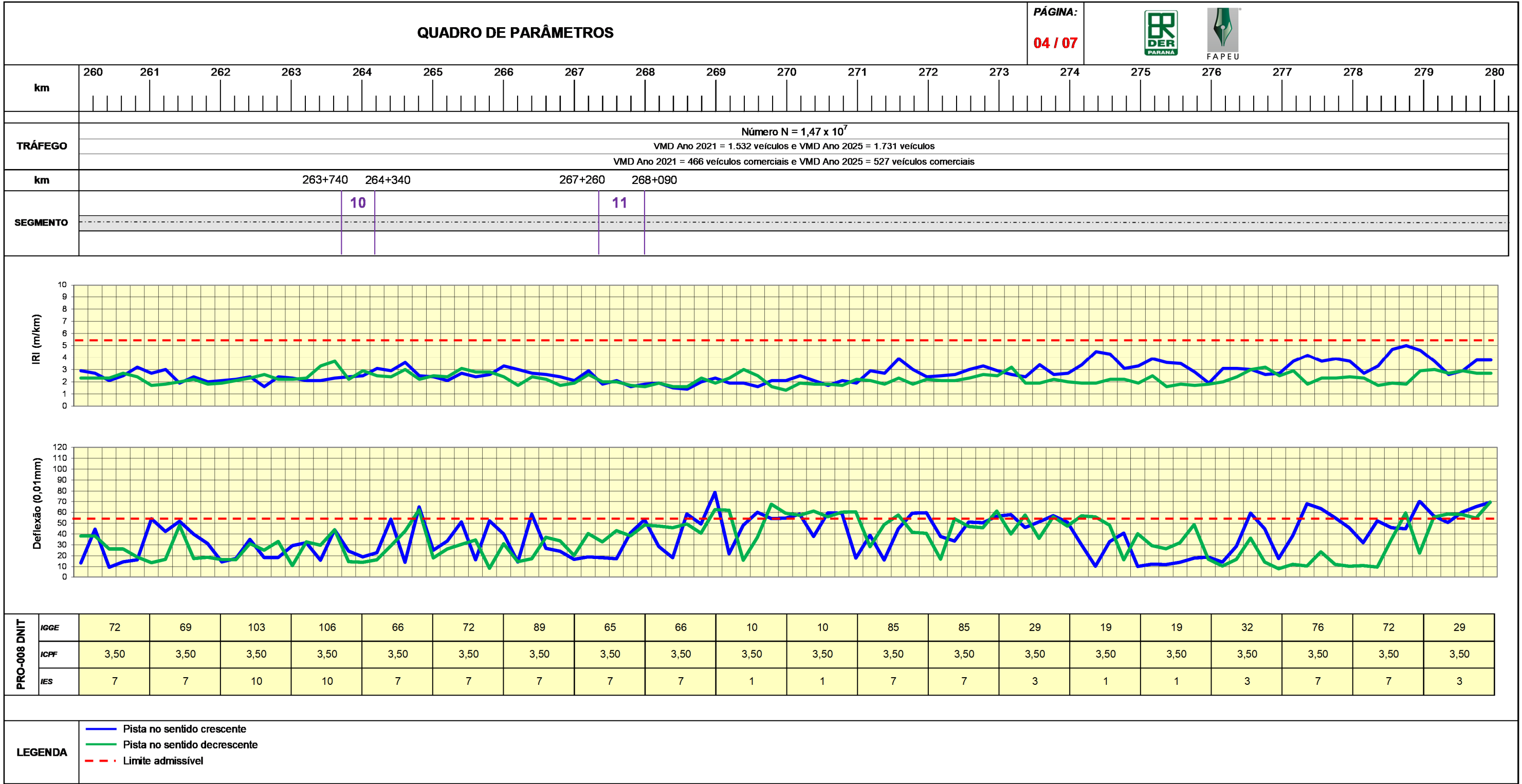
Com relação aos insucessos ocorridos nas restaurações de pavimento em anos anteriores, cabe mencionar que a reciclagem aqui proposta considera a execução de uma nova camada de base obtida por processo de reciclagem, sendo incorporada uma nova camada asfáltica modificada por polímero.

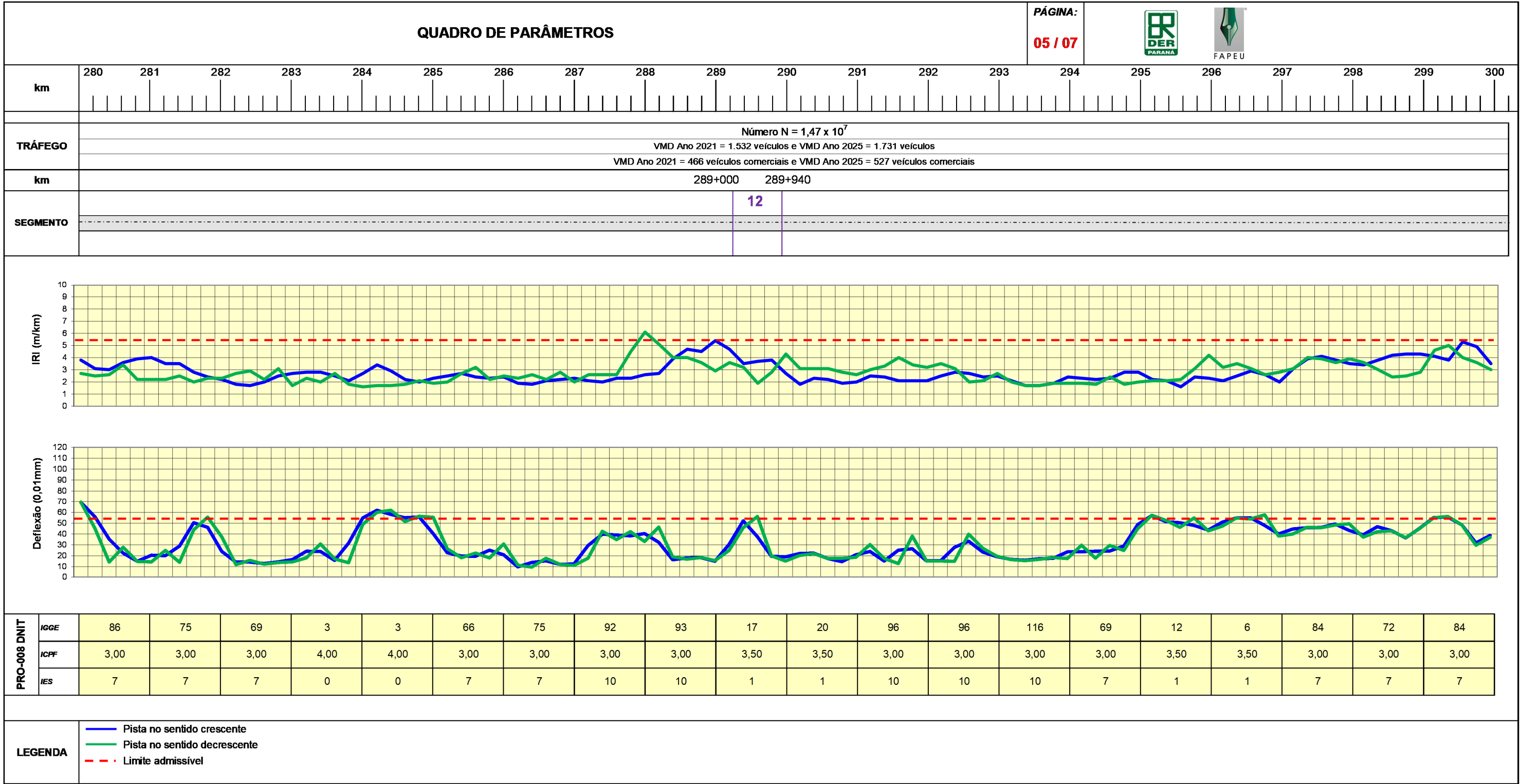
Tabela 4.3.6 – Quadro de segmentos de projeto da rodovia PR-092.

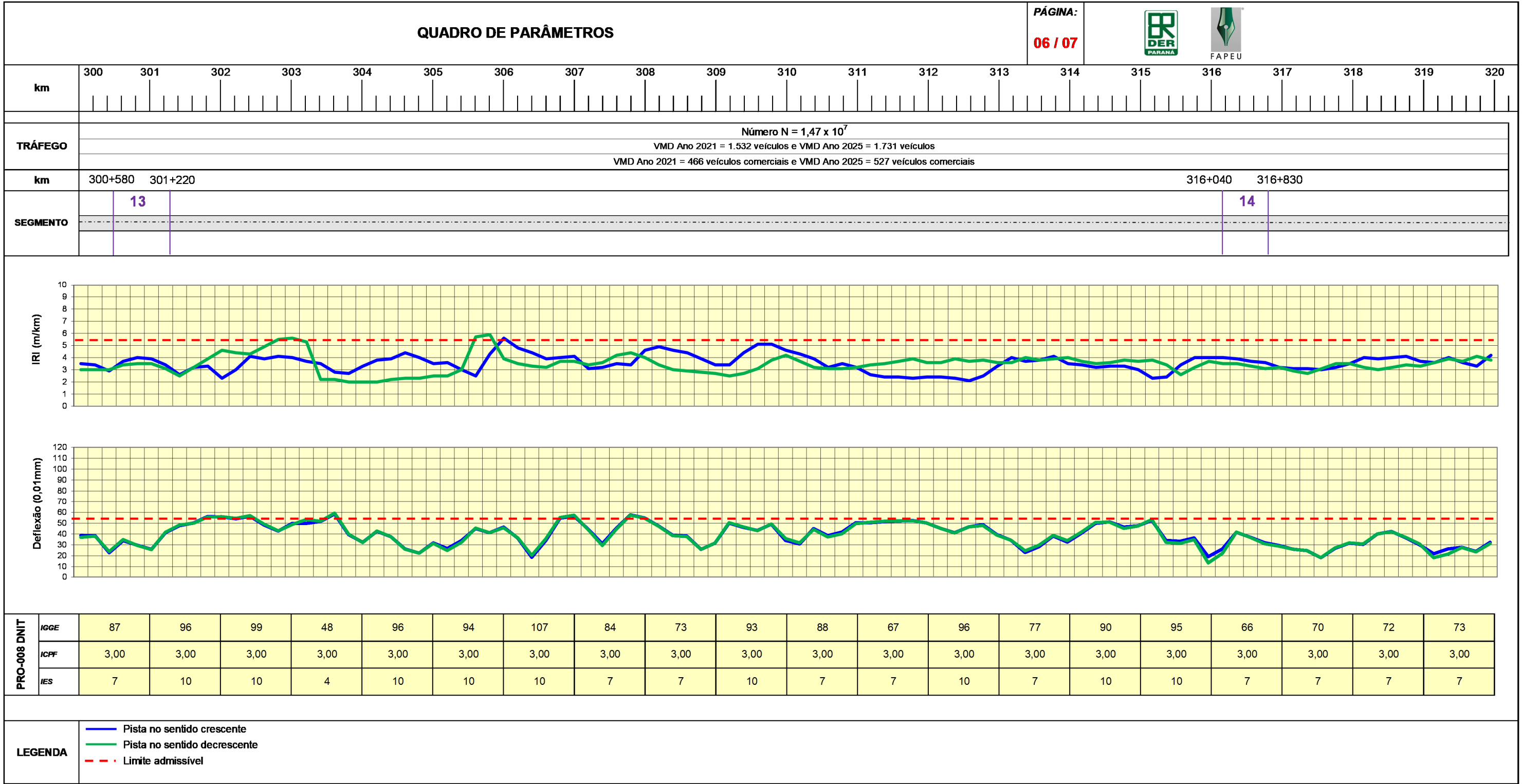
SEGMENTO	ZONA	TRECHO	LOCAL	TIPO DE ESTRUTURA
1	1	A	km 204 + 410 ao km 205 + 200	Reciclagem do pavimento
2	1	A	km 205 + 200 ao km 206 + 740	Reciclagem do pavimento
3	1	A	km 206 + 740 ao km 208 + 780	Reciclagem do pavimento
4	1	A	km 210 + 920 ao km 212 + 160	Reciclagem do pavimento
5	1	A	km 220 + 190 ao km 221 + 740	Reciclagem do pavimento
6	1	A	km 235 + 500 ao km 237 + 020	Reciclagem do pavimento
7	1	A	km 245 + 360 ao km 246 + 180	Reciclagem do pavimento
8	1	A	km 249 + 180 ao km 250 + 520	Reciclagem do pavimento
9	1	B	km 254 + 930 ao km 256 + 470	Reciclagem do pavimento
10	1	B	km 263 + 740 ao km 264 + 340	Reciclagem do pavimento
11	1	B	km 267 + 260 ao km 268 + 090	Reciclagem do pavimento
12	1	B	Km 289 + 000 ao km 289 + 940	Reciclagem do pavimento
13	1	B	km 300 + 580 ao km 301 + 220	Reciclagem do pavimento
14	1	B	km 316 + 040 ao km 316 + 830	Reciclagem do pavimento
15	1	B	km 322 + 790 ao km 323 + 380	Reciclagem do pavimento
16	1	B	km 323 + 380 ao km 324 + 170	Reciclagem do pavimento

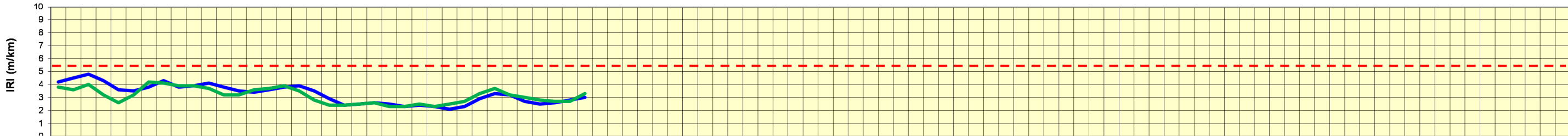
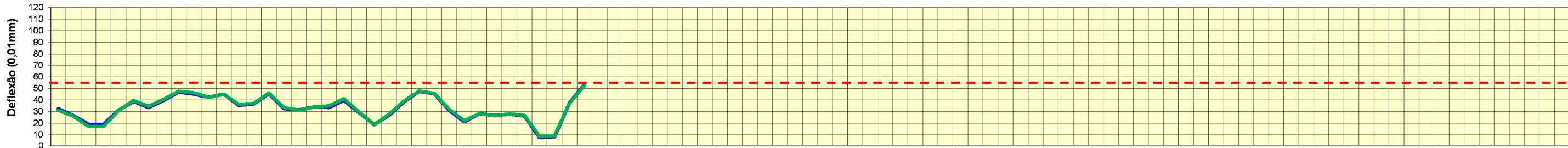
Com base nas definições dos segmentos de projeto e resultados obtidos dos levantamentos descritos anteriormente são apresentados os Quadros de Parâmetros de Projeto. Na linha com designação SEGMENTO são identificados os diversos segmentos de projeto com detalhamento dos quilômetros de início e fim destes na linha superior. Também são indicados os parâmetros do tráfego e os resultados de IRI, Deflexão e Inventário da Superfície.









QUADRO DE PARÂMETROS															PÁGINA: 07 / 07						
km	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340
TRÁFEGO	Número N = 1,47 x 10 ⁷																				
	VMD Ano 2021 = 1.532 veículos e VMD Ano 2025 = 1.731 veículos																				
	VMD Ano 2021 = 466 veículos comerciais e VMD Ano 2025 = 527 veículos comerciais																				
km	322+790		323+380		324+170																
SEGMENTO			15		16																
IRI (m/km) 																					
Deflexão (0,01mm) 																					
PRO-008 DNIT	IGGE	69	70	73	69	62	66	69	69	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	ICPF	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
	IES	7	7	7	7	7	7	7	7	7	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
LEGENDA	— Pista no sentido crescente																				
	— Pista no sentido decrescente																				
	- - - Limite admissível																				

4.3.5 Dimensionamento dos Pavimentos

4.3.5.1 Introdução

Os Dimensionamentos das novas estruturas de pavimento apresentados a seguir estão subdivididos em Descrição das soluções adotadas e Memória Justificativa do dimensionamento das estruturas de pavimento, para cada uma das zonas de tráfego e dos segmentos homogêneos observados, listadas no item 4.3.13 – Segmentos de Projeto.

4.3.5.2 Segmento 1 a 8 – Zona 1 – TRECHO A (km 200,190 ao km 253,42)

a) Descrição da solução adotada

Solução do Pavimento SEGMENTO 1 a 8 – Implantação de Pavimento semi-rígido CAPFLEX SBS 60/85 FAIXA C (10,0 cm) + Reciclagem com espuma asfáltica e incorporação do revestimento asfáltico à base com adição de cimento e brita (26,0 cm). Esta solução é aplicada aos segmentos de projeto da Zona de Tráfego 1 – TRECHO A observada às características do pavimento existente.

Tabela 4.3.7 – Solução de projeto do Segmento 1 a 8 – Zona 1 – TRECHO A.

CAMADA	ESPESSURA (cm)
Concreto asfáltico modificado por polímero CAPFLEX SBS 60/85 Faixa “C”	10
Reciclagem com espuma asfáltica e incorporação do revestimento asfáltico à base com adição de cimento e brita	26
Sub-base de areia fina argilosa existente	≥ 15
Subleito existente (ISCp = 11,6%)	-

b) Memória justificativa do dimensionamento

Para o dimensionamento da estrutura do pavimento foi realizada análise preliminar de reforço do pavimento e pavimentação de terceira faixa, porém observadas as características das camadas de base existentes notou-se mais indicada a reciclagem da base e incorporação do revestimento asfáltico com incorporação de cimento e brita. Maiores informações são descritas no item 4.3.3.3 – Causas da deterioração.

A partir desta avaliação seguiu-se o cálculo pelo Método de Projetos de Pavimentos Flexíveis de autoria do Eng^o. Murilo Lopes de Souza previsto no Manual de Pavimentação - IPR 726/2006, conforme a seguir. Posteriormente, foram realizadas análises pelo método da resiliência simplificado proposto pelo Eng^o Ernesto Preussler e Eng^o Salomão Pinto e método mecanístico-empírico MeDiNa.

De forma colaborativa ao dimensionamento do pavimento, foi procedida a avaliação do reforço do pavimento analisando-se os resultados de deflexão de projeto e deflexão admissível aplicando-se o previsto na norma DNER-PRO 011/79.

i. Número “N”

Para a determinação do número “N” de solicitações equivalentes às do eixo padrão rodoviário de 8,2 tf, foram pesquisadas as projeções de tráfego e o carregamento da frota no segmento, conforme elementos disponibilizados no item 3.3 – Estudos de tráfego, capacidade e segurança. O valor adotado no estudo de tráfego é de: “N” = $1,47 \times 10^7$.

ii. Verificação do reforço do pavimento

Este item foi elaborado de forma a colaborar na avaliação da estrutura do pavimento existente e compatibilização dos resultados de reforço e implantação de nova estrutura indicada para o projeto.

A aplicação simples de camada asfáltica de reforço não foi indicada em função da observação das causas de deterioração do pavimento da pista existente observadas no item 4.3.3.3, que estão relacionadas a restrição da capacidade de suporte da base existente, dificuldades de pavimentação de larguras restritas em áreas de acostamento com possibilidade de falhas na compactação, reflexão de trincas devido ao alto grau de degradação das camadas inferiores do revestimento asfáltico existente, dentre outras.

A Tabela 4.3.8 apresentada a seguir revela as espessuras de reforço necessárias para atender o tráfego previsto em função das características da estrutura do pavimento existente. Percebe-se que a espessura mínima recomendada para os segmentos da Zona de Tráfego 1 – Trecho A é de 1,3 cm e a espessura máxima de 10,6 cm.

Outro fator advindo da possibilidade de aplicação de reforço da pista existente é o acréscimo do degrau entre o acostamento e a pista existente. Nota-se pela vistoria de

campo desníveis de até 13 cm para a zona de tráfego 1. Isso obrigaria a pavimentação de camada espessa na área de implantação de terceira faixa sobre o acostamento. Mais uma vez seriam acentuados os problemas de compactação em área confinada.

Dessa forma, os resultados expressos na tabela a seguir foram utilizados apenas para validação das análises que se sucedem, não sendo indicado reforço do pavimento e sim a reciclagem com incorporação do revestimento asfáltico e nova camada asfáltica, conforme será apresentado a seguir.

Tabela 4.3.8 – Verificação de reforço de pavimento.

QUADRO DE VERIFICAÇÃO DE REFORÇO DE PAVIMENTO																				
CLIENTE: DER-PR																				
OBRA: RODOVIA PR-092																				
TRECHO: AC. IV JAGUARIÁVA - ENTR. BR-163 (A)																				
ZONA DE TRÁFEGO: 1																				
SEGMENTOS HOMOGÊNEOS				PARAMETROS FUNCIONAIS E ESTRUTURAIS																
Nº	km inicial	km final	Extensão (m)	Dp Viga (0,01 mm²)	Rc	ATR LE (mm)	ATR LD (mm)	IRI (m/km)	IES	he - CBUC (cm)	Hcg (cm)	CBR Base Exst. (%)	CBR Subleito Exst. (%)	Np	D _{adm} (0,01 mm)	Hcb	Critério	Ht - RECONSTRUÇÃO	H20	SOLUÇÃO
TRECHO: A																				
				REFORÇO PRO-1179											DIMENSIONAMENTO					
1	204 + 410,00	205 + 200,00	790,00	60,41	158,45	3,0	2,9	2,9	3	≥ 15	≥ 32	69,2	11,6	1,47E+07	56,05	1,3	Deflectométrico	39,7	28,7	Reciclagem
2	205 + 200,00	206 + 740,00	1.540,00	42,55	318,89	3,0	2,9	2,9	4	≥ 15	≥ 32	69,2	11,6	1,47E+07	56,05	-	Deflectométrico	39,7	28,7	Reciclagem
3	206 + 740,00	208 + 780,00	2.040,00	54,75	278,54	3,2	3,0	2,7	3	≥ 15	≥ 32	69,2	11,6	1,47E+07	56,05	-	Deflectométrico	39,7	28,7	Reciclagem
4	210 + 920,00	212 + 160,00	1.240,00	69,90	128,42	3,3	3,0	2,6	1	≥ 15	≥ 32	69,2	11,6	1,47E+07	56,05	3,8	Deflectométrico	39,7	28,7	Reciclagem
5	220 + 190,00	221 + 740,00	1.550,00	102,95	136,57	2,7	2,7	3,4	4	≥ 15	≥ 32	69,2	11,6	1,47E+07	56,05	10,8	Deflectométrico	39,7	28,7	Reciclagem
6	235 + 500,00	237 + 20,00	1.520,00	30,44	663,07	3,1	3,2	2,3	3	≥ 15	≥ 32	69,2	11,6	1,47E+07	56,05	-	Deflectométrico	39,7	28,7	Reciclagem
7	245 + 360,00	246 + 180,00	820,00	45,85	230,21	2,5	2,8	3,6	10	≥ 15	≥ 32	69,2	11,6	1,47E+07	56,05	-	Deflectométrico	39,7	28,7	Reciclagem
8	249 + 180,00	250 + 520,00	1.340,00	66,52	305,11	3,1	3,1	2,0	7	≥ 15	≥ 32	69,2	11,6	1,47E+07	56,05	3,0	Deflectométrico	39,7	28,7	Reciclagem

iii. Capacidade de suporte do subleito

O ISC do subleito foi definido conforme item 3.5 – Estudos Geotécnicos, a partir de poços de inspeção amostrais dos segmentos de projeto tendo sido definido o ISC característico de projeto no valor de 11,6%. O subleito é composto por variações de areias finas argilosas vermelhas, areias argilosas vermelhas e argila arenosa, sendo a primeira de forma preponderante.

iv. Concepção das camadas, coeficientes de equivalência estrutural e módulo de resiliência

Previamente à execução do dimensionamento, foram definidos os materiais disponíveis para emprego nas camadas do pavimento e estipuladas as suas características técnicas em função das práticas observadas e previstas no Manual de Pavimentação IPR 726/2006, IP-DE-P00/001 do DER/SP e na base de dados do software MeDiNa.

Tabela 4.3.9 – Concepção das camadas – características técnicas.

CAMADA	TIPO	COEFICIENTE ESTRUTURAL	MÓDULO DE RESILIÊNCIA (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
Revestimento em CAPFLEX SBS 60/85	Concreto betuminoso	2,00	5.000	0,30
Base com reciclagem e incorporação de asfalto	Cimentícia	1,40	7.000 (sigmoidal)	0,20
Sub-base de areia fina argilosa laterítica	Solos finos	1,00	220	0,40
Subleito areno-argiloso laterítico	Solos finos	-	170	0,45

v. Dimensionamento pelo método do Engº Murilo Lopes

1 – DETERMINAÇÃO DAS CAMADAS H_n e H_{20}

A determinação da H_n (espessura total do pavimento) e H_{20} (espessura do pavimento sobre a sub-base) pode ser obtida diretamente pela aplicação da seguinte equação:

$$H = 77,67N^{0,0482} \times ISC^{-0,598}$$

Da qual se obtém para ISC projeto = 11,6 % e “N” = $1,47 \times 10^7$

H_n – Espessura total de pavimento necessário para proteger um material com ISC = n:

$H_n = 39,7$ cm

H_{20} – Espessura de camada do pavimento necessária para proteger a sub-base

$H_{20} = 28,7 \text{ cm}$

2 – ESPESSURA DO REVESTIMENTO – (R)

A espessura do revestimento é determinada com base na tabela a seguir, compilado do Manual de Pavimentação do DNIT/2006.

Tabela 4.3.10 – Espessura mínima de revestimento betuminoso.

N	Espessura Mínima de Revestimento
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 \leq N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5 cm de espessura
$5 \times 10^6 \leq N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 \leq N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N \geq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Dessa forma, adotou-se a espessura mínima do revestimento (R) para o trecho considerando $N = 1,47 \times 10^7$, segundo a metodologia do Engenheiro Murilo Lopes de Souza, de 10,0 cm de CBUQ.

3 – ESPESSURA DA BASE – (B)

A espessura da base foi determinada através da resolução da seguinte inequação:

$$R_{\text{CBUQ}} \times K_{\text{CBUQ}} + B \times K_B \geq H_{20}$$

$$(10,0 \times 2,0) + (B \times 1,4) \geq 28,7 \Rightarrow B \geq 6,2 \therefore$$

Desta forma, adotou-se $B = 15 \text{ cm}$, garantindo assim a camada de proteção da sub-base com espessura suficiente ao suporte das tensões sujeitas ao pavimento em função das solicitações do tráfego com o revestimento de CBUQ com 10,0 cm de espessura.

4 – ESPESSURA DA SUB-BASE – (SB)

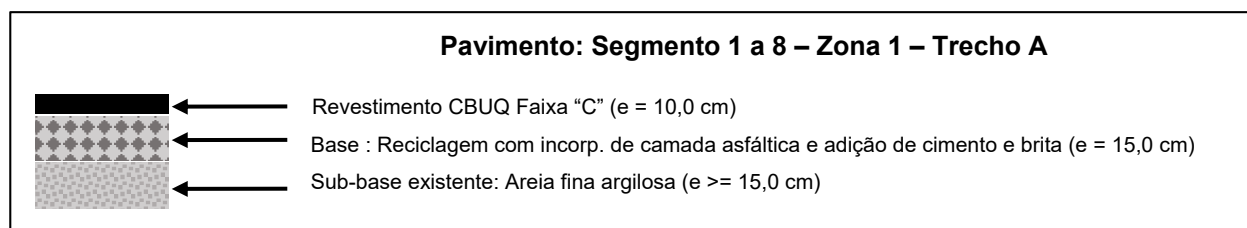
$$R_{\text{CBUQ}} \times K_{\text{CBUQ}} + B \times K_B + SB \times K_{SB} \geq H_n$$

$$(10,0 \times 2,0) + (15,0 \times 1,4) + (SB \times 1,0) \geq 39,7 \Rightarrow SB \geq 0,0 \therefore$$

Nota-se que a base indicada já se mostra suficiente como camada de proteção do subleito com espessura suficiente ao suporte das tensões sujeitas ao pavimento em função das solicitações do tráfego com o revestimento de CBUQ com 10,0 cm de espessura. Entretanto, foi considerada a espessura mínima identificada para a sub-base existente.

5 – SOLUÇÃO RECOMENDADA

Portanto, a solução recomendada pelo método de dimensionamento supracitado teria a seguinte estrutura:



A solução verificada acima apresenta a espessura mínima indicada para execução de nova camada de base com aproveitamento da sub-base existente, porém em se tratando de reciclagem com espuma asfáltica e incorporação do revestimento asfáltico à base com adição de cimento e brita deve-se garantir que a espessura mínima de trabalho seja superior a espessura do revestimento betuminoso existente considerando a eliminação do efeito de reflexão de trincas pelo envelhecimento/degradação da camada asfáltica existente.

A seguir serão apresentadas as demais metodologias para obtenção da solução de projeto adotada.

vi. Dimensionamento pelo Método da Resiliência Simplificado

1 – NÚMERO EQUIVALENTE DE OPERAÇÕES DO EIXO PADRÃO DE 8,2 tf

$$“N” = 1,47 \times 10^7$$

2 – VALOR DO CBR DO SUBLEITO DE PROJETO

$$CBR = 11,6\%$$

3 – CLASSIFICAÇÃO DO SOLO DO SUBLEITO QUANTO A RESILIÊNCIA

A classificação do solo quanto a resiliência é feita utilizando o critério recomendado no método mencionado onde os solos são divididos em três grupos: I, II ou III, em função da combinação do valor de CBR e da percentagem de silte presente na fração fina do solo do subleito, conforme a tabela transcrita a seguir.

Tabela 4.3.11 – Percentual de silte na fração que passa na peneira 200.

CBR (%)	S (%)		
	<= 35	35 a 65	> 65
>= 10	I	II	III
6 a 9	II	II	III
2 a 5	II	III	III

Onde CBR(%) é o ISC característico de projeto do subleito e S(%) é a proporção de silte presente na fração fina do solo do subleito. Pelos resultados dos ensaios determinou-se o CBR = 11,6%. Já o percentual de silte foi estimado em inferior a 35% em função da análise tátil visual resultando em uma classificação quanto a resiliência em Solo tipo I.

5 – CÁLCULO DA DEFLEXÃO PREVISTA NA SUPERFÍCIE DO REVESTIMENTO (Dp) PARA “N”= 1,47 x 10⁷:

$$\text{Log } D_p = 3,148 - 0,188 \log N \Rightarrow D_p = 10^{3,148 - 0,188 \log N} \Rightarrow D_p = 63,17 \text{ (0,01mm)}$$

6 – CÁLCULO DA ESPESSURA MÍNIMA DO REVESTIMENTO BETUMINOSO:

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

Onde I_1 e I_2 são constantes relacionadas às características resilientes do subleito. Para o caso de material do tipo II são utilizados os valores descritos abaixo.

$$I_1 = 0 \quad \text{e} \quad I_2 = 0$$

$$H_{CB} = -5,737 + \frac{807,961}{63,17} \Rightarrow H_{CB} = 7,1 \text{ cm}$$

Assim a espessura de 10,0 cm de CBUQ adotada no item v atende a espessura mínima recomendada por este método de dimensionamento.

7 – VALOR ESTRUTURAL DO REVESTIMENTO BETUMINOSO (CBUQ):

A seguir é apresentada a tabela de cálculo do coeficiente estrutural do revestimento betuminoso (VE) em função das características elásticas do sistema estrutural do pavimento.

Tabela 4.3.12 – Coeficiente estrutural para camadas betuminosas.

Tipo de Subleito	“N”				
	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8
I	4,0	4,0	3,4	2,8	2,8
II	3,0	3,0	3,0	2,8	2,8
III	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Considerando o tipo do material do subleito e interpolando os valores de “N” = $1,47 \times 10^7$, tem-se $VE = 2,80$.

8 – ESPESSURA DE CAMADA GRANULAR:

$$H_{CB} \times VE + H_{CG} = H_t \Rightarrow 10,0 \times 2,8 + H_{CG} = 39,7 \Rightarrow H_{CG} = 11,7 \text{ cm}$$

9 – ESPESSURA DA CAMADA DE BASE:

$$H_B + H_{SB} \geq H_{CG} \geq 11,7 \text{ cm}$$

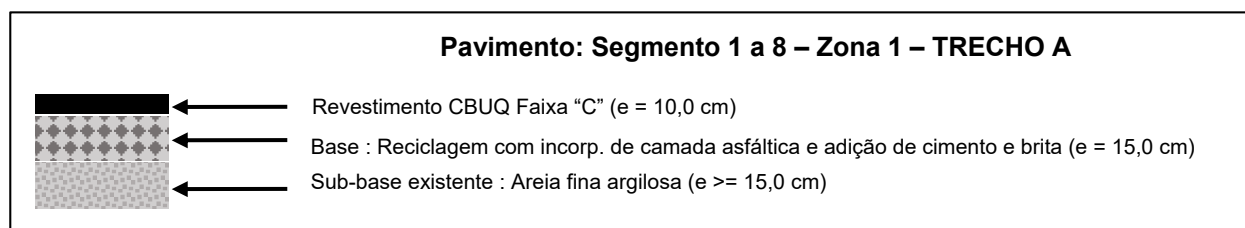
Considerando espessura mínima recomendada para base de 15,0 cm, percebe-se na inequação a não necessidade de indicação de sub-base, porém considera-se a espessura mínima da sub-base existente = 15 cm.

$$H_B = 15,0 \text{ cm} \therefore H_{SB} \text{ mín existente} = 15 \text{ cm}$$

Assim a espessura de 15,0 cm de base adotada no item v atende o mínimo sugerido pela metodologia citada acima.

10 – SOLUÇÃO RECOMENDADA

Portanto, a solução recomendada pelo método de dimensionamento supracitado teria a seguinte estrutura:



A solução verificada acima apresenta a espessura mínima indicada para execução de novas camadas de base e sub-base, porém em se tratando de reciclagem com espuma asfáltica e incorporação do revestimento asfáltico à base com adição de cimento e brita deve-se garantir que a espessura mínima de trabalho seja superior a espessura do revestimento betuminoso existente considerando a eliminação do efeito de reflexão de trincas pelo envelhecimento/degradação da camada asfáltica existente.

Portanto, para a definição da solução de projeto que será adotada foi considerada a análise pelo Método Mecanístico que será apresentado a seguir. Nele, foram consideradas as espessuras mínimas de trabalho para reciclagem com incorporação do revestimento betuminoso e o comportamento dos diferentes tipos de materiais na estrutura do pavimento.

vii. Dimensionamento pelo Método Mecanístico (MeDiNa)

O dimensionamento pelo Método Mecanístico-Empírico foi desenvolvido a partir das definições do Guia para Utilização de Método Mecanístico-Empírico do DNIT referente ao Projeto DNIT TED nº 682/2014 utilizando-se o software MeDiNa.

As premissas iniciais foram definidas a partir dos dados geotécnicos definidos na Tabela 4.3.9. A definição do pavimento é realizada por tentativa definindo-se como partida os resultados observados no item v e vi. Os resultados do dimensionamento são apresentados a seguir.

Os dados de tráfego utilizados para evolução e definição do número N ao longo da vida útil do pavimento foram baseados naqueles apresentados no item 3.3 – Estudos de Tráfego, Capacidade e Segurança e a vida útil definida como 5 anos para a implantação do pavimento betuminoso.

O sistema computacional do software MeDiNa baseia-se na solução de problemas de elasticidade linear em sistemas de multicamadas e contínuos considerando os materiais elásticos lineares, isotrópicos e homogêneos, a lei de Hooke é válida e o módulo de compressão é semelhante ao de tração, as camadas são ilimitadas na direção horizontal, todas as camadas possuem espessura finita, a exceção da camada inferior que é considerada semi-infinita, a superfície da camada superior não está sujeita a tensões fora da área carregada ocorrendo apenas tensões normais, a carga aplicada é considerada elástica e uniformemente distribuída em toda área circular de contato, a grandes profundidades as tensões e deformações são nulas e as condições de aderência na interface das camadas podem variar de totalmente aderida para lisa ou sem aderência.

A solução final adotada levou em consideração os resultados dos métodos acima expostos e as simulações da estrutura no programa MeDiNa resultando em maior confiabilidade ao projeto da estrutura do pavimento. De fato, as metodologias anteriormente descritas não levam em consideração a rigidez, ou seja, o módulo de resiliência do material no comportamento da estrutura do pavimento projetado.

Observou-se nas simulações, em função do elevado tráfego previsto para o período de projeto, a necessidade de indicação de bases cimentadas (reciclagem com adição de cimento e espuma asfáltica) e concretos asfálticos de alto módulo de resiliência.

Com isso, visando adequar as propriedades da mistura betuminosa às premissas de projeto foi indicado o uso de concreto asfáltico modificado por polímero CAPFLEX SBS 60/85. Essa alteração traz consigo algumas vantagens que é módulo de resiliência superior ao da mistura asfáltica produzida com CAP 50/70 (sem polímero), ponto de amolecimento maior (60° C para SBS 60/85 contra 46° C para CAP 50/70, maior viscosidade e maior recuperação elástica quanto comparado ao CAP 50/70.

Com a adoção da reciclagem para execução de uma nova camada de base e a definição da solução de pavimento semi-rígido foram necessários cuidados adicionais. A técnica de reciclagem utilizada foi aquela com utilização de espuma asfáltica e adição de cimento. A consorciação da espuma asfáltica com cimento contribui para a obtenção de bases com alto módulo sem o uso de teores elevados de cimento ($\geq 4\%$).

Para evitar a eventual abertura de fissura de retração da base foi indicada a aplicação de pintura impermeabilizante com emulsão asfáltica, que permite a cura adequada da camada cimentícia.

Destaca-se que o tráfego pesado em baixas velocidades em terceiras faixas pode causar eventuais defeitos de trilhas de rodas reduzindo a vida útil dos pavimentos. Dessa forma, foi indicada a execução de camada de geogrelha flexível de poliéster de alta tenacidade com manta não tecida em forma de grelha (40x40) mm, bidirecional com resistência de 50 kN/m nas faixas lentas para aumentar a resistência a fluência evitando o aparecimento destes defeitos no pavimento.

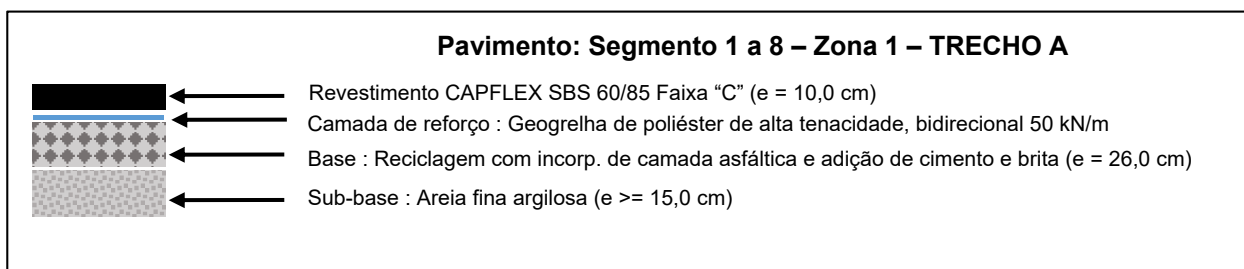
Outro fato considerado foi a heterogeneidade da camada de sub-base existente dos acostamentos e aquela da faixa de rolamento. Os dados revelam que a camada de sub-base foi executada com areias finas argilosas, porém na pista principal registram-se pedregulhos mal graduados assim como na camada de base. Aliado a isto, embora a camada de sub-base possua boa capacidade de suporte, esta apresenta algumas inconformidades principalmente quanto a sua plasticidade.

Diante destes fatos foram considerados dois cuidados adicionais, a saber: implantação de novas sarjetas em segmentos de corte evitando a infiltração de água nos bordos dos acostamentos e reforço de camada de geogrelha flexível de poliéster na área do acostamento existente.

Das simulações realizadas verificou-se que o revestimento asfáltico deve ter espessura mínima de 10,0 cm assim como calculado nos itens v e vi. A espessura da camada de sub-base indicada (areia fina argilosa) foi de 15 cm em função da observação da espessura mínima existente para os segmentos de projeto e a espessura da camada de reciclagem com espuma asfáltica e incorporação do revestimento asfáltico à base com adição de cimento e brita foi de 26 cm. Nota-se, portanto, que a avaliação pelo método do MeDiNa conduziu a uma espessura de base maior do que aquelas calculadas

pelas metodologias anteriormente descritas. Esse acréscimo na espessura da base é o suficiente para garantir adequada vida útil ao pavimento dimensionado, além de permitir a espessura mínima de trabalho para a execução da reciclagem com incorporação do revestimento asfáltico.

Dessa forma, a solução final adotada segue a definição a seguir.



Os cálculos realizados são apresentados a seguir.

Programa MeDiNa v.1.1.3.0 - set/2019

Cópia registrada para Diegles (diegles@gmail.com), da empresa FAPEU.

Dimensionamento do pavimento

Empresa: **FAPEU**

Nome do Projeto: **TERCEIRA FAIXA - SEGMENTO 1 a 8 - ZONA 1 - TRECHO A**

Responsável pelo projeto: **DIEGLES**

Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Tipo de via: **Sistema Arterial Principal**

Nível de confiabilidade: **95%**

Período de projeto: **5 anos**. - **O autor do projeto declara estar ciente do tempo de projeto lançado no programa.**

Análise realizada em **01/12/2020 às 20:05:13** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **6,6%**

>>Atenção: o programa não calcula a Área Trincada proveniente da reflexão de trincas da base estabilizada.

Análise encerrou por haver atingido a espessura mínima da camada.

Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **1,2mm**

ATENÇÃO: O programa MeDiNa é apenas uma ferramenta de cálculo que auxilia o projetista no dimensionamento ou na avaliação de pavimentos, conforme descrito no Guia do Método Mecânico Empírico. O conhecimento das propriedades dos materiais a serem aplicados na estrutura do pavimento, por meio de ensaios de laboratório, assim como o conhecimento detalhado do tráfego são imprescindíveis para a elaboração do projeto. O sucesso do projeto somente será alcançado se as propriedades dos materiais consideradas no dimensionamento sejam aplicadas no campo e verificadas a partir de ensaios geotécnicos com um controle de qualidade rigoroso.

*Portanto, **a responsabilidade pelo projeto é exclusivamente do engenheiro projetista**, que deve entender e avaliar criteriosamente os resultados gerados pelo programa, antes de aprovar o projeto para a execução no campo.*

Estrutura do pavimento

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
1	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO CAPFLEX SBS 60/85	10,0	Resiliente Linear MR = 5000 MPa	0,30
2	BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTC) Reciclagem com esp. asf e incorp. revest.	26,0	Sigmoidal Ei (MPa) = 7000 (1º mês) Ef (MPa) = 6849 (fim período)	0,20
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO Areia fina argilosa	15,0	Resiliente Linear MR = 220 MPa	0,40
4	SUBLEITO Solo areno-argiloso	SL	Resiliente Linear MR = 170 MPa	0,45

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO: CAPFLEX SBS 60/85

Propriedades

Tipo de CAP = Asf. Modificado por polímero
 Aditivo Modificador = SBS
 Massa específica (g/cm³) = 2,4
 Resistência à tração (MPa) = 1,3
 Teor de asfalto (%) = 5,9
 Volume de vazios (%) = 4
 Faixa Granulométrica = C
 Abrasão Los Angeles (%) = 14,32
 Norma ou Especificação = DER/PR ES-P 15/17

Modelos

Ensaio de Fadiga
 -Modelo: $k1 \cdot (et \wedge k2)$
 -Coeficiente de Regressão (k1): $\geq 1,11e-13$
 -Coeficiente de Regressão (k2): $\geq -3,979$
 -Classe de Fadiga: ≥ 1
 -FFM (100μ a 250μ): $\geq 0,86$
 Flow Number Mínimo
 - Condição de Tráfego Normal: ≥ 335 ciclos
 - Condição de Tráfego Severa: ≥ 898 ciclos

2 - BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTC): Reciclagem com esp. asf e incorp. revest.

Propriedades

Descrição do Material = Reciclagem com incorp. asfalto, cimento e brita
 Teor ótimo de cimento = 46
 Resistência à tração (MPa) = 1
 Massa específica (g/cm³) = 2,300
 Umidade Ótima (%) = 6
 Energia Compactação = Modificado
 Norma ou Especificação = DER/PR ES-P 32/05

Modelos

3 - SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO: Areia fina argilosa

Propriedades

Descrição do Material = Solo arenoso fino (sub-base existente)
 Grupo MCT = ...
 MCT - Coeficiente c' = ...
 MCT - Índice e' = ...
 Massa específica (g/cm³) = 1,877
 Umidade Ótima (%) = 13,35
 Energia Compactação = Intermediária
 Norma ou Especificação = DNIT ES 139

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
 Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$
 Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): **0,021**
 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): **-0,086**
 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): **1,37**
 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): **0,116**

4 - SUBLEITO: Solo areno-argiloso

Propriedades

Descrição do Material = Areia fina argilosa
 Grupo MCT = ...
 MCT - Coeficiente c' = ...
 MCT - Índice e' = ...
 Massa específica (g/cm³) = 1,789
 Umidade Ótima (%) = 14,59
 Energia Compactação = Normal
 Norma ou Especificação = DER/PR ES-P 01/05

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
 Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$
 Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): **0,097**
 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): **-1,6**
 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): **1,9**
 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): **0,063**

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **466**

Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **16,26**

Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **2,77e+06**

% Veículos na faixa de projeto: **100%**

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **2,77e+06**

Taxa de crescimento do tráfego: **3,1%**

Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **1,47e+07**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Eixo Simples	100%	6,00	0,278	0,278
2	Eixo Simples	4%	6,00	0,278	0,012
3	Eixo simples de roda dupla	91%	10,00	3,289	2,980
4	Dois eixos duplos em tandem	100%	17,00	8,549	8,549
5	Dois eixos duplos em tandem	22%	17,00	8,549	1,910
6	Três eixos duplos em tandem	27%	25,50	9,300	2,528

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	2,272e+05	1,28%	0,9
6	1,372e+06	2,37%	1,1
12	2,765e+06	3,07%	1,1
18	4,180e+06	3,62%	1,1
24	5,616e+06	4,11%	1,2
30	7,074e+06	4,58%	1,2
36	8,555e+06	5,01%	1,2
42	1,006e+07	5,42%	1,2
48	1,159e+07	5,82%	1,2
54	1,314e+07	6,22%	1,2
60	1,471e+07	6,63%	1,2

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO	0,00
2	BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTC)	0,00
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	0,07
4	SUBLEITO	1,18
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		1,2

Controle por Deflexões

As bacias foram calculadas considerando as camadas aderidas e um fator de segurança, após avaliados dados de campo comparativos entre FWD e Viga Benkelman. Os resultados apresentados estão a favor do dimensionamento.

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO - CAPFLEX SBS 60/85

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	22	21	20	19	18	15	13	11	9
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	11	10	9	8	8	6	5	4	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTC) - Reciclagem com esp. asf e incorp. revest.

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	27	25	24	21	19	16	13	10	9
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	14	12	11	10	9	7	5	4	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO - Areia fina argilosa

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	68	42	32	24	19	14	11	9	8
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	66	29	19	12	9	6	4	3	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - Solo areno-argiloso

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	67	41	31	23	19	14	11	9	9
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	70	28	18	12	9	6	4	3	3

viii. Especificações e critérios

A seguir são apresentadas as especificações dos serviços e critérios de liberação de camadas do pavimento semi-rígido.

- Para a camada de revestimento betuminoso devem ser garantidas as seguintes especificações:
 - Concreto asfáltico modificado por polímero Faixa “C” – CAPFLEX SBS 60/85 (DER-PR ES-P 15/17);
 - Controle deflectométrico: $\leq 22 \times 10^{-2}$ (Viga Benkelman) e $\leq 11 \times 10^{-2}$ (FWD).
- Para a camada de reforço devem ser garantidas as seguintes especificações:
 - Geogrelha de reforço de camadas asfálticas constituída por poliéster de alta tenacidade, impregnada com revestimento betuminoso, combinada a não-tecido com resistência bidirecional de 50 kN/m e deformação máxima de 12%, MacGrid® AR 5G.2 ou similar (DER-SP ET-DE-P00/043).
- Para a camada de Reciclagem com espuma asfáltica e incorporação do revestimento asfáltico à base com adição de cimento e brita devem ser garantidas as seguintes especificações:
 - Mistura de camada asfáltica (≈ 15 cm), base de pedregulho mal graduado (≈ 10 cm), espuma asfáltica, cimento e brita (DER-PR ES-P 32/05);
 - Consumo mínimo de CAP 50/70 = 44 kg/m³ (tolerância máxima +15%);
 - Consumo mínimo de cimento = 46 kg/m³ (tolerância máxima +10%);
 - Consumo mínimo de brita graduada = 0,130 m³/m³ ou 196 kg/m³;
 - Energia de compactação: Proctor Modificado;
 - Controle deflectométrico: $\leq 27 \times 10^{-2}$ (Viga Benkelman) e $\leq 14 \times 10^{-2}$ (FWD).

As camadas de sub-base e subleito não serão objeto de controle deflectométrico em função da metodologia de execução da camada de base reciclada com reaproveitamento das camadas de asfalto e parte da camada de base existente com adição de brita e cimento.

A expectativa de espessura média do revestimento asfáltico é da ordem de 15 cm, o que significa que será reaproveitado cerca de 10 cm da camada de base de pedregulho mal graduado. A adição de brita visa a correção granular da mistura (a mistura reciclada deve atender a Faixa I ou II da norma DER-PR ES-P 32/05) e do desnível existente nos acostamentos.

No item 4.3.5.4 foi apresentada a simulação da composição granulométrica obtida a partir das estimativas de espessura de concreto asfáltico e brita, considerando as variações granulométricas possíveis e a adição de cimento e emulsão asfáltica.

Na execução da camada da base reciclada deve ser garantida a espessura compactada definida em projeto. Em função da compactação da nova estrutura poderá haver variação da cota do greide da pista existente. Aliado a isto, em função do acréscimo de espessura obtido pela adição da nova camada de asfalto haverá elevação do greide de 10 cm. Entretanto, na região de transição deverá ser garantida a continuidade com o greide existente. Para isso, será necessário o rebaixo da camada de base reciclada na zona de transição (início ou fim do projeto e taper) que possua extensão não inferior a 30 m (variação inferior a 1%, 1 cm por metro).

4.3.5.3 Segmento 9 a 16 – Zona 1 – TRECHO B (km 253,42 ao km 327,30)

a) Descrição da solução adotada

Solução do Pavimento SEGMENTO 9 a 16 – Implantação de Pavimento semi-rígido CAPFLEX SBS 60/85 FAIXA C (10,0 cm) + Reciclagem com espuma asfáltica e incorporação do revestimento asfáltico à base com adição de cimento e brita (26,0 cm). Esta solução é aplicada aos segmentos de projeto da Zona de Tráfego 1 – TRECHO B observada às características do pavimento existente.

Tabela 4.3.13 – Solução de projeto do Segmento 9 a 16 – Zona 1 – TRECHO B.

CAMADA	ESPESSURA (cm)
Concreto asfáltico modificado por polímero CAPFLEX SBS 60/85 Faixa “C”	10
Reciclagem com espuma asfáltica e incorporação do revestimento asfáltico à base com adição de cimento e brita	26
Sub-base de brita mal graduada existente	≥ 15
Subleito existente (ISCp = 11,6%)	-

b) Memória justificativa do dimensionamento

Para o dimensionamento da estrutura do pavimento foi realizada análise preliminar de reforço do pavimento e pavimentação de terceira faixa, porém observadas as características das camadas de base existentes notou-se mais indicada a reciclagem da base e incorporação do revestimento asfáltico com incorporação de cimento e brita. Maiores informações são descritas no item 4.3.3.3 – Causas da deterioração.

A partir desta avaliação seguiu-se o cálculo pelo Método de Projetos de Pavimentos Flexíveis de autoria do Eng^o. Murilo Lopes de Souza previsto no Manual de Pavimentação - IPR 726/2006, conforme a seguir. Posteriormente, foram realizadas análises pelo método da resiliência simplificado proposto pelo Eng^o Ernesto Preussler e Eng^o Salomão Pinto e método mecanístico-empírico MeDiNa.

De forma colaborativa ao dimensionamento do pavimento, foi procedida a avaliação do reforço do pavimento analisando-se os resultados de deflexão de projeto e deflexão admissível aplicando-se o previsto na norma DNER-PRO 011/79.

i. Número “N”

Para a determinação do número “N” de solicitações equivalentes às do eixo padrão rodoviário de 8,2 tf, foram pesquisadas as projeções de tráfego e o carregamento da frota no segmento, conforme elementos disponibilizados no item 3.3 – Estudos de tráfego, capacidade e segurança. O valor adotado no estudo de tráfego é de: “N” = 1,47 x 10⁷.

ii. Verificação do reforço do pavimento

Este item foi elaborado de forma a colaborar na avaliação da estrutura do pavimento existente e compatibilização dos resultados de reforço e implantação de nova estrutura indicada para o projeto.

A aplicação simples de camada asfáltica de reforço não foi indicada em função da observação das causas de deterioração do pavimento da pista existente observadas no item 4.3.3.3, que estão relacionadas a restrição da capacidade de suporte da base existente, dificuldades de pavimentação de larguras restritas em áreas de acostamento com possibilidade de falhas na compactação, reflexão de trincas devido ao alto grau de degradação das camadas inferiores do revestimento asfáltico existente, dentre outras.

A Tabela 4.3.14 apresentada a seguir revela as espessuras de reforço necessárias para atender o tráfego previsto em função das características da estrutura do pavimento existente. Percebe-se que a espessura mínima recomendada para os segmentos da Zona de Tráfego 1 – Trecho B é de 1,1 cm e a espessura máxima de 1,5 cm.

Outro fator advindo da possibilidade de aplicação de reforço da pista existente é o acréscimo do degrau entre o acostamento e a pista existente. Nota-se pela vistoria de campo desníveis de até 13 cm para a zona de tráfego 1. Isso obrigaria a pavimentação de camada espessa na área de implantação de terceira faixa sobre o acostamento. Mais uma vez seriam acentuados os problemas de compactação em área confinada.

Dessa forma, os resultados expressos na tabela a seguir foram utilizados apenas para validação das análises que se sucedem, não sendo indicado reforço do pavimento e sim a reciclagem com incorporação do revestimento asfáltico e nova camada asfáltica, conforme será apresentado a seguir.

Tabela 4.3.14 – Verificação de reforço de pavimento.

QUADRO DE VERIFICAÇÃO DE REFORÇO DE PAVIMENTO																				
																				
CLIENTE: DER-PR																				
OBRA: RODOVIA PR-092																				
TRECHO: AC. IV JAGUARIÁVA - ENTR. BR-163 (A)																				
ZONA DE TRÁFEGO: 1																				
SEGMENTOS HOMOGÊNEOS				PARAMETROS FUNCIONAIS E ESTRUTURAIS																
Nº	km inicial	km final	Extensão (m)	Dp Viga (0,01 mm²)	Rc	ATR LE (mm)	ATR LD (mm)	IRI (m/km)	IES	he - CBUC (cm)	Hcg (cm)	CBR Base Exst. (%)	CBR Subleito Exst. (%)	Np	D _{adm} (0,01 mm)	Hcb	Critério	HI - RECONSTRUÇÃO	DIMENSIONAMENTO	solução
TRECHO: B																				
REFORÇO PRO-117/9																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H20																				
H2																				

iii. Capacidade de suporte do subleito

O ISC do subleito foi definido conforme item 3.5 – Estudos Geotécnicos, a partir de poços de inspeção amostrais dos segmentos de projeto tendo sido definido o ISC característico de projeto no valor de 11,6%. O subleito é composto por variações de areias finas argilosas vermelhas, areias argilosas vermelhas e argila arenosa, sendo a primeira de forma preponderante.

iv. Concepção das camadas, coeficientes de equivalência estrutural e módulo de resiliência

Previamente à execução do dimensionamento, foram definidos os materiais disponíveis para emprego nas camadas do pavimento e estipuladas as suas características técnicas em função das práticas observadas e previstas no Manual de Pavimentação IPR 726/2006, IP-DE-P00/001 do DER/SP e na base de dados do software MeDiNa.

Tabela 4.3.15 – Concepção das camadas – características técnicas.

CAMADA	TIPO	COEFICIENTE ESTRUTURAL	MÓDULO DE RESILIÊNCIA (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
Revestimento em CAPFLEX SBS 60/85	Concreto betuminoso	2,00	5.000	0,30
Base com reciclagem e incorporação de asfalto	Cimentícia	1,40	7.000 (sigmoidal)	0,20
Base de brita mal graduada	Material granular	1,00	250	0,35
Subleito areno-argiloso laterítico	Solos finos	-	170	0,45

v. Dimensionamento pelo método do Engº Murilo Lopes

1 – DETERMINAÇÃO DAS CAMADAS H_n e H_{20}

A determinação da H_n (espessura total do pavimento) e H_{20} (espessura do pavimento sobre a sub-base) pode ser obtida diretamente pela aplicação da seguinte equação:

$$H = 77,67N^{0,0482} \times ISC^{-0,598}$$

Da qual se obtém para ISC projeto = 11,6% e “N” = $1,47 \times 10^7$

H_n – Espessura total de pavimento necessário para proteger um material com ISC = n:

$H_n = 39,7$ cm

H_{20} – Espessura de camada do pavimento necessária para proteger a sub-base

$H_{20} = 28,7 \text{ cm}$

2 – ESPESSURA DO REVESTIMENTO – (R)

A espessura do revestimento é determinada com base na tabela a seguir, compilado do Manual de Pavimentação do DNIT/2006.

Tabela 4.3.16 – Espessura mínima de revestimento betuminoso.

N	Espessura Mínima de Revestimento
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 \leq N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5 cm de espessura
$5 \times 10^6 \leq N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 \leq N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N \geq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Dessa forma, adotou-se a espessura mínima do revestimento (R) para o trecho considerando $N = 1,47 \times 10^7$, segundo a metodologia do Engenheiro Murilo Lopes de Souza, de 10,0 cm de CBUQ.

3 – ESPESSURA DA BASE – (B)

A espessura da base foi determinada através da resolução da seguinte inequação:

$$R_{CBUQ} \times K_{CBUQ} + B \times K_B \geq H_{20}$$

$$(10,0 \times 2,0) + (B \times 1,4) \geq 28,7 \Rightarrow B \geq 6,2 \therefore$$

Desta forma, adotou-se $B = 15 \text{ cm}$, garantindo assim a camada de proteção da sub-base com espessura suficiente ao suporte das tensões sujeitas ao pavimento em função das solicitações do tráfego com o revestimento de CBUQ com 10,0 cm de espessura.

4 – ESPESSURA DA SUB-BASE – (SB)

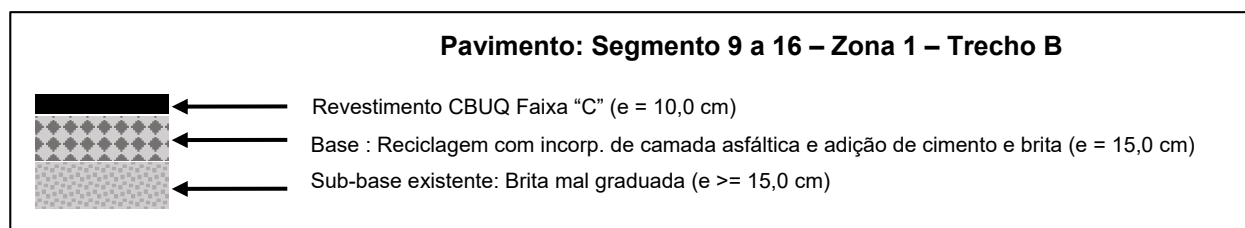
$$R_{CBUQ} \times K_{CBUQ} + B \times K_B + SB \times K_{SB} \geq H_n$$

$$(10,0 \times 2,0) + (15,0 \times 1,4) + (SB \times 1,0) \geq 39,7 \Rightarrow SB \geq 0,0 \therefore$$

Nota-se que a base indicada já se mostra suficiente como camada de proteção do subleito com espessura suficiente ao suporte das tensões sujeitas ao pavimento em função das solicitações do tráfego com o revestimento de CBUQ com 10,0 cm de espessura. Entretanto, foi considerada a espessura mínima identificada para a sub-base existente.

5 – SOLUÇÃO RECOMENDADA

Portanto, a solução recomendada pelo método de dimensionamento supracitado teria a seguinte estrutura:



A solução verificada acima apresenta a espessura mínima indicada para execução de nova camada de base com aproveitamento da sub-base existente, porém em se tratando de reciclagem com espuma asfáltica e incorporação do revestimento asfáltico à base com adição de cimento e brita deve-se garantir que a espessura mínima de trabalho seja superior a espessura do revestimento betuminoso existente considerando a eliminação do efeito de reflexão de trincas pelo envelhecimento/degradação da camada asfáltica existente.

A seguir serão apresentadas as demais metodologias para obtenção da solução de projeto adotada.

vi. Dimensionamento pelo Método da Resiliência Simplificado

1 – NÚMERO EQUIVALENTE DE OPERAÇÕES DO EIXO PADRÃO DE 8,2 tf

$$“N” = 1,47 \times 10^7$$

2 – VALOR DO CBR DO SUBLEITO DE PROJETO

$$CBR = 11,6\%$$

3 – CLASSIFICAÇÃO DO SOLO DO SUBLEITO QUANTO A RESILIÊNCIA

A classificação do solo quanto a resiliência é feita utilizando o critério recomendado no método mencionado onde os solos são divididos em três grupos: I, II ou III, em função da combinação do valor de CBR e da percentagem de silte presente na fração fina do solo do subleito, conforme a tabela transcrita a seguir.

Tabela 4.3.17 – Percentual de silte na fração que passa na peneira 200.

CBR (%)	S (%)		
	<= 35	35 a 65	> 65
>= 10	I	II	III
6 a 9	II	II	III
2 a 5	II	III	III

Onde CBR(%) é o ISC característico de projeto do subleito e S(%) é a proporção de silte presente na fração fina do solo do subleito. Pelos resultados dos ensaios determinou-se o CBR = 11,6%. Já o percentual de silte foi estimado em inferior a 35% em função da análise tátil visual resultando em uma classificação quanto a resiliência em Solo tipo I.

5 – CÁLCULO DA DEFLEXÃO PREVISTA NA SUPERFÍCIE DO REVESTIMENTO (Dp) PARA “N”= 1,47 x 10⁷:

$$\text{Log } D_p = 3,148 - 0,188 \log N \Rightarrow D_p = 10^{3,148 - 0,188 \log N} \Rightarrow D_p = 63,17 \text{ (0,01mm)}$$

6 – CÁLCULO DA ESPESSURA MÍNIMA DO REVESTIMENTO BETUMINOSO:

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

Onde I_1 e I_2 são constantes relacionadas às características resilientes do subleito. Para o caso de material do tipo I são utilizados os valores descritos abaixo.

$$I_1 = 0 \quad \text{e} \quad I_2 = 0$$

$$H_{CB} = -5,737 + \frac{807,961}{63,17} \Rightarrow H_{CB} = 7,1 \text{ cm}$$

Assim a espessura de 10,0 cm de CBUQ adotada no item v atende a espessura mínima recomendada por este método de dimensionamento.

7 – VALOR ESTRUTURAL DO REVESTIMENTO BETUMINOSO (CBUQ):

A seguir é apresentada a tabela de cálculo do coeficiente estrutural do revestimento betuminoso (VE) em função das características elásticas do sistema estrutural do pavimento.

Tabela 4.3.18 – Coeficiente estrutural para camadas betuminosas.

Tipo de Subleito	“N”				
	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8
I	4,0	4,0	3,4	2,8	2,8
II	3,0	3,0	3,0	2,8	2,8
III	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Considerando o tipo do material do subleito e interpolando os valores de “N” = $1,47 \times 10^7$, tem-se $VE = 2,80$.

8 – ESPESSURA DE CAMADA GRANULAR:

$$H_{CB} \times VE + H_{CG} = H_t \Rightarrow 10,0 \times 2,8 + H_{CG} = 39,7 \Rightarrow H_{CG} = 11,7 \text{ cm}$$

9 – ESPESSURA DA CAMADA DE BASE:

$$H_B + H_{SB} \geq H_{CG} \geq 11,7 \text{ cm}$$

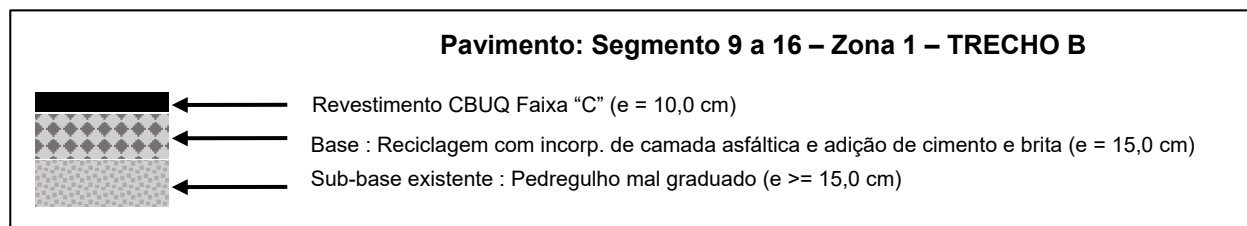
Considerando espessura mínima recomendada para base de 15,0 cm, percebe-se na inequação a não necessidade de indicação de sub-base, porém considera-se a espessura mínima da sub-base existente = 15 cm.

$$H_B = 15,0 \text{ cm} \therefore H_{SB} \text{ mín existente} = 15 \text{ cm}$$

Assim a espessura de 15,0 cm de base adotada no item iv atende o mínimo sugerido pela metodologia citada acima.

10 – SOLUÇÃO RECOMENDADA

Portanto, a solução recomendada pelo método de dimensionamento supracitado teria a seguinte estrutura:



A solução verificada acima apresenta a espessura mínima indicada para execução de novas camadas de base e sub-base, porém em se tratando de reciclagem com espuma asfáltica e incorporação do revestimento asfáltico à base com adição de cimento e brita deve-se garantir que a espessura mínima de trabalho seja superior a espessura do revestimento betuminoso existente considerando a eliminação do efeito de reflexão de trincas pelo envelhecimento/degradação da camada asfáltica existente.

Portanto, para a definição da solução de projeto que será adotada foi considerada a análise pelo Método Mecanístico que será apresentado a seguir. Nele, foram consideradas as espessuras mínimas de trabalho para reciclagem com incorporação do revestimento betuminoso e o comportamento dos diferentes tipos de materiais na estrutura do pavimento.

vii. Dimensionamento pelo Método Mecanístico (MeDiNa)

O dimensionamento pelo Método Mecanístico-Empírico foi desenvolvido a partir das definições do Guia para Utilização de Método Mecanístico-Empírico do DNIT referente ao Projeto DNIT TED nº 682/2014 utilizando-se o software MeDiNa.

As premissas iniciais foram definidas a partir dos dados geotécnicos definidos na Tabela 4.3.15. A definição do pavimento é realizada por tentativa definindo-se como partida os resultados observados no item v e vi. Os resultados do dimensionamento são apresentados a seguir.

Os dados de tráfego utilizados para evolução e definição do número N ao longo da vida útil do pavimento foram baseados naqueles apresentados no item 3.3 – Estudos de Tráfego, Capacidade e Segurança e a vida útil definida como 5 anos para a implantação do pavimento betuminoso.

O sistema computacional do software MeDiNa baseia-se na solução de problemas de elasticidade linear em sistemas de multicamadas e contínuos considerando os materiais elásticos lineares, isotrópicos e homogêneos, a lei de Hooke é válida e o módulo de compressão é semelhante ao de tração, as camadas são ilimitadas na direção horizontal, todas as camadas possuem espessura finita, a exceção da camada inferior que é considerada semi-infinita, a superfície da camada superior não está sujeita a tensões fora da área carregada ocorrendo apenas tensões normais, a carga aplicada é considerada elástica e uniformemente distribuída em toda área circular de contato, a grandes profundidades as tensões e deformações são nulas e as condições de aderência na interface das camadas podem variar de totalmente aderida para lisa ou sem aderência.

A solução final adotada levou em consideração os resultados dos métodos acima expostos e as simulações da estrutura no programa MeDiNa resultando em maior confiabilidade ao projeto da estrutura do pavimento. De fato, as metodologias anteriormente descritas não levam em consideração a rigidez, ou seja, o módulo de resiliência do material no comportamento da estrutura do pavimento projetado.

Observou-se nas simulações, em função do elevado tráfego previsto para o período de projeto, a necessidade de indicação de bases cimentadas (reciclagem com adição de cimento e espuma asfáltica) e concretos asfálticos de alto módulo de resiliência.

Com isso, visando adequar as propriedades da mistura betuminosa às premissas de projeto foi indicado o uso de concreto asfáltico modificado por polímero CAPFLEX SBS 60/85. Essa alteração traz consigo algumas vantagens que é módulo de resiliência superior ao da mistura asfáltica produzida com CAP 50/70 (sem polímero), ponto de amolecimento maior (60° C para SBS 60/85 contra 46° C para CAP 50/70, maior viscosidade e maior recuperação elástica quanto comparado ao CAP 50/70.

Com a adoção da reciclagem para execução de uma nova camada de base e a definição da solução de pavimento semi-rígido foram necessários cuidados adicionais. A técnica de reciclagem utilizada foi aquela com utilização de espuma asfáltica e adição de cimento. A consorciação da espuma asfáltica com cimento contribui para a obtenção de bases com alto módulo sem o uso de teores elevados de cimento ($\geq 4\%$).

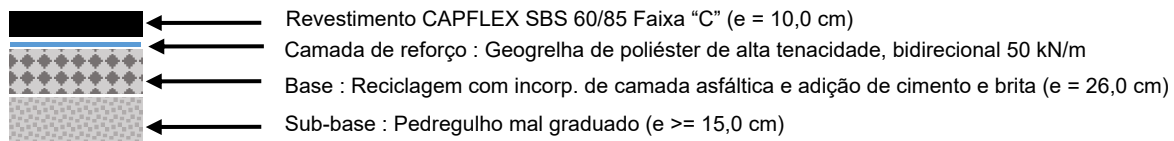
Para evitar a eventual abertura de fissura de retração da base foi indicada a aplicação de pintura impermeabilizante com emulsão asfáltica, que permite a cura adequada da camada cimentícia.

Destaca-se que o tráfego pesado em baixas velocidades em terceiras faixas pode causar eventuais defeitos de trilhas de rodas reduzindo a vida útil dos pavimentos. Dessa forma, foi indicada a execução de camada de geogrelha flexível de poliéster de alta tenacidade com manta não tecida em forma de grelha (40x40) mm, bidirecional com resistência de 50 kN/m nas faixas lentas para aumentar a resistência a fluência evitando o aparecimento destes defeitos no pavimento.

Das simulações realizadas verificou-se que o revestimento asfáltico deve ter espessura mínima de 10,0 cm assim como calculado nos itens v e vi. A espessura da camada de sub-base indicada (areia fina argilosa) foi de 15 cm em função da observação da espessura mínima existente para os segmentos de projeto e a espessura da camada de reciclagem com espuma asfáltica e incorporação do revestimento asfáltico à base com adição de cimento e brita foi de 26 cm. Nota-se, portanto, que a avaliação pelo método do MeDiNa conduziu a uma espessura de base maior do que aquelas calculadas pelas metodologias anteriormente descritas. Esse acréscimo na espessura da base é o suficiente para garantir adequada vida útil ao pavimento dimensionado, além de permitir a espessura mínima de trabalho para a execução da reciclagem com incorporação do revestimento asfáltico.

Dessa forma, a solução final adotada segue a definição a seguir.

Pavimento: Segmento 9 a 16 – Zona 1 – TRECHO B



Os cálculos realizados são apresentados a seguir.

Programa MeDiNa v.1.1.3.0 - set/2019

Cópia registrada para Diegles (diegles@gmail.com), da empresa FAPEU.

Dimensionamento do pavimento

Empresa: **FAPEU**

Nome do Projeto: **TERCEIRA FAIXA - SEGMENTO 9 a 16 - ZONA 1 - TRECHO B**

Responsável pelo projeto: **DIEGLES**

Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Tipo de via: **Sistema Arterial Principal**

Nível de confiabilidade: **95%**

Período de projeto: **5 anos**. - **O autor do projeto declara estar ciente do tempo de projeto lançado no programa.**

Análise realizada em **02/12/2020 às 09:48:58** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **6,6%**

>>Atenção: o programa não calcula a Área Trincada proveniente da reflexão de trincas da base estabilizada.

Análise encerrou por haver atingido a espessura mínima da camada.

Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **1,6mm**

ATENÇÃO: O programa MeDiNa é apenas uma ferramenta de cálculo que auxilia o projetista no dimensionamento ou na avaliação de pavimentos, conforme descrito no Guia do Método Mecânico Empírico. O conhecimento das propriedades dos materiais a serem aplicados na estrutura do pavimento, por meio de ensaios de laboratório, assim como o conhecimento detalhado do tráfego são imprescindíveis para a elaboração do projeto. O sucesso do projeto somente será alcançado se as propriedades dos materiais consideradas no dimensionamento sejam aplicadas no campo e verificadas a partir de ensaios geotécnicos com um controle de qualidade rigoroso.

*Portanto, **a responsabilidade pelo projeto é exclusivamente do engenheiro projetista**, que deve entender e avaliar criteriosamente os resultados gerados pelo programa, antes de aprovar o projeto para a execução no campo.*

Estrutura do pavimento

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
1	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO CAPFLEX SBS 60/85	10,0	Resiliente Linear MR = 5000 MPa	0,30
2	BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTC) Reciclagem com esp. asf e incorp. revest.	26,0	Sigmoidal Ei (MPa) = 7000 (1º mês) Ef (MPa) = 6852 (fim período)	0,20
3	MATERIAL GRANULAR Brita mal graduada	15,0	Resiliente Linear MR = 250 MPa	0,35
4	SUBLEITO Solo areno-argiloso	SL	Resiliente Linear MR = 170 MPa	0,45

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO: CAPFLEX SBS 60/85

Propriedades	Modelos
Tipo de CAP = Asf. Modificado por polímero	Ensaio de Fadiga
Aditivo Modificador = SBS	-Modelo: $k1 \cdot (et \wedge k2)$
Massa específica (g/cm³) = 2,4	-Coeficiente de Regressão (k1): $\geq 1,11e-13$
Resistência à tração (MPa) = 1,3	-Coeficiente de Regressão (k2): $\geq -3,979$
Teor de asfalto (%) = 5,9	-Classe de Fadiga: ≥ 1
Volume de vazios (%) = 4	-FFM (100μ a 250μ): $\geq 0,86$
Faixa Granulométrica = C	Flow Number Mínimo
Abrasão Los Angeles (%) = 14,32	- Condição de Tráfego Normal: ≥ 335 ciclos
Norma ou Especificação = DER/PR ES-P 15/17	- Condição de Tráfego Severa: ≥ 898 ciclos

2 - BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTC): Reciclagem com esp. asf e incorp. revest.

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Reciclagem com incorp. asfalto, cimento e brita	
Teor ótimo de cimento = 46	
Resistência à tração (MPa) = 1	
Massa específica (g/cm³) = 2,300	
Umidade Ótima (%) = 6	
Energia Compactação = Modificado	
Norma ou Especificação = DER/PR ES-P 32/05	

3 - MATERIAL GRANULAR: Brita mal graduada

Propriedades	Modelos
Norma ou Especificação = DER/PR ES-P 05/18	Ensaio de Deformação Permanente
Faixa Granulométrica = FF	Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$
Abrasão Los Angeles (%) = 40	Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,1010
Energia Compactação = Intermediário	Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,1825
Umidade Ótima (%) = 4,85	Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 0,9091
Massa específica (g/cm³) = 2,114	Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,0753
Descrição do Material = Brita mal graduada (sub-base existente)	

4 - SUBLEITO: Solo areno-argiloso

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Areia fina argilosa	Ensaio de Deformação Permanente
Grupo MCT = ...	Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$
MCT - Coeficiente $c' = ...$	Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,097
MCT - Índice $e' = ...$	Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): -1,6
Massa específica (g/cm³) = 1,789	Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 1,9
Umidade Ótima (%) = 14,59	Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,063
Energia Compactação = Normal	
Norma ou Especificação = DER/PR ES-P 01/05	

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **466**

Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **16,26**

Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **2,77e+06**

% Veículos na faixa de projeto: **100%**

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **2,77e+06**

Taxa de crescimento do tráfego: **3,1%**

Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **1,47e+07**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Eixo Simples	100%	6,00	0,278	0,278
2	Eixo Simples	4%	6,00	0,278	0,012
3	Eixo simples de roda dupla	91%	10,00	3,289	2,980
4	Dois eixos duplos em tandem	100%	17,00	8,549	8,549
5	Dois eixos duplos em tandem	22%	17,00	8,549	1,910
6	Três eixos duplos em tandem	27%	25,50	9,300	2,528

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	2,272e+05	1,27%	1,2
6	1,372e+06	2,37%	1,3
12	2,765e+06	3,07%	1,4
18	4,180e+06	3,62%	1,4
24	5,616e+06	4,10%	1,5
30	7,074e+06	4,57%	1,5
36	8,555e+06	5,00%	1,5
42	1,006e+07	5,41%	1,5
48	1,159e+07	5,81%	1,5
54	1,314e+07	6,21%	1,6
60	1,471e+07	6,61%	1,6

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO	0,00
2	BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTC)	0,00
3	MATERIAL GRANULAR	0,41
4	SUBLEITO	1,16
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		1,6

Controle por Deflexões

As bacias foram calculadas considerando as camadas aderidas e um fator de segurança, após avaliados dados de campo comparativos entre FWD e Viga Benkelman. Os resultados apresentados estão a favor do dimensionamento.

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO - CAPFLEX SBS 60/85

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	22	21	20	19	18	15	13	11	9
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	11	10	9	8	7	6	5	4	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTC) - Reciclagem com esp. asf e incorp. revest.

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	27	25	24	21	19	16	13	10	9
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	14	12	11	10	9	7	5	4	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita mal graduada

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	69	43	33	24	19	14	11	9	8
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	65	29	19	12	9	6	4	3	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - Solo areno-argiloso

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	67	41	31	23	19	14	11	9	9
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	70	28	18	12	9	6	4	3	3

viii. Especificações e critérios

A seguir são apresentadas as especificações dos serviços e critérios de liberação de camadas do pavimento semi-rígido.

- Para a camada de revestimento betuminoso devem ser garantidas as seguintes especificações:
 - Concreto asfáltico modificado por polímero Faixa “C” – CAPFLEX SBS 60/85 (DER-PR ES-P 15/17);
 - Controle defletoométrico: $\leq 22 \times 10^{-2}$ (Viga Benkelman) e $\leq 11 \times 10^{-2}$ (FWD).
- Para a camada de reforço devem ser garantidas as seguintes especificações:
 - Geogrelha de reforço de camadas asfálticas constituída por poliéster de alta tenacidade, impregnada com revestimento betuminoso, combinada a não-tecido com resistência bidirecional de 50 kN/m e deformação máxima de 12%, MacGrid® AR 5G.2 ou similar (DER-SP ET-DE-P00/043).
- Para a camada de Reciclagem com espuma asfáltica e incorporação do revestimento asfáltico à base com adição de cimento e brita devem ser garantidas as seguintes especificações:
 - Mistura de camada asfáltica (≈ 15 cm), base de pedregulho mal graduado (≈ 10 cm), espuma asfáltica, cimento e brita (DER-PR ES-P 32/05);
 - Consumo mínimo de CAP 50/70 = 44 kg/m³ (tolerância máxima +15%);
 - Consumo mínimo de cimento = 46 kg/m³ (tolerância máxima +10%);
 - Consumo mínimo de brita graduada = 0,130 m³/m³ ou 196 kg/m³;
 - Energia de compactação: Proctor Modificado;
 - Controle defletoométrico: $\leq 27 \times 10^{-2}$ (Viga Benkelman) e $\leq 14 \times 10^{-2}$ (FWD).

As camadas de sub-base e subleito não serão objeto de controle defletoométrico em função da metodologia de execução da camada de base reciclada com reaproveitamento das camadas de asfalto e parte da camada de base existente com adição de brita e cimento.

A expectativa de espessura média do revestimento asfáltico é da ordem de 15 cm, o que significa que será reaproveitado cerca de 10 cm da camada de base de pedregulho mal graduado. A adição de brita visa a correção granular da mistura (a mistura reciclada deve atender a Faixa I ou II da norma DER-PR ES-P 32/05) e do desnível existente nos acostamentos.

No item 4.3.5.4 foi apresentada a simulação da composição granulométrica obtida a partir das estimativas de espessura de concreto asfáltico e brita, considerando as variações granulométricas possíveis e a adição de cimento e emulsão asfáltica.

Na execução da camada da base reciclada deve ser garantida a espessura compactada definida em projeto. Em função da compactação da nova estrutura poderá haver variação da cota do greide da pista existente. Aliado a isto, em função do acréscimo de espessura obtido pela adição da nova camada de asfalto haverá elevação do greide de 10 cm. Entretanto, na região de transição deverá ser garantida a continuidade com o greide existente. Para isso, será necessário o rebaixo da camada de base reciclada na zona de transição (início ou fim do projeto e taper) que possua extensão não inferior a 30 m (variação inferior a 1%, 1 cm por metro).

4.3.5.4 Composição granulométrica da base reciclada

Este item traz uma abordagem relativa a variabilidade da faixa granulométrica da mistura obtida pela reciclagem com incorporação do asfalto existente, espuma asfáltica e cimento com adição de brita.

Primeiramente, destaca-se que a técnica indicada apresenta vantagens como a redução de gastos com transporte de materiais, a redução de geração de resíduos de construção, a redução de exploração de materiais nobres (pedreiras), além de permitir a obtenção de camadas com alto módulo de resiliência. Outro fator relevante é a capacidade de homogeneização das recicladoras que é capaz de revolver todo o material envolvido na mistura, de forma a se obter misturas adequadas para a camada de pavimento proposta.

Para tanto, torna-se importante estabelecer a espessura mínima de reciclagem garantindo que todo o material residual da camada asfáltica seja misturado com a camada de base existente, cimento, espuma asfáltica e brita de forma a se obter granulometria dentro das faixas I ou II especificadas pela norma DER/PR ES-P 32/05, admitidas as tolerâncias da norma.

Em visita as regionais na área de abrangência da PR-092 foram coletadas informações sobre os recapeamentos, as restaurações e as pavimentações realizadas na rodovia. Foi consenso de que a espessura máxima representativa de asfalto seria da ordem de 22 cm. Isso conduziu a definição de uma espessura mínima de reciclagem de 26 cm relacionada ao método executivo e as premissas do dimensionamento em função das camadas do pavimento existente.

Entretanto, considerando a possibilidade de variações localizadas foram avaliadas hipóteses de variação de espessura e composição granulométrica teórica, sendo simuladas espessuras de 9, 15 e 25 cm de CBUQ existente e taxa de brita não inferior a 8,5%, em peso, considerando a correção granulométrica proposta e a complementação de volume necessária para corrigir os desníveis existentes nos acostamentos.

As Tabelas 4.3.19 a 4.3.21 mostram as variações da faixa granulométrica da mistura reciclada considerando as simulações propostas. Nota-se que o percentual de

brita e materiais finos (cimento e CAP) foram mantidos constantes como previsto no projeto.

As faixas granulométricas indicadas foram àquelas apresentadas pela Brita 1 da pedreira Dellai indicada para o projeto, faixa granulométrica de materiais finos e faixa granulométrica teórica para material asfáltico demolido pela recicladora. Observa-se que as variações de granulometria esperadas em campo para as espessuras consideradas podem ser enquadradas nas faixas granulométricas I ou II do DER-PR consideradas as tolerâncias admissíveis.

Isso significa que admitindo-se a previsão de espessuras da ordem de 15 cm de CBUQ o resultado da mistura de materiais proposta estará perfeitamente adequada as especificações da norma de base reciclada. Ainda assim, considerando espessuras pontuais de até 25 cm e as propostas de adição de materiais não haverá necessidade de fresagem do CBUQ e a faixa obtida atenderá as especificações do DER-PR.

Em função da base existente ser composta por solos finos há de se garantir um teor de finos (cimento + espuma asfáltica) não inferior a 3,9%. Percebe-se que os casos previstos apresentam enquadramento da mistura reciclada nas Faixas I e II.

Tabela 4.3.19 – Composição granulométrica proposta (espessura de 9 cm de CBUQ / Reciclagem de 26 cm).

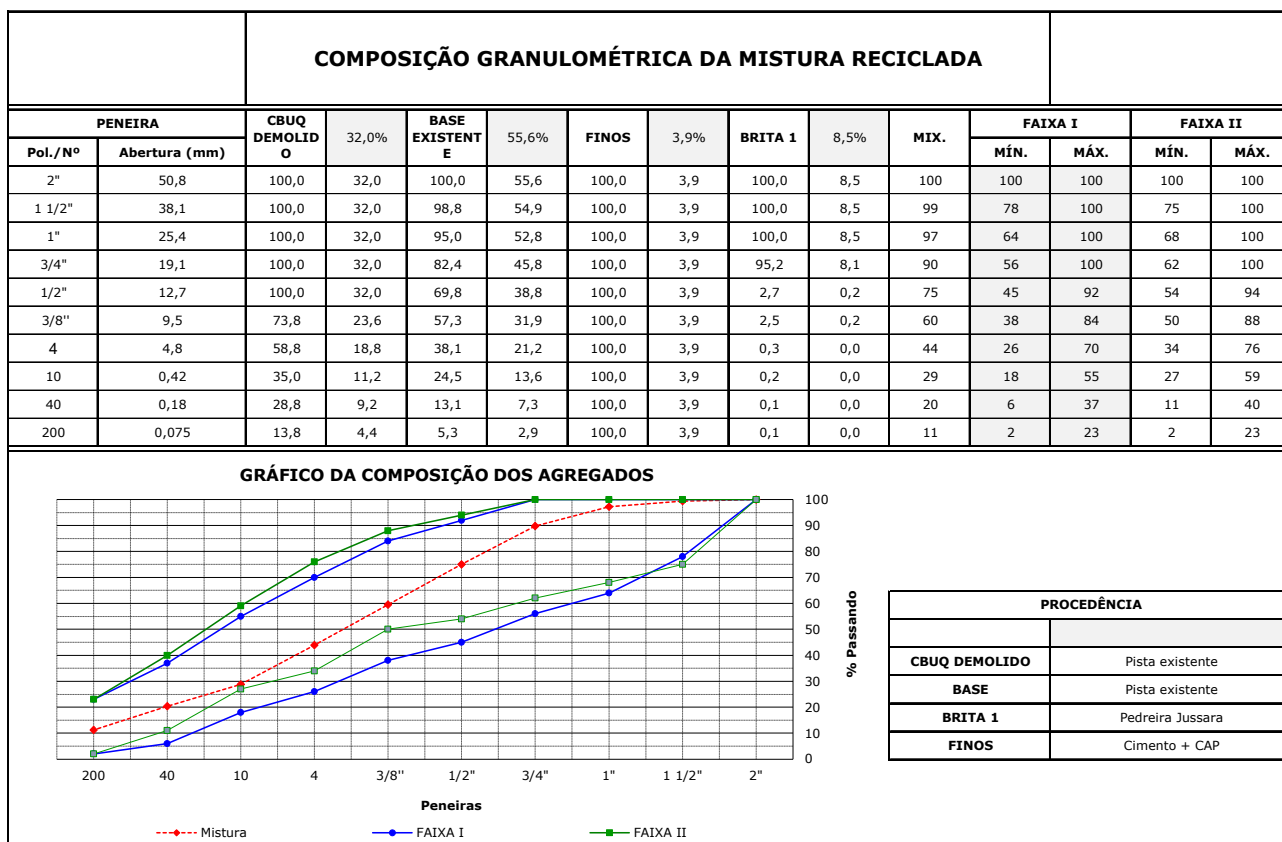


Tabela 4.3.20 – Composição granulométrica proposta (espessura de 15 cm de CBUQ / Reciclagem de 26 cm).

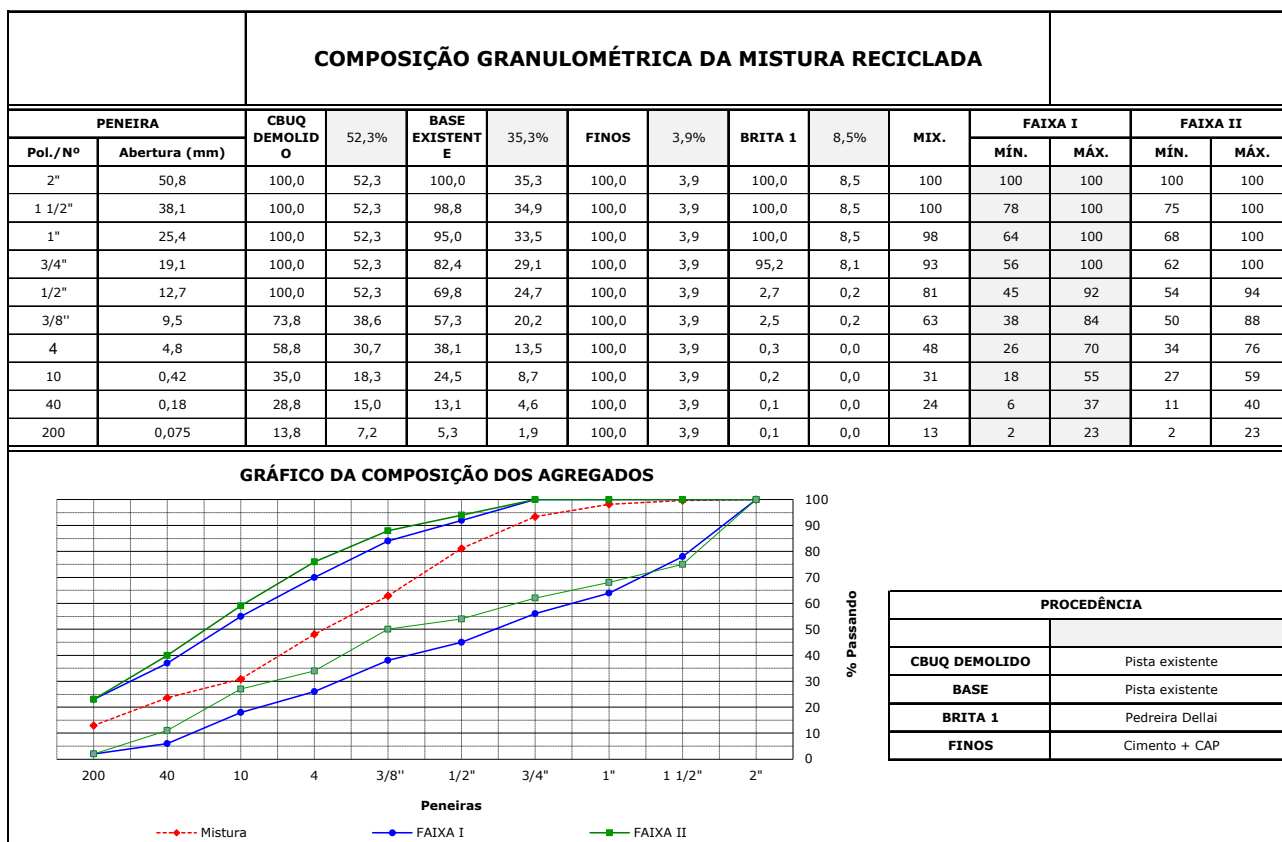
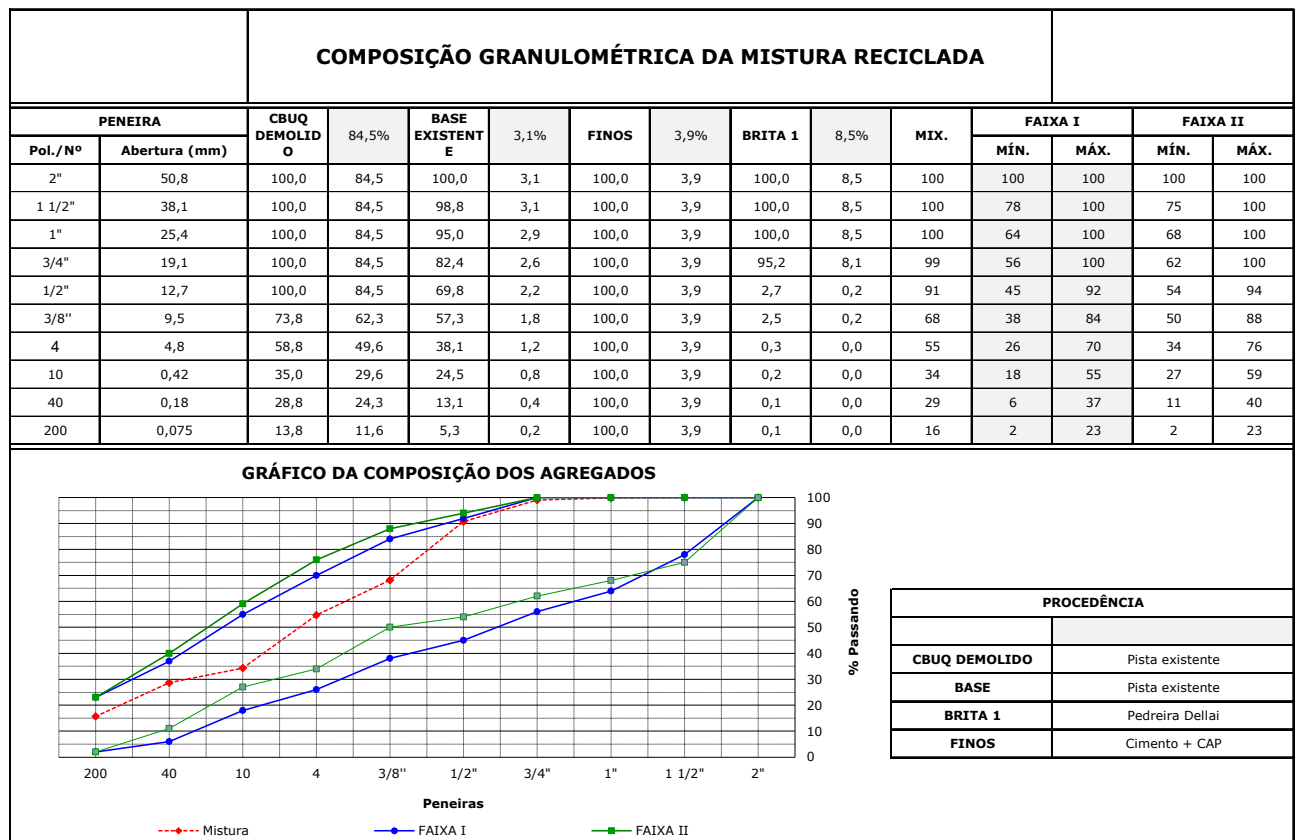


Tabela 4.3.21 – Composição granulométrica proposta (espessura de 25 cm de CBUQ / Reciclagem de 26 cm).



4.4 PROJETO DE SINALIZAÇÃO E SEGURANÇA VIÁRIA

4.4.1 Introdução

O Projeto de Sinalização horizontal, vertical e medidas de proteção e segurança viária, parte integrante do Projeto de Engenharia para Ampliação da Capacidade e Segurança da Rodovia PR-092, no trecho: AC. IV JAGUARIAÍVA - ENTR. BR-153 (A) correspondentes aos segmentos definidos entre o km 200+190 ao km 327+300, foi desenvolvido objetivando regular, advertir e orientar o trânsito, de forma a indicar aos usuários da via a maneira correta e segura de circulação e manobras, a fim de evitar acidentes ou interrupções no tráfego normal. Também são objetivos do projeto definir medidas de proteção e segurança, de forma a assegurar o perfeito funcionamento e operação da rodovia.

4.4.2 Metodologia adotada

A metodologia de projeto seguiu, em linhas gerais, as diretrizes do Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária – BR-LEGAL. As soluções de projeto também seguiram as recomendações da metodologia iRAP com vistas a adoção de medidas de melhoramentos de baixo custo para aumentar a segurança rodoviária da rodovia.

Em geral, o projeto foi desenvolvido de acordo com a IS-215: Projeto de Sinalização e IS-224: Projeto de Sinalização da Rodovia durante a Execução de Obras e Serviços do Manual de Diretrizes Básicas de Estudos e Projetos Rodoviários – Publicação IPR 726/2006 – DNIT.

Na elaboração do projeto foram consideradas as recomendações do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – CONTRAN (Volume I - Sinalização Vertical de Regulamentação, 2007; Volume II - Sinalização Vertical de Advertência, 2007; Volume III - Sinalização Vertical de Indicação, 2014; Volume IV - Sinalização Horizontal, 2007 e Volume VII - Sinalização Temporária, 2017), das resoluções do CONTRAN, do Manual de Sinalização de Obras e Emergências em Rodovias – publicação IPR 738/2010 – DNIT, Manual de Sinalização Rodoviária – publicação IPR 743/2010 – DNIT, do Manual do Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária – BR-LEGAL/2015 e do Manual de Codificação de vias do iRAP e Módulo da Metodologia iRAP nº 11 – Medidas.



Figura 4.4.1 – Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, Volume I - Sinalização Vertical de Regulamentação.

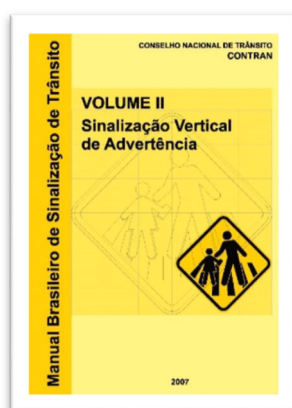


Figura 4.4.2 – Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, Volume II - Sinalização Vertical de Advertência.

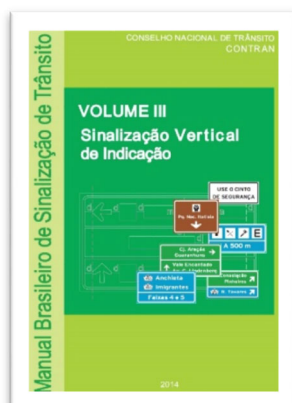


Figura 4.4.3 – Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, Volume III - Sinalização Vertical de Indicação.

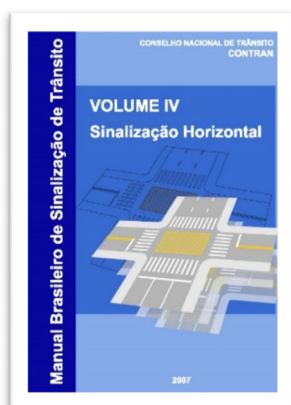


Figura 4.4.4 – Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, Volume IV - Sinalização Horizontal.



Figura 4.4.5 – Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, Volume VII - Sinalização Temporária.

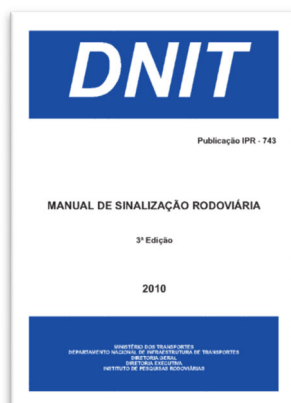


Figura 4.4.6 – Manual de Sinalização Rodoviária – 3ª edição.

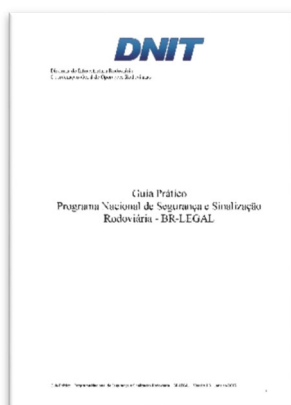


Figura 4.4.7 – Guia Prático Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária - BR-LEGAL.

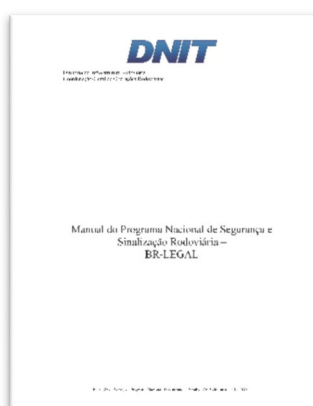


Figura 4.4.8 – Manual do Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária – BR-LEGAL.

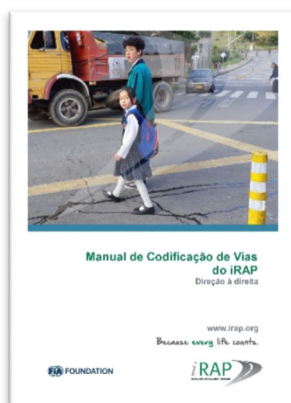


Figura 4.4.9 – Manual de Codificação de vias do iRAP.

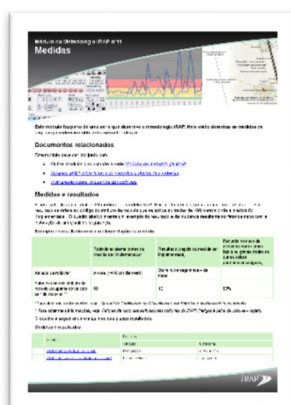


Figura 4.4.10 – Módulo da Metodologia iRAP nº 11 – Medidas.

4.4.3 Sinalização horizontal

A sinalização horizontal é realizada através de marcações no pavimento, cuja função é regulamentar, advertir ou indicar aos usuários da via, condutores de veículos ou pedestres, de forma a tornar mais eficiente e segura a operação da mesma. Entende-se por marcações no pavimento, o conjunto de sinais constituídos de linhas, símbolos ou legendas, em tipos e cores diversos, dispostos sobre o pavimento.

O Projeto de Sinalização Horizontal consistirá na correta especificação e detalhamento dos diversos elementos de sinalização ao longo da via em conformidade com o CTB, a norma DNIT 100/2018-ES - Obras complementares - Segurança no tráfego rodoviário – Sinalização horizontal.

O material a ser utilizado na sinalização horizontal foi escolhido levando-se em consideração o VMDa – Volume médio diário anual de cada zona alvo deste projeto, conforme Tabela 4.4.1.

Tabela 4.4.1 – VMDa – Volume diário anual.

ZONA	SEGMENTO	SEGMENTOS DE IMPLANT. 3ª FAIXA	VMDa 2018	VMDa 2021	VMDa 2025
1	AC. IV JAGUARIAÍVA – ENTR. BR-153 (A)	01 ao 16	2.796	3.064	3.462

Com base no que é preconizado no Manual do BR-LEGAL em relação a qual tipo de material a ser utilizado na pintura horizontal foi escolhido o material descrito na norma DNER-EM 276/2000 – Tinta para sinalização horizontal rodoviária à base de resina acrílica emulsionada em água para os segmentos das zonas de tráfego 1.

A seguir é apresentada a Tabela 4.4.2 referente a recomendação do Programa de Segurança e Sinalização – BR-LEGAL.

Tabela 4.4.2 – Tipo de material e espessura de aplicação em função do VMDa.

VMDa	MATERIAL DNIT	ESPESSURA (mm)	GARANTIA meses ⁽¹⁾
Até 5.000	EM-368	0,6	18
	EM-276	0,5	36
5.000 - 10.000	EM-276	0,5	24
10.000 - 20.000	NBR 13731	0,6	24
Acima de 10.000 ⁽²⁾	Termoplástico Alto Relevo NBR 15543	2,0 (base) 8,0 (relevo)	36
20.000 - 30.000	Termoplástico EM 372	1,5	36
Acima de 30.000 ⁽³⁾	Termoplástico EM 372	1,5	24
Acima de 10.000 ⁽⁴⁾	Termoplástico Preformado ou elastoplástico	1	24

(1) Essa garantia fica condicionada aos valores mínimos de retrorrefletividade inicial e residual;

(2) Em trechos críticos ou especiais;

(3) Em trechos de menor VMD, mas que apresentem na composição do tráfego grande quantidade de veículos comerciais (caminhão, ônibus) ou com larguras de faixa de rolamento inferiores a 3,5 m;

(4) Para sinalização de pequenos trechos em tangente, faixas de retenção, faixas de pedestres, símbolos, legendas.

Outra indicação de material de pintura foi aquela descrita na norma NBR 15543/2015 – Sinalização horizontal viária - Termoplástico alto-relevo aplicado pelo processo de extrusão mecânica indicada apenas em situações especiais ou segmentos críticos de segurança viária seguindo as recomendações da Tabela 4.4.3 e recomendações do iRAP. A pintura será executada com espessura da base de 2,50 mm, altura do relevo de 7,0 mm e distância entre relevos de 350 mm.

Para a sinalização de letras, setas e zebraos foi indicada a sinalização horizontal com material termoplástico por extrusão mecânica com espessura de 3,0 mm.

Tabela 4.4.3 – Tipo de material para soluções complementares de segurança.

Especificação do Serviço	Aplicação
Sinalização horizontal com plástico a frio (metilmetacrilato) estrutura a dispersão com espessura variável de 0 a 5 mm – ABNT NBR 15870 - Sinalização horizontal viária – Plástico a frio à base de resinas metacrílicas reativas – Fornecimento e aplicação.	No mínimo em 15% dos segmentos com raio de curvatura menor do que 450 m e com ângulo central maior* ou igual do que 45°. Prioritariamente aplicados nos segmentos com características de alta incidência de chuva.
Sinalização horizontal com material termoplástico em alto relevo aplicada por extrusão mecânica ABNT NBR 15543 - Sinalização horizontal viária - Termoplástico alto relevo aplicado pelo processo de extrusão mecânica.	Nos demais trechos com curvas horizontais com raio de curvatura menor do que 450 m e com ângulo central maior* do que 45°.
Sinalização horizontal com material termoplástico pré-formado ou laminado elastoplástico (1,0 mm) – manual.	Na execução de marcas/faixas/símbolos na sinalização ostensiva em travessias urbanas.

No Projeto de Sinalização Horizontal serão determinados e especificados os seguintes elementos:

- Linhas de bordo (LBO);
- Linhas de divisão de fluxos opostos (LFO);
- Linhas de continuidade (LCO);
- Linhas de divisão de fluxo de mesmo sentido (LMS);
- Marcações de Canalização;
- Marcações delimitadoras de parada de veículos específicos;
- Inscrições no Pavimento.

A largura, a cadência e o traço da sinalização horizontal foram definidas em função da velocidade diretriz da rodovia igual a 80 km/h. Todos os serviços de demarcação das faixas de tráfego foram elaborados com os preceitos estabelecidos no Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - VOLUME IV - Sinalização Horizontal - Resolução N° 236/2007 - CONTRAN. As marcas longitudinais separam e ordenam as correntes de tráfego, definindo a parte da pista destinada à circulação de veículos, a sua divisão em faixas de mesmo sentido, a divisão de fluxos opostos, as faixas de uso

exclusivo ou preferencial de espécie de veículo, as faixas reversíveis, além de estabelecer as regras de ultrapassagem e transposição.

4.4.3.1 Linhas de bordo (LBO)

As Linhas de Bordo de Pista delimitam para o usuário a parte da pista destinada ao tráfego, separando-a dos acostamentos, das faixas de segurança ou simplesmente do limite da superfície pavimentada (quando a pista não for dotada de acostamento ou faixa de segurança).

As linhas de bordo (LBO) são pintadas de forma contínua, na cor branca, a 0,15m da borda do acostamento, na largura de 0,15m para a pista principal.

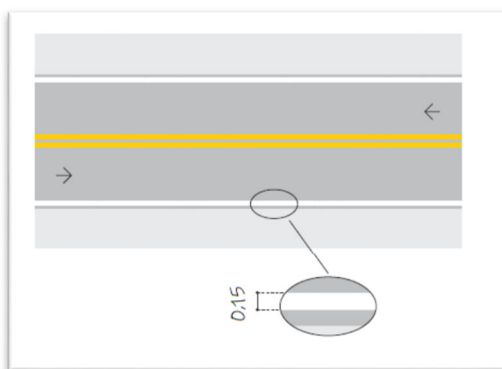


Figura 4.4.11 – Linhas de bordo.

4.4.3.2 Linhas de divisão de fluxos opostos (LFO)

As Linhas de Fluxos Opostos (LFO) separam os fluxos de tráfego em sentidos opostos, regulamentam a proibição ou permissão de ultrapassagem.

A LFO-2 divide fluxos opostos de circulação, delimitando o espaço disponível para cada sentido e indicando os trechos em que a ultrapassagem e os deslocamentos laterais são permitidos, pintadas na cor amarela, com largura de 0,15 m na cadência e traço descritos na Tabela 4.4.4.

Tabela 4.4.4 – Largura, cadência, traço e espaçamento da LFO-2.

VELOCIDADE V (km/h)	LARGURA DA LINHA l (m)	CADÊNCIA t : e	TRAÇO t (m)	ESPAÇAMENTO e (m)
$v \geq 80$	0,15	1:3	3	9

		1:3	4	12
--	--	-----	---	----

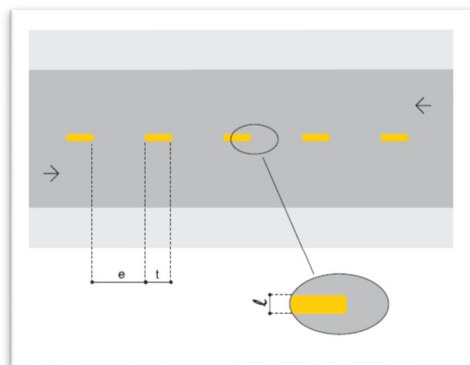


Figura 4.4.12 – Linhas de divisão de fluxos opostos – LFO-2.

A LFO-3 deve ser utilizada no projeto nos trechos onde se identificou a impossibilidade de se ultrapassar com segurança, face à existência de restrições de visibilidade, as linhas demarcadoras de faixas de tráfego serão duplas e contínuas, pintadas na cor amarela, com largura de 0,15m e espaçamento conforme descrito na Tabela 4.4.5.

Tabela 4.4.5 – Largura e espaçamento da LFO-3.

LARGURA l (m)	ESPAÇAMENTO d (m)
0,10	0,15
0,15	0,20

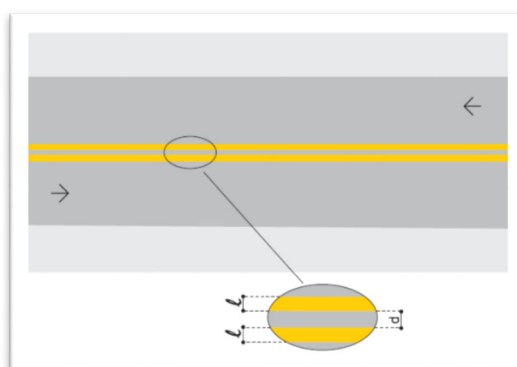


Figura 4.4.13 – Linhas de divisão de fluxos opostos – LFO-3.

A LFO - 4 divide fluxos opostos de circulação, delimitando o espaço disponível para cada sentido e regulamentando os trechos em que a ultrapassagem, a transposição

e deslocamento lateral são proibidos ou permitidos, pintadas na cor amarela, com largura de 0,15m, sua cadência e traço atendem a Tabela 4.4.6.

Tabela 4.4.6 – Largura, cadência, traço e espaçamento da LFO-4.

VELOCIDADE V (km/h)	LARGURA DA LINHA l (m)	CADÊNCIA $t : e$	TRAÇO t (m)	ESPAÇAMENTO e (m)
$v \geq 80$	0,15	1:3	3	9
		1:3	4	12

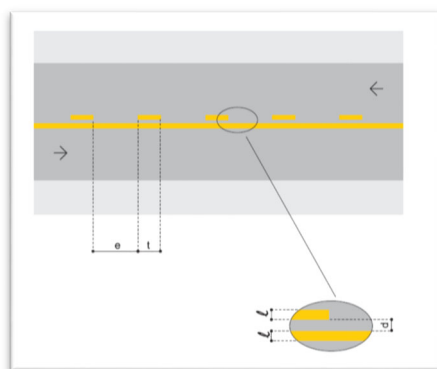


Figura 4.4.14 – Linhas de divisão de fluxos opostos – LFO-4.

4.4.3.3 Linhas de continuidade (LCO)

As linhas de continuidade são aquelas que delimitam faixas de aceleração ou desaceleração ou dão continuidade as linhas de bordo nas entradas e saídas de pista.

As linhas de continuidade (LCO) são pintadas de forma descontínua, na cor branca, na largura da linha que a antecede, pintadas em segmentos de 2,0m espaçados de 2,0m (proporção 1:1), conforme a Tabela 4.4.7.

Tabela 4.4.7 – Cadência, traço e espaçamento da LCO.

VELOCIDADE v (km/h)	CADÊNCIA $t : e$	TRAÇO t (m)	ESPAÇAMENTO e (m)
$v \leq 60$	1 : 1	1,00	1,00
$v > 60$	1 : 1	2,00	2,00

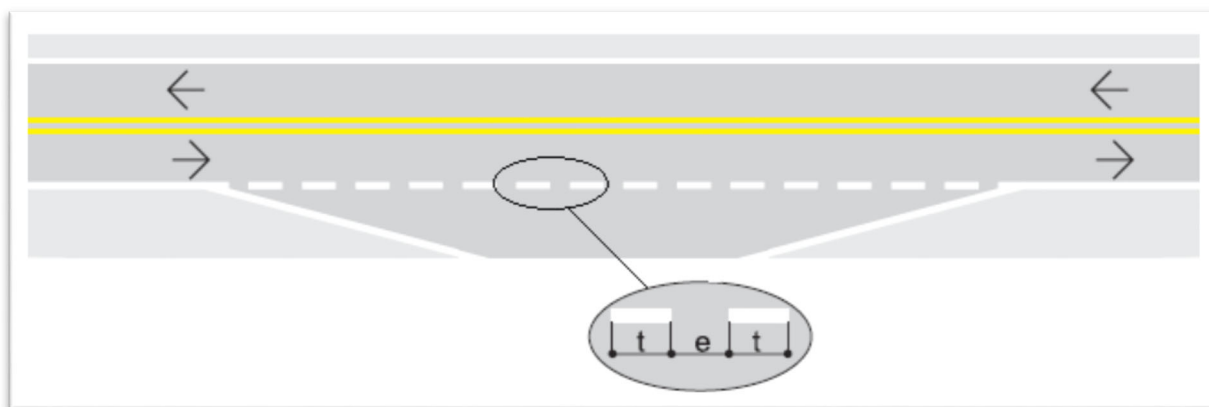


Figura 4.4.15 – Linhas de continuidade – LCO.

4.4.3.4 Linhas de divisão de fluxo de mesmo sentido (LMS)

As Linhas de divisão de fluxo de mesmo sentido (LMS) separam os movimentos veiculares de mesmo sentido e regulamentam a ultrapassagem e a transposição.

A linha simples contínua (LMS-1) ordena o fluxo de mesmo sentido regulamentando as situações onde são proibidas a ultrapassagem e transposição de faixa de trânsito, sendo pintadas de forma contínua, na cor branca, com 0,15 m de largura.

A linha simples seccionada (LMS-2) ordena fluxos de mesmo sentido, delimitando o espaço disponível para cada faixa de trânsito indicando os trechos com permissão de ultrapassagem e transposição, sendo pintadas de forma descontínua em segmentos de 4,0m espaçados de 12,0m (proporção 1:3), na cor branca, com 0,15m de largura, conforme Tabela 4.4.8.

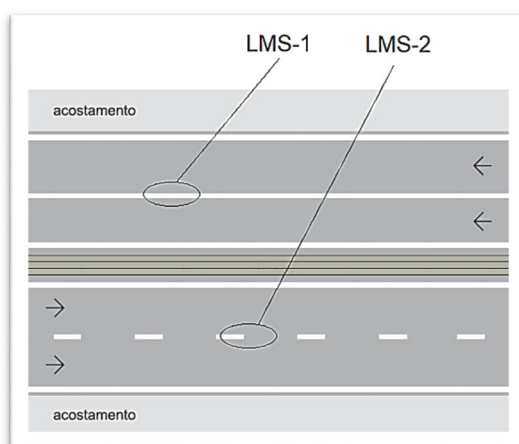


Figura 4.4.16 – Linhas de divisão de fluxo de mesmo sentido – LMS.

Tabela 4.4.8 – Largura, cadência, traço e espaçamento da LMS.

VELOCIDADE v km/h)	LARGURA l (m)	CADÊNCIA $t : e$	TRAÇO t (m)	ESPAÇAMENTO e (m)
$v < 60$	0,10	1:2	1	2
	0,10	1:2	2	4
		1:3	2	6
$60 \leq v < 80$	0,10	1:2	3	6
		1:2	4	8
		1:3	2	6
		1:3	3	9
$v \geq 80$	0,15	1:3	3	9
		1:3	4	12

4.4.3.5 Marcações de canalização

As marcas de canalização são constituídas por zebrado de preenchimento de área de pavimento não utilizável, canteiros centrais fictícios e linhas de canalização, sendo utilizadas para direcionar os fluxos veiculares em situações que provoquem alterações de trajetória e mudanças de alinhamento.

O zebrado de preenchimento é composto por linhas diagonais posicionadas em função do sentido do fluxo, de tal forma a sempre conduzir o veículo para a pista trafegável, e formando um ângulo α , igual ou próximo de 45° , com a linha de canalização que lhe é adjacente. Por questões de segurança e fluidez do tráfego optou-se por utilizar 0,40m de largura de linha interna “A” e largura de 1,20m para a largura da linha interna “B”, conforme descrito na Tabela 4.4.9 e exemplificado na Figura 4.4.17.

Tabela 4.4.9 – Marcações de canalização.

DIMENSÕES	CIRCULAÇÃO	ÁREA DE PROTEÇÃO DE ESTACIONAMENTO
Largura da linha interna A	mínima 0,30 m	mínima 0,10 m
	máxima 0,50 m	máxima 0,40 m
Largura da linha interna B	mínima 1,10 m	mínima 0,30 m
	máxima 3,50 m	máxima 0,60 m

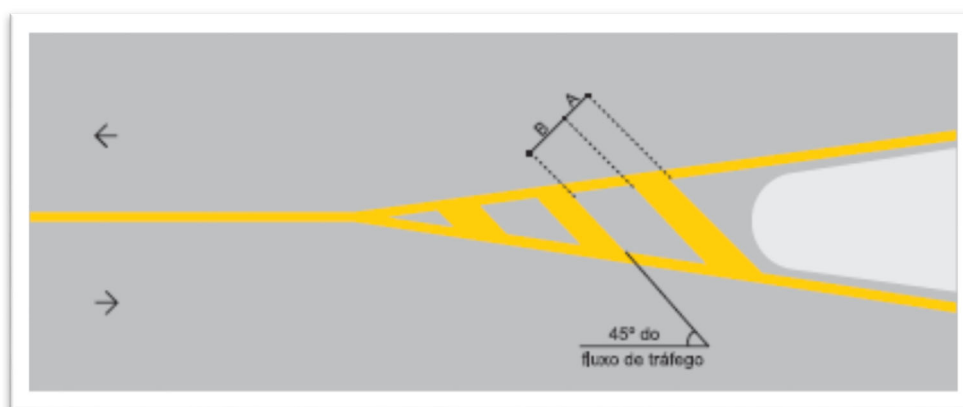


Figura 4.4.17 – Marcações de canalização.

4.4.3.6 Marcação de transição de largura de pista (MTL)

A MTL é utilizada na alteração da largura de pista disponível para a circulação, orientando a direção do fluxo viário para o consequente aumento ou diminuição do número de faixas. Tendo sua utilização prevista nos inícios e terminos das terceiras faixas propostas.

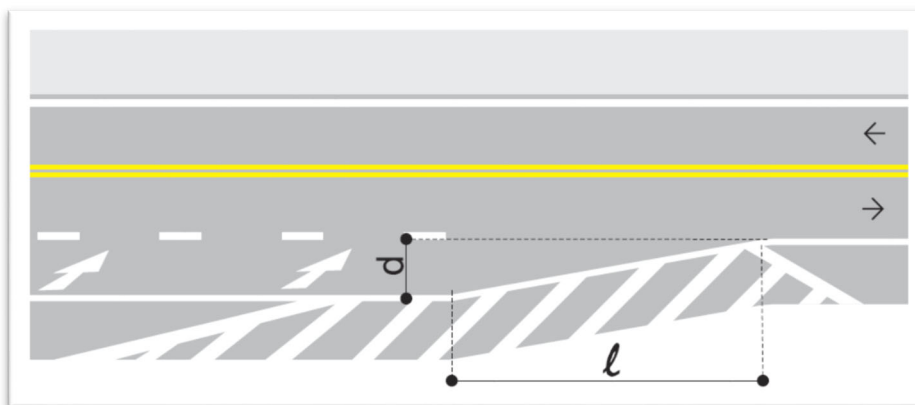


Figura 4.4.18 – Marcação de transição de largura de pista.

$$l = 0,5 \times v \times d$$

onde:

l - comprimento do trecho de estreitamento (m);

v - velocidade regulamentada no trecho (km/h);

d - variação na largura da faixa de mesmo sentido (m);

Os valores resultantes podem ser alterados quando estudos de engenharia indiquem a necessidade por questões de segurança.

4.4.3.7 Marcações de acostamento pavimentado e de canteiros centrais fictícios

A MAC é utilizada para demarcar o pavimento não destinado a circulação de veículos nos canteiros centrais fictícios e acostamentos não pavimentados.

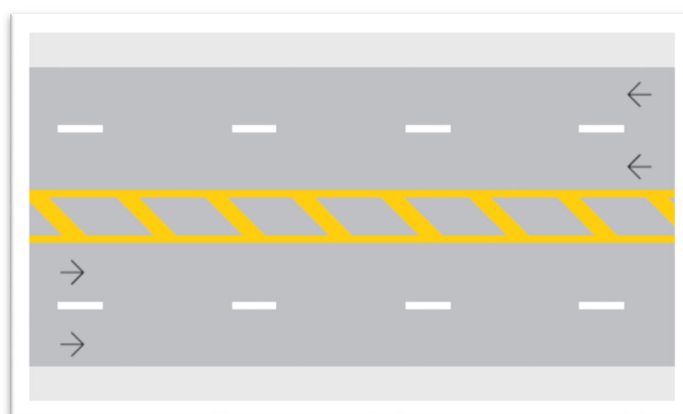


Figura 4.4.19 – Marcação de canteiro central fictício.

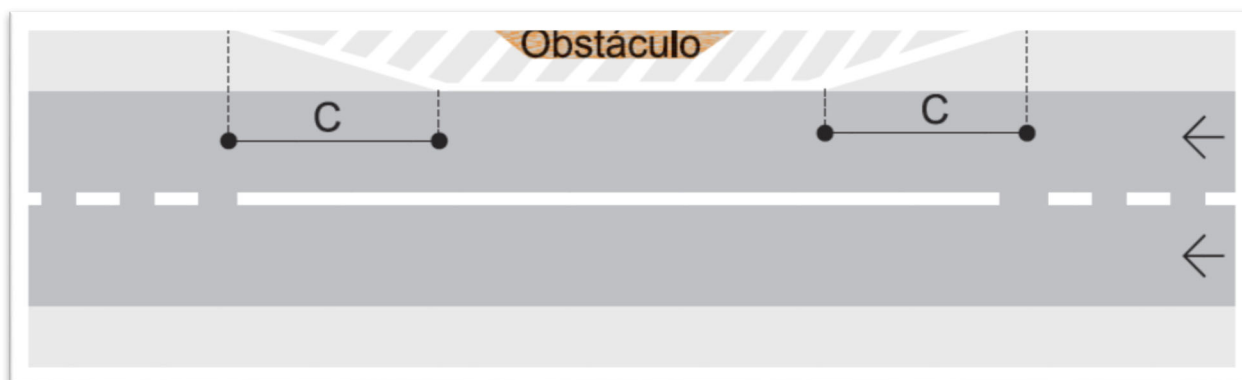


Figura 4.4.20 – Marcação de demarcação no acostamento.

4.4.3.8 Marcações delimitadoras de parada de veículos específicos

As marcas de delimitação de parada de veículos específicos (MVE) são constituídas de pintura contínua na cor amarela com largura de 0,20 m, sendo destinadas a operação exclusiva de parada de ônibus.

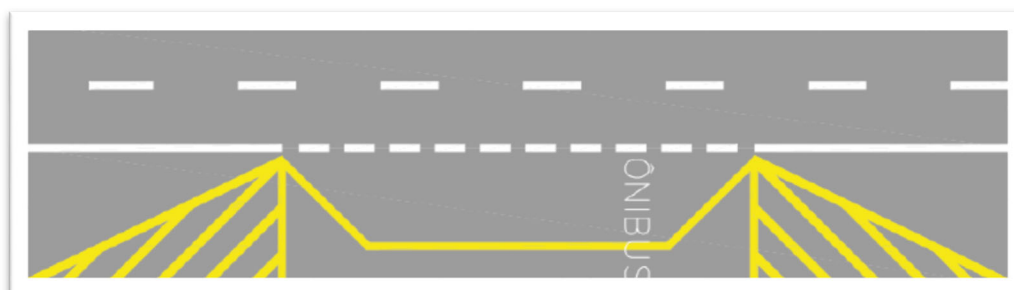


Figura 4.4.21 – Marcação MVE em baías de ônibus.

4.4.3.9 Inscrições no pavimento

As inscrições no pavimento se apresentam como setas, símbolos ou legendas, aplicados sobre as faixas ou sobre a pista de rolamento, com o objetivo de advertir, orientar e complementar a regulamentação do tráfego, ampliando a percepção do usuário quanto às condições de operação da via, aumentando a segurança viária.

Deverão ser pintadas inscrições, na cor branca, do tipo setas indicativas de posicionamento na pista para execução de movimentos (PEM), conforme Figura 4.4.22 e setas indicativas de mudança obrigatória de faixa (MOF), conforme Figura 4.4.23.

O comprimento das setas PEM e MOF atendem a Tabela 4.4.10.



Figura 4.4.22 – Inscrições no pavimento – PEM.



Figura 4.4.23 – Inscrições no pavimento – MOF.

Tabela 4.4.10 – Comprimento das setas PEM e MOF.

VELOCIDADE REGULAMENTADA (km/h)	COMPRIMENTO DA SETA (m)
$v < 60$	5,00
$60 \leq v < 80$	5,00
$v \geq 80$	7,50

4.4.4 Sinalização vertical

A sinalização vertical é constituída dos sinais de trânsito, cuja finalidade essencial é transmitir na via pública, normas específicas, mediante símbolos e legendas padronizadas, com objetivo de regulamentar (sinais de regulamentação), advertir (sinais de advertência) e indicar (sinais de indicação) a forma correta e segura para movimentação de veículos e pedestres. Deve ser adequada de forma a atender critérios

que garantam condições mínimas de segurança viária em relação a sua visualização com o veículo em movimento na velocidade praticada na rodovia, de forma a proporcionar tempo hábil para tomada de decisões.

O Projeto de Sinalização Vertical consistirá na correta especificação e posicionamento das placas de regulamentação, de advertência e de indicação ao longo da via em conformidade com o CTB e a norma DNIT 101/2009-ES: Obras complementares - Segurança no tráfego rodoviário - Sinalização vertical, ABNT NBR 14891/2012 - Sinalização vertical viária – Placas e a norma ABNT NBR 14644/2013 - Sinalização Vertical Viária - Películas - Requisitos.

As legendas e desenhos das placas de regulamentação, advertência e indicação são padronizados, suas dimensões serão adotadas seguindo as características para as vias rurais com velocidade regulamentada $V = 80 \text{ km/h}$.

4.4.4.1 Regulamentação

A sinalização vertical de regulamentação tem por finalidade transmitir aos usuários as condições, proibições, obrigações ou restrições no uso das vias urbanas e rurais. Assim, o desrespeito aos sinais de regulamentação constitui infrações, previstas no capítulo XV do Código de Trânsito Brasileiro - CTB.

As principais placas de regulamentação indicadas foram:

- R-1 – Parada obrigatória;
- R-2 – Dê a preferência;
- R-7 – Proibido ultrapassar;
- R-27 – Ônibus, caminhões e veículos de grande porte mantenham-se à direita.

As características básicas das placas de regulamentação são descritas a seguir:

4.4.4.1.1 Placa Octogonal

- Fundo na cor vermelha;
- Símbolo na cor branca;
- Lado = 0,414 m;
- Orla interna = 0,04 m na cor branca;
- Orla externa = 0,02 m na cor vermelha.

4.4.4.1.2 Placa Circular

- Fundo na cor branca;
- Símbolo na cor preta;
- Diâmetro = 1,00 m (via principal);
- Tarja = 0,10 m na cor vermelha;
- Orla = 0,10 m na cor vermelha.

4.4.4.1.3 Placa Triangular

- Fundo na cor branca;
- Lado = 1,00 m (via principal);
- Tarja = 0,20 m (via principal) na cor vermelha.

As dimensões indicadas acima foram estipuladas em função do tipo de via, conforme recomendações do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – CONTRAN, VOLUME I – Sinalização Vertical de Regulamentação, 2007.

4.4.4.2 Advertência

A sinalização vertical de advertência tem por finalidade alertar aos usuários as condições potencialmente perigosas, obstáculos ou restrições existentes na via ou adjacentes a ela, indicando a natureza dessas situações à frente, quer sejam permanentes ou eventuais.

As principais placas de advertência indicadas foram:

- A-2a – Curva à esquerda;
- A-2b – Curva à direita;
- A-21e – Alargamento de pista à direita;
- A-21c – Estreitamento de pista à direita;
- PMA-01 – Início da terceira faixa a 200 m;
- PMA-02 – Término da terceira faixa a 100 m;
- PMA-201 – Término da terceira faixa a 200 m;
- PMA-202 – Início da terceira faixa a 100 m;
- Marcadores de perigo;
- Delineadores.

As características básicas das placas de advertência são descritas a seguir:

4.4.4.2.1 Placa Quadrada (sendo uma de suas diagonais posicionada na vertical)

- Fundo na cor amarela;
- Símbolo na cor preta;
- Lado = 1,00 m;
- Orla Externa = 0,020 m na cor amarela;
- Orla Interna = 0,040 m na cor preta.

4.4.4.2.2 Placa Composta retangular

- Lado Menor = 1,50 m a 2,0 m;
- Lado Maior = 1,70 m a 2,50 m;
- Fundo na cor amarela;
- Símbolo na cor preta;
- Orla interna = 0,030 m, na cor preta;
- Orla externa = 0,015 m, na cor amarela.

4.4.4.2.3 Placa Marcador de Perigo

- Lado Menor = 0,50 m;
- Lado Maior = 1,50 m;
- Fundo na cor amarela;
- Símbolo na cor preta.

4.4.4.2.4 Placa Delineador

- Lado Menor = 0,50 m;
- Lado Maior = 0,60 m;
- Fundo na cor amarela;
- Símbolo na cor preta.

As dimensões indicadas acima foram estipuladas em função do tipo de via, conforme recomendações do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – CONTRAN, VOLUME II – Sinalização Vertical de Advertência, 2007.

4.4.5 Sinalização de indicação

A sinalização vertical de indicação é a comunicação efetuada por meio de um conjunto de placas, com a finalidade de identificar as vias e os locais de interesse, bem como orientar condutores de veículos e pedestres quanto aos percursos, destinos, acessos, distâncias, serviços auxiliares e atrativos turísticos, podendo também ter como função a educação do usuário.

As placas indicativas devem ser contornadas por orlas horizontais e verticais segundo os seguintes padrões:

As placas indicativas possuem orla externa na cor verde e orla interna na cor branca (fundo verde). No caso das placas educativas, a orla externa deverá ser na cor branca e a orla interna na cor preta (fundo branco). Nas placas indicativas de serviços auxiliares, a orla externa deverá ser na cor azul e a orla interna na cor branca (fundo azul).

As características básicas das placas indicativas são descritas a seguir:

- Lado Maior = 2,00 m a 2,50 m;
- Lado Menor = 1,50 m;
- Altura das letras = 0,200 m na cor preta (educativas);
- As dimensões horizontais devem variar em múltiplos de 0,10 m;
- As dimensões verticais devem variar em múltiplos de 0,10 m;
- Suas cores são: fundo na cor branca (educativas).

Para áreas entre $3 < A \leq 6$

- Tarjas = 0,030 m, na cor preta (educativas);
- Orla interna = 0,030 m, na cor preta (educativas);
- Orla externa = 0,015 m, na cor branca (educativas).

As dimensões indicadas acima foram estipuladas em função do tipo de via, conforme recomendações do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – CONTRAN, VOLUME III – Sinalização Vertical de Indicação, 2014.

4.4.6 Substrato e suportes de sustentação de placas

Os substratos a serem utilizados no âmbito do Programa BR-LEGAL são as chapas de aço, as chapas de alumínio e as chapas de poliéster e deverão seguir as especificações da Tabela 4.4.11.

Tabela 4.4.11 – Substratos para a sinalização vertical.

MATERIAL	ESPECIFICAÇÃO DO SERVIÇO
Chapa de aço	Chapas planas de aço zincadas nº 16 em conformidade com a norma ABNT NBR 11904:2005. O verso das chapas será revestido com pintura eletrostática a pó (poliéster) ou tinta esmalte sintético sem brilho na cor preta de secagem a 140° C
Chapa de alumínio	Chapas de alumínio com espessura de 2,0mm conforme ABNT NBR 7823:2007 e NBR 7556:2006
Chapa de poliéster	Chapas planas de poliéster reforçado com fibra de vidro deverão atender a norma ABNT NBR 13275:2006. Os versos das chapas poderão ser na cor branca ou preto opaco. Deverão constar duas inscrições distribuídas proporcionalmente ao tamanho da placa medindo no mínimo 30cm x 20cm “Material Plástico – Não Reciclável – Sem Valor Comercial”

As placas com áreas inferiores a 3,5 m² deverão ser em chapa de aço, sendo aquelas com área superior a 2,0 m² moduladas e para placas com áreas acima de 3,5 m² deverão ser em laminado de poliéster (fibra de vidro). Placas suspensas deverão ser, preferencialmente, em alumínio ou fibra de vidro.

O tipo de suporte foi definido a partir das recomendações do Manual do Programa BR-Legal em função do VMDa garantindo durabilidade adequada para a vida útil prevista da rodovia, conforme a Tabela 4.4.12.

Tabela 4.4.12 – Especificação e aplicação dos tipos de suporte.

ESPECIFICAÇÃO DO SERVIÇO	APLICAÇÃO
Fornecimento e implantação de suporte de madeira	Nos segmentos que apresentarem VDMa < 10.000
Fornecimento e implantação de suporte metálico galvanizado	Em 60% das placas a serem implantadas nos segmentos que apresentarem VDMa > 10.000
Fornecimento e implantação de suporte de polimérico de materiais reciclados	Em 40% das placas a serem implantadas nos segmentos que apresentarem VDMa > 10.000
Fornecimento e implantação de placas moduladas em alumínio	Deverão ser utilizadas nas placas suspensas

Para as placas em solo da zona de tráfego 1, cujo VMDa é inferior a 10.000, a recomendação do BR-Legal é de utilização de suportes de madeira com secção quadrada de 8 cm de lado, comprimento variável de acordo com as características do terreno. Entretanto, notou-se a existência de marcos quilométricos com suportes metálicos, o que indica uma mudança gradual para equipamentos de sinalização de maior durabilidade. Sendo assim, para as placas moduladas de advertência e educativas foram indicados suportes metálicos e para as demais placas de advertência, regulamentação, delineadores e marcadores de perigo foi adotada a indicação do BR-Legal.

Os suportes de madeira deverão ser pintados com duas demãos com tinta à base de borracha clorada ou esmalte sintético na cor branca.

No caso de uso de suportes metálicos indicou-se suportes metálicos galvanizado a fogo do tipo perfil C nas dimensões 150x85x25x2,70mm, h=4,00m.

As películas retrorefletivas deverão estar de acordo com a norma ABNT NBR 14644/ 2013 - Sinalização Vertical Viária - Películas – Requisitos.

Os suportes metálicos devem atender aos requisitos constantes na norma ABNT NBR 14890/2011 - Sinalização vertical viária – Suportes metálicos em aço para placas – Requisitos, devem atender também ao especificado na norma ABNT NBR 14962/2013 - Sinalização vertical viária - Suportes metálicos em aço para placas - Projeto e implantação e ABNT NBR 6323/2016 - Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido – Especificação.

4.4.7 Posicionamento das placas

Com objetivo de assegurar boa visibilidade e leitura dos sinais, evitando o reflexo que pode ocorrer com incidência da luz dos faróis ou dos raios solares, as placas serão posicionadas fazendo um ângulo de 93° a 95° em relação ao fluxo de tráfego, voltadas para o lado externo da via.

Para as placas de regulamentação e advertência recomenda-se que a altura livre entre o bordo inferior da placa e o solo seja no mínimo 1,20m. O afastamento lateral entre o bordo externo da placa e o bordo da pista ou meio fio deverá ser, no mínimo, 1,20m. Nos casos excepcionais de canteiros o afastamento lateral entre o bordo externo

da placa e o bordo da pista ou meio fio deverá ser, no mínimo, 0,30m para trechos retos e 0,40 para trechos em curva.

Para as placas indicativas recomenda-se que a altura livre entre o bordo inferior da placa e a superfície da pista ou solo seja maior que 1,20m, sendo recomendado 1,50m. O afastamento lateral entre o bordo externo da placa e o bordo da pista ou acostamento deverá estar entre 1,20m a 3,0m. Nos casos excepcionais de canteiros o afastamento lateral entre o bordo externo da placa e o bordo da pista ou meio fio deverá ser, no mínimo, 0,30m para trechos retos e 0,40 para trechos em curva. No caso de placas suspensas recomenda-se que a altura livre entre o bordo inferior da placa e a superfície da pista seja maior que 5,50m e afastamento lateral mínimo de 1,50m.

Para marcadores de perigo a altura livre entre o bordo inferior da placa e o pavimento deve estar compreendida entre 0,80 m e 1,00m, enquanto os delineadores a altura livre deve ser de 1,20m.

Toda sinalização vertical existente na área do empreendimento foi verificada, sendo indicada a remoção ou substituição de placas em desacordo com a sinalização do projeto da rodovia. As placas existentes, cuja funcionalidade ou estado de conservação estejam adequadas foram mantidas.

4.4.8 Dispositivos de segurança viária

Neste item, foram considerados os dispositivos auxiliares de segurança relativos a sinalização de pista, a saber: tachas refletivas, tachões refletivos, sinalizadores e balizadores e, ainda, os dispositivos de proteção e segurança, quais sejam: defensas metálicas e atenuadores de impacto.

4.4.8.1 Tachas refletivas

As tachas refletivas são dispositivos auxiliares à sinalização horizontal, fixadas na superfície do pavimento. Consiste em um corpo resistente aos esforços provocados pelo tráfego, possuindo uma ou duas faces retrorefletivas nas cores compatíveis com a marca viária.

Conforme recomendações do Manual do Programa BR-Legal/2015 na Tabela 4.4.13 a especificação de material das tachas deve obedecer ao VMDa observado na rodovia ou segmento de projeto. Para tanto, definiu-se o uso de Tachas refletivas Tipo

III bidirecionais. Os dados de volume de tráfego dos segmentos de projeto foram apresentados na Tabela 4.4.1.

Tabela 4.4.13 – Especificação e aplicação dos tipos de tachas.

ESPECIFICAÇÃO DO SERVIÇO	APLICAÇÃO
Tachas refletivas Tipo III monodirecionais e/ou bidirecionais	Nos segmentos que apresentarem VDMa < 20.000
Tachas refletivas metálicas monodirecionais e/ou bidirecionais com 2 pinos	Nos segmentos que apresentarem VDMa > 20.000

Foram adotadas tachas bidirecionais na cor branca com elementos refletivos na cor branca e vermelha nas linhas de bordo (LBO) na cadência 1 a cada 16 metros nos segmentos em tangente e 1 a cada 8 m nos trechos em curva. Para os segmentos de terceira faixa a cadência foi reduzida para 1 a cada 8 m nas faixas de aceleração e desaceleração. Nos segmentos críticos de aproximação de obstáculos ou zonas de mudança de faixa em segmentos coincidentes de terceira faixa no sentido decrescente e crescente foi indicada cadência de 1 a cada 4 m.

Foram adotados os dispositivos auxiliares na forma de tacha bidirecional amarela com elemento refletivo na cor amarela sobre a linha de divisão de fluxo opostos (LFO) na cadência de 1 a cada 16 metros em trechos em tangente e 1 a cada 8 metros em trechos em curva. Nos segmentos críticos de aproximação de obstáculos ou zonas de mudança de faixa em segmentos coincidentes de terceira faixa no sentido decrescente e crescente foi indicada cadência de 1 a cada 4 m.

As tachas devem atender as especificações da norma ABNT NBR 14636/2013 - Sinalização horizontal viária – Tachas refletivas viárias – Requisitos.

Tabela 4.4.14 – Cadência de tachas.

CARACTERÍSTICAS DO SEGMENTO	CADÊNCIA
Trechos em tangente	1 a cada 16 metros
Trechos em curvas	1 a cada 8 metros
Trechos que antecedem obstáculos ou OAE	1 a cada 4 metros numa extensão de 150 metros nos dois sentidos
Nas marcas de canalização de fluxos	Deve ser colocada em cada área neutra entre as faixas do zebado ao lado das linhas de canalização



Figura 4.4.24 – Tacha refletiva bidirecional.

4.4.8.2 Tachões refletivos

Os tachões são dispositivos auxiliares à sinalização horizontal, fixados na superfície do pavimento. Consiste em um corpo resistente aos esforços provocados pelo tráfego, possuindo uma ou duas faces retrorrefletivas nas cores compatíveis com a marca viária.

Nas marcas de canalização de fluxos foram adotados tachões em cada área neutra entre as faixas do zebração ao lado das linhas de canalização, na cor amarela com elemento refletivo na cor branca na cadência de 1 a cada 2 m.

Os tachões devem atender ao disposto na norma ABNT NBR 15576/2015 - Sinalização horizontal viária - Tachões refletivos viários - Requisitos e métodos de ensaio.



Figura 4.4.25 – Tachão refletivo.

4.4.9 Sinalizadores

Os sinalizadores ou delineadores são dispositivos refletivos auxiliares utilizados em conjunto as defensas metálicas e barreiras rígidas de concreto. Em geral, estes são utilizados em segmentos com alto risco de acidentes aumentando a percepção dos usuários quanto aos riscos eminentes.

Os sinalizadores são confeccionados em chapa de aço galvanizado a fogo, conforme a norma ABNT NBR 6323/2016 - Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido - Especificação. O verso da chapa é pintado com tinta epóxi na cor preta fosca, secagem em estufa a 200°. Na face principal é aplicada película refletiva IA (Alta Intensidade) com refletância de acordo com a norma ABNT NBR 14644/ 2013 - Sinalização Vertical Viária - Películas - Requisitos.



Figura 4.4.26 – Sinalizadores refletivos.

4.4.10 Balizadores

Os balizadores são elementos cilíndricos com Ø 0,10 m em concreto fck = 20 MPa dotados de película refletiva IA (alta intensidade) com função de aumentar a visibilidade de ilhas e segmentos críticos de manobras e ultrapassagem, principalmente em período noturno e devem atender a norma ABNT NBR 16592/2017 - Sinalização vertical viária - Dispositivos de sinalização de alerta (marcadores) – Requisitos.

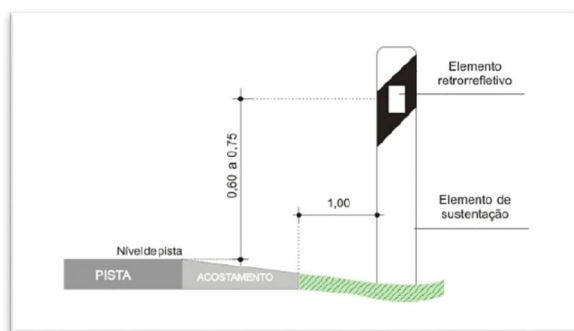


Figura 4.4.27 – Balizadores refletivos.

4.4.11 Defensas metálicas

As defensas são dispositivos de proteção contínuos capazes de possibilitar que os veículos desgovernados sejam reconduzidos à pista, sem brusca redução de velocidade, nem perda de direção, causando o mínimo de danos ao veículo, aos seus ocupantes e ao próprio dispositivo.

Indicou-se a utilização de defesa metálica com nível de contenção H1, severidade de impacto A e largura de área trabalho W4, composta por um perfil W horizontal e contínuo suportado por postes verticais "C-120" dispostos a cada 4m.

As defensas estão previstas, de forma geral, em segmentos que antecedem e sucedem obstáculos ou em locais potencialmente perigosos, tais como: aterros de altura elevada superior a 5,0m, trechos com combinação de curvas acentuadas e aterros de altura significativa superior a 2,50m e segmentos de aproximação de obstáculos isolados (postes de iluminação, pórticos e semi-pórticos) considerando as indicações da norma ABNT NBR 15486/2016 – Segurança no tráfego – Dispositivos de contenção viária – Diretrizes de projeto e ensaios de impacto, e das normas ABNT NBR 6971/2012 - Segurança no tráfego – Defensas metálicas – Implantação e ABNT NBR 6970/2012 - Segurança no tráfego – Defensas metálicas zincadas por imersão a quente, além das diretrizes gerais indicadas na metodologia iRAP.

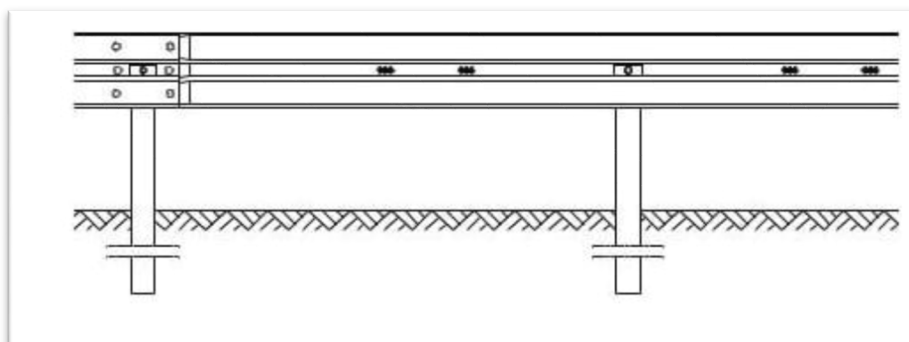


Figura 4.4.28 – Defensas metálicas.

Na Tabela 4.4.15 apresentada a seguir são apresentados os critérios para seleção dos segmentos de implantação de defensas obtidos a partir da análise da severidade lateral – objeto e severidade lateral – distância, que avaliam os fatores de risco que podem afetar a segurança viária.

Tabela 4.4.15 – Memória justificativa de defensas projetadas.

Segmento	Código Irap (Severidade lateral – objeto)																	Código iRAP (Severidade lateral – distância)	Observações
	10	11	12	13	15	16	05	08	06	09	07	14	01	03	02	04	17		
01, 02 E 03		X																01	Curva Acentuada
04		X								X								01	Talude > 3 m / Árvores
05										X								02	Talude > 3 m
08		X																01	Curva Acentuada
11										X								01	Talude > 3 m
14		X								X								02	Talude > 3 m / Árvores
15 / 16							X											02	Parede vertical agressiva

Código iRAP (Severidade lateral – objeto) em ordem de periculosidade

- 10 Penhasco
- 11 Árvore ≥10cm
- 12 Sinalização, poste ou coluna rígidos de ≥10cm
- 13 Estrutura ou construção rígidas
- 15 Barreira de segurança não protegida
- 16 Objeto rígido baixo de ≥20cm de altura
- 5 Parede vertical agressiva
- 8 Valeta profunda de drenagem
- 6 Talude de corte com risco de capotamento
- 9 Declive
- 7 Talude de corte sem risco de capotamento
- 14 Estrutura ou construção semirrígidas
- 1 Barreira de segurança – metal
- 3 Barreira de segurança – amigáveis a motocicletas
- 2 Barreira de segurança – concreto
- 4 Barreira de segurança – cabo de aço
- 17 Nenhum objeto

Código iRAP (Severidade lateral – distância)

- 1 0m a <1m
- 2 1m a <5m
- 3 5 a <10m
- 4 ≥10m

4.4.12 Atenuadores de impacto

Conforme indicações da norma ABNT 15486/2016 - Segurança no tráfego - Dispositivos de contenção viária - Diretrizes de projeto e ensaios de impacto todo sistema de contenção deve ser introduzido ou encerrado de maneira adequada e com segurança. Dessa forma, os ditos terminais cumprem a função de minimizar os efeitos do impacto de um veículo desgovernado.

Da mesma forma, a metodologia iRAP estabelece que as extremidades de defensas metálicas com possibilidade de colisão com veículos deve ser dotada de atenuadores de impacto não sendo indicados terminais enterrados ou abatidos.

Para tanto, foi indicado o dispositivo atenuador de impacto descrito a seguir:

- Terminal absorvedor de energia, de abertura, composto de três lâminas dupla onda e demais acessórios para defesa metálica de acordo com a norma ABNT 15486 para velocidade de 100 km/h.



Figura 4.4.29 – Terminal absorvedor de energia.

4.4.13 Segurança contra riscos de colisão por saída de pista

A metodologia iRAP foi concebida para ajudar a combater o alto custo social e econômico provocado pelos acidentes de trânsito. Esta metodologia tem por finalidade tornar as vias mais seguras para os usuários e para isso utiliza um sistema de codificação que terá como resultado final a classificação da rodovia dentro de parâmetros pré-estabelecidos.

Uma das codificações de maior risco aos usuários são aqueles atributos que estão à margem da via, como árvores e postes, por exemplo. Na metodologia aplicada pelo iRAP, quanto mais próximo da via, maior o risco de acidente e consequentemente da perda de vidas.

A fim de melhorar a classificação da rodovia e concomitantemente garantir a segurança dos usuários, estão sendo previstas a remoção de árvores que estejam muito próximas ao bordo da rodovia. Sendo assim, foram indicados os serviços descritos a seguir.

- Desmatamento e limpeza diâmetro até 30cm;
- Corte/limpeza, classificação, carga, transporte e enleiramento de árvores (volume estéreo);
- Limpeza de área e destocamento até 30 cm;
- Carga e transporte de material de limpeza.

Os itens de desmatamento, corte, limpeza e carga descritos anteriormente são apresentados no grupo TERRAPLENAGEM da planilha orçamentária.

Outros itens que podem afetar a segurança da rodovia, tais como: as valetas profundas de drenagem, o delineamento, as defensas danificadas ou não protegidas, os declives de aterros com inclinação superior a 1:4 e queda maior que 1,0 m, bem como a aderência da pista e a condição do pavimento da via foram objeto de análise dos itens 4.4.3 a 4.4.5 deste Projeto de Sinalização e Segurança Viária e do Projeto de Pavimentação.

As sarjetas existentes com desníveis acentuados ou aquelas cuja nova diretriz de pavimentação possam gerar desníveis e, conseqüentemente, riscos de acidentes foram devidamente substituídas no Projeto de Drenagem.

No tocante a condição do pavimento seja com relação a sua aderência quanto ao estado de conservação destacam-se que foram utilizadas técnicas de reciclagem do pavimento com implantação de nova camada asfáltica garantindo assim a segurança adequada quanto a estes atributos da via.

4.4.14 Sinalização de obras

A sinalização deverá estar sempre adaptada às características da obra e da rodovia onde será implantada. Deverá apresentar boa legibilidade, visibilidade e credibilidade. A sinalização de obras terá características próprias, conforme o tempo necessário a execução das obras, que podem ser de curta ou de longa duração.

As frentes de serviço para desvio de tráfego referem-se a:

1 – Obras no acostamento;

2 – Obras na pista com sistema SIGA e PARE.

A sinalização das obras deve seguir os modelos do DNIT: Projeto Tipo nº 02: Bloqueio do acostamento Pista Simples (1 faixa por sentido) e Projeto Tipo nº 06: Bloqueio de ½ Pista com circulação alternada Pista Única, considerando os itens apresentados a seguir.

- Placa de regulamentação para sinalização de obras montada em suporte metálico móvel - D = 1,00 m;
- Placa de advertência para sinalização de obras montada em suporte metálico móvel, lado 1,00 m;
- Placas Indicativas de Obras (SIMPLES) medidas 1,25 x 0,40
- Placas Indicativas de Obras (COMPOSTA) medidas 2,20 x 1,3, 2,0 x 1,30 e 1,70 x 1,30;
- Placas Indicativas de Obras (FIM DE OBRAS) medidas 1,40 x 0,90;
- Barreira de sinalização tipo II de direcionamento ou bloqueio;
- Cilindro canalizador de tráfego com base quadrada de 111 x 56 x 56 cm;
- Cone plástico para canalização de trânsito;
- Dispositivo de canalização de trânsito com luz de advertência e bateria;
- Barreira plástica monobloco para canalização de trânsito medindo 101x50x 55 cm;
- Operação de sinalização por bandeirola de tecido ou com placa metálica.

5. TERMO DE ENCERRAMENTO

5 TERMO DE ENCERRAMENTO

O Volume 3 – Memória Justificativa, parte integrante do PROJETO DE ENGENHARIA PARA AMPLIAÇÃO DA CAPACIDADE E SEGURANÇA DA RODOVIA PR-092, no trecho: AC. IV JAGUARIAÍVA - ENTR. BR-153 (A) correspondentes aos segmentos definidos entre o km 200+190 ao km 327+300, é composto por 428 páginas, numeradas sequencialmente a partir do ÍNDICE, sendo esta a última página do relatório.

Florianópolis, 18 de dezembro de 2020.



Diegles Simões de Toledo Pereira

CREA 140340090-3