



### **Volume 3 - Estudos de Engenharia**

#### **Tomo VII Melhorias e Ampliações (Programa de Investimentos)**

**LOTE 1: BR 101 BA**

## Sumário

3. Estudos de Engenharia.....	6
3.7 Melhorias e Ampliações.....	6
3.7.1 Introdução .....	6
3.7.2 Avaliação da Capacidade e Nível de Serviço.....	7
3.7.2.1 Volumes diários e fluxos horários .....	8
3.7.2.2 Dados da Geometria Viária.....	9
3.7.2.3 Definição de Segmentos Homogêneos.....	9
3.7.2.4 Critérios para Definição do Nível de Serviço.....	12
3.7.2.5 Metodologia .....	15
3.7.2.6 Evolução do Nível de Serviço para o Período de Análise .....	26
3.7.3 Ampliações de Capacidade .....	27
3.7.3.1 Ampliações de Capacidade de Caráter Obrigatório .....	28
3.7.3.2 Ampliações de Capacidade Vinculadas ao Volume de Tráfego .....	28
3.7.3.2.1 Critério para Definição do Nível de Serviço Crítico .....	29
3.7.3.2.2 Critério para Definição de Trechos para Execução de Ampliações .....	30
3.7.3.2.3 Definição dos Trechos de Ampliações e VDMAs de Gatilho .....	31
3.7.3.3 Especificações das Ampliações.....	34
3.7.4 Melhorias.....	37
3.7.4.1 Critérios para implantação de melhorias.....	38
3.7.4.2 Obras de Melhorias Concomitantes com a Ampliação Obrigatória .....	38
3.7.4.3 Obras de Melhorias definidas a critério da ANTT.....	40
3.7.4.4 Especificações das Melhorias.....	41
3.7.5 Quantitativos de Melhorias e Ampliações .....	48
3.7.5.1 Valores para Ampliações e Melhorias.....	49
3.7.6 Referências bibliográficas.....	53



## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Segmentos homogêneos .....	10
Tabela 2 - Volumes de serviço para rodovias de pista dupla .....	18
Tabela 3: Nível de serviço para rodovias de pista simples (TRB, 2000, Figura 20-2, p. 20-3) .....	26
Tabela 4 - Atuais sub-trechos homogêneos da rodovia .....	32
Tabela 5 - Gatilhos Volumétrico das Ampliações .....	33
Tabela 6 - Definição do tipo de terreno .....	34
Tabela 7 - Definição das alturas de corte e aterro.....	34
Tabela 8 - Características das Pistas de Rolamento.....	35
Tabela 9 - Quantitativos de melhorias a implantar .....	39
Tabela 10 - Obras de Melhorias definidas a critério da ANTT .....	40
Tabela 11 - Quantitativos e custos unitários de ampliações e melhorias até o 5º ano (REIDI) .....	48
Tabela 12 - Estimativa de valores para Melhorias e Ampliações para os anos 2 até 5	49
Tabela 13 - Estimativa de valores para Melhorias e Ampliações para os anos 6 até 10 .....	49
Tabela 14 - Estimativa de valores para Melhorias e Ampliações para os anos 11 até 15 .....	50
Tabela 15 - Estimativa de valores para Melhorias e Ampliações para os anos 16 até 20 .....	51
Tabela 16 - Estimativa de valores para Melhorias e Ampliações para os anos 21 até 25 .....	51

## Lista de Figuras

Figura 1 - Roteiro de atividades para análise de capacidade e nível de serviço.....	8
Figura 2 - Relação fluxo-velocidade e nível de serviço rodovias de pista dupla .....	14
Figura 3 - Diagrama de determinação do nível de serviço para rodovias de pista simples (TRB, 2000, Figura 20-3, p. 20-4) .....	15

Figura 4 - Fluxograma para análise de segmentos básicos de rodovias de pista dupla .....	16
Figura 5 - Fluxograma para análise de rodovias de pista simples (adaptado de TRB, 2000, Figura 20-1, p. 20-2) .....	20
Figura 6 - Impacto da faixa de ultrapassagem na redução da porcentagem de tempo em pelotão (TRB, 2000, Figura 20-24, p. 20-26).....	25
Figura 7 - Impacto da faixa de ultrapassagem no aumento da velocidade média de operação (TRB, 2000, Figura 20-26, p. 20-28).....	25
Figura 8 - Efeitos esperados da implantação de faixa adicional na velocidade e porcentagem de tempo em pelotão.....	26
Figura 9 - Exemplo de determinação do nível de serviço para segmentos homogêneos .....	27
Figura 10 - Sequência de atividades para definição das obras de ampliação .....	29
Figura 11 - Identificação dos momentos em que diferentes segmentos homogêneos operam com nível de serviço D em uma rodovia .....	30
Figura 12 - Definição do VDMA de gatilho para o trecho tomando como base a passagem para o nível de serviço D no segmento 2.....	31
Figura 13 - Duplicação programada para um ano antes do momento em o VDMA de gatilho é atingido.....	31
Figura 14 – Sub-trechos homogêneos da rodovia.....	32
Figura 15 - Seção da nova pista .....	35
Figura 16 - Modelo de acesso.....	44
Figura 17 - Modelo de Interconexão Diamante .....	45
Figura 18 - Modelo de Interconexão Trombeta .....	46
Figura 19 - Modelo de Interconexão Trevo .....	47

## **Acrônimos e Abreviações**

BGS	Brita Graduada Simples
BGTC	Brita Graduada Tratada com Cimento
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
HCM	Highway Capacity Manual
NBR	Norma Brasileira
OAE	Obra de Arte Especial
REIDI	Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura
VDMA	Volume Diário Médio Anual

## 3. Estudos de Engenharia

### 3.7 Melhorias e Ampliações

#### 3.7.1 Introdução

O presente documento corresponde ao sétimo Tomo, denominado Melhorias e Ampliações (Programa de Investimentos), do Terceiro Volume do Estudo para Estruturação de Concessão da 3ª Etapa de Concessões Rodoviárias Federais - Fase III, e trata de detalhes referentes às ampliações e melhorias necessárias e seus devidos investimentos previstos, para todo o período de Concessão.

As ampliações são as intervenções necessárias para aumento da capacidade de trechos das rodovias, compreendendo a duplicação de trechos em pista simples ou a adição de uma faixa por sentido em pistas já duplicadas.

No presente estudo foram considerados dois tipos de ampliações, as de caráter obrigatório e as vinculadas ao volume de tráfego, conforme descrição à seguir:

- Ampliações de caráter obrigatório: referem-se às duplicações de trechos de pista simples, cuja execução não é vinculada ao volume de tráfego, mas sim uma forma de estabelecer padrões de circulação adequados, sobretudo nas proximidades de áreas urbanas,
- Ampliações vinculadas a um volume de tráfego (gatilho) - Ampliações executadas para garantir que as condições de operação de um segmento de rodovia não estejam abaixo de um nível de serviço mínimo desejado; e

Já como melhorias consideram-se todas as obras realizadas em pontos específicos da rodovia como complemento das obras de ampliação. As melhorias podem ser:

- Passarelas para passagem de pedestres sobre a rodovia;
- Variantes e contornos na proximidade de áreas urbanas para segregação do tráfego urbano e de passagem;
- Vias marginais à rodovia nas áreas de maior adensamento urbano;
- Vias de acesso para entrada e saída da rodovia;
- Interseções em nível, rotatórias e interconexões;
- Pontes e viadutos.

A implantação dessas melhorias ocorrem em 2 momentos:

- Concomitantemente com as obras de duplicação obrigatórias
- Durante todo o prazo de concessão nos prazos a serem definidos a critério da ANTT, observados os quantitativos máximos previstos no PER.

No item a seguir, será apresentada a metodologia utilizada para a avaliação do nível de serviço da rodovia:

### 3.7.2 Avaliação da Capacidade e Nível de Serviço

A identificação da necessidade de se realizar ampliações e melhorias para aumento da capacidade de trechos de uma rodovia em função do aumento da demanda depende da avaliação das condições operacionais do tráfego que circula pelo trecho em análise. Tal avaliação é baseada na estimativa do número de veículos que podem transitar por ela, em certo período de tempo, de forma que um determinado nível de qualidade da operação seja mantido.

Para identificar qual o volume de tráfego que pode transitar pela rodovia e como este volume afeta sua qualidade operacional, adota-se o conceito de nível de serviço, uma medida da qualidade das condições operacionais do tráfego que reflete a percepção dos usuários em função de diversos fatores, tais como velocidade e tempo de viagem, liberdade de manobras, interrupções do tráfego, segurança, conforto e conveniência.

Alguns países possuem métodos para análise de capacidade e nível de serviço de suas rodovias. No entanto, países como o Brasil, que não possuem tais métodos, fazem uso do manual americano de capacidade, denominado *Highway Capacity Manual* - HCM.

Para o presente estudo, o HCM foi utilizado em sua 4ª versão, publicada no ano de 2000, contendo métodos e procedimentos que foram atualizados a partir das edições anteriores de 1950, 1965 e 1998, ou completamente modificados a partir dos resultados das pesquisas mais recentes. Dessa maneira, os métodos para análise de nível de serviço de rodovias de pista simples e dupla são tomados como base para a avaliação do nível de serviço da rodovia.

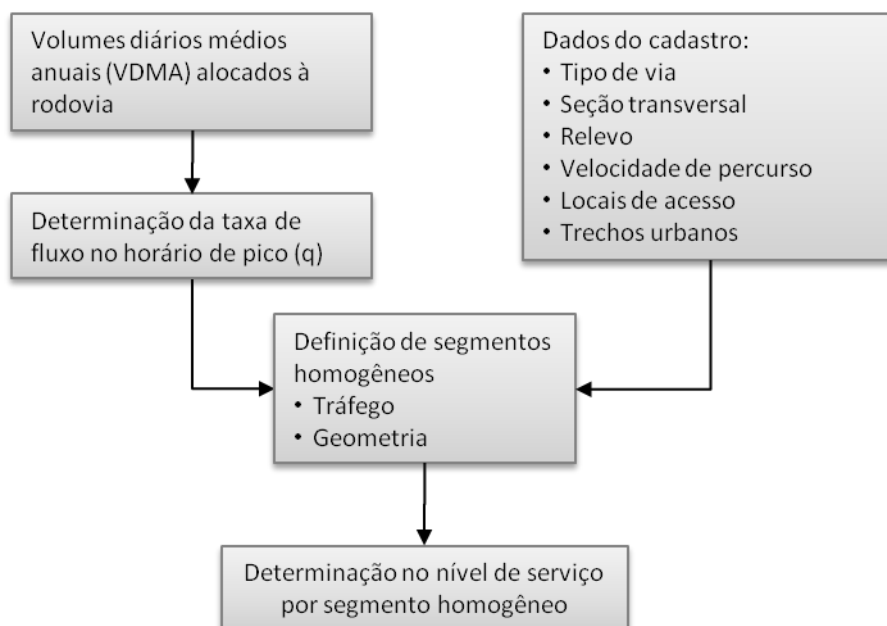
A avaliação do nível de serviço é realizada segundo as atividades mostradas no fluxograma da **Figura 1**, utilizando como dados de entrada as características do tráfego e da via.

Dentre as características do tráfego relevantes para a análise, destacam-se o volume e porcentagem de caminhões, obtidas como resultado das alocações de tráfego ao longo de diferentes segmentos da rodovia. Dentre as características da via, são importantes a largura da faixa de tráfego e de acostamentos, o tipo de relevo e a quantidade de trechos com ultrapassagem proibida, no caso de rodovias de pista simples.

A partir da tabulação dos dados geométricos e de tráfego, são identificados os segmentos homogêneos para os quais tráfego e características geométricas sejam constantes ao longo de todo segmento. O nível de serviço é estimado através da aplicação do método do HCM para cada um dos segmentos homogêneos das rodovias



em estudo, considerando também a evolução do volume de tráfego ao longo de período de análise.



**Figura 1 - Roteiro de atividades para análise de capacidade e nível de serviço**

### 3.7.2.1 Volumes diários e fluxos horários

O nível de serviço de cada segmento homogêneo é determinado para o volume de tráfego que representa, aproximadamente, a 50ª hora mais congestionada do ano no segmento ( $q$ ):

$$q = VDMA \times K \times D$$

em que:

VDMA: volume diário médio anual para ambos os sentidos de tráfego (veíc/dia);

K: proporção do VDMA na hora mais congestionada do dia;

D: fator de distribuição direcional.

Os valores de VDMA foram obtidos para cada segmento a partir dos resultados das alocações das viagens à rede de transportes, classificando os veículos em passeio ou comerciais visando o cálculo posterior do volume expresso em carros de passeio equivalentes (cp/h). Os volumes de veículos comerciais foram obtidos pela soma dos VDMA's e ônibus e caminhões, enquanto que os volumes de veículos de passeio foram calculados como sendo a soma dos VDMA's de automóveis.

O fator de distribuição direcional foi utilizado para a estimativa do volume horário no sentido mais carregado. O valor de  $D = 0,6$ , considerando que 60% do volume bidirecional trafega no sentido mais carregado durante a hora-pico.

### **3.7.2.2 Dados da Geometria Viária**

Para estimar o nível de serviço, os dados obtidos durante o cadastro da rodovia foram tabulados em uma planilha eletrônica.

O tipo de via define, basicamente, o número de faixas por sentido da rodovia o que, por sua vez, define o método de análise de capacidade a ser aplicado (rodovia de pista simples ou pista dupla). Neste estudo, para a análise de nível de serviço, considerou-se que a rodovia já é totalmente duplicada, pelo fato da duplicação total ser obrigatória até o 5º ano da concessão.

Através de informações da planilha de PNVs disponibilizada pelo DNIT foi possível definir o relevo predominante nos diferentes segmentos da rodovia.

De maneira geral, é esperado que a velocidade de fluxo livre seja igual ou cerca de 10% superior à velocidade regulamentada da via nos trechos relativamente retos. Em trechos sinuosos, a velocidade de fluxo livre varia em função do nível de sinuosidade e número de curvas horizontais existentes. Em toda a rodovia foi considerada a existência e largura dos acostamentos ou, melhor dizendo, a distância entre os bordos da pista e qualquer tipo de obstáculo lateral (barreiras laterais, degrau no acostamento, etc.). Quanto menor esta distância, maior o impacto na velocidade de fluxo livre e, conseqüentemente, na capacidade da via.

A existência ou não de canteiro central é outro atributo considerado no modelo. Sua ausência afeta a velocidade de fluxo livre em rodovias de pista dupla.

Por fim, foram identificados os segmentos inseridos em ambiente urbano, considerando que nestes locais será necessário promover melhorias, tais como a implantação de marginais, para segregação do tráfego urbano e rural. Tais segmentos não foram, portanto, considerados na análise de nível de serviço.

### **3.7.2.3 Definição de Segmentos Homogêneos**

A segmentação da rodovia deve ser feita considerando segmentos contendo:

- Mesmo volume de tráfego;
- Mesmas características geométricas e tipológicas:
  - Tipo de via;
  - Número de faixas;
  - Tipo de relevo (plano ondulado ou montanhoso).

Na maior parte dos casos, a segmentação em função do tipo de via, número de faixas e do tipo de relevo é mais crítica, definindo segmentos de menor extensão que segmentos da rodovia contendo mesma magnitude de volume. Nestes casos, é necessário somente associar os volumes alocados no modelo de simulação a estes segmentos de mesmas características topológicas.

Dessa maneira, os 772,3 km de rodovia pertencentes a este lote foram divididos em 99 segmentos homogêneos (**Tabela 1**).

**Tabela 1 - Segmentos homogêneos**

Segmento	PNV	Extensão (km)
1	101BBA1540	4,500
2	101BBA1550	4,505
3	101BBA1550	5,195
4	101BBA1570	11,800
5	101BBA1572	13,050
6	101BBA1572	2,250
7	101BBA1574	3,352
8	101BBA1574	4,758
9	101BBA1574	1,327
10	101BBA1574	2,763
11	101BBA1590	8,330
12	101BBA1590	2,052
13	101BBA1590	1,318
14	101BBA1610	3,400
15	101BBA1630	14,500
16	101BBA1632	8,232
17	101BBA1632	0,368
18	101BBA1650	2,247
19	101BBA1650	2,226
20	101BBA1650	0,886
21	101BBA1650	1,041
22	101BBA1670	2,618
23	101BBA1670	16,982
24	101BBA1690	4,300
25	101BBA1695	10,393
26	101BBA1695	3,507
27	101BBA1710	8,762
28	101BBA1710	16,338
29	101BBA1711	16,922
30	101BBA1711	1,728
31	101BBA1711	2,050
32	101BBA1712	11,466
33	101BBA1712	5,034
34	101BBA1730	1,200

Segmento	PNV	Extensão (km)
35	101BBA1732	5,467
36	101BBA1732	22,529
37	101BBA1732	2,704
38	101BBA1734	11,780
39	101BBA1734	15,120
40	101BBA1750	15,800
41	101BBA1751	4,700
42	101BBA1752	1,600
43	101BBA1753	1,400
44	101BBA1754	22,600
45	101BBA1756	5,100
46	101BBA1770	4,103
47	101BBA1770	2,597
48	101BBA1790	6,612
49	101BBA1790	2,588
50	101BBA1810	8,447
51	101BBA1810	6,547
52	101BBA1810	2,106
53	101BBA1820	1,579
54	101BBA1820	2,328
55	101BBA1820	0,994
56	101BBA1830	12,600
57	101BBA1832	3,274
58	101BBA1832	12,526
59	101BBA1834	2,226
60	101BBA1834	16,774
61	101BBA1836	7,100
62	101BBA1850	17,300
63	101BBA1870	6,300
64	101BBA1890	7,400
65	101BBA1892	14,140
66	101BBA1892	16,362
67	101BBA1892	6,198
68	101BBA1894	13,900
69	101BBA1896	8,574
70	101BBA1896	8,026
71	101BBA1910	14,700
72	101BBA1912	13,814
73	101BBA1912	9,086
74	101BBA1914	10,487
75	101BBA1914	0,794
76	101BBA1914	0,732
77	101BBA1914	0,402

Segmento	PNV	Extensão (km)
78	101BBA1914	0,990
79	101BBA1914	0,928
80	101BBA1914	0,567
81	101BBA1930	2,582
82	101BBA1930	10,278
83	101BBA1930	14,340
84	101BBA1932	8,023
85	101BBA1932	3,920
86	101BBA1932	36,557
87	101BBA1950	13,275
88	101BBA1950	1,725
89	101BBA1970	1,693
90	101BBA1970	0,933
91	101BBA1970	2,073
92	101BBA1971	0,674
93	101BBA1971	34,831
94	101BBA1971	26,295
95	101BBA1990	2,337
96	101BBA1990	1,810
97	101BBA1990	1,422
98	101BBA1990	39,331
99	101BBA2010	18,900

### 3.7.2.4 Critérios para Definição do Nível de Serviço

Segundo o HCM, o nível de serviço em rodovias de pista dupla varia entre A e F, sendo que o nível A representa as melhores condições de tráfego e o nível F representa situações de congestionamento da corrente de tráfego. Os níveis de serviço A a E correspondem ao regime de fluxo livre e o limite entre os níveis E e F está relacionado à capacidade da via.

Considerando que o nível de serviço é uma medida qualitativa da operação da rodovia, sua determinação é feita por meio de um ou mais parâmetros de desempenho que refletem a percepção do usuário em relação à qualidade de operação da rodovia.

Em rodovias de pista dupla, a densidade da corrente de tráfego é o parâmetro utilizado para definir os níveis de serviço, enquanto que em rodovias de pista simples, tanto a velocidade de operação como a porcentagem de tempo que um motorista trafega em pelotões, seguindo um veículo mais lento, são consideradas como relevantes para definir a qualidade operacional da rodovia.

Nos próximos itens são apresentados os critérios para definição da capacidade e nível de serviço de rodovias de pista dupla e pista simples.

## Rodovias de Pista Dupla

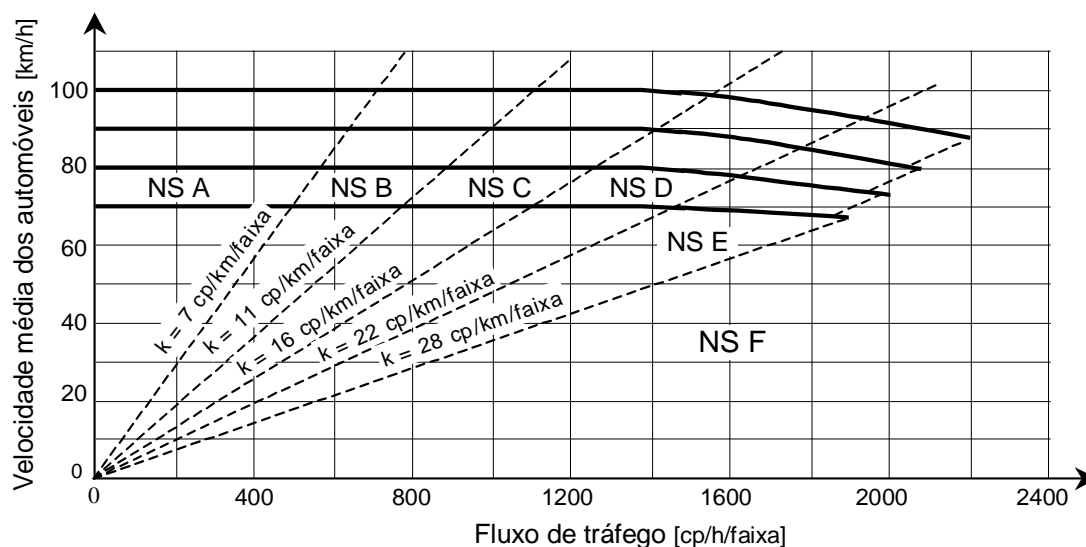
As rodovias de pista dupla são compostas por duas ou mais faixas de tráfego para cada sentido de tráfego, separadas por canteiro central, barreiras ou meramente por pintura de faixa contínua no pavimento.

Dependendo do tipo de separação física e do tipo de controle de acesso adotado, o HCM classifica as rodovias em expressas (*freeways*) ou convencionais (*multilane highways*). Em função das características geométricas da rodovia e maior facilidade acesso, os trechos de pista dupla foram classificados como pertencentes à segunda categoria, de tal forma que a análise de capacidade e nível de serviço dos trechos em pista dupla será realizada através da aplicação do método para rodovias do tipo “*multilane highway*”.

Em rodovias de pista dupla, a densidade da corrente de tráfego é o parâmetro adotado para mensurar o desempenho da operação e definir o nível de serviço da rodovia, por ser ela sensível à variação do volume de tráfego, enquanto que a velocidade é praticamente constante para uma ampla faixa de fluxos. As densidades relativas aos limites superiores dos níveis de serviço A, B, C e D são, respectivamente, 7, 11, 16 e 22 cp/h/faixa (**Figura 2**). A densidade que define a passagem do nível de serviço E para F é variável (entre 28 e 25 cp/km/faixa) em função da velocidade de fluxo livre da via (70 e 100 km/h, respectivamente).

A variação dos níveis de serviço e densidades são acompanhadas também por variações na velocidade e no fluxo de tráfego (expresso em carros de passeio equivalentes), conforme ilustrado no diagrama fluxo/velocidade da **Figura 2**. A partir deste gráfico é possível determinar os volumes de serviço correspondentes a cada uma das densidades mencionadas e velocidades de fluxo livre (veja **Tabela 2**).

Deve ser observado que, embora sejam mostradas curvas para somente quatro valores de velocidades de fluxo livre na **Figura 3**, variando entre 70 e 100 km/h, outras curvas podem ser obtidas para outras velocidades de fluxo através de interpolação das curvas existentes. Para as curvas mostradas, a capacidade varia entre 1.900 cp/h/faixa para uma  $V_f = 70$  km/h, até 2.200 cp/h/faixa para  $V_f = 100$  km/h.



**Figura 2 - Relação fluxo-velocidade e nível de serviço rodovias de pista dupla**

(TRB, 2000, Figura 21-3, p. 21-4)

### Rodovias de Pista Simples

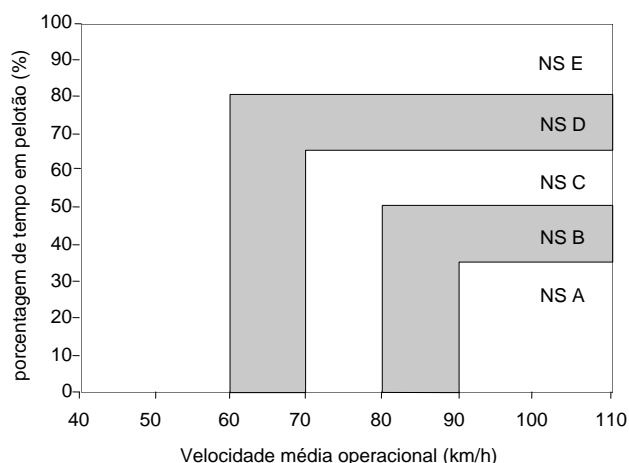
As rodovias de pista simples, denominadas pelo HCM de “two-lane highways” são rodovias formadas por duas faixas de tráfego, uma para cada sentido, sem separação central entre faixas. Nesse tipo de rodovia, a ultrapassagem sobre veículos mais lentos deve ser realizada na faixa de tráfego de sentido oposto, durante intervalos entre veículos consecutivos de duração suficiente e em locais com distância de visibilidade adequada.

A capacidade de uma rodovia de pista simples é 1.700 carros de passeio (cp) por hora, para cada sentido de tráfego de viagem e 3.200 cp/h em ambos os sentidos.

O HCM considera que, em rodovias de pista simples, dois parâmetros refletem adequadamente a satisfação dos motoristas em relação à qualidade da operação:

- A *velocidade média de operação* ( $v$ ), ou seja, a razão entre a distância de um segmento de rodovia e o tempo médio de percurso dos veículos nesse trecho; e
- A *porcentagem de tempo em pelotão* ( $PTP$ ), ou seja, o percentual de tempo em que os veículos trafegam em pelotões numa rodovia, aguardando por uma oportunidade de realizar manobras de ultrapassagem sobre os veículos mais lentos.

O critério para definição do nível de serviço em rodovias de pistas simples é apresentado na **Figura 3**



**Figura 3 - Diagrama de determinação do nível de serviço para rodovias de pista simples (TRB, 2000, Figura 20-3, p. 20-4)**

### 3.7.2.5 Metodologia

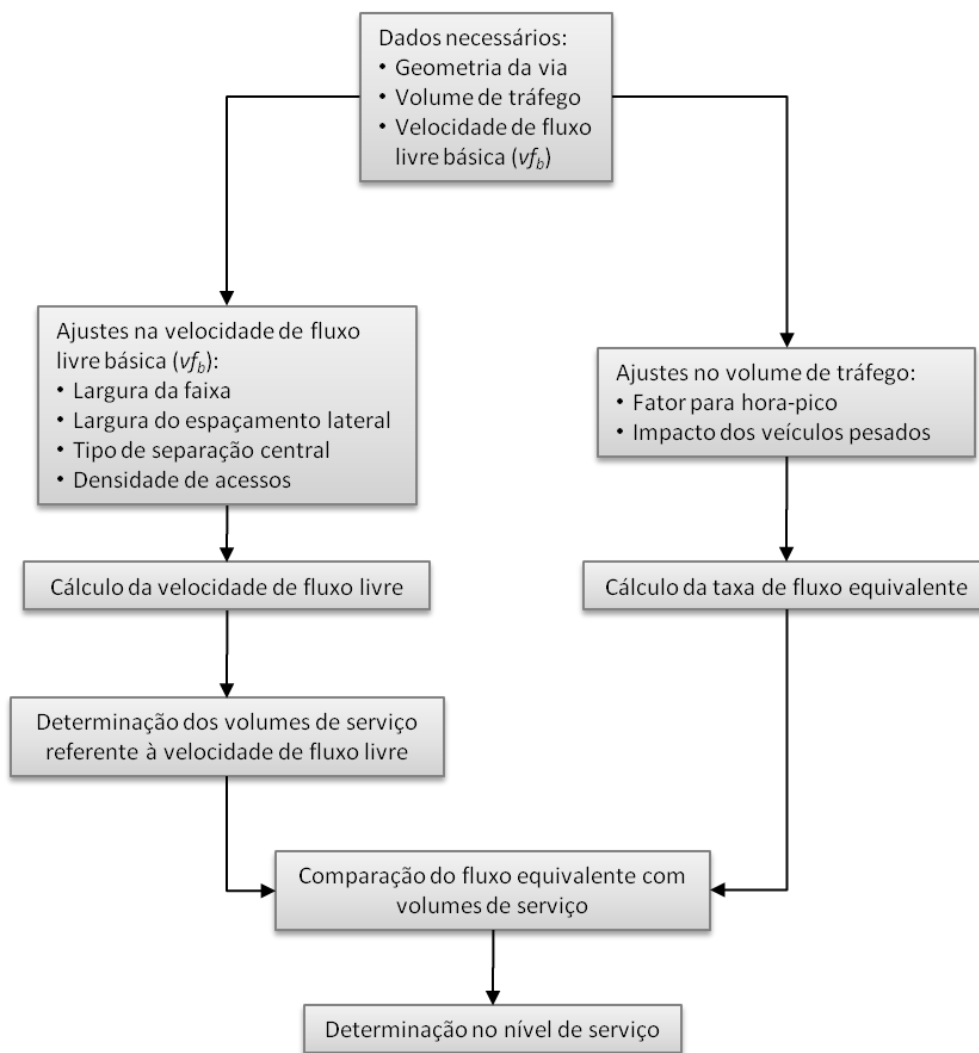
#### Rodovias de Pista Dupla

As curvas fluxo-velocidade mostradas na **Figura 2** e os volumes de serviço listados na **Tabela 2** são definidas para condições ideais de geometria e tráfego, listadas a seguir:

- A largura mínima das faixas de tráfego é 3,6 m;
- A soma do espaçamento entre os bordos da pista e obstruções laterais, nos lados direito e esquerdo da pista, é maior ou igual a 3,6 m;
- As pistas são separadas por algum tipo de dispositivo físico no canteiro central;
- Não existem pontos de acesso na rodovia, tais como interseções em nível, pontos de entrada e saída de veículos nas laterais da pista;
- O tráfego é composto apenas por automóveis, que são os veículos de quatro pneus, denominados também de carros de passeio (cp);
- A maioria dos usuários está familiarizada com a via.

Para quaisquer outras condições observadas na prática, é necessário utilizar fatores de ajuste, seguindo os procedimentos ilustrados no fluxograma da **Figura 4**.





**Figura 4 - Fluxograma para análise de segmentos básicos de rodovias de pista dupla**  
(adaptado de TRB, 2000, Figura 21-1, p. 21-2)

#### *Cálculo da velocidade de fluxo livre*

Inicialmente, determina-se a velocidade de fluxo livre para o segmento de rodovia, diretamente a partir de valores base ajustados em função de fatores que refletem o efeito da largura das faixas de tráfego, da largura do espaçamento lateral, do tipo de separação entre pistas e da densidade de interconexões no trecho analisado:

$$vf = vfb - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_{ID}$$

em que

vf: velocidade de fluxo livre estimada;

vfb: velocidade ideal de fluxo livre;

fLW: ajuste para largura das faixas de tráfego;

- fLC: ajuste para largura dos espaçamentos laterais;
- fM: ajuste para o tipo de separação entre pistas; e
- fID: ajuste para densidade de pontos de acesso.

A estimativa de  $v_f$  parte de valores de  $v_{fb}$  que variam entre 90 e 110 km/h, dependendo do segmento de rodovia em análise. A partir dos valores base, são descontados valores referentes aos ajustes. O valor de  $f_{LW}$  é igual a 0,0 km/h, considerando que a largura da faixa é 3,6 m, considerada como ideal de acordo com o HCM. Da mesma maneira,  $f_{LC} = 0,0$  km/h, considerando que espaçamentos laterais têm dimensões ideais, não exercendo portanto qualquer efeito sobre a velocidade de fluxo livre.

O número de acessos foi adotado entre 1,0 e 5,0 acessos/km, que correspondem a valores de  $f_{ID}$  variando entre 0,7 e 3,3 km/h, dependendo do nível de urbanização lindeiro ao segmento de rodovia analisado. O fator de ajuste  $f_M$  também é igual a 0,0 km/h, considerando que todos os segmentos de rodovia em pista dupla possuem canteiro central entre pistas.

#### *Determinação da taxa de fluxo equivalente*

Em seguida, a taxa de fluxo observada ou estimada é convertida para uma taxa de fluxo equivalente, expressa em cp/h, levando em conta o efeito do fator de hora pico, da porcentagem de veículos pesados e do tipo de motorista que utiliza a via. Assim, a taxa de fluxo equivalente pode ser obtida a partir da taxa de fluxo observada ou estimada através da seguinte expressão:

$$q_b = \frac{q}{FHP \times N \times f_{HV} \times f_P}$$

em que

- $q_b$  : taxa de fluxo equivalente, para uma única faixa de tráfego (cp/h/faixa);
- $q$  : volume horário (veíc/h);
- FHP : fator de hora-pico;
- $N$  : número de faixas de tráfego por sentido (2 ou 3);
- $f_{HV}$  : fator de ajuste para veículos pesados;
- $f_P$  : fator de ajuste para tipo de motorista.

A taxa de fluxo é obtida a partir da relação entre o volume diário médio anual alocado no segmento e o percentual deste volume na hora-pico. O fator de hora-pico reflete a variação do fluxo  $q$  dentro da hora-pico, sendo seu valor igual a 0,95 conforme

recomendação do HCM. O fator para tipo de motorista foi adotado como  $fP = 1,0$ , admitindo que a maioria dos motoristas esteja habituada a trafegar pela rodovia.

O volume de tráfego deve também ser ajustado em função do fator  $f_{HV}$ , que reflete o impacto de veículos pesados (caminhões e ônibus) na corrente de tráfego. Este fator é calculado a partir das porcentagens de veículos pesados (obtidas das alocações de tráfego) e dos equivalentes veiculares destes veículos, utilizando a seguinte equação:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + p_T(E_T - 1)}$$

em que

$f_{HV}$  : fator de ajuste para veículos pesados;

$p_T$  : porcentagem de caminhões e ônibus (expresso em decimais);

$E_T$  : equivalente veicular para caminhões e ônibus;

Os valores de  $E_T$  variam em função do tipo de terreno, ou seja,  $E_T = 1,5$  para terrenos planos,  $E_T = 3,0$  para terrenos ondulados e  $E_T = 5,0$  para terrenos montanhosos. Deve ser observado que os valores para terrenos ondulado e montanhoso foram majorados em relação aos valores originais do HCM (2,5 e 4,5, respectivamente), considerando o pior desempenho dos caminhões brasileiros em relação aos caminhões norte-americanos.

#### *Determinação do Nível de Serviço*

A determinação do nível de serviço do segmento homogêneo em pista dupla é feito a partir da comparação da taxa de fluxo equivalente com os volumes de serviço, no caso de velocidades de fluxo livre iguais a 70, 80, 90, 100 e 110 km/h, lembrando que para valores intermediários de  $V_f$  os volumes de serviço são determinados através de interpolação linear dos valores apresentados na **Tabela 2**.

**Tabela 2 - Volumes de serviço para rodovias de pista dupla**

$V_f$ (km/h)	Volumes de serviço (cp/h/faixa)				
	A	B	C	D	E
110	770	1 210	1 740	2 135	2 350
100	700	1 100	1 600	2 015	2 200
90	630	990	1 440	1 860	2 100
80	560	880	1 280	1 705	2 000
70	490	770	1 120	1 530	1 900

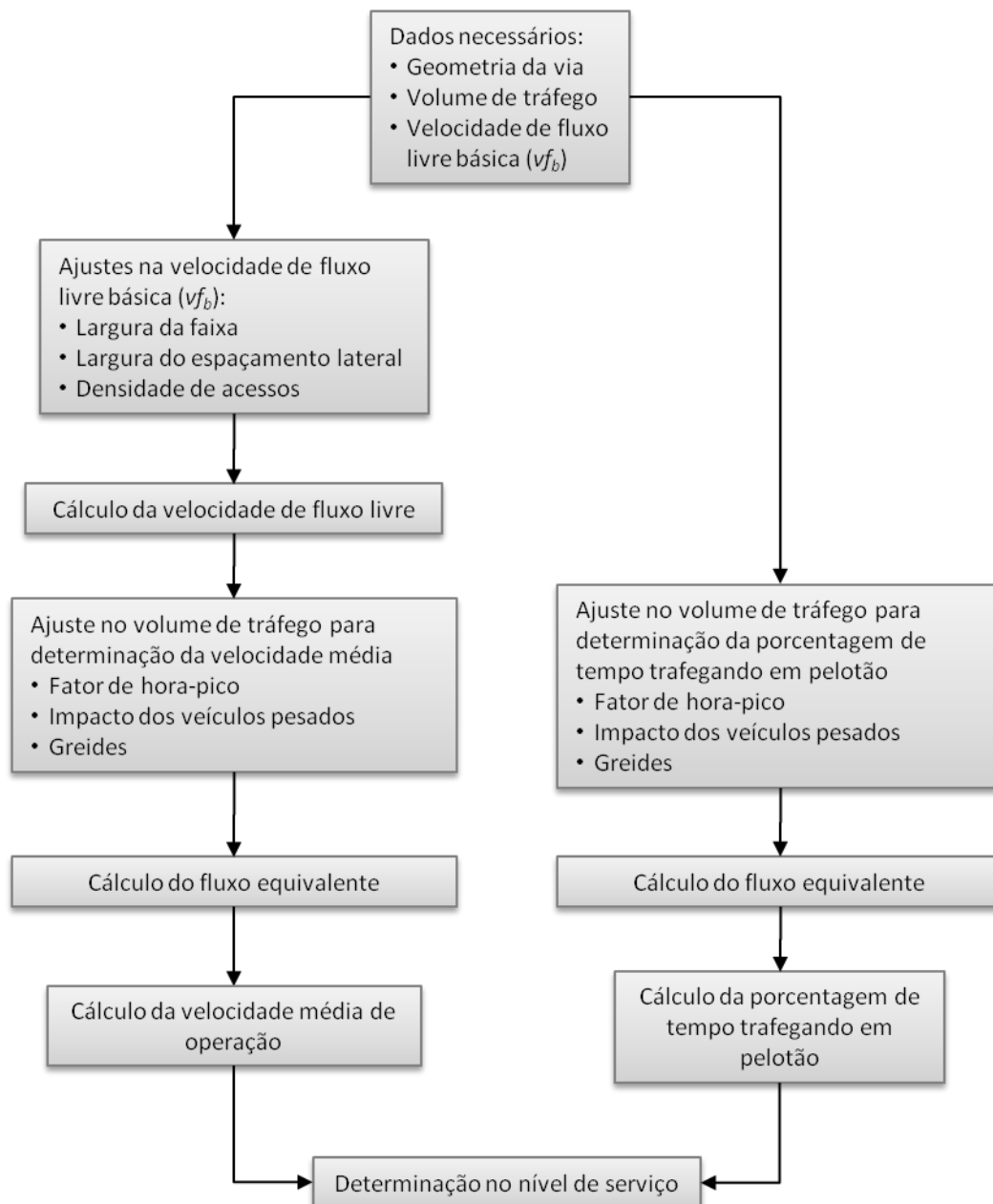
(baseado na Figura 21-2, p. 21-3 do HCM 2000)

### Rodovias de Pista Simples

Assim como ocorre para rodovias de pista dupla, os critérios para definição do nível de serviço em rodovias de pista simples consideram inicialmente condições ideais de tráfego, descritas a seguir:

- a largura mínima das faixas de tráfego é 3,6 m;
- a distância da borda externa da pista até um obstáculo lateral é de 1,8 m;
- não existem pontos de acesso na rodovia, tais como interseções em nível, pontos de entrada e saída de veículos nas laterais da pista;
- não existem trechos em que a ultrapassagem é proibida;
- o tráfego é composto apenas por automóveis, ou carros de passeio (cp);
- não existe impedimento ao movimento dos veículos, tais como elementos de controle de tráfego (semáforos, placas de sinalização) ou conversões; e
- relevo é plano, sem rampas maiores que 2%.

Para condições observadas na prática que não sejam ideais, torna-se necessário utilizar fatores para ajuste da velocidade de fluxo livre e fluxo de tráfego, seguindo os procedimentos ilustrados no fluxograma da **Figura 5**.



**Figura 5 - Fluxograma para análise de rodovias de pista simples (adaptado de TRB, 2000, Figura 20-1, p. 20-2)**

#### *Cálculo da Velocidade de Fluxo Livre*

Considerando a análise conjunta para ambos os sentidos de tráfego (análise bidirecional), o método do HCM parte da determinação da velocidade de fluxo livre para o segmento de rodovia, a partir de valores base (variando entre 80 e 100 km/h), ajustados em função de fatores que refletem o efeito da largura das faixas, da largura dos espaçamentos laterais e do número de ponto de acesso:

$$vf = vf_b - f_{LS} - f_A$$

em que

$v_f$ :	velocidade de fluxo livre estimada;
$v_{fb}$ :	velocidade ideal de fluxo livre;
$f_{LS}$ :	ajuste em função da largura das faixas de tráfego e dos espaçamentos laterais;
$f_A$ :	ajuste para número de pontos de acesso por quilômetro.

O fator de ajuste  $f_{LS}$  procura levar em conta a redução de velocidade observada em rodovias de pista simples com faixas estreitas, ou em rodovias com acostamentos estreitos ou que possuem obstáculos localizados próximos à pista. Considerando que os segmentos em pista simples da rodovia BR-101 atendam as condições ideais de tráfego listadas anteriormente,  $f_{LS} = 1,0$  para todos os segmentos. O número de acessos foi adotado entre 1,0 e 5,0 acessos/km, que correspondem à valores de  $f_A$  variando entre 0,7 e 3,3 km/h, dependendo do nível de urbanização lindeiro ao segmento de rodovia analisado.

#### *Determinação das Taxas de Fluxo Equivalente*

A taxa de fluxo estimada a partir das alocações é convertida em taxa de fluxo equivalente, de maneira similar ao descrito para rodovias de pista dupla. Entretanto, dois valores de fluxo equivalentes devem ser determinados, sendo o primeiro deles ( $qv_b$ ) necessário para estimar a velocidade média de operação:

$$qv_b = \frac{q}{FHP \times fv_G \times fv_{HV}}$$

em que

$qv_b$ :	taxa de fluxo equivalente, para uma única faixa de tráfego, (cp/h/faixa), utilizada no cálculo da velocidade;
$q$ :	volume horário (veíc/h);
$FHP$ :	fator de hora-pico;
$fv_G$ :	fator de ajuste para greides; e
$fv_{HV}$ :	fator de ajuste para veículos pesados.

O segundo fluxo equivalente ( $qp_b$ ) é calculado para estimativa da porcentagem de tempo trafegando em pelotão:

$$qp_b = \frac{q}{FHP \times fp_G \times fp_{HV}}$$

em que

- $qp_b$ : taxa de fluxo equivalente, para uma única faixa de tráfego, (cp/h/faixa), utilizada no cálculo da porcentagem de tempo em pelotão;
- $q$ : volume horário (veíc/h);
- $FHP$ : fator de hora-pico;
- $fp_G$ : fator de ajuste para greides; e
- $fp_{HV}$ : fator de ajuste para veículos pesados.

A taxa de fluxo  $q$  é obtida a partir do percentual do volume diário médio anual alocado no segmento durante o horário de pico. O fator de hora-pico é igual a 0,95 conforme recomendação do HCM. Os fatores  $fv_G$  e  $fp_G$  são ambos iguais a 1,00 para segmentos planos e calculados através das seguintes expressões para segmentos ondulados:

$$fv_G(plano) = 1,00$$

$$fv_G(ondulado) = \min \begin{cases} 1,00 \\ 0,427 + 0,078 \times \ln(qv_b) \end{cases}$$

$$fp_G(plano) = 1,00$$

$$fp_G(ondulado) = \min \begin{cases} 1,00 \\ 0,535 + 0,064 \times \ln(qp_b) \end{cases}$$

As expressões acima foram obtidas através de regressão linear de valores tabelados no HCM (Figuras 20-7 e 20-8), seguindo as recomendações de Andrade *et al.* (2008)<sup>1</sup> para corrigir inconsistências observadas em relação à utilização dos fatores originais do manual americano.

Os ajustes para veículos pesados são calculados através das seguintes fórmulas:

$$fv_{HV} = \frac{1}{1 + p_T(Ev_T - 1)}$$

$$fp_{HV} = \frac{1}{1 + p_T(Ep_T - 1)}$$

em que

$fv_{HV}$ ,  $fp_{HV}$ : fatores de ajuste para veículos pesados;

<sup>1</sup> ANDRADE, G. R.; RODRIGUES SILVA, K. C.; GOUVÊA, R. G. XXII Considerações sobre a determinação de fatores de equivalência de veículos pesados em rodovias de pistas simples. Anais do Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, 2008.

$p_T$ : porcentagem de caminhões e ônibus (decimais);

$Ev_T, Ep_T$ : equivalentes veicular para caminhões e ônibus;

Os valores de  $Ev_T$  e  $Ep_T$  também foram calculados através de expressões obtidas a partir de regressão linear dos valores tabelados no HCM (Figuras 20-9 e 20-10), de maneira similar às expressões obtidas para  $fv_G$  e  $fp_G$ :

$$Ev_T(plano) = \min \begin{cases} 1,70 \\ 2,420 - 0,194 \times \ln(qv_b) \end{cases}$$

$$Ev_T(ondulado) = \min \begin{cases} 2,50 \\ 3,554 - 0,279 \times \ln(qv_b) \end{cases}$$

$$Ep_T(plano) = \min \begin{cases} 1,10 \\ 1,208 - 0,028 \times \ln(qp_b) \end{cases}$$

$$Ep_T(ondulado) = \min \begin{cases} 1,80 \\ 2,685 - 0,224 \times \ln(qp_b) \end{cases}$$

Assim, para segmentos de rodovia predominantemente planos,  $Ev_T$  varia entre 1,7 e 1,1, decrescendo conforme aumenta o fluxo de tráfego. Para terrenos ondulados,  $Ev_T$  varia de forma similar, entre 2,5 e 1,5. Os valores de  $Ep_T$  variam entre 1,10 e 1,00 para segmentos planos e entre 1,80 e 1,00 para segmentos ondulados.

#### *Cálculo da Velocidade da Corrente de Tráfego*

Deve ser observado que o cálculo dos fatores para ajuste do efeito de greides e de veículos pesados depende dos valores de fluxos equivalentes que, por sua vez, dependem dos fatores mencionados. Logo, o cálculo destes fatores e dos fluxos de equivalentes deve ser feito de forma iterativa.

A velocidade média de operação ( $v$ ) é estimada através de:

$$v = vf - 0,0125qv_b - f_{NP}$$

em que

$vf$ : velocidade de fluxo livre (km/h);

$qv_b$ : fluxo equivalente para ambos os sentidos de tráfego (cp/h);

$f_{NP}$ : fator de ajuste para a porcentagem de trechos com ultrapassagem proibida.

O fator  $f_{NP}$  é tabelado em função da porcentagem de trechos com ultrapassagem proibida, nos quais existe a pintura contínua entre as faixas destinadas aos fluxos



opostos. Este percentual varia entre 30% e 60%, dependendo da sinuosidade observada durante o reconhecimento de campo.

### *Cálculo da Porcentagem de Tempo Trafegando em Pelotão*

A porcentagem de tempo que os veículos trafegam em pelotão ( $PTP$ ) é calculada em função da taxa de fluxo equivalente ( $qp_b$ ) e de um fator referente ao efeito combinado da distribuição direcional do tráfego e da porcentagem de trechos com ultrapassagem proibida ( $f_{d/NP}$ ):

$$PTP = 100 \times \left(1 - e^{-0,000879 \times qp_b}\right) + f_{d/NP}$$

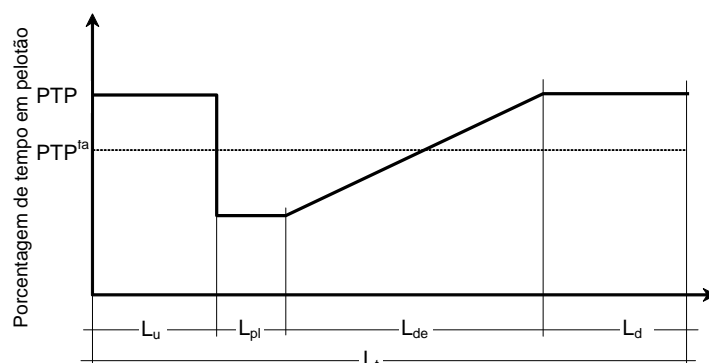
Os valores de  $f_{d/NP}$  são tabelados na Figura 20-11 do HCM 2000, em função da taxa de fluxo equivalente, da distribuição direcional e da porcentagem de trechos em que a ultrapassagem é proibida.

### *Efeito das Faixas Adicionais*

As faixas adicionais são implantadas em um dos sentidos de tráfego em uma rodovia de pista simples, com o propósito de aumentar a possibilidade de realização de ultrapassagens sobre veículos mais lentos. As faixas adicionais reduzem assim a porcentagem de tempo que os veículos trafegam em pelotão, aumentando a velocidade média de operação e, conseqüentemente, melhorando o nível de serviço.

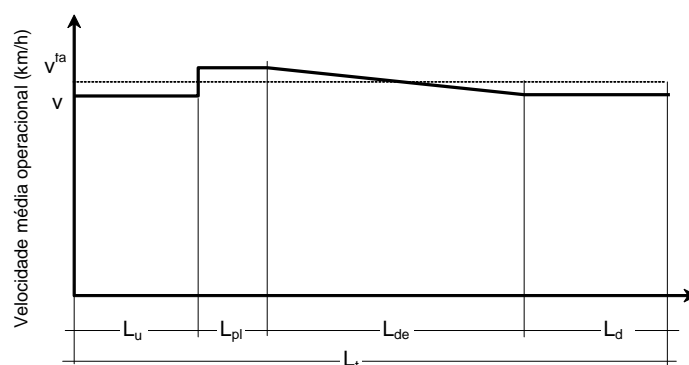
A análise dos trechos que contém faixas destinadas à ultrapassagem inicia-se com a determinação da velocidade de operação e porcentagem de tempo trafegando em pelotão (conforme descrito anteriormente), desconsiderando a existência da faixa de ultrapassagem. Em seguida, são computados fatores que expressam o efeito da faixa adicional no aumento da velocidade média e na redução da porcentagem de tempo em pelotão, considerando a extensão da faixa de ultrapassagem e do trecho que é efetivamente impactado por ela, conforme mostram as **Figuras 7 e 8**. O segmento influenciado pela zona de ultrapassagem é dividido em 4 partes:

1. Trecho a montante da faixa de ultrapassagem ( $L_u$ );
2. Trecho que contém a faixa de ultrapassagem, incluindo tapers ( $L_{pl}$ );
3. Trecho a jusante da faixa de ultrapassagem, que inclui o comprimento efetivo da faixa ( $L_{de}$ ); e
4. Trecho a jusante da faixa de ultrapassagem, além do trecho influenciado pela faixa ( $L_d$ ).



**Figura 6 - Impacto da faixa de ultrapassagem na redução da porcentagem de tempo em pelotão (TRB, 2000, Figura 20-24, p. 20-26)**

O comprimento total dos trechos corresponde à extensão total do trecho analisado ( $L_t$ ) e, nos quatro trechos, a porcentagem de tempo em pelotão e a velocidade operacional variam, conforme mostrados nas **Figuras 7 e 8**. O comprimento da faixa de ultrapassagem corresponde à extensão da faixa construída ou projetada, incluindo o comprimento dos tapers para entrada e saída dos veículos.



**Figura 7 - Impacto da faixa de ultrapassagem no aumento da velocidade média de operação (TRB, 2000, Figura 20-26, p. 20-28)**

O comprimento  $L_u$  deve ser adotado em função do local em que a faixa adicional será implantada. O comprimento  $L_{de}$  é determinado a partir de valores tabelados no HCM e qualquer extensão remanescente, a jusante da faixa adicional ( $L_d$ ) é determinada pela seguinte expressão:

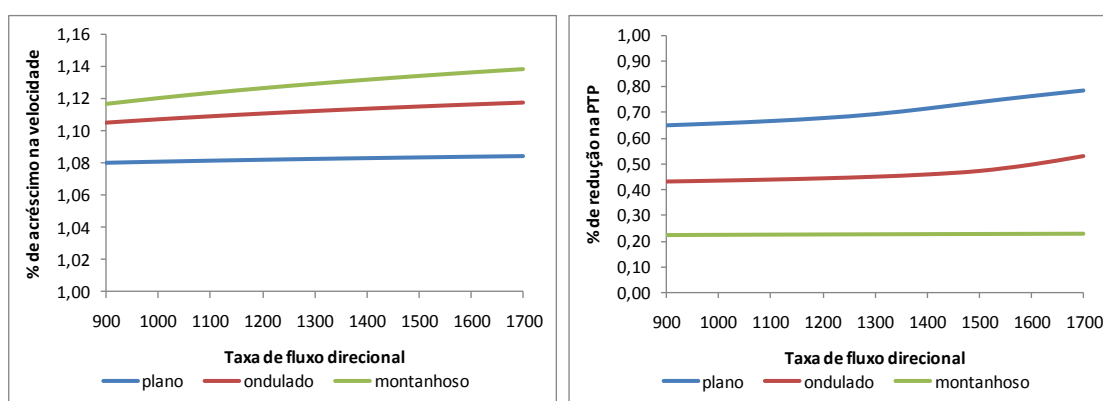
$$L_d = L_t - (L_u + L_{pl} + L_{de})$$

A porcentagem de tempo em pelotão nos trechos de extensão  $L_u$  e  $L_d$  é considerada como sendo igual a  $PTP$  (ver **Figura 8**), estimada para o segmento direcional de rodovia sem faixa de ultrapassagem. No trecho em que a faixa de ultrapassagem é implantada, a porcentagem de tempo em pelotão cai para 58% a 68% de  $PTP$  em trechos planos ou ondulados, ou até 20% de  $PTP$  em trechos montanhosos, dependendo do fluxo de tráfego no sentido analisado. A velocidade média da corrente de tráfego nos trechos de extensão  $L_u$  e  $L_d$  é considerada como sendo igual a  $v$ , sendo

igual a 1,08 a 1,11 vezes o valor de  $v$  na extensão da faixa adicional em trechos planos e ondulados, ou igual a 1,02 a 1,14 em trechos montanhosos.

A partir dos gráficos mostrados nas **Figuras 6 e 7**, é possível calcular a velocidade  $v^a$  e a porcentagem de tempo em pelotão  $PTP^a$ , como sendo médias ponderadas das respectivas medidas de desempenho ao longo do segmento  $L_t$ . Nos gráficos da **Figura 8** é possível verificar, para situações representativas dos cenários deste estudo, qual é o ganho em velocidade e redução na porcentagem de tempo em pelotão em função do tipo de terreno e da taxa de fluxo no sentido de implantação da faixa.

De maneira geral, a melhoria das medidas de desempenho resulta no aumento de um nível de serviço (E  $\rightarrow$  D, D  $\rightarrow$  C, por ex.) no segmento em análise.



**Figura 8 - Efeitos esperados da implantação de faixa adicional na velocidade e porcentagem de tempo em pelotão**

#### *Determinação do Nível de Serviço*

O nível de serviço em rodovias de pista simples é definido em função das faixas de velocidades médias e porcentagens de tempo em pelotão apresentadas na **Tabela 3**. Nos casos em que as medidas de desempenho resultarem em faixas distintas de nível de serviço, a faixa escolhida será a correspondente ao pior nível de serviço

**Tabela 3: Nível de serviço para rodovias de pista simples (TRB, 2000, Figura 20-2, p. 20-3)**

Nível de serviço	Porcentagem de tempo em pelotão (%)	Velocidade média operacional (km/h)
A	$PTP \leq 35$	$v > 90$
B	$35 < PTP \leq 50$	$80 < v \leq 90$
C	$50 < PTP \leq 65$	$70 < v \leq 85$
D	$65 < PTP \leq 80$	$60 < v \leq 70$
E	$PTP > 80$	$v \leq 60$

O nível de serviço F ocorre quando a demanda excede a capacidade da via

#### **3.7.2.6 Evolução do Nível de Serviço para o Período de Análise**

A análise de capacidade e nível de serviço deve ser realizada para cada um dos segmentos homogêneos e fluxos por segmento em cada um dos 25 anos de análise.

Para tornar mais ágil o processo de estimativa, os procedimentos de cálculo existentes nos métodos de análise do HCM para rodovias foram automatizadas através de rotinas computacionais elaboradas em Visual Basic, dentro do ambiente de planilha do Microsoft Excel. Para isso, os fatores do HCM foram tabulados em planilhas, sendo acessados automaticamente por estas rotinas durante a sequência de cálculos necessários para a definição do nível de serviço. As rotinas também realizam interpolações entre valores tabelados, sempre que necessário, para obter fatores que representem adequadamente os parâmetros de entrada fornecidos.

O resultado de todo o processo de análise é uma planilha resumo, similar à apresentada na **Figura 9**, mostrando a evolução dos níveis de serviço ano a ano, indicados tanto por letras (entre A a F) e cores distintas por nível para facilitar a visualização. Para cada segmento analisado, três linhas distintas são mostradas:

- Linha 1: código referente ao tipo de via, que define o método de análise a ser aplicado. Assim, 110 = rodovia de pista simples, 115 = rodovia de pista simples com faixa adicional, 220 = rodovia de pista dupla com 2 faixas por sentido, 230 = rodovia de pista dupla com 3 faixas por sentido, 240 = rodovia de pista dupla com 4 faixas por sentido;
- Linha 2: nível de serviço, variando entre A e F; e
- Linha 3: volume diário médio anual (VDMA) projetado para o segmento no ano de análise.

Deve ser observado que os níveis de serviço mostrados na **Figura 9** referem-se à operação para o sentido de tráfego mais carregado da rodovia.

Identificação do segmento homogêneo		Tipo de via				Nível de serviço		VDMA (veic/dia)				Mudança de nível de serviço						
Link ID	Identificação	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
137	Final 3 faixa	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
	BR101	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	E	E	E	E
	Início 3 faixa	987	977	979	990	1 039	1 091	1 145	1 202	1 257	1 315	1 375	1 438	1 496	1 556	1 619	1 684	1 745
138	Início 3 faixa	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
	BR101	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D	D
	Final 3 faixa	987	977	979	990	1 039	1 091	1 145	1 202	1 257	1 315	1 375	1 438	1 496	1 556	1 619	1 684	1 745
139	Final 3 faixa	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
	BR101	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	E	E	E	E
	Início 3 faixa	987	977	979	990	1 039	1 091	1 145	1 202	1 257	1 315	1 375	1 438	1 496	1 556	1 619	1 684	1 745
140	Início 3 faixa	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
	BR101	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D	D	D
	Final 3 faixa	987	977	979	990	1 039	1 091	1 145	1 202	1 257	1 315	1 375	1 438	1 496	1 556	1 619	1 684	1 745
141	Início pista dupla	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220
	BR101	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B
	Final pista dupla	642	635	637	644	675	709	744	781	817	854	894	935	972	1 012	1 052	1 095	1 134
142	Final pista dupla	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
	BR101	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D	D	D
	ES 264	987	977	979	990	1 039	1 091	1 145	1 202	1 257	1 315	1 375	1 438	1 496	1 556	1 619	1 684	1 745
143	ES 264	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
	BR101	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	E	E	E	E
	Início 3 faixa	982	972	974	985	1 034	1 085	1 139	1 196	1 251	1 308	1 368	1 431	1 488	1 548	1 611	1 676	1 736

**Figura 9 - Exemplo de determinação do nível de serviço para segmentos homogêneos**

### 3.7.3 Ampliações de Capacidade

Conforme mencionado anteriormente, as ampliações podem ser vinculadas ao crescimento do volume de tráfego, sendo realizadas no momento em que um dado trecho da rodovia passa a operar com condições inferiores ao nível de serviço mínimo

desejado, ou ser executadas de forma obrigatória, em função de questões diversas, tais como segurança ou necessidade de segregação de tráfego urbano e de passagem.

Nos itens a seguir serão apresentados os segmentos da concessão que deverão ser ampliados obrigatoriamente e/ou por nível de serviço inadequado.

### **3.7.3.1 Ampliações de Capacidade de Caráter Obrigatório**

Neste estudo foi considerada a duplicação total da rodovia a partir da data de assunção do Sistema Rodoviário devendo as obras ser obrigatoriamente, concluídas até o final do 60º (sexagésimo) mês da concessão, salvo as exceções expressamente indicadas nos itens a seguir.

É importante ressaltar que, em conjunto com as obras de ampliação da rodovia, diversas melhorias previstas para a rodovia também deverão ser executadas. Os tipos de melhorias propostas e o quantitativo adotado serão melhor descritos no item 3.7.4 deste relatório.

A seguir é apresentada a proporção considerada no estudo para a realização das ampliações de capacidade de caráter obrigatório:

- 2º ano – 16% do custo total
- 3º ano – 24% do custo total
- 4º ano – 34% do custo total
- 5º ano – 26% do custo total

### **3.7.3.2 Ampliações de Capacidade Vinculadas ao Volume de Tráfego**

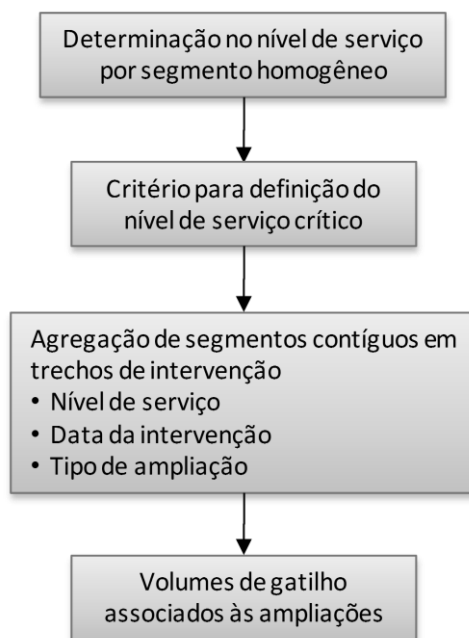
No caso das ampliações vinculadas ao crescimento do volume de tráfego, a futura concessionária da rodovia possuirá a incumbência de monitorar continuamente o tráfego e, assim que houver a previsão de atingimento do volume de tráfego em que o nível de serviço passa a ser inaceitável (definido como VDMA de gatilho), deverá providenciar o projeto e a obra para que a ampliação esteja concluída, em no máximo um ano após o atingimento deste VDMA.

As ampliações para aumento de capacidade da via incluem:

- Construção de faixas adicionais em pista simples (não utilizado neste projeto);
- Duplicação da rodovia (não utilizado neste projeto);
- Acréscimo de terceira faixa em rodovia de pista dupla (com duas faixas por sentido) já existente.

O procedimento para definição dos trechos que serão ampliados é ilustrado na **Figura 10**. Inicialmente, é definido o nível de serviço crítico considerado na identificação do momento em que a ampliação de capacidade da via será necessária. Em função dos

níveis de serviço definidos, segmentos homogêneos contíguos são agregados em trechos maiores. Para cada trecho é definido um VDMA, que será utilizado pela concessionária como parâmetro (ou gatilho) indicador da necessidade de se realizar a intervenção para ampliação da capacidade viária.



**Figura 10 - Sequência de atividades para definição das obras de ampliação**

### **3.7.3.2.1 Critério para Definição do Nível de Serviço Crítico**

Antes de definir os locais em que serão realizadas obras para ampliação da capacidade viária, é necessário adotar um critério para definir qual o nível de serviço é considerado como crítico, de tal forma a garantir que a operação viária com um mínimo de qualidade.

Em rodovias paulistas, considera-se que uma rodovia não deverá operar com nível de serviço inferior a D mais do que 50 horas durante um ano. Em outras palavras, o critério para definir a necessidade de ampliação de capacidade é a identificação do momento em que a via deixa de operar com nível de serviço D e passa a operar com nível de serviço E.

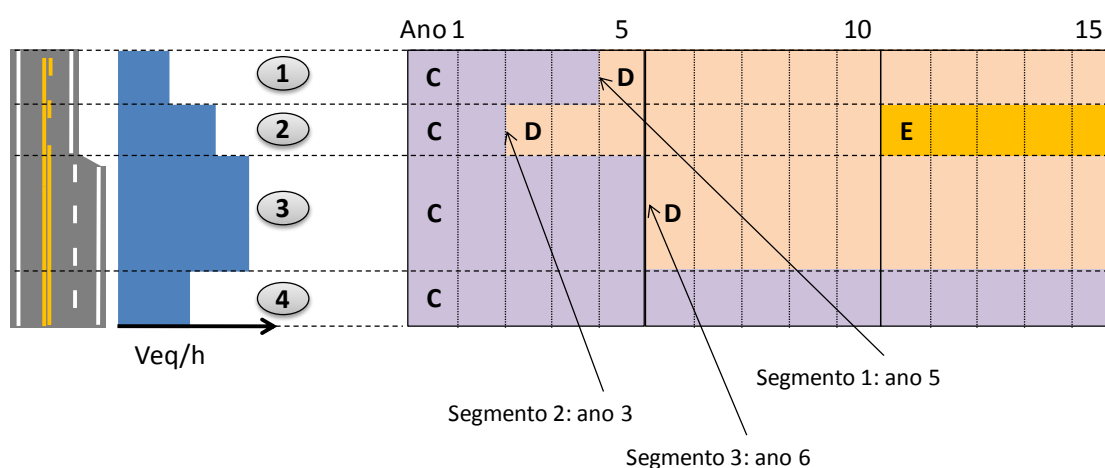
Nos estudos realizados para as concessões das rodovias BR 116, BR 381, BR 040 e BR 101-ES nos estados de Minas Gerais, Goiás, Distrito Federal e Espírito Santo, o critério considerado foi a passagem do nível de serviço C para D.

Neste estudo será utilizado o critério da passagem do nível de serviço de C para D, mais favorável e seguro ao usuário, sendo que em alguns segmentos a ampliação possa ser ligeiramente antecipada em função da agregação com segmentos mais críticos. Isto será explicado em detalhe no próximo item.

### 3.7.3.2.2 Critério para Definição de Trechos para Execução de Ampliações

A estimativa do nível de serviço descrita é realizada no menor grau de desagregação possível da rodovia, para cada um dos segmentos nos quais tráfego e condições geométricas são consideradas homogêneas. Para cada um destes segmentos seria possível então definir o momento em que o VDMA atinge um determinado valor para o qual o nível de serviço passa a ser D, obrigando a concessionária a executar uma obra para aumento de capacidade e melhoria do nível de serviço do trecho crítico.

No entanto, a definição do cronograma de investimentos para ampliação da capacidade não pode ser realizada diretamente a partir dos resultados da análise detalhada por segmento homogêneo. Caso isso fosse feito, por exemplo, para os quatro segmentos homogêneos da **Figura 11**, cada um deles teria intervenções programadas, respectivamente, a partir dos anos 2, 4, 5 e após o ano 15.

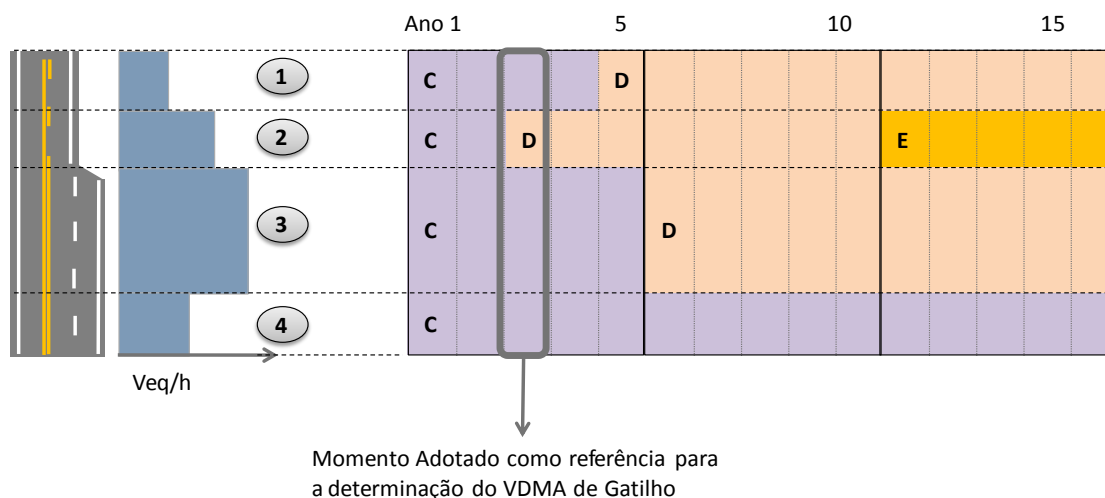


**Figura 11 - Identificação dos momentos em que diferentes segmentos homogêneos operam com nível de serviço D em uma rodovia**

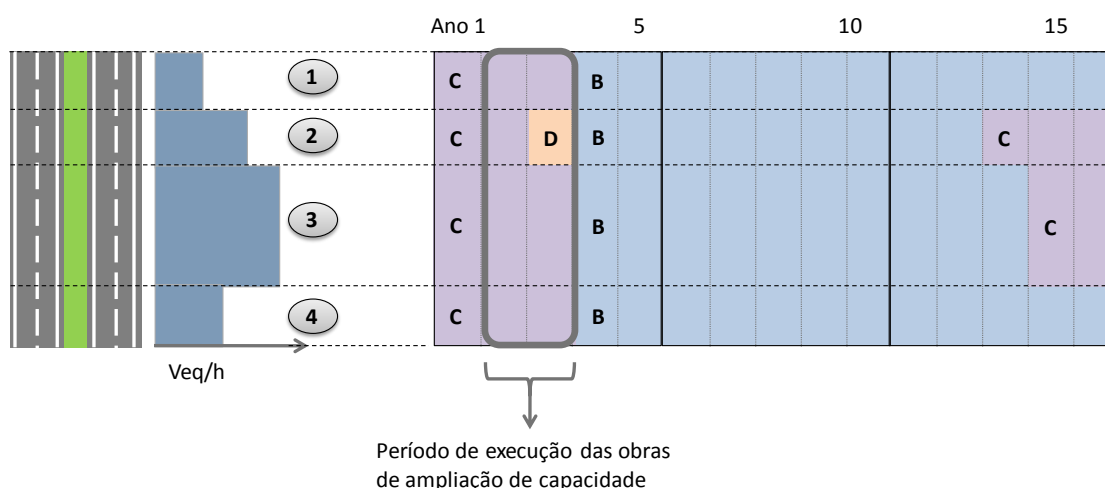
Em termos práticos, seria inviável mobilizar equipes e equipamentos para executar obras em segmentos relativamente curtos e, além do mais, em intervalos de tempo não muito espaçados, o que faria com a que a rodovia permanecesse em obras durante um período de tempo maior que o desejado. Em resumo, é necessário que segmentos homogêneos contíguos sejam agregados de forma lógica em trechos de intervenção, considerando tanto a proximidade do momento em que os segmentos passam a operar com nível de serviço D e, evidentemente, o tipo de intervenção a ser executada.

Para o exemplo apresentado na **Figura 11**, uma das opções é agregar os quatro segmentos homogêneos em um único trecho, sendo o VDMA de gatilho do trecho definido para o momento em que segmento crítico (segmento 2) passe a operar em nível de serviço D (**Figura 12**). No estudo realizado, as obras de duplicação foram iniciadas um ano antes do atingimento deste VDMA (denominado VDMA de gatilho) e concluídas até um ano após o ano de seu atingimento, como mostra a **Figura 13**. Para

o exemplo, a duplicação seria programada para o ano 2 e finalizada antes do início do ano 4.



**Figura 12 - Definição do VDMA de gatilho para o trecho tomando como base a passagem para o nível de serviço D no segmento 2**



**Figura 13 - Duplicação programada para um ano antes do momento em o VDMA de gatilho é atingido**

Para fixar as datas das ampliações, foram determinados gatilhos volumétricos para as ampliações, em todos os trechos definidos.

### 3.7.3.2.3 Definição dos Trechos de Ampliações e VDMAs de Gatilho

Os segmentos homogêneos adotados na análise de capacidade e nível de serviço foram agregados em 12 sub trechos com extensões variando entre 10 e 130 km, conforme apresentado na **Tabela 4** e detalhado na **Figura 14**, para propósito de programação das ampliações. Cada um dos trechos contempla segmentos homogêneos nos quais o nível de serviço D é atingido em momentos relativamente próximos, considerando que o tipo de via e os volumes de tráfego nestes trechos também apresentam certa semelhança.



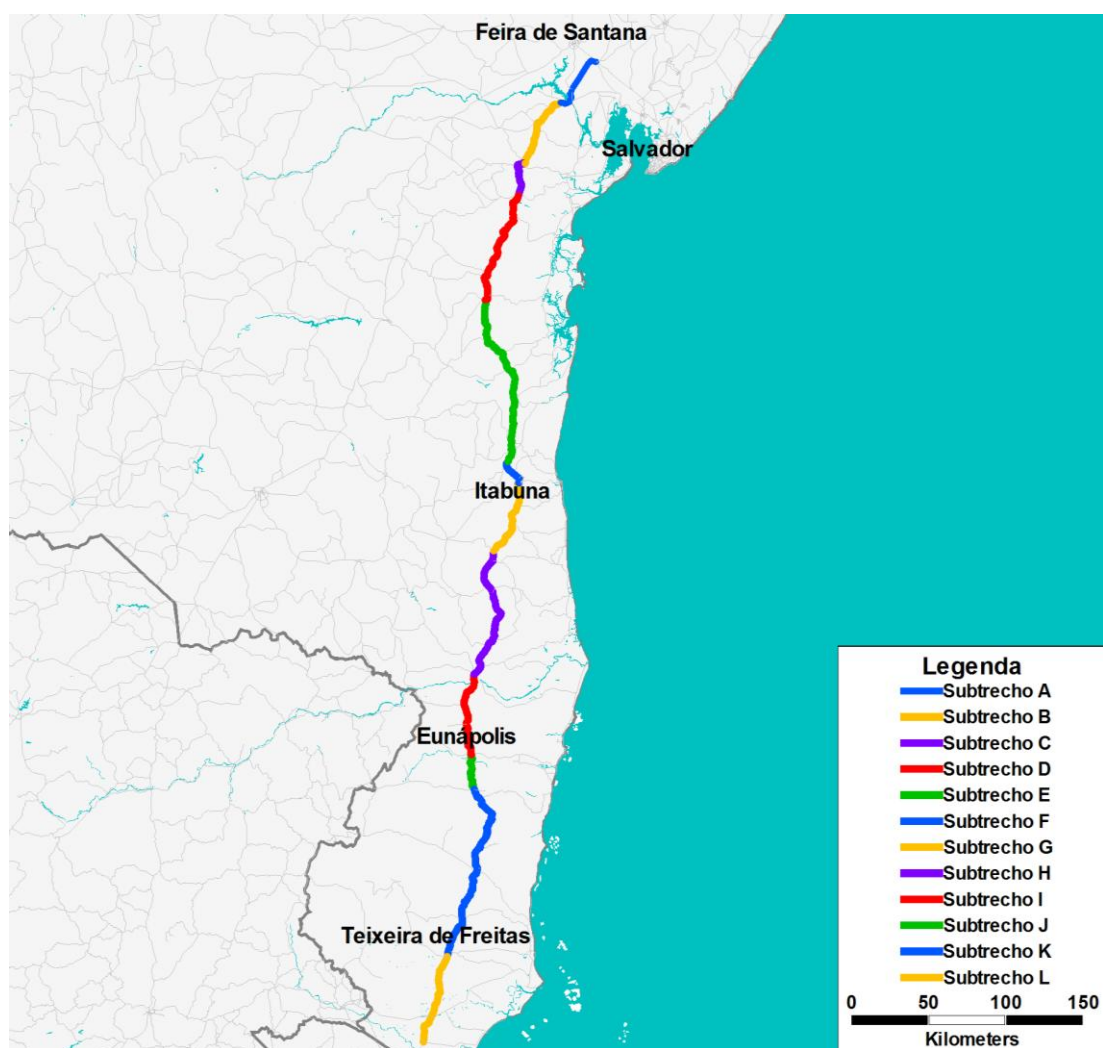


Figura 14 – Sub-trechos homogêneos da rodovia

Tabela 4 - Atuais sub-trechos homogêneos da rodovia

Sub-Trecho Homogêneo	Km inicial	Km final	Extensão (km)
A	166,5	211,2	44,7
B	211,2	258,2	47,0
C	258,2	284,2	26,0
D	284,2	371,4	87,2
E	371,4	488,0	116,6
F	488,0	511,6	23,6
G	511,6	560,0	48,4
H	560,0	657,3	97,3
I	657,3	717,8	60,5
J	717,8	745,0	27,2
K	745,0	877,3	132,3
L	877,3	938,8	80,4

Dentro de um sub-trecho homogêneo não foi admitido que o nível de serviço D fosse atingido em nenhum de seus segmentos. O VDMA do segmento crítico<sup>2</sup> foi considerado como “Gatilho” da ampliação.

A **apresenta os** valores de VDMA equivalente de gatilho (veículos equivalentes/dia, em ambos sentidos de tráfego) que a concessionária deverá considerar como parâmetro para o acréscimo de nova faixa por sentido.

Tabela 5 apresenta os valores de VDMA equivalente de gatilho (veículos equivalentes/dia, em ambos sentidos de tráfego) que a concessionária deverá considerar como parâmetro para o acréscimo de nova faixa por sentido.

**Tabela 5 - Gatilhos Volumétrico das Ampliações**

Sub-Trecho Homogêneo	VDMAeq (veículos equivalentes/dia)
A	57.300
B	56.400
C	57.100
D	58.900
E	60.500
F	58.600
G	57.200
H	63.000
I	64.300
J	58.500
K	59.700
L	58.300

2 Segmento onde o nível de serviço D é atingido primeiro dentro de um sub-trecho homogêneo.

### 3.7.3.3 Especificações das Ampliações

#### Duplicação

Para efeito de estimativa de custos de uma segunda pista de uma rodovia, os principais critérios utilizados foram:

- Obrigação de atendimento à Classe 1-A;
- Definição do tipo de terreno, conforme **Tabela 6**;

**Tabela 6 - Definição do tipo de terreno<sup>3</sup>**

Relevo	Aclive + Declive (m/km)	Aclive + Declive (#./km)	Curvatura Horizontal (graus/km)
Plano	1,0	1,0	3,0
Levemente ondulado	10,0	2,0	15,0
Ondulado	15,0	2,0	75,0
Fortemente ondulado	20,0	3,0	300,0
Montanhoso	40,0	4,0	500,0

- Definição das alturas de corte e aterro, conforme **Tabela 7**:

**Tabela 7 - Definição das alturas de corte e aterro<sup>4</sup>**

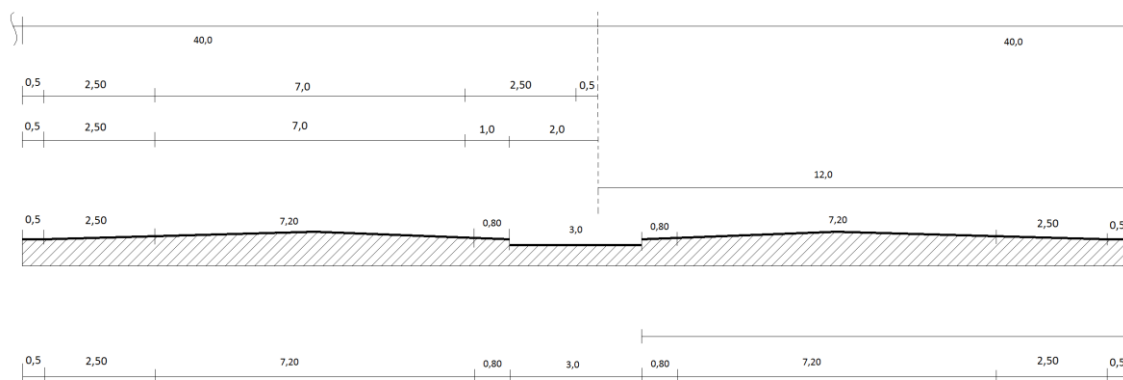
Relevo	H Corte (m)	H Aterro (m)
Plano	1,1	1,2
Levemente Ondulado	1,9	2,1
Ondulado	3,0	2,4
Fortemente Ondulado	3,7	3,8
Montanhoso	5,4	4,7

- Preferencialmente a nova pista deverá ser construída no lado que apresentar a menor movimentação de terra (sempre obedecendo à largura de faixa de domínio); caso isso não seja possível deverá ser seguido o critério de menor número de desapropriações.
- A seção da nova pista terá 12,00 metros de largura (**Figura 15**) e será composta de:
  - Canteiro central;
  - Faixa de segurança com 0,80m;
  - 2 faixas de tráfego com 3,60 metros cada totalizando 7,20m;
  - Acostamento de 2,50 m à direita;

<sup>3</sup> A classificação do tipo de terreno foi feita tendo como referência a codificação do PNV, baseando-se nos critérios estabelecidos no relatório de resultados da Segunda Semana Nacional de Pesquisa de Tráfego de 2011, que utilizou índices de geometria da rodovia para classificar o tipo de terreno em cinco categorias: Plano, Levemente Ondulado, Ondulado, Fortemente Ondulado e Montanhoso.

<sup>4</sup> As alturas de corte e aterro foram determinadas a partir de amostras de perfis de elevação obtidas com a ferramenta Google Earth. As amostras foram tomadas em trechos da rodovia classificados de acordo com o tipo de relevo, o que permitiu o cálculo de um valor médio de altura de corte e aterro para cada uma das classes definidas.

- Faixa de acomodação do talude de 1,00m.



**Figura 15 - Seção da nova pista**

- Para a pavimentação de novas faixas de tráfego, foram consideradas as seguintes dimensões:

**Tabela 8 - Características das Pistas de Rolamento**

PNV	km inicial	km final	Extensão (km)	CBR subleito	N Usace	HCB/2 (cm)	BASE (cm)	SUB-BASE (cm)
						1	2	3
101BBA1540	166,5	171	4,5	20	2,46E+07	5	17	15
101BBA1550	171	180,7	9,7	20	2,46E+07	5	17	15
101BBA1570	180,7	192,5	11,8	20	2,46E+07	5	17	15
101BBA1572	192,5	207,8	15,3	20	2,22E+07	5	17	15
101BBA1574	207,8	220	12,2	20	2,22E+07	5	17	15
101BBA1590	220	231,7	11,7	20	2,17E+07	5	17	15
101BBA1610	231,7	235,1	3,4	20	2,17E+07	5	17	15
101BBA1630	235,1	249,6	14,5	20	2,01E+07	5	17	15
101BBA1632	249,6	258,2	8,6	13	2,01E+07	5	17	15
101BBA1650	258,2	264,6	6,4	20	1,85E+07	5	17	15
101BBA1670	264,6	284,2	19,6	20	1,85E+07	5	17	15
101BBA1690	284,2	288,5	4,3	14	1,39E+07	5	17	15
101BBA1695	288,5	302,4	13,9	20	1,39E+07	5	17	15
101BBA1710	302,4	318	15,6	20	1,23E+07	5	17	15
101BBA1710	318	327,5	9,5	19	1,23E+07	5	17	15
101BBA1711	327,5	348,2	20,7	17	1,23E+07	5	17	15
101BBA1712	348,2	356	7,8	18	1,66E+07	5	17	15
101BBA1712	356	364,7	8,7	11	1,66E+07	5	17	15
101BBA1730	364,7	365,9	1,2	9	1,66E+07	5	17	15
101BBA1732	365,9	382	16,1	12	1,66E+07	5	17	15
101BBA1732	382	396,6	14,6	19	1,66E+07	5	17	15
101BBA1734	396,6	410	13,4	18	1,38E+07	5	17	15
101BBA1734	410	423,5	13,5	19	1,38E+07	5	17	15

PNV	km inicial	km final	Extensão (km)	CBR subleito	N Usace	HCB/2 (cm)	BASE (cm)	SUB-BASE (cm)
						1	2	3
101BBA1750	423,5	439,3	15,8	18	1,38E+07	5	17	15
101BBA1751	439,3	444	4,7	19	1,38E+07	5	17	15
101BBA1752	444	445,6	1,6	16	1,38E+07	5	17	15
101BBA1753	445,6	447	1,4	20	1,38E+07	5	17	15
101BBA1754	447	458	11	14	1,38E+07	5	17	15
101BBA1754	458	469,6	11,6	15	1,38E+07	5	17	15
101BBA1756	469,6	474,7	5,1	13	2,01E+07	5	17	15
101BBA1770	474,7	481,4	6,7	11	2,01E+07	5	17	15
101BBA1790	481,4	490,6	9,2	13	2,01E+07	5	17	15
101BBA1810	490,6	507,7	17,1	18	2,01E+07	5	17	15
101BBA1820	507,7	512,6	4,9	12	2,01E+07	5	17	15
101BBA1830	512,6	525,2	12,6	20	8,53E+06	5	17	15
101BBA1832	525,2	541	15,8	15	8,53E+06	5	17	15
101BBA1834	541	560	19	16	8,53E+06	5	17	15
101BBA1836	560	567,1	7,1	16	1,63E+07	5	17	15
101BBA1850	567,1	584,4	17,3	20	1,63E+07	5	17	15
101BBA1870	584,4	590,7	6,3	20	1,63E+07	5	17	15
101BBA1890	590,7	598,1	7,4	19	1,63E+07	5	17	15
101BBA1892	598,1	615,1	17	19	1,63E+07	5	17	15
101BBA1892	615,1	634,8	19,7	20	1,63E+07	5	17	15
101BBA1894	634,8	648,7	13,9	20	2,18E+07	5	17	15
101BBA1896	648,7	665,3	16,6	19	2,18E+07	5	17	15
101BBA1910	665,3	680	14,7	17	2,18E+07	5	17	15
101BBA1912	680	689	9	20	2,18E+07	5	17	15
101BBA1912	689	702,9	13,9	20	2,12E+07	5	17	15
101BBA1914	702,9	717,8	14,9	20	2,12E+07	5	17	15
101BBA1930	717,8	735,8	18	20	2,12E+07	5	17	15
101BBA1930	735,8	745	9,2	20	2,12E+07	5	17	15
101BBA1932	745	765	20	20	2,12E+07	5	17	15
101BBA1932	765	773,5	8,5	20	1,35E+07	5	17	15
101BBA1932	773,5	793,5	20	18	1,35E+07	5	17	15
101BBA1950	793,5	808,5	15	20	1,35E+07	5	17	15
101BBA1970	808,5	813,2	4,7	20	1,35E+07	5	17	15
101BBA1971	813,2	833,2	20	20	1,35E+07	5	17	15
101BBA1971	833,2	853,2	20	20	1,35E+07	5	17	15
101BBA1971	853,2	871,2	18	20	2,01E+07	5	17	15
101BBA1971	871,2	875	3,8	11	2,01E+07	5	17	15
101BBA1990	875	890	15	20	2,01E+07	5	17	15
101BBA1990	890	900	10	20	2,01E+07	5	17	15
101BBA1990	900	919,9	19,9	20	2,01E+07	5	17	15
101BBA2010	919,9	938,8	18,9	20	2,98E+07	5	17	15

- Normas, Especificações e Procedimentos adotados:
  - DNIT 031/2006-ES: Pavimentos Flexíveis - Concreto Asfáltico - Espessura = número 1 (tabela)
  - DNIT 145/2010-ES: Pavimentação - Pintura de ligação com ligante asfáltico convencional
  - Binder (DNIT 031/2006\*) - Espessura = número 1 (tabela);
  - DNIT 144/2010-ES: Pavimentação asfáltica - Imprimação com ligante asfáltico convencional
  - DNIT 141/2010-ES: Pavimentação - Base estabilizada granulometricamente - Espessura = número 2 (tabela);
  - DNIT 139/2010-ES: Pavimentação - Sub-base estabilizada granulometricamente - Espessura = número 3 (tabela);
  - DNIT 137/2010-ES: Regularização do subleito
- Para o pavimento das faixas de segurança e acostamento foi considerado
  - DNIT 031/2006-ES: Pavimentos Flexíveis - Concreto Asfáltico - Espessura = 5 cm
  - DNIT 144/2010-ES: Pavimentação asfáltica - Imprimação com ligante asfáltico convencional
  - DNIT 141/2010-ES: Pavimentação - Base estabilizada granulometricamente - Espessura = 17 cm
  - DNIT 139/2010-ES: Pavimentação - Sub-base estabilizada granulometricamente - Espessura = 15 cm
  - DNIT 137/2010-ES: - Regularização do subleito
- Em terraplenagem os taludes considerados foram:
  - H:V- 1,5 : 1 para corte e,
  - H:V- 2,0 : 1 para aterro
- Para efeito de categoria do material de corte, de acordo com características das regiões consideradas, utilizou-se a seguinte proporção (medida no corte):
  - 70% de materiais de 1ª. Categoria;
  - 20% de materiais de 2ª. Categoria;
  - 10% de materiais de 3ª. Categoria;
- Da mesma forma considerou-se para os aterros (medido no aterro):
  - 7,5% de remoção de solo mole.
  - Drenagem Superficial

### 3.7.4 Melhorias

As Melhorias são obras de ampliação ou obras complementares em determinados locais nas rodovias e podem ser motivadas por diversos fatores dos quais se destacam nível de serviço, segurança e/ou conforto do usuário, necessidades locais, etc.

Neste estudo foram consideradas como melhorias a construção de passarelas, contornos, além de acessos, cujos parâmetros básicos de dimensionamento e estimativa de custos são descritos a seguir.

#### **3.7.4.1 Critérios para implantação de melhorias**

A acessibilidade de uma localidade a uma rodovia é um conjunto de dispositivos que tem como objetivo fornecer segurança e conforto aos usuários da via, bem como à população da cidade que utiliza essa via e sofre interferência em sua locomoção.

Em um trecho com travessia urbana, em uma rodovia podem ocorrer dois extremos de situação: de um lado, quando a rodovia é totalmente permeável a travessias e acessos e de outro, quando a rodovia é totalmente bloqueada.

Considerando que um padrão adequado é de enquadrá-la numa rodovia de Classe I - A, esta deverá permitir acessibilidade às áreas urbanas obedecendo a critérios de espaçamento entre acessos e de características desses acessos, bem como dispor de dispositivos de travessias de pedestres adequadas aos volumes de travessias e ao tráfego da via.

Considerando-se que qualquer mudança que se estabeleça em termos de acessibilidade terá como objetivo diminuir o número de acessos para melhorar a fluidez do tráfego da via num trecho crítico, essa mudança não deverá diminuir a mobilidade dos moradores da localidade em questão.

Desta forma, as intervenções implantadas, com alteração de acessibilidade à rodovia, deverão ser acompanhadas de melhoria e construção de vias laterais que possibilitem ao morador chegar ao novo acesso da rodovia, assim como serem construídos dispositivos de travessias da rodovia, de acordo com a nova situação que a rodovia passará a operar.

#### **3.7.4.2 Obras de Melhorias Concomitantes com a Ampliação Obrigatória**

A implantação de vias marginais, viadutos e passagens inferiores, correções de traçado, passarelas e melhorias em acessos deverá ocorrer de forma concomitante com a execução das Obras de Ampliação, de acordo com a localização e os quantitativos indicados na **Tabela 9** a seguir.

As Obras de Melhorias deverão ser executadas nos mesmos prazos fixados para implantação das pistas duplas, conforme os respectivos trechos selecionados pela Concessionária para atendimento dos prazos indicados acima. A abertura para tráfego de um trecho duplicado deverá, necessariamente, ser acompanhada da abertura para uso de todas as melhorias relativas ao trecho.

Após a duplicação de cada subtrecho, a Concessionária terá até 12 (doze) meses para implementar as vias marginais referentes ao subtrecho duplicado, atendendo todas os Parâmetros Técnicos e Parâmetros de Desempenho.

**Tabela 9 - Quantitativos de melhorias a implantar**

PNV	Vias Marginais (km)	Acessos (un.)	Diamante (un)	Passarela (un)	Trevo (un)	Trombeta (un)	Retorno (un)
101BBA1540	0,5	-	1	1	-	-	-
101BBA1550	-	2	2	-	-	-	-
101BBA1570	-	2	1	1	-	-	-
101BBA1572	3,0	6	2	-	-	-	-
101BBA1574	15,0	2	2	4	-	-	-
101BBA1590	3,0	3	1	1	-	1	-
101BBA1610	-	-	1	1	-	-	-
101BBA1630	-	-	1	-	-	-	-
101BBA1632	-	-	1	2	-	-	-
101BBA1650	3,0	-	2	1	-	-	-
101BBA1670	-	4	-	-	-	-	-
101BBA1690	1,0	-	1	-	-	-	-
101BBA1695	-	1	1	-	-	-	-
101BBA1710	2,0	1	2	1	-	-	-
101BBA1711	4,5	1	2	2	-	-	-
101BBA1712	-	1	2	-	-	-	-
101BBA1730	2,0	-	1	1	-	-	-
101BBA1732	-	2	1	-	-	-	-
101BBA1734	0,5	-	3	-	-	-	-
101BBA1750	1,0	-	1	-	-	-	-
101BBA1751	-	-	1	1	-	-	-
101BBA1752	-	-	-	-	-	-	-
101BBA1753	1,0	-	1	-	-	-	-
101BBA1754	-	1	1	-	-	-	-
101BBA1756	-	-	1	-	-	-	-
101BBA1770	-	-	-	-	-	-	-
101BBA1790	-	-	-	-	-	-	-
101BBA1810	9,0	3	1	2	-	-	-
101BBA1820	-	1	-	-	-	-	-



PNV	Vias Marginais (km)	Acessos (un.)	Diamante (un)	Passarela (un)	Trevo (un)	Trombeta (un)	Retorno (un)
101BBA1830	1,5	1	1	1	-	-	-
101BBA1832	2,0	-	-	-	-	-	-
101BBA1834	-	-	2	1	-	-	-
101BBA1836	-	1	1	-	-	-	-
101BBA1850	2,0	-	1	1	-	-	-
101BBA1870	-	-	1	-	-	-	-
101BBA1890	-	-	2	-	-	-	-
101BBA1892	1,5	-	2	-	-	-	-
101BBA1894	-	-	-	-	-	-	-
101BBA1896	-	1	3	-	-	-	-
101BBA1910	1,0	1	1	-	-	-	-
101BBA1912	-	-	2	-	-	-	-
101BBA1914	3,0	2	-	1	-	-	-
<b>Total</b>	<b>56,5</b>	<b>36,0</b>	<b>49,0</b>	<b>22,0</b>	<b>-</b>	<b>1,0</b>	<b>-</b>

É importante salientar que todas as melhorias deverão ser realizadas em conjunto com a obra de ampliação obrigatória da rodovia.

A seguir é apresentada a proporção considerada no estudo para a realização das melhorias concomitantes com a ampliação obrigatória da rodovia:

- Ano 1 – 0%
- Ano 2 ao 5 – 25% ao ano.

### 3.7.4.3 Obras de Melhorias definidas a critério da ANTT

Ainda são previstos que a Concessionária deverá implantar melhorias ao longo de todo o trecho concessionado, de acordo com prazos, locais e critérios a serem definidos pela ANTT, observados os quantitativos máximos previstos na **Tabela 10** seguir:

**Tabela 10 - Obras de Melhorias definidas a critério da ANTT**

Melhoria	Quantitativo
Vias Marginais (km)	11
Acessos (un.)	-
Conexão Diamante (un.)	5
Passarelas (un.)	5

Melhoria	Quantitativo
Conexão Trevo (un.)	-
Conexão Trombeta (un.)	5
Retorno (un.)	-

É importante salientar que estas obras de melhoria deverão ser implantadas em datas e com prazos a serem definidos pela ANTT, conforme necessidade do trecho concessionado. Para fins de análise de financeira deste estudo, considerou-se que todas melhorias, serão implantadas de acordo com as proporções descritas a seguir:

- Ano 6 ao 25 – 5% ao ano.

#### 3.7.4.4 Especificações das Melhorias

##### Passarelas

É importante a instalação das passarelas nos pontos da rodovia onde há travessias frequentes de pedestres, para que a funcionalidade das passarelas seja obtida. Pontos com elevados índices de atropelamentos devem ser prioridade na instalação.

Para a implantação de uma passarela devem ser observados os seguintes fatores:

- Características geométricas da rodovia no principal ponto de travessia e suas condições de visibilidade (tanto para o motorista quanto para o pedestre);
- Número de faixas da Rodovia a serem atravessadas pelo pedestre;
- Proximidade de trechos urbanos.
  - Inexistência de outros dispositivos que facilitam a travessia dos pedestres:
  - Pontes;
  - Viadutos;
  - Passagens inferiores, etc.

Após a identificação dos trechos onde são necessárias passarelas, o ponto específico de sua construção deve ser determinado seguindo os seguintes critérios:

- Garantia de que o percurso a ser realizado após a construção da passarela não represente aumento significativo de extensão com relação ao percurso original dos pedestres;
- As rampas devem ser construídas obedecendo aos de critérios de acessibilidade universal;
- Proximidade de pontos que gerem um grande número de travessias em determinados horários do dia (existência de escolas, hospitais, igrejas, etc. ao lado da rodovia)

Em todos os casos são analisados a confluência dos fatores rodoviários com os dos pedestres. O fator “número de atropelamentos” é muitas vezes utilizado como indicador de necessidade, mas deve ser analisado criteriosamente verificando-se se realmente constitui-se de um caso de necessidade de travessias ou de tráfego de pedestres pelo acostamento (caso onde deve ser construída uma via lateral, por exemplo).

A implantação de passarela deverá sempre levar em consideração a implantação de outros dispositivos que impeçam os pedestres de atravessarem fora do local determinado, bem como a sinalização adequada tanto para os motoristas quanto para os pedestres.

Os custos de passarelas foram estabelecidos a partir de uma extensão que prevê, além da travessia das pistas da rodovia, uma largura de segurança de 2,50m de cada lado, além das rampas de acesso.

Para efeito de extensão das rampas foi considerada uma inclinação de 8,33% (de acordo com as normas de acessibilidade) e uma altura média a ser vencida de 6,50m (altura da viga, mais gabarito vertical de 5,50m) de cada lado. Não foram consideradas vantagens obtidas a partir de condições específicas da topografia.

#### Vias marginais e ruas laterais à rodovia

É importante construir as vias locais nos pontos da rodovia onde há tráfego urbano excessivo, ocasionando acidentes, lentidão e diminuição pontual no nível de serviço da via.

Para estimar os custos de construção de vias marginais à rodovia foram considerados os seguintes critérios:

- As vias terão alinhamentos adequados às construções existentes e preferencialmente com condições mínimas de cortes e aterros.
- A seção da nova via terá:
  - Pista de rolamento com 8,00m de largura;
  - Passeio em pelo menos um dos lados, com 2,50m;
  - Acomodação do talude com 1,00m de largura para o outro lado.
- Para o pavimento da pista foi considerado:
  - DNIT 031/2006-ES: Pavimentos Flexíveis - Concreto Asfáltico - Espessura = 5 cm
  - DNIT 144/2010-ES: Pavimentação asfáltica - Imprimação com ligante asfáltico convencional
  - DNIT 141/2010-ES: Pavimentação - Base estabilizada granulometricamente - Espessura = 15 cm;

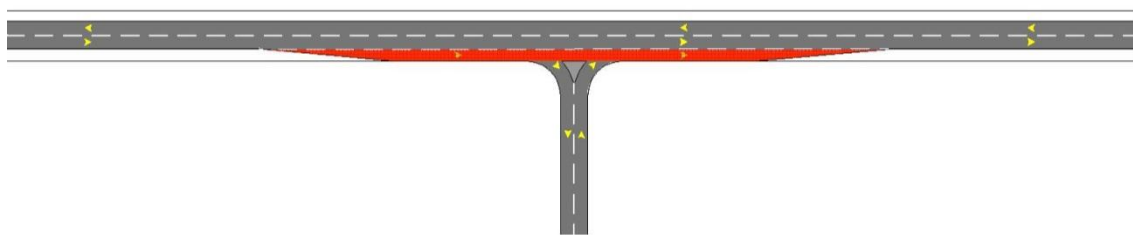
- DNIT 139/2010-ES: Pavimentação - Sub-base estabilizada granulometricamente - Espessura = 15 cm;
- DNIT 137/2010-ES: Regularização do subleito
- Em ambos os lados deverá haver meio fio e sarjetas de 0,45cm.
- A extensão total das vias marginais foi estimada especificamente para cada caso.
- Nos pontos críticos, onde houver necessidade de movimentação de terra os taludes considerados foram:
  - H:V - 1,5 : 1 para corte e,
  - H:V - 2,0 : 1 para aterro
- Para efeito de categoria do material de corte, de acordo com características das regiões consideradas, utilizou-se a seguinte proporção:
  - 70% de materiais de 1ª. Categoria;
  - 20% de materiais de 2ª. Categoria;
  - 10% de materiais de 3ª. Categoria;
  - 5% de remoção de solo mole.

### Acessos

Para efeito de estimativa de custos de acessos foram considerados os seguintes critérios:

- Os acessos deverão estar localizados em pontos onde serão permitidas entradas e saídas na rodovia, dentro de padrões adequados de segurança, em pontos onde não será permitido cruzamento da faixa a ser acessada.
- A seção dos acessos será composta por:
  - Pista de rolamento com 20,00m de extensão por 8,00m de largura;
  - Faixa de aceleração e desaceleração com aproximadamente 80,00m de extensão e 4,00m de largura, junto à pista de rolamento da rodovia.
- Para o pavimento da pista foi considerado:
  - DNIT 031/2006-ES: Pavimentos Flexíveis - Concreto Asfáltico - Espessura = 5 cm
  - DNIT 144/2010-ES: Pavimentação asfáltica - Imprimação com ligante asfáltico convencional
  - DNIT 141/2010-ES: Pavimentação - Base estabilizada granulometricamente - Espessura = 15 cm;
  - DNIT 139/2010-ES: Pavimentação - Sub-base estabilizada granulometricamente - Espessura = 15 cm;
  - DNIT 137/2010-ES: Regularização do subleito

Para o cálculo do custo de um **acesso simples**, considera-se a configuração ilustrada na **Figura 16**.



**Figura 16 - Modelo de acesso**

O custo foi calculado considerando uma composição de valores já conhecidos, sendo neste caso o acesso decomposto nos seguintes serviços:

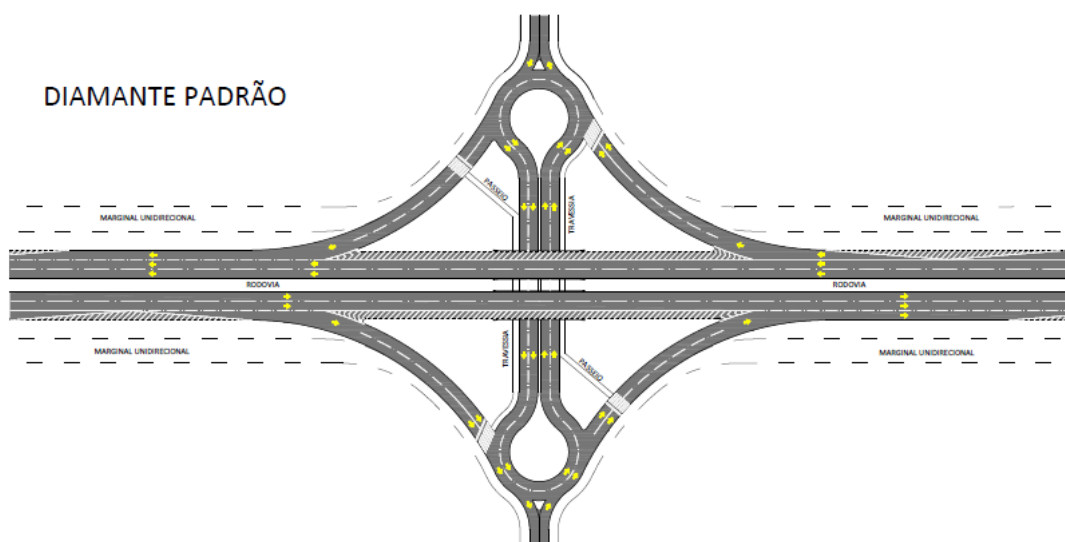
- 120 metros de pista simples, sendo:
  - 90 metros de meia pista (*taper* desaceleração)
  - 90 metros de meia pista (*taper* aceleração)
  - 30 metros de pista simples na junção

#### Interconexão tipo diamante

Diamante é um dos dispositivos em desnível mais simples utilizados em acessos e cruzamentos de rodovias, com conexão ou não as marginais dessas rodovias. Foram analisadas as seguintes situações:

- Construções de alças direcionais em travessia em desnível existente.
- Construção de todo o dispositivo quando existia travessia em nível.
- Para o pavimento da pista foi considerado:
  - DNIT 031/2006-ES: Pavimentos Flexíveis - Concreto Asfáltico - Espessura = 5 cm
  - DNIT 145/2010-ES: Pavimentação - Pintura de ligação com ligante asfáltico convencional
  - Binder (DNIT 031/2006\*) - Espessura = 5 cm;
  - DNIT 144/2010-ES: Pavimentação asfáltica - Imprimação com ligante asfáltico convencional
  - DNIT 141/2010-ES: Pavimentação - Base estabilizada granulometricamente - Espessura = 17 cm;
  - DNIT 139/2010-ES: Pavimentação - Sub-base estabilizada granulometricamente - Espessura = 15 cm;
  - DNIT 137/2010-ES: Regularização do subleito

Para o cálculo do custo de uma **Interconexão Diamante**, considera-se a configuração ilustrada na **Figura 17**.



**Figura 17 - Modelo de Interconexão Diamante**

O seu custo foi calculado considerando uma composição de valores dos seguintes serviços:

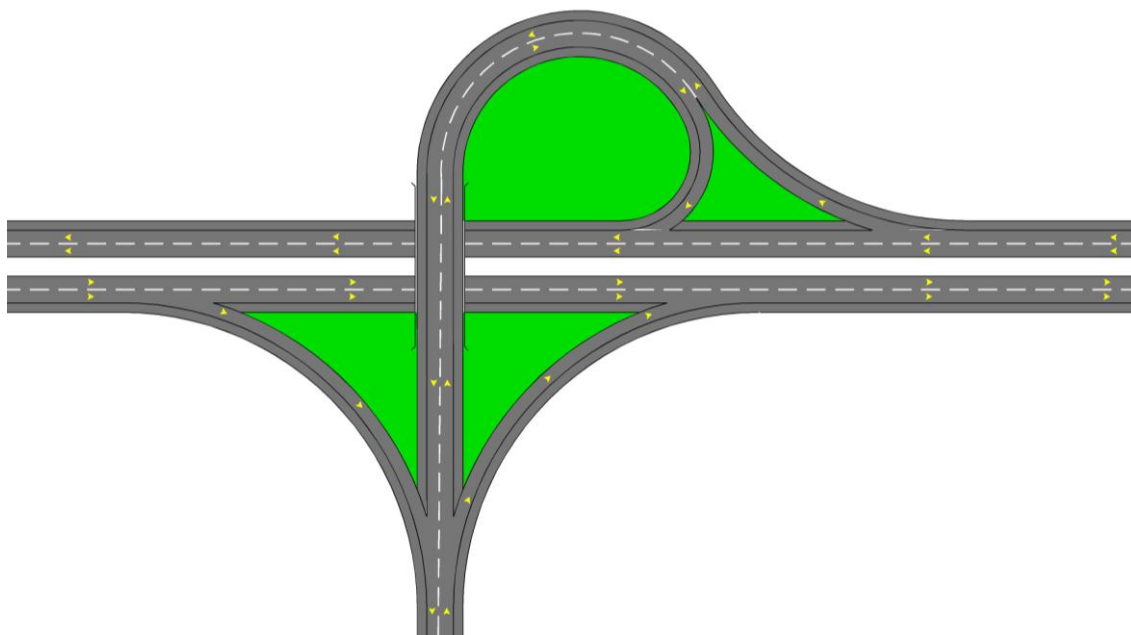
- 120 metros de pista simples em cada uma das quatro alças de acesso (480m)
- 200 metros de pista simples sob o viaduto até os acessos laterais
- 40 metros de viaduto com 13 metros de largura
- 2 rotatórias, com raio de 20m.

#### Interconexão tipo trombeta

Esta interconexão é utilizada geralmente em entroncamentos de uma rodovia em outra, quando o entroncamento (normalmente em nível) já se apresenta com baixa capacidade.

- Para o pavimento da pista foi considerado:
  - DNIT 031/2006-ES: Pavimentos Flexíveis - Concreto Asfáltico - Espessura = 5 cm
  - DNIT 145/2010-ES: Pavimentação - Pintura de ligação com ligante asfáltico convencional
  - Binder (DNIT 031/2006\*) - Espessura = 5 cm;
  - DNIT 144/2010-ES: Pavimentação asfáltica - Imprimação com ligante asfáltico convencional
  - DNIT 141/2010-ES: Pavimentação - Base estabilizada granulometricamente - Espessura = 17 cm;
  - DNIT 139/2010-ES: Pavimentação - Sub-base estabilizada granulometricamente - Espessura = 15 cm;
  - DNIT 137/2010-ES: Regularização do subleito

Para o cálculo do custo de uma **interconexão trombeta**, considera-se a seguinte configuração:



**Figura 18 - Modelo de Interconexão Trombeta**

Sendo os custos quantificados da seguinte maneira:

#### Alças

- 206m de alça direcional (618,00m);
- 50m de taper de aceleração e/ou desaceleração (150,00m).

#### Looping

- 236m de desenvolvimento por looping

#### Travessia

- 90m, considerando seção de 12,00m;
- 40m de OAE, com 13m de largura .

Observa-se que para Pista Dupla, basta acrescentar a duplicação da pista sob a OAE existente.

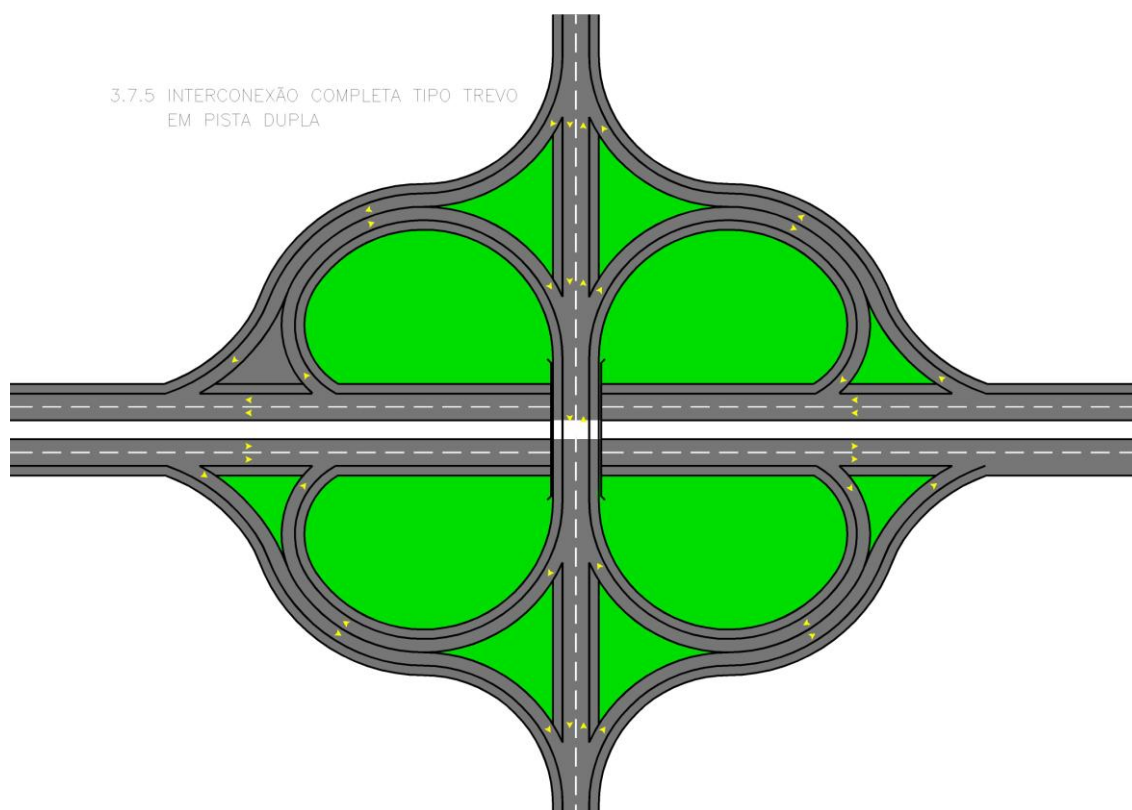
#### Interconexão tipo trevo

Esta interconexão é utilizada geralmente em cruzamentos entre duas rodovias.

- Para o pavimento da pista foi considerado:
  - DNIT 031/2006-ES: Pavimentos Flexíveis - Concreto Asfáltico - Espessura = 5 cm

- DNIT 145/2010-ES: Pavimentação - Pintura de ligação com ligante asfáltico convencional
- Binder (DNIT 031/2006\*) - Espessura = 5 cm;
- DNIT 144/2010-ES: Pavimentação asfáltica - Imprimação com ligante asfáltico convencional
- DNIT 141/2010-ES: Pavimentação - Base estabilizada granulometricamente - Espessura = 17 cm;
- DNIT 139/2010-ES: Pavimentação - Sub-base estabilizada granulometricamente - Espessura = 15 cm;
- DNIT 137/2010-ES: Regularização do subleito

Para o cálculo do custo de uma **interconexão tipo Trevo**, considera-se a seguinte configuração:



**Figura 19 - Modelo de Interconexão Trevo**

O seu custo foi calculado considerando uma composição de valores já conhecidos, neste caso o acesso foi decomposto nos seguintes serviços:

#### Alças

- 206m de alça direcional (824,00m);
- 50m de taper de aceleração e/ou desaceleração (200,00m).

#### Looping



- 236m de desenvolvimento por looping (944,00m)

#### Travessia

- 90m, considerando seção de 12,00m, de cada lado (180m);
- 40m de OAE, com 13m de largura

#### Obras de arte especiais

As pontes e viadutos previstos obedecem as seções de Rodovias Classe 1 A, ou seja, para pista com duas faixas em único sentido de direção tem-se: acostamento de 2,50m, faixas de rolamento de 7,20m, faixa de segurança de 0,60m além dos guarda rodas laterais, perfazendo 10,30m de seção. Como base de base de cálculo foram utilizados os seguintes critérios:

- Comprimento de 75,00m e largura de 13,00m.
- Fundação em tubulão a ar comprimido.
- Vigas moldadas em loco.
- Pavimento em CBUQ.
- Guarda rodas tipo *New Jersey*.
- Trem tipo de 45 ton.

A partir dessa obra foram estimados proporcionalmente os custos de obras de arte previstas no projeto.

### 3.7.5 Quantitativos de Melhorias e Ampliações

Com as considerações acima indicadas foi levantada a quantidade de Melhorias e Ampliações a serem executadas e o seu período de execução, conforme **Tabela 11** a seguir.

**Tabela 11 - Quantitativos e custos unitários de ampliações e melhorias até o 5º ano (REIDI)**

4	OBRAS DE AMPLIAÇÃO DA CAPACIDADE E OUTRAS MELHORIAS	un.	Qtde	Custo
4.1	<b>OBRAS OBRIGATÓRIAS (Apêndice C - PER)</b>			
4.1.1	Melhorias em trechos urbanos			
4.1.1.1	Passarelas	un	22	R\$ 1.150.479,80
4.1.1.2	Vias laterais	km	56,5	R\$ 800.371,72
4.1.2.3	Melhorias em intersecções e acessos			
4.1.2.3.1	Acessos			
4.1.2.3.1.1	Construção de Acessos	un	36	R\$ 120.761,41
4.1.2.3.2	Intersecções			
4.1.2.3.2.3	Interconexão diamante	un	49	R\$ 3.720.112,64
4.1.2.3.2.4	Interconexão trombeta	un	1	R\$ 3.627.847,18
4.1.2.4	Duplicações			
4.1.2.4.1	Execução de duplicação em terreno ondulado	km	541	R\$ 2.486.500,19

4	OBRAS DE AMPLIAÇÃO DA CAPACIDADE E OUTRAS MELHORIAS	un.	Qtde	Custo
4.1.2.4.2	Execução de duplicação em terreno plano	km	6,4	R\$ 2.084.749,27

### 3.7.5.1 Valores para Ampliações e Melhorias

A partir dos quantitativos e custos unitários definidos em demonstrativos de composição de preços fornecidos pelo SICRO2, pode-se obter os custos totais para as ampliações e melhorias da rodovia, conforme tabelas a seguir.

**Tabela 12 - Estimativa de valores para Melhorias e Ampliações para os anos 2 até 5**

	Item	TOTAL	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
4	OBRAS DE AMPLIAÇÃO DA CAPACIDADE E OUTRAS MELHORIAS	1.750.934.284,00	293.127.200,37	408.285.131,73	552.232.545,92	437.074.614,57
4.1	OBRAS OBRIGATÓRIAS (Apêndice C - PER)	1.669.999.141,29	280.177.577,54	388.860.697,47	524.714.597,40	416.031.477,46
4.1.1	Melhorias em trechos urbanos	84.459.565,77	15.246.143,36	15.246.143,36	15.246.143,36	15.246.143,36
4.1.1.1	Passarelas	31.062.954,62	6.327.638,91	6.327.638,91	6.327.638,91	6.327.638,91
4.1.1.2	Vias laterais	53.396.611,15	8.918.504,45	8.918.504,45	8.918.504,45	8.918.504,45
4.1.2	Melhorias físicas e operacionais	1.585.539.575,52	264.931.434,18	373.614.554,12	509.468.454,04	400.785.334,10
4.1.2.1	Execução de contornos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.1.2.2	Retificações de traçado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.1.2.3	Melhorias em intersecções e acessos	227.000.576,28	47.565.194,30	47.565.194,30	47.565.194,30	47.565.194,30
4.1.2.4	Duplicações	1.358.538.999,24	217.366.239,88	326.049.359,82	461.903.259,74	353.220.139,80
4.2	OBRAS CONDICIONADAS AO VOLUME DE TRÁFEGO		0,00	0,00	0,00	0,00
4.2.1	Implantação de faixas adicionais		0,00	0,00	0,00	0,00
4.3	ELABORAÇÃO DE PROJETOS	80.935.142,72	12.949.622,83	19.424.434,25	27.517.948,52	21.043.137,11
4.4	DESAPROPRIAÇÕES E INDENIZAÇÕES*	98.825.788,41	15.812.126,15	23.718.189,22	33.600.768,06	25.694.704,99
	Total + Desapropriações	1.849.760.072,41	308.939.326,52	432.003.320,95	585.833.313,98	462.769.319,56

**Tabela 13 - Estimativa de valores para Melhorias e Ampliações para os anos 6 até 10**

	Item	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
4	OBRAS DE AMPLIAÇÃO DA CAPACIDADE E OUTRAS MELHORIAS	11.043.114,35	2.587.983,00	2.587.983,00	2.587.983,00	2.587.983,00
4.1	OBRAS OBRIGATÓRIAS (Apêndice C - PER)	11.043.114,35	2.587.983,00	2.587.983,00	2.587.983,00	2.587.983,00

	Item	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
4.1.1	Melhorias em trechos urbanos	9.206.124,40	750.993,05	750.993,05	750.993,05	750.993,05
4.1.1.1	Passarelas	287.619,95	287.619,95	287.619,95	287.619,95	287.619,95
4.1.1.2	Vias laterais	8.918.504,45	463.373,10	463.373,10	463.373,10	463.373,10
4.1.2	Melhorias físicas e operacionais	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95
4.1.2.1	Execução de contornos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.1.2.2	Retificações de traçado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.1.2.3	Melhorias em intersecções e acessos	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95
4.1.2.4	Duplicações	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>4.2</b>	<b>OBRAS CONDICIONADAS AO VOLUME DE TRÁFEGO</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.2.1	Implantação de faixas adicionais	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>4.3</b>	<b>ELABORAÇÃO DE PROJETOS</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 14 - Estimativa de valores para Melhorias e Ampliações para os anos 11 até 15

	Item	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15
<b>4</b>	<b>OBRAS DE AMPLIAÇÃO DA CAPACIDADE E OUTRAS MELHORIAS</b>	2.587.983,00	2.587.983,00	2.587.983,00	2.587.983,00	2.587.983,00
<b>4.1</b>	<b>OBRAS OBRIGATÓRIAS (Apêndice C - PER)</b>	2.587.983,00	2.587.983,00	2.587.983,00	2.587.983,00	2.587.983,00
4.1.1	Melhorias em trechos urbanos	750.993,05	750.993,05	750.993,05	750.993,05	750.993,05
4.1.1.1	Passarelas	287.619,95	287.619,95	287.619,95	287.619,95	287.619,95
4.1.1.2	Vias laterais	463.373,10	463.373,10	463.373,10	463.373,10	463.373,10
4.1.2	Melhorias físicas e operacionais	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95
4.1.2.1	Execução de contornos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.1.2.2	Retificações de traçado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.1.2.3	Melhorias em intersecções e acessos	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95
4.1.2.4	Duplicações	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>4.2</b>	<b>OBRAS CONDICIONADAS AO VOLUME DE TRÁFEGO</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.2.1	Implantação de faixas adicionais	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>4.3</b>	<b>ELABORAÇÃO DE PROJETOS</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**Tabela 15 - Estimativa de valores para Melhorias e Ampliações para os anos 16 até 20**

	Item	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19	Ano 20
<b>4</b>	<b>OBRAS DE AMPLIAÇÃO DA CAPACIDADE E OUTRAS MELHORIAS</b>	2.587.983,00	2.587.983,00	2.587.983,00	2.587.983,00	2.587.983,00
<b>4.1</b>	<b>OBRAS OBRIGATÓRIAS (Apêndice C - PER)</b>	2.587.983,00	2.587.983,00	2.587.983,00	2.587.983,00	2.587.983,00
4.1.1	Melhorias em trechos urbanos	750.993,05	750.993,05	750.993,05	750.993,05	750.993,05
4.1.1.1	Passarelas	287.619,95	287.619,95	287.619,95	287.619,95	287.619,95
4.1.1.2	Vias laterais	463.373,10	463.373,10	463.373,10	463.373,10	463.373,10
4.1.2	Melhorias físicas e operacionais	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95
4.1.2.1	Execução de contornos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.1.2.2	Retificações de traçado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.1.2.3	Melhorias em intersecções e acessos	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95
4.1.2.4	Duplicações	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>4.2</b>	<b>OBRAS CONDICIONADAS AO VOLUME DE TRÁFEGO</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.2.1	Implantação de faixas adicionais	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>4.3</b>	<b>ELABORAÇÃO DE PROJETOS</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**Tabela 16 - Estimativa de valores para Melhorias e Ampliações para os anos 21 até 25**

	Item	Ano 21	Ano 22	Ano 23	Ano 24	Ano 25
<b>4</b>	<b>OBRAS DE AMPLIAÇÃO DA CAPACIDADE E OUTRAS MELHORIAS</b>	2.587.983,00	2.587.983,00	2.587.983,00	2.587.983,00	2.587.983,00
<b>4.1</b>	<b>OBRAS OBRIGATÓRIAS (Apêndice C - PER)</b>	2.587.983,00	2.587.983,00	2.587.983,00	2.587.983,00	2.587.983,00
4.1.1	Melhorias em trechos urbanos	750.993,05	750.993,05	750.993,05	750.993,05	750.993,05
4.1.1.1	Passarelas	287.619,95	287.619,95	287.619,95	287.619,95	287.619,95
4.1.1.2	Vias laterais	463.373,10	463.373,10	463.373,10	463.373,10	463.373,10
4.1.2	Melhorias físicas e operacionais	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95
4.1.2.1	Execução de contornos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.1.2.2	Retificações de traçado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.1.2.3	Melhorias em intersecções e acessos	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95	1.836.989,95
4.1.2.4	Duplicações	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>4.2</b>	<b>OBRAS CONDICIONADAS AO VOLUME DE TRÁFEGO</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.2.1	Implantação de faixas adicionais	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

	Item	Ano 21	Ano 22	Ano 23	Ano 24	Ano 25
4.3	ELABORAÇÃO DE PROJETOS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

### 3.7.6 Referências bibliográficas

ANDRADE, G. R.; RODRIGUES SILVA, K. C.; GOUVÊA, R. G. XXII **Considerações sobre a determinação de fatores de equivalência de veículos pesados em rodovias de pistas simples**. Anais do Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, 2008.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Highway Capacity Manual**. National Research Council. Washington D.C, 2000.