

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG**  
**CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**  
**RAMON DE CASTRO RIBEIRO**

**ESTUDO DE NÍVEL DE SERVIÇO E CAPACIDADE**  
**VIÁRIA - MÉTODO HCM 2010**

**FORMIGA – MG**  
**2015**

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG  
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL  
RAMON DE CASTRO RIBEIRO

ESTUDO DE NÍVEL DE SERVIÇO E CAPACIDADE  
VIÁRIA - MÉTODO HCM 2010

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado no curso de Engenharia Civil do  
Unifor-MG como requisito parcial para  
obtenção do título em Bacharel em  
Engenharia Civil.

Orientador: Dr. Paulo José Silva.

FORMIGA – MG

2015

R484 Ribeiro, Ramon de Castro.  
Estudo de nível de serviço e capacidade viária: método HCM 2010 /  
Ramon de Castro Ribeiro. - 2015  
78 f.

Orientador: Paulo José Silva.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil)-Centro  
Universitário de Formiga-UNIFOR-MG, Formiga, 2015.

1. Rodovia. 2. HCM. 3. Nível de Serviço. Título.

CDD 625.1

RAMON DE CASTRO RIBEIRO

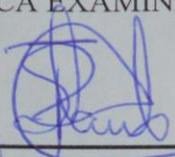
ESTUDO DE NÍVEL DE SERVIÇO E CAPACIDADE

VIÁRIA - MÉTODO HCM 2010

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado no curso de Engenharia Civil do  
Unifor-MG como requisito parcial para  
obtenção do título em Bacharel em  
Engenharia Civil.

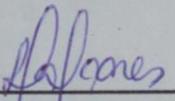
Orientador: Dr. Paulo José Silva.

BANCA EXAMINADORA



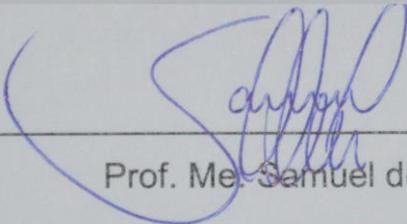
---

Prof. Dr. Paulo José Silva  
Orientador



---

Prof. Laurêmia Soares da Silva



---

Prof. Me. Samuel de Oliveira

Formiga, 27 de outubro de 2015

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, por me conceber com a capacidade e o intelecto para produção deste trabalho, mesmo que muitas vezes não tenha demonstrado gratidão, obrigado senhor.

Agradeço aos meus pais, Otacílio e Rosália, por abrirem as portas para meu futuro, diante de relevantes sacrifícios, tonando assim, meus sonhos realidade.

Ao meu irmão Samuel, familiares e amigos, por terem guiado junto a mim este caminho, com pensamentos positivos.

A Luma, por sua tolerância e abdicação de suas obrigações para me ajudar.

Aos amigos que conquistei durante estes cinco anos na universidade.

Ao Engenheiro Civil, Dr. Frederico Timóteo de Castro, quem colaborou e dedicou seu tempo a me ensinar procedimentos deste trabalho, me tornando apto a realiza-lo.

Ao orientador Dr. Paulo José Silva, que a medida do possível, dedicou-se a me ajudar ao longo desta realização, mostrando comprometimento, eficiência e sabedoria, obrigado.

## RESUMO

O presente trabalho acadêmico tem por objetivo apresentar um estudo de capacidade de uma rodovia de Minas Gerais, realizando através do método *Highway Capacity Manual* (HCM 2010). Inicialmente através de uma fundamentação teórica, serão apresentadas definições importantes para o tema em estudo, como por exemplo, conceitos de capacidade de rodovias, trechos homogêneos, níveis de serviço e demanda de tráfego. Sabe-se que em estudos de capacidade de rodovias, faz-se necessário classificar e caracterizar a situação atual do trecho em estudo, através de sua contagem classificada de tráfego (CVC), definida por segmentos homogêneos, classificação de suas rampas e determinação dos níveis de serviço nos quais a rodovia opera. Uma abordagem futura também será analisada, a partir da projeção da demanda e determinação de possíveis intervenções na via, a fim de alcançar níveis de serviço satisfatórios a longo prazo. Para a elaboração do estudo foram feitas pesquisas em diversas fontes e realizadas visitas em campo, o que permitiu avaliar as características do trecho em estudo. Como resultado do trabalho, elaborou-se propostas de intervenções para melhoria da capacidade da via, garantindo maior fluidez do tráfego e segurança da via.

**Palavras-chave:** Nível de Serviço. Rodovias. *Highway Capacity Manual 2010*.

## **ABSTRACT**

The academic work aims to present a study on highway capacity in Minas Gerais, through the Highway Capacity Manual (HCM 2010). Initially through a theoretical foundation, important definitions for the study, for example, road capacity concepts, homogeneous segments, service levels and traffic demand. It is known that in road capacity studies, it is necessary to classify and characterize the stretch of the current situation in study, through its classified count traffic (CVC), defined in homogeneous segments of your ramps classification and determination of levels numbers service what a highway opera. Also a future approach will be analyzed, from the demand projection and determination of possible interventions towards an end to achieve satisfactory levels of service long-term one. For the study of developing were made research in multiple Sources and conducted field visits, what allowed evaluate how excerpt of characteristics in study. As a result of work, was drawn up interventions proposals to track capacity improvement, ensuring greater fluidity of traffic and road safety.

**Keywords:** Service Level. Highways. Highway Capacity Manual 2010.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Nível de Serviço A.....	17
Figura 2 - Nível de serviço F.....	18
Figura 3 - RODOVIA X. ....	37
Figura 4 - Atuais características da RODOVIA X - Segmento 12.....	38
Figura 5 - Curva de Enésima Hora. ....	41
Figura 6 - Ábaco Peso Potência. ....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores de ajuste da largura da faixa e do acostamento.....	24
Tabela 2 - Fatores de ajuste do tipo de relevo (fg) para determinação de ATS e PTSF.	25
Tabela 3 - Fatores de ajuste do tipo de relevo (fg) para determinação de ATS em aclives. .....	25
Tabela 4 - Fatores de ajuste do tipo de relevo (fg) para determinação de PTSF em aclives. .....	26
Tabela 5 - Fatores de equivalência (ET) para veículos pesados em trechos genéricos e em declive de rodovias de pista simples – ATS e PTSF. ....	27
Tabela 6 - Fatores de equivalência de veículos pesados (ET) para determinação de ATS em aclives. ....	27
Tabela 7 - Fatores de equivalência de veículos pesados (ET) para determinação de PTSF em aclives. ....	29
Tabela 8 - Fatores de ajustes para ATS (fnp,ATS) devido a existência de zonas de proibição de ultrapassagem em %. ....	30
Tabela 9 - Fatores de ajuste para PTSF (fnp ,PTSF) devido a existência de zonas de proibição de ultrapassagem em %. ....	31
Tabela 10 - Coeficiente a e b. ....	32
Tabela 11 - Níveis de serviço para rodovias de pista simples. ....	34
Tabela 12 - Comprimento efetivo do benefício da terceira faixa a jusante (Lde).....	34
Tabela 13 - Comprimento ótimo de faixas adicionais (Lpl).....	35
Tabela 14 - Fatores de ajuste para faixas de ultrapassagem em segmentos direcionais de rodovias de pista simples (fpl). ....	35
Tabela 15 - Fatores de ajuste para faixas de adicionais em aclive em segmentos direcionais de rodovias de pista simples (fpl). ....	36
Tabela 16 - Volume Médio Diário do segmento 12. ....	39
Tabela 17 - Fator de Hora de Pico. ....	40
Tabela 18 – Resultados de cálculo da velocidade das curvas. ....	44
Tabela 19 – Resultados de cálculo da velocidade de fluxo livre (BFFS) e média de acessos por km. ....	46
Tabela 20 - Permissão de ultrapassagens. ....	47
Tabela 21 - Localização de faixas adicional. ....	48
Tabela 22 – Dados das rampas do segmento 12. ....	49

Tabela 23 - Níveis de serviço para rodovias de pista simples Classe I. ....	51
Tabela 24 – Rampas do segmento 12.....	55
Tabela 25 - Rampas do segmento 12 após projeção de dez anos. ....	58

## **LISTA DE SIGLAS**

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres  
ATS - Velocidade média de viagem (Average Travel Speed)  
BFFS - Velocidade de fluxo livre base (Basic Free Flow Speed)  
BPTSF - Percentual do tempo em pelotão base (Basic Percent Time Spent Following)  
CVC - Contagem Veicular Classificada  
DER - Departamentos de Estrada e Rodagem  
DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte  
FFS - Velocidade de fluxo livre (Free Flow Speed)  
HCM - Highway Capacity Manual  
IDH - Índice Municipal de Desenvolvimento Humano Municipal  
NPZ - Zonas de proibição de ultrapassagem (No Passing Zones)  
PFFS - Percentual de tempo de viagem em velocidade de fluxo livre (Percent Free Flow Speed)  
PHF - Fator de pico horário (Peak Hour Factor)  
PIN - Projeto Integrado  
PTSF - Percentual do tempo de viagem em pelotão (Percent Time Spent Following)  
TRB - Transportation Research Board  
VMDA - Volume Médio Diário Anual  
VHP - Volume Horário de Projeto

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
3.1	OBJETIVO GERAL.....	15
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
<b>4</b>	<b>FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICAS.....</b>	<b>16</b>
4.1	CONCEITOS DE CAPACIDADE.....	16
4.2	NÍVEL DE SERVIÇO.....	16
4.3	DEMANDA DE TRÁFEGO DA VIA.....	18
4.3.1	CLASSIFICAÇÃO DE TRECHOS HOMOGÊNEOS.....	19
4.3.2	VOLUME MÉDIO DIÁRIO ANUAL – VMDA.....	19
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA HCM.....</b>	<b>20</b>
5.1	O MANUAL.....	20
5.2	DETERMINAÇÃO DO VOLUME MÉDIO DIÁRIO ANUAL – VMDA.....	23
5.3	DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE FLUXO LIVRE (FFS).....	23
5.4	DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE TRÁFEGO EQUIVALENTE.....	24
5.5	ESTIMATIVA DA VELOCIDADE MÉDIA DE VIAGEM (ATS).....	30
5.6	DETERMINAÇÃO DO PERCENTUAL DE TEMPO DE VIAGEM EM PELOTÃO (PTSF).....	31
5.7	DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE.....	33
5.8	DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE SERVIÇO.....	33
5.9	FAIXAS ADICIONAIS.....	34
<b>6</b>	<b>ESTUDO DA CAPACIDADE DO SEGMENTO 12.....</b>	<b>37</b>
6.1	CARACTERÍSTICAS DA RODOVIA X.....	37
6.2	CONTAGEM E CLASSIFICAÇÃO DE TRÁFEGO.....	39
6.2.1	FATOR DE PICO HORÁRIO.....	39
6.2.2	FATOR K: DETERMINAÇÃO DA HORA DE PROJETO.....	40
6.2.3	PROJEÇÃO DO TRÁFEGO.....	42
6.3	CLASSIFICAÇÃO DAS RAMPAS.....	43
6.4	DETERMINAÇÃO DOS NÍVEIS DE SERVIÇO.....	51
6.4.1	PROCEDIMENTO PARA A DETERMINAÇÃO DO FFS.....	51
6.4.2	PROCEDIMENTO PARA A DETERMINAÇÃO DO ATS.....	52
6.4.3	PROCEDIMENTO PARA A DETERMINAÇÃO DO PTSF.....	53

6.4.4	RESULTADOS.....	55
<b>7</b>	<b>PROJETOS DE INTERVENÇÃO .....</b>	<b>57</b>
7.1	AS FAIXAS ADICIONAIS .....	57
7.2	IMPLANTAÇÃO DE FAIXAS ADICIONAIS .....	58
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O investimento na infraestrutura de rodovias e outras formas de melhoramento em malhas rodoviárias, representam uma maneira muito importante para ajudar no desenvolvimento econômico tanto regional quanto nacional, já que desta forma, podem diminuir custos e expandir oportunidades econômicas o que irá ajudar a aumentar potencialmente o padrão de vida e a renda dos habitantes de uma determinada região.

Por várias décadas, foram desenvolvidos diversos métodos de avaliação da qualidade dos serviços prestados pelas rodovias aos usuários, dentre estes, destaca-se o *Highway Capacity Manual*, no Brasil também conhecido como Manual de Capacidade Viária (HCM).

Hoje, o HCM é a principal referência para avaliação operacional de rodovias, definindo medidas de desempenho e o conjunto de procedimentos estabelecidos para sistematizar e uniformizar a medição da qualidade do serviço, dividindo em níveis operacionais de “A” a “F”, sendo “A” o melhor nível de serviço possível e “F” o pior. Toda obra de intervenção em rodovias que visam a melhoria de seu desempenho deve ser justificada por um estudo de capacidade rodoviária, com o objetivo de priorizar e dimensionar as futuras intervenções.

Os trechos compreendidos em uma rodovia de Minas Gerais, rodovia esta que será abordada no presente estudo, além de ser tomado como importante via para circulação de empresas com polos industriais, automobilístico, também possui numerosa população em torno de sua área. Seu projeto e construção datam de meados da década de cinquenta, com vários trechos de traçados sinuosos e o aumento progressivo da demanda de tráfego, o que evidencia a possibilidade de melhorias ao longo de seu percurso.

Para análise, foram fornecidos dados por uma empresa responsável pela fiscalização da rodovia, a Empresa Alfa, dados estes correlacionados ao estudo de Nível de Serviço. O mesmo trata-se da análise das condições de trafegabilidade ofertada pela rodovia através de sua infraestrutura e da demanda do fluxo de tráfego, estes dados são de suma importância para determinar a necessidade de possíveis intervenções e melhorias para os usuários que transitam através dela.

Dentro deste contexto, tem-se por objetivo apresentar uma avaliação técnica da capacidade viária, utilizando o *Highway Capacity Manual 2010* como fonte de estudo e desenvolvimento, em trechos compreendidos no segmento 12 da determinada rodovia, denominada neste trabalho, RODOVIA X.

## **2 JUSTIFICATIVA**

A RODOVIA X, é uma importante via de ligação de alguns dos principais municípios de Minas Gerais, fator este fundamental para permitir maior desenvolvimento econômico e social.

Através da análise e avaliação da capacidade das rampas compreendidos dentro do segmento 12 da RODOVIA X, serão evidenciadas intervenções que promoverão melhorias no Nível de Serviço embasado na metodologia do HCM 2010.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Fazer uma avaliação técnica da capacidade da via quantificando o seu grau de suficiência para acomodar o volume de tráfego existente, baseada na metodologia de Capacidade Viária e Nível de Serviço do HCM 2010.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Abordar conceitos básicos relacionados a vias de tráfego rodoviário, bem como definições tratadas pelo HCM 2010.
- Correlacionar os dados fornecidos pela Empresa Alfa, para a análise de intervenções de acordo com a necessidade da capacidade da rodovia.

## 4 FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICAS

Neste tópico serão abordados conceitos básicos relacionados às vias de tráfego rodoviário, bem como definições tratadas pelo HCM 2010.

### 4.1 Conceitos de Capacidade

Conforme definida no HCM 2010, elaborado pela *Transportation Research Board-TRB 2010*, a capacidade de tráfego consiste no maior fluxo de veículos que passa por determinada secção da via, admitindo-se que não há influência das condições operacionais a jusante, tais como filas que se estendem até o ponto de análise, nota-se, que a capacidade somente é determinada através de taxas de fluxo e condições geométricas da via.

Assim, uma rodovia apresenta ao longo de sua extensão, diferentes capacidades de tráfego, afetada por suas características físicas e pelo tráfego que suporta.

### 4.2 Nível de Serviço

O nível de serviço baseia-se na análise de uma determinada oferta de infraestrutura rodoviária a demanda atendida por esta, calculado por meio de medidas quantitativas e qualitativas que caracterizam as qualidades operacionais de um fluxo de tráfego e percepção dos usuários, como motoristas e passageiros.

O HCM (2010) estabelece seis níveis de serviço em função do desempenho da rodovia analisada, designados por letras de “A” a “F”, sendo “A” as melhores condições operacionais e “F” as piores, conforme se verifica.

- Nível de serviço A: Descreve condição de fluxo completamente livre. A operação praticamente não é afetada pela presença de outros veículos, sendo condicionada apenas em função das características físicas da via e comportamento dos motoristas. Pequenas perturbações no fluxo são absorvidas sem que ocorra uma variação na velocidade média da corrente de tráfego.

Figura 1 - Nível de Serviço A



Fonte: RJ 2040. Pelc, 2015

- Nível de serviço B: Também indica fluxo livre, embora a presença de outros veículos tornasse perceptível. A velocidade média é a mesma observada para o nível de serviço A, mas os motoristas têm uma liberdade de manobra ligeiramente inferior. Pequenas perturbações ainda são facilmente absorvidas, embora a deterioração no local do evento se torna perceptível.
- Nível de serviço C: A influência da densidade do tráfego se torna marcante. A possibilidade de manobra dentro da corrente de tráfego é claramente afetada pela presença de outros veículos. Pequenas perturbações na corrente de tráfego causam séria deterioração do nível de serviço no local do evento, sendo que filas se formarão a montante de perturbações maiores.
- Nível de serviço D: As oportunidades de manobra são severamente restringidas devido ao maior volume de tráfego, e a velocidade média de fluxo é reduzida. Apenas perturbações pequenas podem ser absorvidas sem que haja formação de filas longas e deterioração do nível de serviço.
- Nível de serviço E: Representa uma operação próxima ou no limite da capacidade, com fluxo instável. A densidade do tráfego é variável, em função da velocidade da via, e os veículos circulam com o mínimo espaçamento capaz de manter a corrente de tráfego uniforme. Perturbações no tráfego não podem ser facilmente dissipadas, geralmente levando a formação de congestionamentos.

- Nível de serviço F: Representa fluxo forçado ou interrompido e ocorre quando a demanda projetada para a infraestrutura viária é superior à capacidade ofertada. Embora a operação no ponto no qual haja restrição de capacidade ocorra no limite no nível E, filas se formam a montante da via, com operação instável e alternância de movimento e paradas. Vale notar que o nível de serviço F pode ser usado para descrever o ponto no qual se inicia a formação do congestionamento, bem como a condição operacional da fila que se forma a montante.

Figura 2 - Nível de serviço F



Fonte: Notícias R7, 2012

Em projetos e planejamentos de rodovias, são tomados como referência os níveis de serviço “C” e “D”, garantindo assim uma boa qualidade de serviço para os usuários de forma que assim, não será necessário o superdimensionamento desta rodovia por um determinado período de tempo.

### 4.3 Demanda de Tráfego da Via

Como bem lembra Riente (2012) a informação mais importante para o estudo de capacidade é a demanda de tráfego da via, ou seja, quantos carros passam em um local definido de um sistema viário em um dado momento, ou em uma hora de pico. Na prática, as decisões referentes à engenharia de tráfego não podem ser tomadas sem o conhecimento do volume de projeto. Dessa forma, a coleta de informações que definem o fluxo de tráfego é de suma importância. O produto esperado é o volume de veículos que passa no trecho estudado no período pesquisado.

A determinação da demanda de tráfego consiste na identificação dos volumes de que utilizarão o sistema durante o período de análise. Antes da aplicação do método HCM, faz-se necessário executar dois procedimentos: classificar os trechos homogêneos de tráfego e determinar o Volume Médio Diário Anual (VDMA). Estes dois parâmetros serão descritos a seguir.

#### **4.3.1 Classificação de Trechos Homogêneos**

Desde a terceira edição do método, HCM - 1985, trechos homogêneos se caracterizavam por uniformidade e velocidade de via e por uniformidade de tráfego, já no HCM - 2010, foi introduzido o conceito de trechos homogêneos mais curtos, definidos como seguimentos nos quais características físicas e de tráfego são uniformes. A partir dessa introdução, o método HCM 2010 se baseia no estudo individual de cada trecho homogêneo estudado para se avaliar toda a extensão da rodovia.

De fato, torna-se necessário uma rigorosa classificação, segmentação e caracterização de cada seguimento da via, já que a partir dessa nova definição, é possível a parametrização de tráfego coletado em um determinado ponto do trecho para toda rodovia.

#### **4.3.2 Volume Médio Diário Anual – VMDA**

De acordo com DNIT (2006), o Volume Médio Diário Anual (VMDA) é a quantidade total de veículos que transita por uma determinada rodovia durante o período de um ano dividido pelo número de dias do ano (365 dias). Este dado é utilizado para avaliar a distribuição do tráfego ao longo da rodovia, medir a demanda atual de uma estrada, realizar a programação de melhorias, dentre outras aplicações as quais serão definidas no item 5.1.

## 5 METODOLOGIA HCM

A produção de qualquer documento de pesquisa requer que o seu autor apresente explicações sobre o modelo de análise e os procedimentos metodológicos que ele pretende empregar, para que os resultados e análises tenham legitimidade científica e acadêmica (SILVA, E., 2005). Considerando-se essa afirmativa, neste tópico ocupa-se a aplicação e metodologia proposta pelo HCM 2010.

### 5.1 O Manual

Diferentes métodos para estudo de capacidade de tráfego foram desenvolvidos nos últimos 40 anos, principalmente nos Estados Unidos, Canadá, Austrália e Alemanha, que culminaram na publicação de manuais para análise de capacidade e da qualidade operacional de sistemas de transporte. Dentre esses manuais, provavelmente o mais conhecido é o HCM (TRB, 2000), o manual americano de capacidade.

No Brasil diversos órgãos relacionados ao setor rodoviário, como o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT) e os Departamentos de Estrada e Rodagem (DER) utilizam como referência o HCM, adaptado às condições brasileiras, sem, contudo, afetar os conceitos básicos do manual. A exemplo temos o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT de 2006, que se baseia no HCM 2000.

A primeira versão do HCM foi produzida em 1950, a partir de estudos realizados nas décadas anteriores, concebida como referência para o projeto de rodovias. A segunda versão do manual, publicada em 1965 definiu pela primeira vez, a capacidade viária e qualidade do serviço, com enfoque na operação de autoestradas (Freeways). De forma a dar suporte a esses novos conceitos, foram estabelecidos modelos e procedimentos para a avaliação do nível de serviço em rodovias.

A versão seguinte do HCM em 1985 contou com duas revisões principais, em 1992 e 1994. Até a terceira edição do HCM, o método do manual era baseado na velocidade de projeto da rodovia como um todo. Com o HCM 1985 foi introduzido o conceito de segmentos homogêneos, definidos como segmentos nos quais as características físicas e de tráfego são uniformes. Desde então, o método do HCM para a avaliação de rodovias se baseia na análise individual de cada trecho homogêneo em estudo (Riente, 2012).

A quarta versão publicada em 2000, a partir de estudos realizados na década de 90, além da evolução dos métodos para avaliação do nível de serviço, o HCM 2000

apresentou novos capítulos destinados à aplicação de sua metodologia, incluindo orientações com relação à análise global de corredores e redes viárias regionais e à aplicação de ferramentas auxiliares, tais como simuladores microscópicos de tráfego (Riente, 2012).

Em janeiro de 2011, o TRB divulgou a quinta versão do HCM. Em relação aos procedimentos para avaliação de trechos rodoviários, o HCM 2010 manteve e consolidou a estrutura do predecessor, apresentando principalmente atualizações nos parâmetros e relações empregadas em seus métodos. Além disso, a versão atual do manual empreendeu esforços adicionais no sentido de delimitar claramente o escopo de sua metodologia, apresentando orientações suplementares com relação à aplicação de seus conceitos em conjunto com ferramentas auxiliares, no sentido de delimitar claramente o escopo de sua metodologia, apresentando orientações suplementares com relação à aplicação de seus conceitos em conjunto com ferramentas auxiliares, no contexto da avaliação do nível de serviço. Por fim, de modo a estender a estrutura de suporte aos usuários, um novo volume foi disponibilizado inteiramente online, contando com um fórum para discussões, um guia de aplicações, um acervo de referências técnicas e um espaço para a publicação de erratas e esclarecimentos (TRB, 2010).

Segundo o TRB (2010), os procedimentos do HCM, na forma de equações, tabelas ou apresentações gráficas correspondem, inicialmente, a um conjunto de condições. As condições ideais para vias de fluxo não interrompido são:

- Larguras da faixa de 3,6 m;
- Afastamentos laterais de 1,8 m e centrais de no mínimo 0,6m, em autoestradas;
- Apenas carros de passeio no fluxo de tráfego (ausência de veículos pesados);
- Terreno plano, em rodovias de pista simples;
- Ausência de zonas de proibição de ultrapassagem em rodovias de pistas simples;
- Ausência de impedimentos de tráfego, devido a dispositivos de controle ou para a conversão de veículos.

Quando as condições existentes diferem das condições ideais, fatores de ajuste devem ser aplicados aos cálculos da capacidade, velocidade de fluxo livre, fluxo de tráfego e nível de serviço.

Segundo o HCM 2010, as rodovias de pista simples podem ser classificadas em três categorias:

- a) Classe I: são aquelas nas quais os motoristas esperam viajar em velocidades relativamente altas e incluem estradas que conectam cidades ou regiões geradoras ou capazes de atrair volumes significativos de tráfego, além de estradas utilizadas em viagens pendulares;
- b) Classe II: são aquelas nas quais os motoristas não necessitam viajar em velocidades altas e incluem estradas turísticas e trechos em terreno montanhoso. Também servem de acessos a rodovias de classe I, podendo ser coletoras ou locais dependendo de sua geometria. Essas últimas serão frequentemente consideradas classe II. Rodovias classe II são geralmente utilizadas em viagens curta ou em parte de viagens mais longas;
- c) Classe III: são aquelas que incluem trechos principais de pequenas cidades, cujos limites de velocidades são menores ou com restrições. Também podem incluir estradas turísticas nas quais a beleza é um fator muito importante.

O método de avaliação da capacidade e nível de serviço de rodovias de pista simples é definido em termos de três medidas de desempenho:

- Average Travel Speed - Velocidade média de viagem (ATS);
- Percent Time Spent Followig - Percentual do tempo de viagem em pelotão (PTSF);
- Free Flow Speed - Velocidade de fluxo livre (FFS).

O HCM 2010 prevê análise direcional para determinação do nível de serviço, entretanto o tráfego do sentido oposto deve ser levado em consideração uma vez que pode restringir possibilidades de ultrapassagem. Assim para obter as medidas de desempenho citadas em cada trecho é necessário determinar as seguintes variáveis (Riente, 2012):

- Velocidade de fluxo livre (FFS);
- Fluxo equivalente no sentido direcional (Vd);
- Fluxo de tráfego equivalente no sentido oposto (Vo);
- Outros fatores de ajuste.

Nos itens a seguir serão apresentadas formulas e equações que serão adotadas para determinação de todos os valores que servirão de referência para as classificações dos níveis de serviço do trecho em estudo.

## 5.2 Determinação do Volume Médio Diário Anual – VMDA

Já citado no item 4.3.2 (VOLUME MÉDIO DIÁRIO ANUAL), o VMDA baseia-se em uma média aritmética da quantidade de veículos que transita por uma determinada rodovia ao longo dos 365 dias do ano, evidenciado pela equação (1):

$$VMDA = \frac{\sum Vh}{365} \quad (1)$$

Onde:

$\sum Vh$ : Somatória do volume de tráfego de todas as horas do ano;

365: Dias do ano.

Conforme HCM (2010), as contagens podem ser feitas de três formas em função da necessidade do projeto:

- Coletas Manuais
- Coletas Semiautomatizadas
- Coletas Automatizadas

Desta forma, é necessária a definição do nível de análise proposto, com relação ao tempo, custo, dentre outros fatores antes de escolher a forma de contagem.

Segundo DNIT (2006), os dados coletados são utilizados para avaliar a distribuição do tráfego ao longo da rodovia, medir a demanda atual de uma estrada, realizar a programação de melhorias, dentre outras aplicações.

## 5.3 Determinação da Velocidade de Fluxo Livre (FFS)

A velocidade de fluxo livre em rodovias de pista simples pode ser obtida através da velocidade média máxima de automóveis na corrente de tráfego ou estimada conforme equação (2), (TRB, 2010):

$$FFS = BFFS - fLS - fA \quad (2)$$

Onde:

BFFS - velocidade de fluxo livre base;

$f_{LS}$  - fator de ajuste da largura da faixa e do acostamento, em km/h (TAB. 1);

$f_A$  - fator de ajuste da densidade de acessos, em km/h (TAB. 1).

Tabela 1 - Fatores de ajuste da largura da faixa e do acostamento.

Largura da faixa (m)	Redução na FFS - $F_{LS}$			
	Largura do acostamento (m)			
	$\geq 0 < 0,6$	$\geq 0,6 < 1,2$	$\geq 1,2 < 1,8$	$\geq 1,8$
2,7 < 3,0	10,3	7,7	5,6	3,5
$\geq 3,0 < 3,3$	8,5	5,9	3,8	1,7
$\geq 3,3 < 3,6$	7,5	4,9	2,8	0,7

Fonte: Adaptado de TRB, 2010/2013.

O HCM 2010 não sugere critérios acerca da determinação da velocidade de fluxo livre base (BFFS) em rodovias de pista simples. Esse valor pode ser estimado a partir das velocidades limites da via (Riente, 2012).

#### 5.4 Determinação do Fluxo de Tráfego Equivalente

Em rodovias de pista simples, a composição do fluxo e as características do relevo merecem atenção especial. Esses fatores incidem na determinação do fluxo de tráfego equivalente, já que podem determinar as condições de visibilidade e ultrapassagem.

Deve-se determinar o fluxo equivalente para o cálculo de duas das medidas do desempenho que são relacionadas ao nível de serviço: ATS (Velocidade média de viagem) e PTSF (Percentual do tempo de viagem em pelotão). Em ambos os casos, o fluxo equivalente (fluxo direcional –  $v_d$  e do sentido oposto –  $v_o$ ) em carros de passeio por hora faixa (cp/h.faixa) pode ser obtida pela equação (3):

$$v = \frac{V}{(PFF \cdot f_{hv} \cdot f_g)} \quad (3)$$

Onde:

$v$ : Fluxo de tráfego equivalente, podendo ser o direcional ( $v_d$ ) ou do sentido oposto ( $v_o$ )

$V$ : Fluxo de tráfego observado (veículo/h);

$f_g$ : Fator de ajuste do tipo relevo;

$f_{hv}$ : Fator de ajuste para veículos pesados;

PHF; Fator de pico horário.

Os fatores de ajuste do relevo para o cálculo do fluxo equivalente de ATS e PTSF, por tipo de relevo e para rampas específicas em declive são mostrados na TAB. 2.

Tabela 2 - Fatores de ajuste do tipo de relevo (fg) para determinação de ATS e PTSF.

Fluxo direcional em veíc/h onde $v=V/PHF$	Terreno plano e rampas específicas em declive, ATS e PTSF		Terreno ondulado
	ATS	PTSF	PTSF
≤100	1,00	0,67	0,73
200,00	1,00	0,75	0,80
300,00	1,00	0,83	0,85
400,00	1,00	0,90	0,90
500,00	1,00	0,95	0,96
600,00	1,00	0,97	0,97
700,00	1,00	0,98	0,99
800,00	1,00	0,99	1,00
≥900	1,00	1,00	1,00

Fonte: Adaptado de TRB, 2010/2013.

Os fatores de ajuste de relevo para o cálculo do fluxo equivalente de ATS e PTSF, para rampas específicas em aclives são mostrados na TAB. 3 e 4.

Tabela 3 - Fatores de ajuste do tipo de relevo (fg) para determinação de ATS em aclives.

Active (%)	Compr. Da rampa (km)	Fluxo direcional, em veíc/h ( $v=V/PHF$ )								
		≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
≥3,0<3,5	0,4	0,78	0,84	0,87	0,91	1	1	1	1	1
	0,8	0,75	0,83	0,83	0,9	1	1	1	1	1
	1,2	0,73	0,81	0,85	0,89	1	1	1	1	1
	1,6	0,73	0,79	0,83	0,88	1	1	1	1	1
	2,4	0,73	0,79	0,83	0,87	0,99	0,99	1	1	1
	3,2	0,73	0,79	0,82	0,86	0,98	0,98	0,99	1	1
	4,8	0,73	0,78	0,82	0,85	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97
	≥6,4	0,73	0,78	0,81	0,85	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95
≥3,5<4,5	0,4	0,75	0,83	0,86	0,9	1	1	1	1	1
	0,8	0,72	0,8	0,84	0,88	1	1	1	1	1
	1,2	0,67	0,77	0,81	0,86	1	1	1	1	1
	1,6	0,65	0,73	0,77	0,81	0,94	0,95	0,97	1	1
	2,4	0,63	0,72	0,76	0,8	0,93	0,95	0,96	1	1
	3,2	0,62	0,7	0,74	0,79	0,93	0,94	0,96	1	1
	4,8	0,61	0,69	0,74	0,78	0,92	0,93	0,94	0,98	1



	$\geq 6,4$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$\geq 4,5 < 5,5$	0,4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,97	0,97
	$\geq 0,8$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$\geq 5,5$	Todos	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fonte: Adaptado de TRB, 2010/2013.

O fator de ajuste em decorrência da presença de veículos pesados no tráfego ( $f_{hv}$ ) é calculado a partir do fator de equivalência para veículos pesados ( $E_T$ ) mais adequados, obtidos nas tabelas do HCM, e do percentual de veículos pesados ( $P_T$ ) na corrente de tráfego.

Esse fator de equivalência de veículos pesados é variável para os trechos genéricos em terreno plano, ondulado ou para aqueles constituídos por rampas específicas. Para os trechos genéricos e em declives, os fatores possíveis para determinação de ATS e PTSF estão mostrados na TAB. 5.

Tabela 5 - Fatores de equivalência (ET) para veículos pesados em trechos genéricos e em declive de rodovias de pista simples – ATS e PTSF.

Fluxo direcional em veíc/h $v=V/PHF$	ET para determinação de ATS		ET para determinação de PTSF	
	Terreno plano e rampas específicas em declive	Terreno Ondulado	Terreno plano e rampas específicas em declive	Terreno Ondulado
$\leq 100$	1,90	2,70	1,10	1,90
200	1,50	2,30	1,10	1,80
300	1,40	2,10	1,10	1,70
400	1,30	2,00	1,10	1,60
500	1,20	1,80	1,00	1,40
600	1,10	1,70	1,00	1,20
700	1,10	1,60	1,00	1,00
800	1,10	1,40	1,00	1,00
$\geq 900$	1,00	1,30	1,00	1,00

Fonte: Adaptado de TRB, 2010/2013.

Para os trechos em aclives os valores de  $E_T$  para ATS e PTSF podem ser conferidos respectivamente, na TAB. 6 e TAB. 7.

Tabela 6 - Fatores de equivalência de veículos pesados (ET) para determinação de ATS em aclives.

Aclive (%)	Compr. da rampa (km)	Fluxo direcional em veíc/h ( $v=V/PHF$ )
------------	----------------------	--

		≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
≥3,0<3,5	0,4	2,6	2,4	2,3	2,2	1,8	1,8	1,7	1,3	1,1
	0,8	3,7	3,4	3,3	3,2	2,7	2,6	2,6	2,3	2
	1,2	4,6	4,4	4,3	4,2	3,7	3,6	3,4	2,4	1,9
	1,6	5,2	5	4,9	4,9	4,4	4,2	4,1	3	1,6
	2,4	6,2	6	5,9	5,8	5,3	5	4,8	3,6	2,9
	3,2	7,3	6,9	6,7	6,5	5,7	5,5	5,3	4,1	3,5
	4,8	8,4	8	7,7	7,5	6,5	6,2	6	4,6	3,9
	≥6,4	9,4	8,8	8,6	8,3	7,2	6,9	6,6	4,8	3,7
≥3,5<4,5	0,4	3,8	3,4	3,2	3	2,3	2,2	2,2	1,7	1,5
	0,8	5,5	5,3	5,1	5	4,4	4,2	4	2,8	2,2
	1,2	6,5	6,4	6,5	6,5	6,3	5,9	5,6	3,6	2,6
	1,6	7,9	7,6	7,4	7,3	6,7	6,6	6,4	5,3	4,7
	2,4	9,6	0,2	9	8,9	8,1	7,9	7,7	6,5	5,9
	3,2	10,3	10,1	10	9,9	9,4	9,1	8,9	7,4	6,7
	4,8	11,4	11,3	11,2	11,2	10,7	10,3	10	8	7
	≥6,4	12,4	12,2	12,2	12,1	11,5	11,2	10,8	8,6	7,5
≥4,5<5,5	0,4	4,4	4	3,7	3,5	2,7	2,7	2,7	2,6	2,5
	0,8	6	6	6	6	5,9	5,7	5,6	4,6	4,2
	1,2	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
	1,6	9,2	9,2	9,1	9,1	9	9	9	8,9	8
	2,4	10,6	10,6	10,6	10,6	10,5	10,4	10,4	10,2	10,1
	3,2	11,8	11,8	11,8	11,8	11,6	11,6	11,5	11,1	10,9
	4,8	13,7	13,7	13,6	13,6	1,3	13,1	13	11,9	11,3
	≥6,4	15,3	15,3	15,2	15,2	14,6	14,2	13,8	11,3	10
≥5,5<6,5	0,4	4,8	4,6	4,5	4,4	4	3,9	3,8	3,2	2,9
	0,8	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
	1,2	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1
	1,6	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,2	10,1
	2,4	11,9	11,9	11,9	11,9	11,8	11,8	11,8	11,7	11,6
	3,2	12,8	12,8	12,8	12,8	12,7	12,7	12,7	12,6	12,5
	4,8	14,4	14,4	14,4	14,4	14,3	14,3	14,3	14,2	14,1
	≥6,4	15,4	15,4	15,3	15,3	15,2	15,1	15,1	14,9	14,8
≥6,5	0,4	5,1	5,1	5	5	4,8	4,7	4,7	4,5	4,4
	0,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
	1,2	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8
	1,6	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,3	10,2
	2,4	12	12	12	12	11,9	11,9	11,9	11,8	11,7
	3,2	12,9	12,9	12,9	12,9	12,8	12,8	12,8	12,7	12,6

	4,8	14,5	14,5	14,5	14,5	14,4	14,4	14,4	14,3	14,2
	≥6,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,3	15,3	15,3	15,2	15,1

Fonte: Adaptado de TRB, 2010/2013.

Tabela 7 - Fatores de equivalência de veículos pesados (ET) para determinação de PTSF em aclives.

Aclive (%)	Compr. da rampa (km)	Fluxo direcional em veíc/h (v=V/PHF)								
		≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
≥3,0<3,5	3,2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	4,8	1,5	1,3	1,3	1,2	1	1	1	1	1
	≥6,4	1,6	1,4	1,3	1,3	1	1	1	1	1
≥3,5<4,5	1,6	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2,4	1,1	1,1	1	1	1	1	1	1	1
	3,2	1,6	1,3	1	1	1	1	1	1	1
	4,8	1,8	1,4	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	≥6,4	2,1	1,9	1,8	1,7	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
≥4,5<5,5	1,6	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2,4	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	3,2	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3
	4,8	2,4	2,2	2,2	2,1	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7
	≥6,4	3,5	3,1	2,9	2,7	2,1	2	2	1,8	1,8
≥5,5<6,5	1,2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1,6	1	1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	2,4	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
	3,2	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8
	4,8	3,4	3,2	3	2,9	2,4	2,3	2,3	1,9	1,9
	≥6,4	4,5	4,1	3,9	3,7	2,9	2,6	2,6	2	2
≥6,5	0,8	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1,2	1	1	1	1	1,1	1,1	1,1	1	1
	1,6	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,4	1,4
	2,4	2,1	2,1	2,1	2,1	2	2	2	2	2
	3,2	2,9	2,8	2,7	2,7	2,4	2,4	2,3	2,3	2,3
	4,8	4,2	3,9	3,7	3,6	3	2,8	2,7	2,2	2,2
	≥6,4	5	4,6	4,4	4,2	3,3	3,1	2,9	2,7	2,5

Fonte: Adaptado de TRB, 2010/2013.

## 5.5 Estimativa da Velocidade Média de Viagem (ATS)

Uma vez que o fluxo direcional ( $v_d$ ) e o fluxo de sentido oposto ( $v_o$ ) para a ATS foram determinados, a velocidade média de viagem no trecho direcional ( $ATS_d$ ) pode ser calculada através da equação (4):

$$ATS = FFS - 0,0125 (V_d + V_o) - f_{npA} \quad (4)$$

Onde:

$f_{np,ATS}$ : Fator de ajuste para ATS devido a existência de zonas de proibição de ultrapassagem (NPZ) no trecho estudado (TAB 8);

FFS: Velocidade de fluxo livre;

$V_d$ : Volume direcional;

$V_o$ : Volume sentido oposto.

Tabela 8 - Fatores de ajustes para ATS ( $f_{np,ATS}$ ) devido a existência de zonas de proibição de ultrapassagem em %.

Fluxo no sentido oposto ( $V_o$ ) em cp/h	Percentual de zonas de proibição de ultrapassagem					Percentual de zonas de proibição de ultrapassagem					Percentual de zonas de proibição de ultrapassagem				
	$\leq 20$	40	60	80	100	$\leq 20$	40	60	80	100	$\leq 20$	40	60	80	100
	FFS = 110 km/h					FFS = 100 km/h					FFS = 90 km/h				
$\leq 100$	1,7	3,5	4,5	4,8	5	1,2	2,7	4	4,5	4,7	0,8	1,9	3,6	4,2	4,4
200	3,5	5,3	6,2	6,5	6,8	3	4,6	5,9	6,4	6,7	2,4	3,9	5,6	6,3	6,6
400	2,6	3,7	4,4	4,5	4,7	2,3	3,3	4,1	4,4	4,6	2,1	3	3,8	4,3	4,5
600	2,2	2,4	2,8	3,1	3,3	1,8	2,1	2,6	3	3,2	1,4	1,8	2,5	2,9	3,1
800	1,1	1,6	2	2,2	2,4	0,9	1,4	1,8	2,1	2,3	0,8	1,1	1,7	2	2,2
1000	1	1,3	1,7	1,8	1,9	0,9	1,1	1,5	1,7	1,9	0,8	0,9	1,3	1,5	1,8
1200	0,9	1,3	1,5	1,6	1,7	0,8	1,1	1,4	1,5	1,7	0,8	0,9	1,2	1,4	1,6
1400	0,9	1,2	1,4	1,4	1,5	0,8	1	1,3	1,3	1,4	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4
$\geq 1600$	0,9	1,1	1,2	1,2	1,3	0,8	1	1,1	1,1	1,2	0,8	0,8	0,9	0,9	1,1
	Percentual de zonas de proibição de ultrapassagem					Percentual de zonas de proibição de ultrapassagem									
	$\leq 20$	40	60	80	100	$\leq 20$	40	60	80	100					
	FFS = 80 km/h					FFS = 70 km/h									
$\leq 100$	0,3	1,1	3,1	3,9	4,1	0,1	0,6	2,7	3,6	3,8					
200	1,9	3,2	5,3	6,2	6,5	1,5	2,6	5	6,1	6,4					
400	1,8	2,6	3,5	4,2	4,4	1,5	0,8	3,2	4,1	4,3					

600	1	1,5	2,3	2,8	3	0,7	0,5	2,1	2,7	2,9
800	0,6	0,9	1,5	1,9	2,1	0,5	0,5	1,3	1,8	2
1000	0,6	0,7	1,1	1,4	1,8	0,5	0,5	1	1,3	1,8
1200	0,6	0,7	1,1	1,3	1,6	0,5	0,5	1	1,2	1,6
1400	0,6	0,7	1	1,1	1,3	0,5	0,5	1	1	1,2
≥1600	0,6	0,7	0,8	0,8	1	0,5	0,5	0,7	0,7	0,9

Fonte: Adaptado de TRB, 2010/2013.

## 5.6 Determinação do Percentual de Tempo de Viagem em Pelotão (PTSF)

O percentual do tempo de viagem em pelotão base (PTSF) pode ser determinado através da equação (5):

$$PTSF = BPTSF + fnp, PTSF \left( \frac{vd}{vd} + vo \right) \quad (5)$$

e o percentual do tempo em pelotão base (BPTSF) através da equação (6):

$$BPTSF = 100 [1 - \exp(-avd^b)] \quad (6)$$

Onde:

BPTSF: Percentual do tempo em pelotão básico;

Vd: Volume direcional;

Vo: Volume sentido oposto;

Fnp: Fator de ajuste do PTSF para o efeito da proibição de ultrapassagem nos segmentos analisados (TAB. 9).

Tabela 9 - Fatores de ajuste para PTSF (fnp ,PTSF) devido a existência de zonas de proibição de ultrapassagem em %.

Fluxo no sentido oposto (V <sub>o</sub> ) em cp/h	Percentual de zonas de proibição de ultrapassagem						Fluxo no sentido oposto (V <sub>o</sub> ) em cp/h	Percentual de zonas de proibição de ultrapassagem					
	0	≤20	40	60	80	100		0	≤20	40	60	80	100
	Divisão direcional 50/50							Divisão direcional 60/40					
≤ 200	9	29,2	43,4	49,4	51	52,6	≤ 200	11	30,6	41	51,2	52,3	53,5
400	16,2	41	54,2	61,6	63,8	65,8	400	14,6	36,1	44,8	53,4	55	56,3
600	15,8	38,2	47,8	53,2	55,2	56,8	600	14,8	36,9	44	51,1	52,8	54,6
800	15,8	33,8	40,4	44	44,8	46,6	800	13,6	28,2	33,4	38,6	39,9	41,3
1400	12,8	20	23,8	26,2	27,4	28,6	1400	11,8	18,9	22,1	25,4	26,4	27,3
2000	10	13,6	15,8	17,4	18,2	18,8	2000	9,1	13,5	15,6	16	16,8	17,3

2600	5,5	7,7	8,7	9,5	10,1	10,3	2600	5,9	7,7	8,6	9,6	10	10,2
3200	3,3	4,7	5,1	5,5	5,7	6,1	3200	-	-	-	-	-	-
Fluxo no sentido oposto ( $V_0$ ) em cp/h	Percentual de zonas de proibição de ultrapassagem						Fluxo no sentido oposto ( $V_0$ ) em cp/h	Percentual de zonas de proibição de ultrapassagem					
	0	≤20	40	60	80	100		0	≤20	40	60	80	100
	Divisão direcional 70/30							Divisão direcional 80/20					
≤ 200	9,9	28,1	38	47,8	48,5	49	≤ 200	8,9	27,1	37,1	47	47,4	47,9
400	10,6	30,3	38,6	46,7	47,7	48,8	400	6,6	26,1	34,5	42,7	43,5	44,1
600	10,9	30,9	37,5	43,9	45,4	47	600	4	24,5	31,3	38,1	39,1	40
800	10,3	23,6	28,4	33,3	34,5	35,5	800	3,8	18,5	23,5	28,4	29,1	29,9
1400	8	14,6	17,7	20,8	21,6	22,3	1400	3,5	10,3	13,3	16,3	16,9	32,2
2000	7,3	9,7	12,7	13,3	14	14,5	2000	3,5	7	8,5	10,1	10,4	10,7
Fluxo no sentido oposto ( $V_0$ ) em cp/h	Percentual de zonas de proibição de ultrapassagem						Fluxo no sentido oposto ( $V_0$ ) em cp/h	Percentual de zonas de proibição de ultrapassagem					
	0	≤20	40	60	80	100		0	≤20	40	60	80	100
	Divisão direcional 90/10							Divisão direcional 90/10					
≤ 200	4,6	24,1	33,6	43,1	43,4	43,6							
400	0	20,2	28,3	36,3	36,7	37							
600	-3,1	16,8	23,5	30,1	30,6	31,1							
800	-2,8	10,5	15,2	19,9	20,3	20,8							
1400	-1,2	5,5	8,3	11	11,5	11,9							

Fonte: Adaptado de TRB, 2010/2013.

a,b - fatores de calibração baseados no sentido oposto de tráfego ( )

Tabela 10 - Coeficiente a e b.

Fatores de ajuste para PTSF ( $f_{np,ATS}$ ) devido a existência de zonas de proibição de ultrapassagem em % (TRB,2010,adaptada)		
Fluxo no sentido oposto ( $V_0$ ) em cp/h	Coeficiente a	Coeficiente b
≤ 200	-0,0014	0,973
400	-0,0022	0,923
600	-0,0033	0,87
800	-0,0045	0,833
1000	-0,0049	0,829
1200	-0,0054	0,825
1400	-0,0058	0,821
≥1600	-0,0062	0,817

Fonte: Adaptado de TRB, 2010/2013.

## 5.7 Determinação da Capacidade

Em rodovias de pista simples, a capacidade não é determinada em termos das medidas de desempenho usadas para a definição dos níveis de serviço. Alternativamente, considera-se o valor do fluxo para a capacidade unidirecional como 1.700 cp/h. Em seguida, os fatores usados anteriormente para a conversão do volume de tráfego em fluxo são aplicados sobre esse valor de fluxo, através das equações (7) e (8):

$$C_{aATS} = 1700 \times f_{HV,ATS} \times f_{g,ATS} \quad (7)$$

$$C_{dPTSF} = 1700 \times f_{HV,PTSF} \times f_{g,PTSF} \quad (8)$$

Onde:

$C_{dATS}$  e  $C_{Dptsf}$ . Respectivamente, as capacidades no sentido analisados baseado na velocidade média da viagem e no percentual do tempo em pelotão, respectivamente. Nos dois casos, são usados os respectivos valores de  $f_{HV}$  e  $f_g$ ;

$f_{HV,ATS}$ ; Fator de ajuste de veículos pesados;

$f_{g,ATS}$ ; Fator de ajuste do tipo de relevo;

$f_{HV,PTSF}$ ; Fator de ajuste de veículos pesados;

$f_{g,PTSF}$ ; Fator de ajuste do tipo de relevo.

Para rodovias de classe I, as duas capacidades devem ser computadas, sendo que o menor valor obtido representa a capacidade. Para rodovias de classe II, apenas  $C_{dPTSF}$  é considerada enquanto que para as rodovias de classe III, apenas  $C_{dATS}$  é calculada.

## 5.8 Determinação do Nível de Serviço

O trecho em estudo é uma rodovia de classe I, sendo assim a determinação dos níveis de serviço é feita a partir de dois indicadores: ATS (velocidade média de viagem) e PTSF (percentual do tempo de viagem em pelotão).

A variação dos limites dos níveis de serviço segundo a classe da rodovia evita que haja excesso de rigor e que se incorra no superdimensionamento da oferta em vias vicinais onde as velocidades são naturalmente baixas e as expectativas dos motoristas, menores. A TAB. 11 da PAG. 35 contém os valores referencias para determinação do nível de serviço.

Tabela 11 - Níveis de serviço para rodovias de pista simples.

Nível de serviço	Rodovias de classe I		Rodovias de classe II	Rodovias de classe III
	ATS (km/h)	PTSF (%)	PTSF (%)	PTSF (%)
A	>90	≤35	≤40	>91,7
B	>80-90	>35-50	>40-55	>83,3-91,7
C	>71-80	>50-65	>55-70	75-83,3
D	>60-70	>65-80	>70-85	66,7-75,0
E	≤60	>80	>85	≤66,7

Fonte: Adaptado de TRB, 2010/2013.

Neste caso, por exemplo, para um trecho de uma rodovia de pista simples de classe I ser classificado como nível A é necessário que a velocidade média de viagem seja superior a 90km/h.

## 5.9 Faixas Adicionais

Definem-se terceiras faixas como faixas adicionais curtas e intermitentes que podem ser faixas de ultrapassagem passinglane, quando são posicionadas fora de rampas, em terreno ondulado ou plano ou faixas adicionais em aclives climbinglane, quando são posicionadas em rampas ascendentes. As passinglane não são utilizadas no Brasil.

Em pistas simples, com uma faixa por sentido, o aumento do trafego é proporcional à demanda por ultrapassagens. Além disso, à medida que o tráfego no sentido oposto aumenta reduzem-se as oportunidades de ultrapassagens. A combinação de fenômeno com más condições de visibilidade da via e com zonas de proibição de ultrapassagem agravam ainda mais esta situação.

Assim, o comprimento efetivo do benefício da terceira faixa a jusante pode ser obtido através da TAB. 12 a seguir.

Tabela 12 - Comprimento efetivo do benefício da terceira faixa a jusante (Lde).

Fluxo direcional em cp/h	Comprimento efetivo do benefício da terceira faixa a jusante (Lde) em km	
	ATS	PTSF
≤200	2,8	20,9
400	2,8	13
700	2,8	9,1
1000	2,8	5,8

Fonte: Adaptado de TRB, 2010/2013.

Os comprimentos ótimos de faixas adicionais em rodovias de pista simples estão sistematizados na TAB. 13.

Tabela 13 - Comprimento ótimo de faixas adicionais (Lpl).

Fluxo direcional (cp/h)	Comprimento ótimo de faixas adicionais (km)
100	≤0,8
200	>0,8-1,2
400	>1,2-1,6
≥700	>1,6-3,2

Fonte: Adaptado de TRB, 2010/2013.

O percentual de tempo em pelotão que leva em consideração o benefício da terceira faixa (PTSF<sub>PL</sub>) pode ser obtido através da equação (9):

$$PTSF_{pl} = PTSF_d \cdot \frac{[L_u + L_d + f_{pl}L_{pl} + \left(1 + \frac{f_{pl}}{2}\right)L_{de}]}{(L_u + L_d + L_{pl} + L_{de})} \quad (9)$$

Onde:

$L_u$ : Comprimento a montante da terceira faixa;

$L_d$ : Comprimento sem efeito da terceira faixa a jusante;

$L_{PL}$ : Comprimento da terceira faixa;

$L_{de}$ : Comprimento efetivo do benefício da terceira faixa a jusante;

f: Fator de ajuste para faixas adicionais referentes ao PTSF.

O efeito das faixas adicionais na velocidade média de viagem (ATS) pode ser calculada através da equação (10):

$$ATS_{pl} = \frac{ATS(L_u + L_d + L_{pl} + L_{de})}{\left[L_u + L_d + \left(\frac{L_{pl}}{f_{pl}}\right) + \left(\frac{2L_{de}}{1} + f_{pl}\right)\right]} \quad (10)$$

Os valores para  $f_{pl}$  de faixas de ultrapassagem e faixas adicionais em aclive podem ser encontrados na TAB. 14 e 15.

Tabela 14 - Fatores de ajuste para faixas de ultrapassagem em segmentos direcionais de rodovias de pista simples (fpl).

Fluxo direcional (cp/h)	Fator de ajuste ( $f_{pl}$ ) para ATS	Fator de ajuste ( $f_{pl}$ ) para PTSF
0-300	1,08	0,58
>300-600	1,1	0,61

>600	1,11	0,62
------	------	------

Fonte: Adaptado de TRB, 2010/2013.

Tabela 15 - Fatores de ajuste para faixas de adicionais em aclave em segmentos direcionais de rodovias de pista simples (fpl).

Fluxo direcional (cp/h)	Fator de ajuste ( $f_{pl}$ ) para ATS	fator de ajuste ( $f_{pl}$ ) para PTSF
0-300	1,02	0,2
>300-600	1,07	0,21
>600	1,14	0,23

Fonte: Adaptado de TRB, 2010/2013.

A faixa adicional em aclave são usadas principalmente para permitir a ultrapassagem de veículos pesados, cuja velocidade é reduzida em função da rampa ascendente, por aqueles mais rápidos. Levando em consideração que esse uso pode-se entender que, ao ultrapassá-los, o tráfego nos trechos seguintes tende a fluir com mais facilidade.



abrangendo o trecho entre os municípios de Juatuba e São Sebastião do Paraíso, segmentado em 18 lotes, cada um deles possuindo características geométricas e fluxo de tráfego semelhante.

Figura 4 - Atuais características da RODOVIA X - Segmento 12



Fonte: Google Mapas, 2013.

Observa-se através da FIG. 4 que o trecho em destaque possui características que determinam a deficiência desta rodovia como a ausência de faixas adicionais, ausência de faixas de ultrapassagem no sentido direcional e falta de visibilidade na pista para ultrapassagens de veículos devido suas características geomorfológicas.

## 6.2 Contagem e Classificação de Tráfego

Para o cálculo do volume médio diário anual de tráfego, fator essencial para tomada de decisões dos volumes do projeto, foi necessário que se fizesse uma contagem de tráfego na via. A contagem foi feita pela empresa responsável pela fiscalização da rodovia, a Empresa Alfa. Esta pesquisa foi conduzida em postos especialmente selecionados em função das características de comportamento dos fluxos de tráfego, fortemente influenciadas pelo traçado que se desenvolve através de regiões geomorfologicamente diversas.

A pesquisa foi realizada nos dois sentidos e dividida por tipos de veículos conforme TAB. 16.

Tabela 16 - Volume Médio Diário do segmento 12.

VMD	Sentido	Veículos Leves		Veículos Pesados	Total
		Motos	Passeio		
	Oeste	37.485	1.074.123	611.676	1.723.284
	Leste	29.358	1.015.356	650.739	1.695.453
		VMDA = $\sum Vh / 365$		VHP	PC
	Oestes	VMDAO =	4721	401	35,49
	Leste	VMDAL =	4645	395	38,38

Sentido O (Oeste) – Belo Horizonte

Sentido L (Leste) – São Paulo

Fonte: Adaptada da Empresa Alfa, 2015.

Esta contagem tem por objetivo avaliar quantos veículos passam em um local definido, em certo intervalo de tempo.

### 6.2.1 Fator de Pico Horário

Segundo Riente (2012), o volume de tráfego sofre variações ao longo das horas do dia e dentro de uma mesma hora. As variações mais representativas são chamadas de picos. O dimensionamento de qualquer componente de sistema de transporte deve levar em conta a variação do fluxo de tráfego, evitando que a demanda do período de pico supere a capacidade teórica definida para o componente em questão.

Em geral, a taxa de fluxo para um período de 15 min. de pico, não são mantidas para todo o período da hora pico, de modo que a capacidade teórica de uma seção

raramente é atingida. De forma a levar em conta essa assimetria, é utilizado o fator de pico horário (PHF), calculado através da equação (11).

$$\text{PHF} = \text{V}_{\text{hp}} / (4 \times \text{V}_{15}) \quad (11)$$

Onde:

$\text{V}_{\text{hp}}$ - volume da hora de projeto em veíc/h;

$\text{V}_{15}$ - volume dos quinze minutos mais carregados dessa mesma hora, em veíc/h.

Sendo assim, o resultado da equação (PHF), apresenta-se como valor adimensional na TAB. 17.

Tabela 17 - Fator de Hora de Pico.

Posto de Contagem	Sentido	Hora de Pico	FHP	Valor medido por posto
SEGUIMENTO 12	OESTE	17:00 às 18:00	0,92	0,92
	LESTE	14:30 às 15:30	0,92	

Sentido O (Oeste) – Belo Horizonte

Sentido L (Leste) – São Paulo

Fonte: DNIT,2006.

### 6.2.2 Fator K: Determinação da Hora de Projeto

De acordo com o manual de estudo de tráfego do DNIT (2006), o projeto da rodovia em condições ideais consiste em planejá-la de modo a atender à máxima demanda horária prevista para o ano de projeto, de forma que não ocorra congestionamento em nenhuma hora desse ano. Em contrapartida, o manual ressalta que a construção de um empreendimento dessa natureza, sob tal premissa, é antieconômico, pois implica no superdimensionamento da rodovia durante as demais horas do ano.

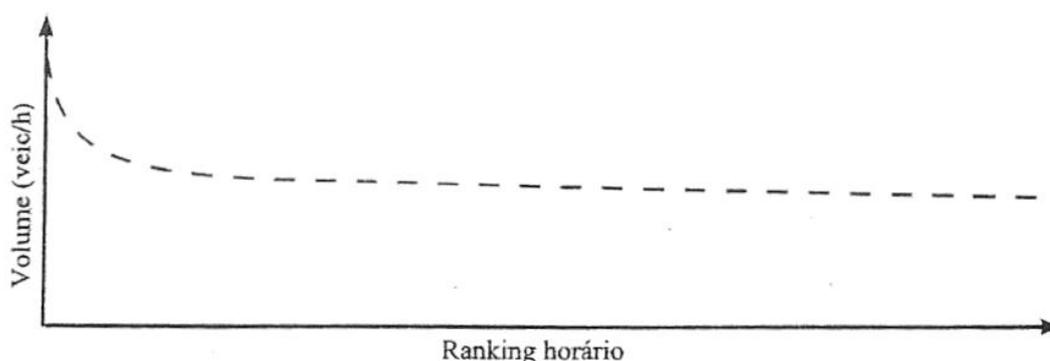
Dessa forma, é habitual que o dimensionamento rodoviário tome como Volume Horário de Projeto (VHP) não seja maior fluxo de tráfego horário observado em um ano de operação, admitindo que haja N horas mais carregadas do ano, assim a qualidade do serviço seja pior do que padrão estabelecido. Entretanto, a determinação do valor N varia de acordo com a legislação normativa de cada região e ainda é objeto de discussões entre os especialistas no assunto (Riente, 2012).

De acordo com o HCM 2010, a seleção de uma hora apropriada para o planejamento, dimensionamento e operação de uma rodovia é uma questão de equilíbrio entre fornecer um nível de serviço adequado para todas, ou quase todas as horas do ano e

proporcionar eficiência econômica. Sendo assim, apesar de fornecer um intervalo de valores para a escolha da hora de projeto, baseado em número aceitável de horas com retenções e na prática usual nos Estados Unidos da América, o manual recomenda que esse parâmetro deve ser calibrado localmente (Riente, 2012).

Ao ordenar decrescentemente os volumes das horas do ano, em uma série histórica de tráfego, nota-se a existência de um padrão de curva formada, denominada Curva da Enésima Hora (DNIT, 2006), que apresenta alterações mais acentuadas no gradiente para as horas mais carregadas do ano. Esse comportamento ocorre porque os maiores volumes horários se concentram em momentos atípicos tais como finais de semana de meses de férias ou feriados, enquanto que, no restante das horas do ano, são registrados volumes mais constantes e expressivamente inferiores. A FIG. 5 mostra um exemplo ilustrativo do padrão formado para as horas mais carregadas (Riente, 2012).

Figura 5 - Curva de Enésima Hora.



Fonte: Capacidade Viária e Nível de Serviço de Gustavo Riente, 2012.

No Brasil, comparando os contratos de concessão de rodovias sob jurisdição federal ou estadual, existem divergências quanto aos limites adotados para definir o padrão de qualidade do serviço a ser prestado. Para as rodovias federais concedidas, a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT 2010) estipula como padrão a 50ª hora mais carregada do ano, com exceção do trecho entre São Paulo e Rio de Janeiro da BR 116 (Rodovia Presidente Dutra), considerado um dos principais corredores rodoviários do país, no qual o padrão adotado é a 30ª hora. Vale notar ainda que os contratos firmados na década de 1990, durante a 1ª etapa do Programa de Concessão de Rodovias Federais (PCRF) estabelecem que as rodovias, em todo seu percurso, devem operar na hora de pico de tráfego, na pior das hipóteses, no nível de serviço adequado (DNER, 1995) sem, no entanto, definir a hora correspondente ao pico operacional (Riente, 2012).

No âmbito estadual, a Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado de São Paulo (ARTESP), estipula a necessidade de intervenções para ampliação da capacidade viária quando o padrão estabelecido for superior em 50 horas/ano (ARTESP, 2004). Já os contratos do Programa de Concessão de Rodovias do Estado do Paraná, determinam que o limite padrão a ser considerado atenda à 200ª hora mais carregada do ano.

De modo a converter volumes anualizados disponíveis para o volume horário de projeto, faz-se necessário calcular um fator  $K_n$ , que relacione o VMDA como o volume horário de projeto, sendo  $n$  a hora de projeto, que corresponde ao número de horas nas quais se admite uma qualidade do serviço inferior ao padrão estabelecido.

A partir da disponibilidade de séries horárias de tráfego para o período de um ano, é possível ordenar de forma decrescente os volumes das 8.760 horas do ano, formando a Curva de Enésima Hora. O fator  $K_n$  é encontrado através da equação (12).

$$K_n = V_n / \text{VMDA} \quad (12)$$

Onde:

$V_n$ : Razão entre volume na hora  $n$ ;

VMDA: Volume médio diário anual.

Na falta de uma série histórica de volumes horários de um ano completo para a rodovia estudada, como é o caso do nosso estudo, recomenda-se a utilização de fatores de outros segmentos da mesma rodovia ou vias similares em uma mesma região. Na ausência de valores de referência, o DNIT (2006) recomenda a adoção de  $K$  igual a 8,5% do VMDA como representativo da 50ª hora para rodovias rurais, que será o valor a ser utilizado em nosso estudo (Riente, 2012).

### 6.2.3 Projeção do Tráfego

Segundo o manual de Estudo de Tráfego do DNIT (2006), a variação anual de tráfego é um reflexo das mudanças na economia do país, o fluxo de tráfego normalmente se altera de ano a ano. Este efeito faz com que seja necessário um cuidado especial na utilização de dados antigos, uma vez que podem levar a uma avaliação errônea da importância da rodovia.

Ainda segundo o Manual de Estudo de Tráfego do DNIT (2006) a projeção dos volumes de tráfego é feita com dois objetivos:

- Fornecer elementos para o dimensionamento do projeto;
- Fornecer os elementos para a análise da viabilidade econômica do investimento.

As rodovias devem ser projetadas para proporcionar um nível de serviço aceitável durante sua vida útil, e para isso deve-se determinar com o maior grau de exatidão possível qual será o volume e a distribuição do tráfego para aquele período. Para fins de análise econômica é necessário que se faça distinção entre os vários tipos de tráfego, uma vez que os benefícios resultantes da implantação do projeto serão diferentes conforme a ocorrência de cada um deles.

### **6.3 Classificação das Rampas**

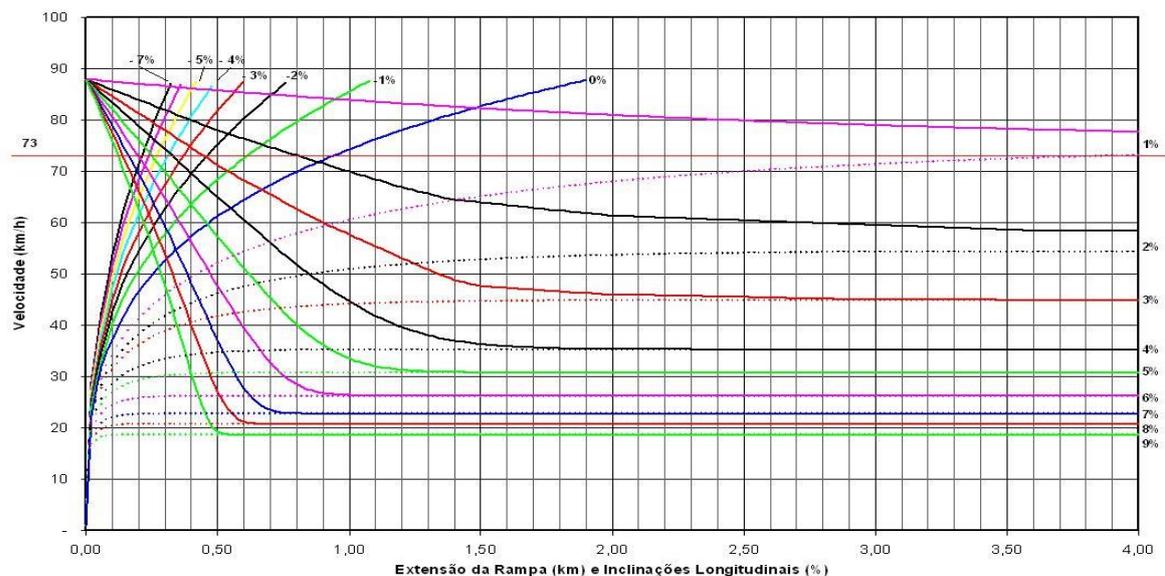
As rampas específicas nas rodovias ocasionam redução de velocidade de veículos pesados, o que diminui a capacidade da via. Por isso, essas rampas devem ser tratadas separadamente. A análise do segmento deve considerar os aclives e declives isolados e sua combinação para o caso de greides compostos.

Qualquer greide inferior a três por cento com mais de 1 km ou qualquer greide igual ou acima de três por cento que tenha mais 0,4 km deve ser analisado como um segmento separado, devido a seu efeito na corrente de tráfego, em especial nos veículos pesados (Riente, 2012).

No caso de uma combinação de greides que não possuem as características mínimas citadas acima, deve ser feito um cálculo em separado com os chamados segmentos extensos (genéricos), eles devem ser classificados como segmentos planos, em que a média das rampas for abaixo de três por cento e segmentos ondulados em que a média das rampas for acima de três por cento.

A média das rampas é utilizada tanto no caso de segmentos extensos quanto no caso de rampas com greides compostos. Para esses casos utilizamos o ábaco peso potência do HCM. O ábaco (FIG. 8) utilizado é o que melhor se enquadra na realidade brasileira e no do trecho em estudo. Com uma velocidade inicial de 88 km/h e a consideração do peso potência para veículos pesados de 180kg/kW (Riente, 2012).

Figura 6 - Ábaco Peso Potência.



Fonte: Adaptado de TRB, 2010/2013.

Para o cálculo do nível de serviço das rampas e dos trechos extensos é necessário a definição da velocidade média dos automóveis na corrente de tráfego em condições de fluxo livre, no presente estudo foi adotada a velocidade de sinalização do trecho cem quilômetros por hora (100 km/h) para tangentes e no caso das curvas foram calculadas as velocidades permitidas para cada tipo de raio segundo o Manual de Projeto Geométrico de rodovias rurais do DNIT (1999). Para a definição da velocidade de fluxo livre foi utilizada uma média ponderada entre as velocidades das curvas e das tangentes (Riente, 2012).

Apresenta-se a seguir a TAB. 18 e 19 os resultados dos cálculos do raio das curvas, definição da velocidade de fluxo livre das rampas e média do número de acessos por rampa.

Tabela 18 – Resultados de cálculo da velocidade das curvas.

Curva	Início	Fim	Extensão	Raio	Vel. Calc.	Vel. Aadot.
Curva 1	283,95	284,05	0,10	153,99	66	66
Curva 2	284,05	284,15	0,10	87,72	50	50
Curva 3	284,30	284,50	0,20	210,05	77	77
Curva 4	284,95	285,05	0,10	213,97	78	78
Curva 5	285,15	285,55	0,40	591,14	129	100
Curva 6	285,95	286,05	0,10	3025,24	292	100
Curva 7	287,70	288,00	0,30	1130,18	178	100
Curva 8	288,25	288,50	0,25	336,34	97	97

Curva 9	288,75	288,85	0,10	242,79	83	83
Curva 10	288,90	289,10	0,20	178,61	71	71
Curva 11	289,15	289,45	0,30	702,58	140	100
Curva 12	289,45	289,80	0,35	498,14	118	100
Curva 13	290,05	290,20	0,15	929,99	162	100
Curva 14	290,60	290,75	0,15	135,16	62	62
Curva 15	290,80	290,95	0,15	218,21	78	78
Curva 16	291,00	291,15	0,15	219,86	79	79
Curva 17	291,25	291,40	0,15	330,47	96	96
Curva 18	291,40	291,55	0,15	210,24	77	77
Curva 19	292,95	293,15	0,20	270,31	87	87
Curva 20	293,15	293,35	0,20	323,82	95	95
Curva 21	293,60	293,80	0,20	1024,48	170	100
Curva 22	294,25	294,45	0,20	787,28	149	100
Curva 23	294,90	295,05	0,15	394,24	105	100
Curva 24	295,15	295,35	0,20	105,06	54	54
Curva 25	295,45	295,65	0,20	310,62	93	93
Curva 26	295,65	295,80	0,15	371,88	102	100
Curva 27	295,95	296,15	0,20	289,17	90	90
Curva 28	296,20	296,35	0,15	357,72	100	100
Curva 29	296,85	297,00	0,15	289,17	90	90
Curva 30	297,10	297,20	0,10	395,15	105	100
Curva 31	297,45	297,65	0,20	343,31	98	98
Curva 32	297,90	298,10	0,20	341,71	98	98
Curva 33	298,35	298,55	0,20	787,28	149	100
Curva 34	299,00	299,15	0,15	248,56	84	84
Curva 35	299,80	299,90	0,10	1073,54	174	100
Curva 36	301,65	302,05	0,40	362,89	101	100
Curva 37	302,40	302,60	0,20	493,33	118	100
Curva 38	302,75	302,95	0,20	188,23	73	73
Curva 39	303,15	303,40	0,25	200,99	75	75
Curva 40	303,75	303,95	0,20	205,07	76	76
Curva 41	303,95	304,20	0,25	247,20	83	83
Curva 42	304,70	304,95	0,25	277,01	88	88
Curva 43	305,00	305,15	0,15	475,40	116	100
Curva 44	305,30	305,55	0,25	290,84	90	90
Curva 45	305,65	305,90	0,25	195,56	74	74
Curva 46	306,15	306,25	0,10	293,51	91	91
Curva 47	306,25	306,35	0,10	322,17	95	95

Curva 48	306,40	306,55	0,15	466,46	114	100
Curva 49	307,00	307,30	0,30	425,08	109	100
Curva 50	307,30	307,60	0,30	364,95	101	100
Curva 51	307,80	307,95	0,15	613,60	131	100
Curva 52	308,05	308,25	0,20	295,91	91	91
Curva 53	308,35	308,65	0,30	530,62	122	100
Curva 54	308,90	309,30	0,40	192,67	74	74
Curva 55	309,45	309,75	0,30	191,28	73	73
Curva 56	310,10	310,25	0,15	490,13	117	100
Curva 57	310,40	310,65	0,25	318,80	95	95
Curva 58	310,65	310,85	0,20	346,12	99	99
Curva 59	310,85	310,95	0,10	163,34	68	68
Curva 60	311,00	311,10	0,10	312,69	94	94
Curva 61	311,10	311,35	0,25	102,61	54	54
Curva 62	311,45	311,70	0,25	153,99	66	66
Curva 63	312,10	312,30	0,20	138,82	62	62
Curva 64	312,30	312,40	0,10	126,88	60	60
Curva 65	312,75	312,95	0,20	545,42	124	100
Curva 66	313,45	313,70	0,25	199,60	75	75
Curva 67	313,85	314,10	0,25	525,27	121	100
Curva 68	314,40	314,65	0,25	135,48	62	62
Curva 69	314,85	315,15	0,30	162,12	67	67
Curva 70	317,65	318,00	0,35	752,23	145	100
Curva 71	318,90	319,15	0,25	195,90	74	74
Curva 72	319,35	319,45	0,10	691,49	139	100
Curva 73	319,50	319,80	0,30	211,29	77	77
Curva 74	320,25	320,75	0,50	296,09	91	91
Curva 75	321,15	321,50	0,35	227,42	80	80
Curva 76	321,65	322,05	0,40	444,53	112	100
Curva 77	324,85	325,45	0,60	676,84	138	100
Curva 78	327,05	327,65	0,60	721,91	142	100
Curva 79	328,70	329,00	0,30	725,42	143	100
Curva 80	330,25	330,50	0,25	231,06	81	81

Fonte: Adaptada da Empresa Alfa, 2015.

Tabela 19 – Resultados de cálculo da velocidade de fluxo livre (BFFS) e média de acessos por km.

km inicial	km final	Extensão	BFFS	Média de Acessos/KM	Ultrapassagem Proibida
285,22	287,94	2,720	100	2,57	60%
288,47	289,45	0,980	92	3,06	100%

292,94	296,38	3,440	95	2,91	72%
296,57	298,98	2,410	99	2,07	43%
299,50	300,96	1,460	100	2,05	83%
301,13	304,38	3,250	94	1,23	83%
305,04	305,72	0,680	96	1,47	100%
306,50	308,53	2,030	93	1,48	100%
308,66	309,15	0,490	87	2,04	61%
309,22	309,74	0,520	85	0,00	100%
309,94	311,24	1,300	91	3,08	84%
312,40	312,90	0,500	92	0,00	40%
313,57	314,58	1,010	90	1,98	73%
314,64	315,05	0,410	84	0,00	93%
315,43	316,10	0,670	100	1,49	25%
316,27	319,77	3,500	96	1,14	60%
319,97	320,54	0,570	76	0,00	42%
320,77	322,14	1,370	95	0,73	100%
322,30	322,87	0,570	100	0,00	21%
323,05	323,50	0,450	100	0,00	67%
326,73	327,58	0,850	100	8,24	51%
328,83	329,26	0,430	100	0,00	42%
329,32	330,10	0,780	100	2,56	22%

Sentido O (Oeste) – Belo Horizonte

Sentido L (Leste) – São Paulo

Fonte: Adaptada da Empresa Alfa, 2015.

Na classificação das rampas, realizou-se um levantamento em campo para contagem dos trechos com permissões de ultrapassagem e trechos com faixas adicionais conforme TAB. 20 e TAB. 21.

Tabela 20 - Permissão de ultrapassagens.

Sentido - LESTE			Sentido - OESTE		
Km inicial	Km final	Extensão	Km inicial	Km final	Extensão
284,680	284,900	0,220	284,680	284,900	0,220
285,767	286,158	0,391	286,006	286,413	0,407
286,607	287,259	0,652	286,971	287,517	0,546
287,517	287,804	0,287	287,804	288,050	0,246
290,400	290,527	0,127	290,400	290,527	0,127
291,700	293,000	1,300	291,950	293,200	1,250
293,900	294,350	0,450	294,150	294,550	0,400
294,550	295,000	0,450	294,900	295,200	0,300
296,650	296,900	0,250	296,900	297,200	0,300
297,200	297,550	0,350	297,550	297,800	0,250

298,200	298,450	0,250	298,450	298,700	0,250
298,700	299,050	0,350	298,950	299,200	0,250
299,200	299,900	0,700	299,550	300,200	0,650
300,200	300,850	0,650	300,400	301,102	0,702
301,250	301,559	0,309	301,506	301,830	0,324
302,217	302,433	0,216	302,433	302,687	0,254
304,356	304,710	0,354	304,622	305,000	0,378
308,788	308,981	0,193	309,981	310,153	0,172
310,234	310,450	0,216	310,450	310,750	0,300
312,500	312,600	0,100	312,600	313,069	0,469
313,190	313,462	0,272	313,462	313,727	0,265
314,059	314,329	0,270	314,329	314,633	0,304
315,327	315,595	0,268	315,595	316,282	0,687
316,423	317,511	1,088	316,690	317,707	1,017
318,600	318,944	0,344	318,854	319,150	0,296
320,137	320,327	0,190	320,231	320,557	0,326
322,200	322,700	0,500	322,450	322,950	0,500
323,200	325,750	2,550	323,457	325,750	2,293
326,350	327,150	0,800	326,550	327,150	0,600
327,800	328,035	0,235	329,311	329,917	0,606
329,080	329,678	0,598	330,882	331,095	0,213
330,882	331,095	0,213			
Total		15,143	Total		14,902

Sentido O (Oeste) – Belo Horizonte

Sentido L (Leste) – São Paulo

Fonte: Adaptada da Empresa Alfa, 2015.

Tabela 21 - Localização de faixas adicional.

Início	Fim	Extensão	Sentido
299,790	301,460	1,670	SENTIDO LESTE
306,640	309,000	2,360	
312,940	313,660	0,720	SENTIDO OESTE
320,600	322,260	1,660	

Sentido O (Oeste) – Belo Horizonte

Sentido L (Leste) – São Paulo

Fonte: Adaptada da Empresa Alfa, 2015.

A Tabelas TAB. 22 apresentam todas as características pertinentes de cada rampa nos dois sentidos da pista.

Tabela 22 – Dados das rampas do segmento 12.

Rampa	SENTIDO	TIPO	km inicial	km final	EXTENSÃO	BFFS	INCLIN (%)	Número de Acessos/KM	Ultrapassagem Proibida	FX ADIC. EXISTENTE
1	Leste	R.Esp	285,22	287,94	2,720	100	3,5%	2,20	51%	-
2	Oeste	R.Esp	288,47	289,45	0,980	92	4,0%	3,06	100%	-
3	Leste	R.Esp	292,94	296,38	3,440	95	6,1%	2,91	72%	-
4	Oeste	R.Esp	296,57	298,98	2,410	99	5,0%	2,07	65%	-
5	Leste	R.Esp	299,50	300,96	1,460	100	5,9%	2,05	Não se Aplica	SIM
6	Oeste	R.Esp	301,13	304,38	3,250	94	5,6%	1,23	82%	-
7	Oeste	R.Esp	305,04	305,72	0,680	96	5,2%	1,47	100%	-
8	Leste	R.Esp	306,50	308,53	2,030	93	6,0%	1,48	Não se Aplica	SIM
9	Oeste	R.Esp	308,66	309,15	0,490	87	3,3%	2,04	100%	-
10	Leste	R.Esp	309,22	309,74	0,520	85	3,0%	0,00	100%	-
11	Oeste	R.Esp	309,94	311,24	1,300	91	4,1%	3,08	83%	-
12	Leste	R.Esp	312,40	312,90	0,500	92	4,2%	0,00	80%	-
13	Oeste	R.Esp	313,57	314,58	1,010	90	5,3%	1,98	Não se Aplica	SIM
14	Leste	R.Esp	314,64	315,05	0,410	84	5,5%	0,00	100%	-
15	Leste	R.Esp	315,43	316,10	0,670	100	4,2%	1,49	29%	-
16	Oeste	R.Esp	316,27	319,77	3,500	96	3,5%	1,14	62%	-
17	Leste	R.Esp	319,97	320,54	0,570	76	5,6%	0,00	67%	-
18	Oeste	R.Esp	320,77	322,14	1,370	95	6,0%	0,73	Não se Aplica	SIM
19	Leste	R.Esp	322,30	322,87	0,570	100	5,3%	0,00	30%	-
20	Oeste	R.Esp	323,05	323,50	0,450	100	3,8%	0,00	89%	-
21	Leste	R.Esp	326,73	327,58	0,850	100	3,1%	8,24	47%	-
22	Oeste	R.Esp	328,83	329,26	0,430	100	5,8%	0,00	100%	-

---

23	SP	R.Esp	329,32	330,10	0,780	100	4,2%	2,56	28%	-
----	----	-------	--------	--------	-------	-----	------	------	-----	---

---

Sentido O (Oeste) – Belo Horizonte

Sentido L (Leste) – São Paulo

Fonte: O autor (2015).

## 6.4 Determinação dos Níveis de Serviço

De acordo com o HCM 2010, o nível de serviço é determinado em função dos valores de ATS (Estimativa da Velocidade Média de Viagem) e PTFS (Percentual de Tempo de Viagem em Pelotão) para rodovias de classe I, conforme TAB. 23.

Tabela 23 - Níveis de serviço para rodovias de pista simples Classe I.

Nível de serviço	Rodovias de classe I	
	ATS (km/h)	PTSF (%)
A	>90	≤35
B	>80-90	>35-50
C	>71-80	>50-65
D	>60-70	>65-80
E	≤60	>80
F	Volume Direcional 1700 cp/h	

Fonte: Adaptado de TRB, 2010/2013.

Para o cálculo do nível de serviço foi utilizado o volume médio diário anual de 9366 veículos pela projeção de tráfego especificada na TAB. 16 (Volume Médio Diário do Segmento 12) PAG. 39, disponibilizada pela Empresa Alfa e para o cálculo do volume horário foi adotado o fator K especificado no item 6.2.2 (Fator K: Determinação da Hora de Projeto) PAG. 40, no valor de 796 veículos.

Para a determinação dos valores de ATS e PTFS, os procedimentos de cálculo serão demonstrados nos itens 6.4.2 (Procedimento para a determinação de FFS) e 6.4.3 (Procedimento para a determinação de PTSF) PAG. 52 e 53. Os seguintes procedimentos foram realizados em todas as rampas do presente estudo, onde todas as características, valores levantados e cálculos realizados, são apresentados no Apêndice 1, 2 e 3 na PAG. 63 a 70.

### 6.4.1 Procedimento para a determinação do FFS

Para a determinação do FFS, foi utilizada a equação (2) da PAG. 23, os valores de BFFS foram observados na TAB. 22 PAG. 49 e 50 e os valores de FLS e FA, observados na TAB. 1 e 22 PAG. 24, 49 e 50 respectivamente, conforme a classificação do trecho em estudo.

#### 6.4.2 Procedimento para a determinação do ATS

A determinação do  $V_{ATS}$  foi realizada nos dois sentidos da pista, sentido direcional e no sentido oposto. Como pode ser observado, neste trabalho foi cálculo no sentido Leste e Oeste, onde Leste se encontra em direção a São Paulo e Oeste na direção de Belo Horizonte, (Equação 13 e 14).

$$V_{LATS} = V_L / (PHF * F_{gATS} * F_{hVATS}) \quad (13)$$

$$V_{OATS} = V_O / (PHF * F_{gATS} * F_{hVATS}) \quad (14)$$

Onde:

$V_L$  - Volume sentido Leste em ATS

$V_O$  - Volume Sentido Oeste em ATS

Os valores de  $F_{gATS}$ , foram obtidos através da TAB. 3 na PAG. 25 por meio de uma média ponderada entre os valores encontrados, utilizando o valor da inclinação da rampa (TAB. 22 PAG. 49 e 50) e o valor de fluxo direcional de veículos pesados no sentido Leste e Oeste obtidos através da equação (15) e (16), onde o valor de PHF utilizado, foi o valor de 0,92 determinado pelo DNIT em norma, observado no item 6.2.1 (Fator de Pico Horário) da PAG. 39.

$$V_{LATS}/PHF \quad (15)$$

$$V_{OATS}/PHF \quad (16)$$

Onde:

$V_L$  - Volume sentido Leste em ATS

$V_O$  - Volume Sentido Oeste em ATS

PHF - Fator de Pico Horário

Para a determinação de  $F_{hVATS}$  foi utilizada a equação (17).

$$F_{hVATS} = 1 / (1 + P_{CL} (E_{TL} - 1)) \quad (17)$$

$$F_{hVATS} = 1 / (1 + P_{CO} (E_{TO} - 1)) \quad (18)$$

Onde:

$F_{hVATS}$  - Fator de ajuste de veículos pesados

$P_C$  - Percentual de veículos pesados (%)

## ET - Fatores de equivalência de veículos pesados

$P_C$  é o valor total em percentual de veículos pesados que trafegam pela rodovia nos dois sentidos da pista. Este valor foi observado na TAB. 16 PAG. 39 fornecida pela Empresa Alfa, denominado de  $P_{CL}$ , no sentido Leste e  $P_{CO}$  no sentido Oeste (Estes valores devem ser inseridos em decimal nas formulas).

O valor de  $E_{TL}$  foi definido através da TAB. 6 PAG. 27, onde foi feita uma média ponderada entre os valores encontrados, por meio da inclinação da rampa, valor este observado na TAB. 22 PAG. 49 e 50 e o valor de fluxo direcional determinado pela equação (15) da PAG 52.

Para a determinação de  $E_{TO}$ , foi feita uma média ponderada entre os valores encontrados na TAB. 5 PAG. 27, utilizando o valor obtido pela equação (16) da PAG 52 e observando a orientação do ATS, neste caso a pistas está em declive.

A determinação do ATS se deu através da equação (4) da PAG. 30. Para sua determinação foi utilizado o valor de FFS encontrado pela equação (2) da PAG. 23, o valor de  $V_{LATS}$  e  $V_{DATS}$  encontrados através das equações (13) e (14) da PAG. 52. O  $f_{nPATS}$  foi obtido através da TAB. 8 PAG. 30 por meio de uma média ponderada entre os valores encontrados, utilizando o valor de  $V_o$  da TAB. 16 PAG. 39 e o valor de percentual de ultrapassagem proibida observado na TAB. 22 PAG. 49 e 50.

A classificação do nível de serviço se deu através da TAB. 23 PAG. 51, utilizando os valores de ATS encontrados pela equação (4) da PAG. 30.

### 6.4.3 Procedimento para a determinação do PTSF

Para a determinação de PTSF, o procedimento utilizado se parece muito com o do ATS.

A determinação do  $V_{PTSF}$  foi realizada nos dois sentidos da pista, sentido direcional e no sentido oposto. Como pode ser observado, neste trabalho foi cálculo no sentido Leste e Oeste, onde Leste se encontra em direção a São Paulo e Oeste na direção de Belo Horizonte, (Equação 19 e 20).

$$V_{LPTSF} = V_L / (PHF * F_{gPTSF} * F_{hVPTSF}) \quad (19)$$

$$V_{OPTSF} = V_O / (PHF * F_{gPTSF} * F_{hVPTSF}) \quad (20)$$

Onde:

$V_L$  – Volume sentido Leste em PTSF

$V_O$  - Volume Sentido Oeste em PTSF

Os valores de  $F_{gPTSF}$ , foram obtidos através da TAB. 4 PAG. 26 por meio de uma média ponderada entre os valores encontrados, utilizando o valor da inclinação da rampa (TAB. 22 PAG. 49 e 50) e o valor de fluxo direcional de veículos pesados no sentido Leste e Oeste obtidos através da equação (21) e (22), onde o valor de PHF utilizado, foi o valor de 0,92 determinado pelo DNIT em norma, observado no item 6.2.1 (Fator de Pico Horário) da PAG. 39.

$$V_{LPTSF}/PHF \quad (21)$$

$$V_{OPTSF}/PHF \quad (22)$$

Onde:

$V_L$  - Volume sentido Leste em PTSF

$V_O$  - Volume Sentido Oeste em PTSF

PHF - Fator de Pico Horário

Para a determinação de  $F_{hVPTSF}$  foi utilizada a equação (17).

$$F_{hVPTSF} = 1 / (1 + P_{CL} (E_{TL} - 1)) \quad (23)$$

$$F_{hVPTSF} = 1 / (1 + P_{CO} (E_{TO} - 1)) \quad (24)$$

Onde:

$F_{hVPTSF}$  - Fator de ajuste de veículos pesados

$P_C$  - Percentual de veículos pesados (%)

$E_T$  - Fatores de equivalência de veículos pesados

$P_C$  é o valor total em percentual de veículos pesados que trafegam pela rodovia nos dois sentidos da pista. Este valor foi observado na TAB. 16 PAG. 39 fornecida pela Empresa Alfa, denominado de  $P_{CL}$ , no sentido Leste e  $P_{CO}$  no sentido Oeste (Estes valores devem ser inseridos em decimal na formula).

O valor de  $E_{TL}$  foi definido através da TAB. 7 PAG. 29, onde foi feita uma média ponderada entre os valores encontrados, por meio da inclinação da rampa, valor este observado na TAB. 22 PAG. 49 e 50 e o valor de fluxo direcional, determinado pela equação (21).

Para a determinação de  $E_{TO}$ , foi feita uma média ponderada entre os valores encontrados na TAB. 5 PAG. 27, utilizando o valor obtido pela equação (22) PAG. 54 e observando a orientação do PTSF, neste caso a pistas está em aclave.

O valor de BPTSF foi obtido através da equação (6) da PAG. 31, onde o valor de  $V_D$  utilizado foi o mesmo obtido pela equação (19) da PAG. 53 e os valores de  $a$  e  $b$ , foram observados na TAB. 10 PAG. 32, obtidos de acordo com o valor do fluxo de sentido oposto  $V_o$ .

Para determinar o PTSF, foi utilizada a equação (5) da PAG. 31, onde o valor de BPTSF utilizado, foi encontrado através da equação (6) da PAG. 31, o mesmo citada acima. O valor de  $f_{nP_{TSF}}$ , foi observado na TAB. 9 da PAG. 31, obtido através da média ponderada entre os valores observados e encontrado através do fluxo de sentido oposto e a divisão da direção das pistas, definida de acordo com o levantamento em campo feito pela Empresa Alfa de 50/50. Os valores de  $V_{L_{PTSF}}$  e  $V_{O_{PTSF}}$  utilizados foram obtidos pelas equações (19) e (20) da PAG 53.

A classificação do nível de serviço foi feita através da TAB. 23 PAG. 51, utilizando os valores de PTSF encontrados pela equação (5) da PAG. 31.

#### 6.4.4 Resultados

Os resultados obtidos para ATS e PTSF, são apresentados na TAB. 23.

Tabela 24 – Rampas do segmento 12.

Ram.	Sentido	Início	Fim	Extensão	ATS	Classificação em ATS	PTSF	Classificação em PTSF	Resultado
1	Leste	285,22	287,94	2,72	74,68	C	80,07	E	E
2	Oeste	288,47	289,45	0,98	70,59	D	53,65	C	D
3	Leste	292,94	296,38	3,44	77,01	C	80,68	E	E
4	Oeste	296,57	298,98	2,41	63,74	D	80,85	E	E
5	Leste	299,50	300,96	1,46	74,22	B	59,40	A	B
6	Oeste	301,13	304,38	3,25	57,94	E	81,58	E	E
7	Oeste	305,04	305,72	0,68	76,64	C	53,48	C	C
8	Leste	306,50	308,53	2,03	61,46	D	59,47	A	D
9	Oeste	308,66	309,15	0,49	70,18	D	54,17	C	D
10	Leste	309,22	309,74	0,52	69,42	D	54,22	C	D
11	Oeste	309,94	311,24	1,300	67,77	D	80,06	E	E
12	Leste	312,40	312,90	0,500	74,78	C	82,24	E	E
13	Oeste	313,57	314,58	1,010	70,74	B	59,40	A	B

14	Leste	314,64	315,05	0,410	63,36	D	53,53	C	D
15	Leste	315,43	316,10	0,670	83,50	B	74,23	D	D
16	Oeste	316,27	319,77	3,500	69,0	D	80,80	E	E
17	Leste	319,97	320,54	0,570	55,02	E	80,85	E	E
18	Oeste	320,77	322,14	1,370	70,10	C	59,40	A	C
19	Leste	322,30	322,87	0,570	82,98	B	73,78	D	D
20	Oeste	323,05	323,50	0,450	83,03	B	81,70	E	E
21	Leste	326,73	327,58	0,850	78,60	C	79,47	D	D
22	Oeste	328,83	329,26	0,430	79,14	C	53,48	C	C
23	Leste	329,32	330,10	0,780	82,79	B	74,23	D	D

Sentido O (Oeste) – Belo Horizonte

Sentido L (Leste) – São Paulo

Fonte: O autor (2015).

Um dos objetivos do presente trabalho é a proposta de intervenções para a melhoria da capacidade do segmento 12. Verifica-se através da TAB. 24 PAG. 55, que das vinte e três rampas analisados, as rampas 1, 3, 4, 6, 11, 12, 16, 17 e 20 encontram-se em níveis de serviço superior a D, presumindo assim a necessidade de intervenções que proporcionem melhorias na capacidade da rodovia.

## **7 PROJETOS DE INTERVENÇÃO**

Serão elaborados projetos técnico de intervenções para que a rodovia possa alcançar níveis de serviço suficiente para melhor acomodar o tráfego dos trechos abordados. Para isso são sugeridas as Faixas Adicionais, afim de se estender por determinado tempo a capacidade do Nível de Serviço do segmento 12.

### **7.1 As Faixas Adicionais**

Nas rodovias de pista simples, se o tráfego for composto na maior parte por automóveis e não houver restrições de visibilidade, a velocidade dos veículos e a operação nessas vias são pouco afetadas pelo tráfego oposto. Porém, à medida que o volume de tráfego aumenta e os caminhões fazem parte da composição, a velocidade de operação se reduz e a necessidade de ultrapassar os veículos mais lentos torna-se maior. Como as manobras de ultrapassagens são feitas na faixa ocupada pelo tráfego oposto, a operação e a velocidade dependem do volume de tráfego e da frequência de trechos da rodovia, onde existem distâncias de visibilidade suficientes para os automóveis fazerem ultrapassagens seguras (AASHO, 1965).

Aliado ao volume e à composição do tráfego, o baixo desempenho dos caminhões carregados em aclives afeta a operação do tráfego nas vias de pista simples. Em terrenos planos, os caminhões podem viajar em velocidades próximas às dos automóveis, mas em aclives com inclinações maiores que 3%, a diferença de velocidade é maior. A interferência causada pelos veículos lentos sobre os automóveis e ônibus (normalmente, veículos mais rápidos) reflete-se em acréscimos no tempo de viagem, nos custos operacionais e na possibilidade de acidentes, bem como na redução do nível de serviço (DNER, 1979).

Faixas adicionais podem melhorar a operação dos veículos em aclives, reduzindo tempos de viagem e custos operacionais, além de aumentar a segurança de trânsito. A faixa adicional de subida (ou terceira faixa) é uma faixa auxiliar construída à direita da faixa de rolamento, no sentido ascendente, permitindo que os veículos mais lentos retirem-se do fluxo principal e sejam ultrapassados com segurança. Esse tipo de melhoria pode ser executado em rodovias de pista simples ou em rodovias de pista dupla (DNER, 1999)

## 7.2 Implantação de Faixas Adicionais

Para a determinação das faixas adicionais, foi utilizado o método do fator de projeção do crescimento, conforme o item 6.2.3 (Projeção de Tráfego) PAG. 42, adotando o fator de três por cento ao ano, para evidenciar uma vida útil de projeto para as intervenções propostas. Esta contagem foi elaborada com o efeito de dez anos, contados a partir do ano de 2016, considerando um período de obras de dois anos, pôde-se prever que no ano de 2026, a rodovia terá um volume médio diário de 12585 veículos.

O volume horário para determinação da capacidade foi adotado conforme o item 6.2.2 (Fator K: Determinação da Hora de Projeto) PAG. 40, adotando o fator k recomendado pelo DNIT de 8,5% do volume médio diário anual. Desta forma, o valor obtido foi de 1070 veículos por hora.

Para a determinação dos valores de ATS e PTFS em faixas adicionais, o procedimento de cálculo preestabelecido foi o mesmo utilizado para pistas simples citados nos itens 6.4.2 (Procedimento para determinação de ATS) e 6.4.3 (Procedimento para determinação de PTFS) PAG. 52 e 53, no entanto conforme prescrito no item 5.9 (Faixas Adicionais) PAG. 57, após os resultados encontrados estes valores devem ser multiplicados por valores observados na TAB. 15 PAG. 36, de acordo com a classificação dos resultados,. Neste caso foi utilizado o valor de 1,14 em ATS e 0,23 em PTFS.

Os resultados obtidos são apresentados na TAB. 25, onde todas as características, valores levantados e cálculos, estão apresentados no Apêndice 4, 5 e 6 na PAG. 71 a 78.

Tabela 25 - Rampas do segmento 12 após projeção de dez anos.

Ram.	Sentido	Início	Fim	Extensão	ATS	Classificação em ATS	PTSF	Classificação em PTFS	Resultado
1	Leste	285,22	287,94	2,72	74,68	C	80,07	A	C
2	Oeste	288,47	289,45	0,98	70,59	C	53,65	C	C
3	Leste	292,94	296,38	3,44	77,01	D	80,68	A	D
4	Oeste	296,57	298,98	2,41	63,74	C	80,85	A	C
5	Leste	299,50	300,96	1,46	74,22	C	59,40	A	C
6	Oeste	301,13	304,38	3,25	57,94	D	81,58	A	D
7	Oeste	305,04	305,72	0,68	76,64	B	53,48	C	C
8	Leste	306,50	308,53	2,03	61,46	D	59,47	A	D
9	Oeste	308,66	309,15	0,49	70,18	C	54,17	C	C
10	Leste	309,22	309,74	0,52	69,42	C	54,22	C	C
11	Oeste	309,94	311,24	1,30	67,77	C	80,06	A	C
12	Leste	312,40	312,90	0,50	74,78	C	82,24	A	C

13	Oeste	313,57	314,58	1,01	70,74	C	59,40	A	C
14	Leste	314,64	315,05	0,41	63,36	D	53,53	C	D
15	Leste	315,43	316,10	0,67	83,50	B	74,23	E	E
16	Oeste	316,27	319,77	3,50	69,0	C	80,80	A	C
17	Leste	319,97	320,54	0,57	55,02	D	80,85	A	D
18	Oeste	320,77	322,14	1,37	70,10	C	59,40	A	C
19	Leste	322,30	322,87	0,57	82,98	B	73,78	E	E
20	Oeste	323,05	323,50	0,45	83,03	B	81,70	A	B
21	Leste	326,73	327,58	0,85	78,60	B	79,47	D	D
22	Oeste	328,83	329,26	0,43	79,14	B	53,48	C	B
23	Leste	329,32	330,10	0,78	82,79	B	74,23	E	E

Sentido O (Oeste) – Belo Horizonte

Sentido L (Leste) – São Paulo

Fonte: O autor (2015).

Conforme a TAB. 25, conclui-se que após a projeção de dez anos, das vinte e três rampas analisadas, as rampas 3, 6, 8, 14, 15, 17, 19, 21 e 23 voltarão a atuar em níveis de serviço insuficiente, onde das nove rampas em destaque, as rampas 3, 6 e 17, mesmo com a adição de terceiras faixas voltaram a atuar em níveis de serviço a cima do seu limite de capacidade nível D.

## 8 CONCLUSÃO

O estudo realizado evidência que nove das vinte e três rampas analisadas do seguimento 12, necessitam de obras de intervenção para melhor acomodar o tráfego existente.

O tipo de intervenção sugerida foram as Faixas Adicionais. As intervenções foram elaboradas com o efeito de uma projeção de dez anos, onde após esta projeção espera-se que os trechos em análise novamente comecem a operar em níveis de serviço insuficiente, momento este em que deverá ser feito novamente a análise da rodovia para elaboração de novos projetos para melhoria de sua capacidade.

Destaca-se que o estudo de capacidade deve ser utilizado no gerenciamento dos projetos e das obras como uma ferramenta estratégica, determinando quais trechos devem ser inicialmente melhorados, atacando ordenadamente os que estiverem em pior situação.

O método HCM é considerado o que há de mais moderno para a determinação do Nível de Serviço de rodovias sendo recomendado por órgãos de transporte nacionais e internacionais. Entretanto ressalta-se que seus fatores foram estabelecidos de acordo com uma rodovia típica americana, podendo ocorrer variações dependendo da região onde for empregado.

## REFERÊNCIAS

- Transportation Research Board – TRB. Highway Capacity Manual 2000*. Washinton, D.C, 2000.
- Transportation Research Board – TRB. Highway Capacity Manual 2010*. Washinton, D.C, 2010.
- SILVA, E. L. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 4. ed. rev. atual. 138p. Florianópolis: UFSC, 2005.
- ROESS, PASSAS E McSHANE. *Traffic Engineering* (4a ed.). Prentice Hall, 2010.
- DNIT (2006b) *Manual de Estudos de Tráfego: Publicação IPR - 723*. Rio de Janeiro
- RIENTE, G. Capacidade viária e nível de serviço – guia prático. Belo Horizonte: CCR Nova Dutra, 2012.
- RIENTE, G. Adaptação do HCM 2000 para análise da capacidade e do nível de serviço em rodovias de pista simples no Brasil. 2010.
- RIENTE, G. Efeito da adaptação da relação Fluxo-Velocidade em estimativas do Nível de Serviço de Rodovias de Pista Dupla. Departamento de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2010.
- RIENTE, G. Capacidade e Relação Fluxo-Velocidade em Autoestradas e Rodovias de Pista Dupla Paulistas. 2012.
- AASHA (1965) A Policy on Geometric Design of Rural Highway; American Association of State Highway and Transportation Officials. Chapter III: Elements of Design.
- DNER (1979) Instrução para implantação de terceiras faixas. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro.
- DNER (1999) Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais. Capítulo 7: Terceira Faixa nas Rampas Ascendentes, pg. 177-186. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro.
- Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais (DER). Disponível em: <<http://www.der.mg.gov.br>>. Acessado em 12 Set. 2015.
- Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transporte – DNIT. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/>>. Acessado em 12 Set. 2015.
- Ministério dos Transportes. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br>>. Acesso em 12 Set. 2015.

## GLOSSÁRIO

- a, b - Fatores de calibração baseados no sentido oposto de tráfego
- $C_{dATS}$  - Capacidades no sentido analisados baseado na velocidade média da viagem
- $C_{dPTSF}$  - Percentual do tempo em pelotão
- cp/h.faixa - Carros de passeio por hora faixa
- $E_T$  - Equivalência para veículos pesados
- $E_{TC}$  - Fator de equivalência distinto
- $f_{PL}$  - Fator de ajuste para faixas adicionais referente ao PTSF
- $f_A$  - Fator de ajuste da densidade de acessos
- $f_g$  - Fator de ajuste do tipo relevo
- $f_{g,ATS}$  - Fator de ajuste do tipo de relevo
- $f_{g,PTSF}$  - Fator de ajuste do tipo de relevo
- $f_{hv}$  - Fator de ajuste para veículos pesados
- $f_{hv}$  - Fator de ajuste para veículos pesados
- $f_{HV,ATS}$  - Fator de ajuste de veículos pesados
- $f_{HV,PTSF}$  - Fator de ajuste de veículos pesados
- $f_{LS}$  - Fator de ajuste da largura da faixa e do acostamento
- $f_{Lw}$  - Fator de ajuste segundo a largura da faixa de rolamento
- $f_{Lc}$  - Fator de ajuste em função do afastamento lateral direito
- $f_M$  - Fator de ajuste para o tipo de divisão central
- $f_{np}$  - Fator de ajuste do PTSF para o efeito da proibição de ultrapassagem
- $f_{np,ATS}$  - Fator de ajuste para ATS
- $K_n$  - Coeficiente para localização do volume horário da capacidade
- $L_d$  - Comprimento sem efeito da terceira faixa a jusante
- $L_{de}$  - É o comprimento efetivo do benefício da terceira faixa a jusante
- $L_{pl}$  - Comprimento da terceira faixa
- $L_u$  - Comprimento a montante da terceira faixa
- $L_{de}$  - Comprimento efetivo do benefício da terceira faixa a jusante
- $L_{pl}$  - Comprimento ótimo de faixas adicionais
- $P_T$  - percentual de veículos pesados
- PTSF ( $f_{np,PTSF}$ ) - Fatores de ajuste para devido a existência de zonas de proibição de ultrapassagem

Apêndice 1 – Dados para cálculos de Valores em ATS e PTSF em Pista Simples.

Sentido	Início	Fim	Extensão	Inclinação	Pcd	Pco	V <sub>SP</sub>	V <sub>BH</sub>	Média de Acessos /KM	BFFS	Larg. da Faixa	Larg. do Acostamento
SP	285,22	287,94	2,720	3,5%	0,35	0,38	401	395	2,2	100	3,6	1,5
BH	288,47	289,45	0,980	4,0%	0,35	0,38	401	395	3,06	92	3,6	1,5
SP	292,94	296,38	3,440	6,1%	0,35	0,38	401	395	2,91	95	3,6	1,5
BH	296,57	298,98	2,410	5,0%	0,35	0,38	401	395	2,07	99	3,6	1,5
SP	299,50	300,96	1,460	5,9%	0,35	0,38	401	395	2,05	100	3,6	1,5
BH	301,13	304,38	3,250	5,6%	0,35	0,38	401	395	1,23	94	3,6	1,5
BH	305,04	305,72	0,680	5,2%	0,35	0,38	401	395	1,47	96	3,6	1,5
SP	306,50	308,53	2,030	6,0%	0,35	0,38	401	395	1,48	93	3,6	1,5
BH	308,66	309,15	0,490	3,3%	0,35	0,38	401	395	2,04	87	3,6	1,5
SP	309,22	309,74	0,520	3,0%	0,35	0,38	401	395	0	85	3,6	1,5
BH	309,94	311,24	1,300	4,1%	0,35	0,38	401	395	3,08	91	3,6	1,5
SP	312,40	312,90	0,500	4,2%	0,35	0,38	401	395	0	92	3,6	1,5
BH	313,57	314,58	1,010	5,3%	0,35	0,38	401	395	1,98	90	3,6	1,5
SP	314,64	315,05	0,410	5,5%	0,35	0,38	401	395	0	84	3,6	1,5
SP	315,43	316,10	0,670	4,2%	0,35	0,38	401	395	1,49	100	3,6	1,5
BH	316,27	319,77	3,500	3,5%	0,35	0,38	401	395	1,14	96	3,6	1,5
SP	319,97	320,54	0,570	5,6%	0,35	0,38	401	395	0	76	3,6	1,5
BH	320,77	322,14	1,370	6,0%	0,35	0,38	401	395	0,73	95	3,6	1,5
SP	322,30	322,87	0,570	5,3%	0,35	0,38	401	395	0	100	3,6	1,5
BH	323,05	323,50	0,450	3,8%	0,35	0,38	401	395	0	100	3,6	1,5
SP	326,73	327,58	0,850	3,1%	0,35	0,38	401	395	8,24	100	3,6	1,5

BH	328,83	329,26	0,430	5,8%	0,35	0,38	401	395	0	100	3,6	1,5
SP	329,32	330,10	0,780	4,2%	0,35	0,38	401	395	2,56	100	3,6	1,5

Fonte: O autor (2015).

## Apêndice 2 - Cálculos para ATS em Pista Simples

DETERMINAÇÃO DE VD <sub>ATS</sub>										
FLs	FA	FFS	PHF	V <sub>sp</sub> /PHF	VBH/PHF	fg <sub>,ATS</sub>	Pc	ET	F <sub>hv,ATS</sub>	VD <sub>,ATS</sub>
2,8	1,474	95,726	0,92	435,8696	429,3478	0,8625	0,35	9,075	0,261352	1633,61
2,8	2,0502	87,1498	0,92	435,8696	429,3478	0,913333	0,35	5,55	0,385728	1237,21
2,8	1,9497	90,2503	0,92	435,8696	429,3478	0,53	0,35	13,55	0,185443	4434,76
2,8	1,3869	94,8131	0,92	435,8696	429,3478	0,8	0,38	10,55	0,216029	1699,33
2,8	1,3735	95,8265	0,92	435,8696	429,3478	0,75	0,35	9,7	0,247219	1689,40
2,8	0,8241	90,3759	0,92	435,8696	429,3478	1,42	0,35	13,6	0,184843	1660,60
2,8	0,9849	92,2151	0,92	435,8696	429,3478	0,9025	0,35	4,525	0,447678	1078,80
2,8	0,9916	89,2084	0,92	435,8696	429,3478	0,5	0,38	24,6	0,100321	1699,95
2,8	1,3668	82,8332	0,92	435,8696	429,3478	0,9525	0,35	2,85	0,60698	753,90
2,8	0	82,2	0,92	435,8696	429,3478	0,85	0,38	2,475	0,64082	800,20
2,8	2,0636	86,1364	0,92	435,8696	429,3478	0,9025	0,35	6,7	0,33389	1446,45
2,8	0	89,2	0,92	435,8696	429,3478	0,945	0,38	3,675	0,495909	930,08
2,8	1,3266	85,8734	0,92	435,8696	429,3478	0,8475	0,35	6,466667	0,343249	1498,32
2,8	0	81,2	0,92	435,8696	429,3478	0,82	0,38	5,2	0,385208	1379,89
2,8	0,9983	96,2017	0,92	435,8696	429,3478	0,945	0,38	3,675	0,495909	930,08
2,8	0,7638	92,4362	0,92	435,8696	429,3478	0,855	0,35	10,3	0,235018	1699,37
2,8	0	73,2	0,92	435,8696	429,3478	0,9025	0,38	5,7	0,358938	1345,521

2,8	0,4891	91,7109	0,92	435,8696	429,3478	2,385	0,35	9,7	0,247219	739,2421
2,8	0	97,2	0,92	435,8696	429,3478	0,9025	0,38	4,525	0,427442	1129,88
2,8	0	97,2	0,92	435,8696	429,3478	0,945	0,35	3,675	0,516462	893,0714
2,8	5,5208	91,6792	0,92	435,8696	429,3478	0,93	0,38	3,45	0,517866	905,0152
2,8	0	97,2	0,92	435,8696	429,3478	0,82	0,35	5,7	0,378072	1405,945
2,8	1,7152	95,4848	0,92	435,8696	429,3478	0,926667	0,38	3,675	0,495909	948,4867

DETERMINAÇÃO DE VO <sub>ATS</sub>				
fg <sub>ATS</sub>	Pc	Et <sub>ATS</sub>	Fhv <sub>ATS</sub>	Vo <sub>ATS</sub>
1	0,38	1,25	0,913242	470,1359
1	0,38	1,25	0,913242	470,1359
1	0,38	1,25	0,913242	470,1359
1	0,35	1,25	0,91954	466,9158
1	0,38	1,25	0,913242	470,1359
1	0,38	1,25	0,913242	470,1359
1	0,38	1,25	0,913242	470,1359
1	0,35	1,25	0,91954	466,9158
1	0,38	1,25	0,913242	470,1359
1	0,35	1,25	0,91954	466,9158
1	0,38	1,25	0,913242	470,1359
1	0,35	1,25	0,91954	466,9158
1	0,38	1,25	0,913242	470,1359
1	0,35	1,25	0,91954	466,9158

1	0,35	1,25	0,91954	466,9158
1	0,38	1,25	0,913242	470,1359
1	0,35	1,25	0,91954	466,9158
1	0,38	1,25	0,913242	470,1359
1	0,35	1,25	0,91954	466,9158
1	0,38	1,25	0,913242	470,1359
1	0,35	1,25	0,91954	466,9158
1	0,38	1,25	0,913242	470,1359
1	0,35	1,25	0,91954	466,9158

DETERMINAÇÃO DE ATS			
Fnp <sub>ATS</sub>	ATS	Terceira Faixa Existente	Classificação
2,775	81,82853		F
3,8	77,51998		D
3,375	56,7441		F
3,375	75,81908		F
0,166666667	81,36686	92,75822387	F
3,7	77,62836		D
3,8	83,7892		C
0,166666667	26,55013	30,26714382	F
3,8	76,87655		D
3,8	75,867		D
3,8	74,91634		D

3,8	81,87991		C
0,166666667	77,89247	88,79741577	B
3,8	70,46133		D
2,075	90,60661		B
3,375	76,14868		F
3,375	63,1476		E
0,166666667	89,49903	102,0288897	A
2,075	90,08647		B
3,8	90,18569		B
2,775	85,57464		C
3,8	86,28785		C
2,075	89,74986		B

Fonte: O autor (2015).

### Apêndice 3 - Cálculos para PTSF em Pista Simples.

DETERMINAÇÃO DE $VD_{PTSF}$										
FLs	FA	FFS	PHF	$V_{sp}/PHF$	$VBH/PHF$	$fg_{,PTSF}$	Pc	ET	$F_{hv,PTSF}$	$VD_{,PTSF}$
2,8	1,474	95,726	0,92	435,8696	429,3478	0,99	0,35	1,05	0,982801	447,9771
2,8	2,0502	87,1498	0,92	435,8696	429,3478	0,995	0,35	1,05	0,982801	445,7259
2,8	1,9497	90,2503	0,92	435,8696	429,3478	1	0,35	1,05	0,982801	443,4973
2,8	1,3869	94,8131	0,92	435,8696	429,3478	1	0,38	1,05	0,981354	444,1511
2,8	1,3735	95,8265	0,92	435,8696	429,3478	1	0,35	1,05	0,982801	443,4973
2,8	0,8241	90,3759	0,92	435,8696	429,3478	1	0,35	1,05	0,982801	443,4973
2,8	0,9849	92,2151	0,92	435,8696	429,3478	1	0,35	1,05	0,982801	443,4973

2,8	0,9916	89,2084	0,92	435,8696	429,3478	1	0,38	1,05	0,981354	444,1511
2,8	1,3668	82,8332	0,92	435,8696	429,3478	0,98	0,35	1,05	0,982801	452,5482
2,8	0	82,2	0,92	435,8696	429,3478	0,98	0,38	1,05	0,981354	453,2154
2,8	2,0636	86,1364	0,92	435,8696	429,3478	0,995	0,35	1,05	0,982801	445,7259
2,8	0	89,2	0,92	435,8696	429,3478	0,99	0,38	1,05	0,981354	448,6375
2,8	1,3266	85,8734	0,92	435,8696	429,3478	1	0,35	1,05	0,982801	443,4973
2,8	0	81,2	0,92	435,8696	429,3478	1	0,38	1,05	0,981354	444,1511
2,8	0,9983	96,2017	0,92	435,8696	429,3478	0,99	0,38	1,05	0,981354	448,6375
2,8	0,7638	92,4362	0,92	435,8696	429,3478	0,9975	0,35	1,05	0,982801	444,6088
2,8	0	73,2	0,92	435,8696	429,3478	1	0,38	1,05	0,981354	444,1511
2,8	0,4891	91,7109	0,92	435,8696	429,3478	1	0,35	1,05	0,982801	443,4973
2,8	0	97,2	0,92	435,8696	429,3478	1	0,38	1,05	0,981354	444,1511
2,8	0	97,2	0,92	435,8696	429,3478	0,9975	0,35	1,05	0,982801	444,6088
2,8	5,5208	91,6792	0,92	435,8696	429,3478	0,985	0,38	1,05	0,981354	450,9148
2,8	0	97,2	0,92	435,8696	429,3478	1	0,35	1,05	0,982801	443,4973
2,8	1,7152	95,4848	0,92	435,8696	429,3478	0,99	0,38	1,05	0,981354	448,6375

DETERMINAÇÃO DE VO <sub>PTSF</sub>				
Fg, <sub>PTSF</sub>	Pc	Et, <sub>PTSF</sub>	Fhv, <sub>PTSF</sub>	Vo, <sub>PTSF</sub>
1	0,38	1,1	0,963391	445,663
1	0,38	1,1	0,963391	445,663
1	0,38	1,1	0,963391	445,663
1	0,35	1,1	0,966184	444,375

DETERMINAÇÃO DE BPTSF		
a	b	BPTSF
-0,0029	0,923208	55,64479
-0,0029	0,923208	55,47716
-0,0029	0,923208	55,31052
-0,0029	0,923208	55,35948

1	0,38	1,1	0,963391	445,663
1	0,38	1,1	0,963391	445,663
1	0,38	1,1	0,963391	445,663
1	0,35	1,1	0,966184	444,375
1	0,38	1,1	0,963391	445,663
1	0,35	1,1	0,966184	444,375
1	0,38	1,1	0,963391	445,663
1	0,35	1,1	0,966184	444,375
1	0,38	1,1	0,963391	445,663
1	0,35	1,1	0,966184	444,375
1	0,35	1,1	0,966184	444,375
1	0,38	1,1	0,963391	445,663
1	0,35	1,1	0,966184	444,375
1	0,38	1,1	0,963391	445,663
1	0,35	1,1	0,966184	444,375
1	0,38	1,1	0,963391	445,663
1	0,35	1,1	0,966184	444,375
1	0,38	1,1	0,963391	445,663
1	0,35	1,1	0,966184	444,375

-0,0029	0,923208	55,31052
-0,0029	0,923208	55,31052
-0,0029	0,923208	55,31052
-0,0029	0,923208	55,35948
-0,0029	0,923208	55,98305
-0,0029	0,923208	56,03218
-0,0029	0,923208	55,47716
-0,0029	0,923208	55,69384
-0,0029	0,923208	55,31052
-0,0029	0,923208	55,35948
-0,0029	0,923208	55,69384
-0,0029	0,923208	55,39372
-0,0029	0,923208	55,35948
-0,0029	0,923208	55,31052
-0,0029	0,923208	55,35948
-0,0029	0,923208	55,39372
-0,0029	0,923208	55,86251
-0,0029	0,923208	55,31052
-0,0029	0,923208	55,69384

DETERMINAÇÃO DE PTSF				
VSP+VBH	Fnp <sub>PTSF</sub>	PTSF	Terceira faixa existente	Classificação
796	54,2	82,81497		E

796	0,399696049	55,67702		C
796	56,45	83,46677		E
796	56,45	83,57737		E
796	12,6	14,16689	3,258384742	A
796	58,3	84,38952		E
796	0,399696049	55,50988		C
796	12,6	14,18131	3,261702419	A
796	0,399696049	56,18443		C
796	0,399696049	56,23399		C
796	54,675	82,81659		E
796	58,3	84,98297		E
796	12,6	14,16689	3,258384742	A
796	0,399696049	55,55928		C
796	41,95	76,76895		D
796	56,45	83,58529		E
796	56,45	83,57737		E
796	12,6	14,16689	3,258384742	A
796	41,95	76,32919		D
796	58,3	84,5092		E
796	52,15	82,12798		E
796	0,399696049	55,50988		C
796	41,95	76,76895		D

## Apêndice 4 - Dados para cálculos de Valores em ATS e PTSF em Faixas Adicionais.

Sentido	Início	Fim	Extensão	Inclinação	Pcd	Pco	V <sub>SP</sub>	V <sub>BH</sub>	Média de Acessos /KM	BFFS	Larg. da Faixa	Larg. do Acostamento
SP	285,22	287,94	2,72	3,50%	0,35	0,38	538,9105	530,847	2,2	100	3,5	1
BH	288,47	289,45	0,98	4,00%	0,35	0,38	538,9105	530,847	3,06	92	3,5	1
SP	292,94	296,38	3,44	6,10%	0,35	0,38	538,9105	530,847	2,91	95	3,5	1
BH	296,57	298,98	2,41	5,00%	0,35	0,38	538,9105	530,847	2,07	99	3,5	1
SP	299,5	300,96	1,46	5,90%	0,35	0,38	538,9105	530,847	2,05	100	3,5	1
BH	301,13	304,38	3,25	5,60%	0,35	0,38	538,9105	530,847	1,23	94	3,5	1
BH	305,04	305,72	0,68	5,20%	0,35	0,38	538,9105	530,847	1,47	96	3,5	1
SP	306,5	308,53	2,03	6,00%	0,35	0,38	538,9105	530,847	1,48	93	3,5	1
BH	308,66	309,15	0,49	3,30%	0,35	0,38	538,9105	530,847	2,04	87	3,5	1
SP	309,22	309,74	0,52	3,00%	0,35	0,38	538,9105	530,847	0	85	3,5	1
BH	309,94	311,24	1,3	4,10%	0,35	0,38	538,9105	530,847	3,08	91	3,5	1
SP	312,4	312,9	0,5	4,20%	0,35	0,38	538,9105	530,847	0	92	3,5	1
BH	313,57	314,58	1,01	5,30%	0,35	0,38	538,9105	530,847	1,98	90	3,5	1
SP	314,64	315,05	0,41	5,50%	0,35	0,38	538,9105	530,847	0	84	3,5	1
SP	315,43	316,1	0,67	4,20%	0,35	0,38	538,9105	530,847	1,49	100	3,5	1
BH	316,27	319,77	3,5	3,50%	0,35	0,38	538,9105	530,847	1,14	96	3,5	1
SP	319,97	320,54	0,57	5,60%	0,35	0,38	538,9105	530,847	0	76	3,5	1
BH	320,77	322,14	1,37	6,00%	0,35	0,38	538,9105	530,847	0,73	95	3,5	1
SP	322,3	322,87	0,57	5,30%	0,35	0,38	538,9105	530,847	0	100	3,5	1
BH	323,05	323,5	0,45	3,80%	0,35	0,38	538,9105	530,847	0	100	3,5	1
SP	326,73	327,58	0,85	3,10%	0,35	0,38	538,9105	530,847	8,24	100	3,5	1

BH	328,83	329,26	0,43	5,80%	0,35	0,38	538,9105	530,847	0	100	3,5	1
SP	329,32	330,1	0,78	4,20%	0,35	0,38	538,9105	530,847	2,56	100	3,5	1

Fonte: O autor (2015).

#### Apêndice 5 - Cálculos para ATS em Faixas Adicionais.

DETERMINAÇÃO DE VD <sub>ATS</sub>										
FLs	FA	FFS	PHF	V <sub>sp</sub> /PHF	VBH/PHF	fg,ATS	Pc	ET	Fh <sub>VATS</sub>	VD,Ats
4,9	1,474	93,626	0,92	585,77228	577,00761	0,94	0,35	8,625	0,2725724	1699,56
4,9	2,0502	85,0498	0,92	585,77228	577,00761	1	0,35	5,2	0,4048583	1446,85
4,9	1,9497	88,1503	0,92	585,77228	577,00761	0,8125	0,35	13,5	0,1860465	1699,33
4,9	1,3869	92,7131	0,92	585,77228	577,00761	0,89	0,38	10,833333	0,2111189	1699,57
4,9	1,3735	93,7265	0,92	585,77228	577,00761	0,8125	0,35	9,7	0,2472188	1689,37
4,9	0,8241	88,2759	0,92	585,77228	577,00761	0,8125	0,35	13,5	0,1860465	1678,80
4,9	0,9849	90,1151	0,92	585,77228	577,00761	0,9633333	0,35	4,7666667	0,4313444	1409,70
4,9	0,9916	87,1084	0,92	585,77228	577,00761	0,83	0,38	11,05	0,2075119	1699,70
4,9	1,3668	80,7332	0,92	585,77228	577,00761	1	0,35	2,0333333	0,7343941	797,62
4,9	0	80,1	0,92	585,77228	577,00761	1	0,38	2,0333333	0,7180469	815,78
4,9	2,0636	84,0364	0,92	585,77228	577,00761	0,9633333	0,35	6,375	0,3470716	1651,99
4,9	0	87,1	0,92	585,77228	577,00761	1	0,38	3,275	0,5363368	1092,17
4,9	1,3266	83,7734	0,92	585,77228	577,00761	0,9325	0,35	6,3666667	0,3474233	1608,09
4,9	0	79,1	0,92	585,77228	577,00761	0,91	0,38	5,0333333	0,3948407	1630,29
4,9	0,9983	94,1017	0,92	585,77228	577,00761	1	0,38	3,275	0,5363368	1092,17
4,9	0,7638	90,3362	0,92	585,77228	577,00761	0,93	0,35	9,875	0,2435312	1586,37
4,9	0	71,1	0,92	585,77228	577,00761	0,91	0,38	5,0333333	0,3948407	1630,29

4,9	0,4891	89,6109	0,92	585,77228	577,00761	0,85	0,35	9,7	0,2472188	1687,58
4,9	0	95,1	0,92	585,77228	577,00761	0,9633333	0,38	4,7666667	0,411297	1478,41
4,9	0	95,1	0,92	585,77228	577,00761	1	0,35	3,275	0,5567154	1052,19
4,9	5,5208	89,5792	0,92	585,77228	577,00761	1	0,38	3,15	0,5503577	1064,34
4,9	0	95,1	0,92	585,77228	577,00761	0,91	0,35	5,0333333	0,414651	1552,40
4,9	1,7152	93,3848	0,92	585,77228	577,00761	1	0,38	3,275	0,5363368	1092,17

DETERMINAÇÃO DE VO <sub>ATS</sub>				
fg,Ats	Pc	Et,ATS	Fh <sub>VATS</sub>	Vo,Ats
1	0,38	1,15	0,9460738	609,89704
1	0,38	1,15	0,9460738	609,89704
1	0,38	1,15	0,9460738	609,89704
1	0,35	1,15	0,9501188	607,30051
1	0,38	1,15	0,9460738	609,89704
1	0,38	1,15	0,9460738	609,89704
1	0,38	1,15	0,9460738	609,89704
1	0,35	1,15	0,9501188	607,30051
1	0,38	1,15	0,9460738	609,89704
1	0,35	1,15	0,9501188	607,30051
1	0,38	1,15	0,9460738	609,89704
1	0,35	1,15	0,9501188	607,30051
1	0,38	1,15	0,9460738	609,89704
1	0,35	1,15	0,9501188	607,30051
1	0,38	1,15	0,9460738	609,89704
1	0,35	1,15	0,9501188	607,30051
1	0,35	1,15	0,9501188	607,30051

1	0,38	1,15	0,9460738	609,89704
1	0,35	1,15	0,9501188	607,30051
1	0,38	1,15	0,9460738	609,89704
1	0,35	1,15	0,9501188	607,30051
1	0,38	1,15	0,9460738	609,89704
1	0,35	1,15	0,9501188	607,30051
1	0,38	1,15	0,9460738	609,89704
1	0,35	1,15	0,9501188	607,30051

DETERMINAÇÃO DE ATS			
Fnp <sub>ATS</sub>	ATS	Terceira Faixa	Classificação
3,375	77,510903		C
3,8	74,8889		C
	63,33469		D
	73,635302		C
0,16666667	76,031591	86,67601321	C
	63,46029	88,84440534	D
3,8	80,236563		B
0,16666667	65,709556	74,9088944	D
3,8	75,506455		C
3,8	74,715514		C
3,8	71,556446		C
3,8	79,614973		C
0,16666667	74,500435	84,93049541	C

3,8	67,525263		D
2,075	88,341673		B
	75,314978		C
	63,325263	88,65536802	D
0,166666667	72,89379	83,09892089	C
2,075	86,40452		B
3,8	87,938547		B
2,775	83,330637		B
3,8	84,136948		B
2,075	87,624773		B

Fonte: O autor (2015).

#### Apêndice 6 - Cálculos para PTSF em Faixas Adicionais.

DETERMINAÇÃO DE VD <sub>PTSF</sub>										
FLs	FA	FFS	PHF	V <sub>sp</sub> /PHF	VBH/PHF	fg,PTSF	Pc	ET	F <sub>hV,PTSF</sub>	VD,PTSF
4,9	1,474	93,626	0,92	585,77228	577,00761	0,975	0,35	1	1	600,79208
4,9	2,0502	85,0498	0,92	585,77228	577,00761	0,97	0,35	1	1	603,88895
4,9	1,9497	88,1503	0,92	585,77228	577,00761	1	0,35	1	1	585,77228
4,9	1,3869	92,7131	0,92	585,77228	577,00761	1	0,38	1	1	585,77228
4,9	1,3735	93,7265	0,92	585,77228	577,00761	1	0,35	1	1	585,77228
4,9	0,8241	88,2759	0,92	585,77228	577,00761	1	0,35	1	1	585,77228
4,9	0,9849	90,1151	0,92	585,77228	577,00761	1	0,35	1	1	585,77228
4,9	0,9916	87,1084	0,92	585,77228	577,00761	1	0,38	1	1	585,77228
4,9	1,3668	80,7332	0,92	585,77228	577,00761	0,925	0,35	1	1	633,26733

4,9	0	80,1	0,92	585,77228	577,00761	0,925	0,38	1	1	633,26733
4,9	2,0636	84,0364	0,92	585,77228	577,00761	0,97	0,35	1	1	603,88895
4,9	0	87,1	0,92	585,77228	577,00761	0,9466667	0,38	1	1	618,77354
4,9	1,3266	83,7734	0,92	585,77228	577,00761	1	0,35	1	1	585,77228
4,9	0	79,1	0,92	585,77228	577,00761	1	0,38	1	1	585,77228
4,9	0,9983	94,1017	0,92	585,77228	577,00761	0,9466667	0,38	1	1	618,77354
4,9	0,7638	90,3362	0,92	585,77228	577,00761	0,99	0,35	1	1	591,68917
4,9	0	71,1	0,92	585,77228	577,00761	1	0,38	1	1	585,77228
4,9	0,4891	89,6109	0,92	585,77228	577,00761	1	0,35	1	1	585,77228
4,9	0	95,1	0,92	585,77228	577,00761	1	0,38	1	1	585,77228
4,9	0	95,1	0,92	585,77228	577,00761	0,9466667	0,35	1	1	618,77354
4,9	5,5208	89,5792	0,92	585,77228	577,00761	0,93	0,38	1	1	629,86267
4,9	0	95,1	0,92	585,77228	577,00761	1	0,35	1	1	585,77228
4,9	1,7152	93,3848	0,92	585,77228	577,00761	0,9466667	0,38	1	1	618,77354

DETERMINAÇÃO DE VO <sub>PTSF</sub>				
Fg <sub>PTSF</sub>	Pc	Et <sub>PTSF</sub>	Fhv <sub>PTSF</sub>	Vo <sub>PTSF</sub>
1	0,38	1	1	577,00761
1	0,38	1	1	577,00761
1	0,38	1	1	577,00761
1	0,35	1	1	577,00761
1	0,38	1	1	577,00761
1	0,38	1	1	577,00761
1	0,38	1	1	577,00761

DETERMINAÇÃO DE BPTSF		
a	b	BPTSF
-0,00299	0,9	61,224334
-0,00299	0,9	61,394337
-0,00299	0,9	60,387854
-0,00299	0,9	60,387854
-0,00299	0,9	60,387854
-0,00299	0,9	60,387854
-0,00299	0,9	60,387854



-	1069,7575	12,6	66,735342	15,34912864	A
100%	1069,7575	0,399696049	60,589209		C
-	1069,7575	12,6	66,735342	15,34912864	A
100%	1069,7575	0,399696049	63,175507		C
100%	1069,7575	0,399696049	63,175507		C
-	1069,7575	12,6	67,837747	15,60268182	A
-	1069,7575	12,6	68,719953	15,80558919	A
-	1069,7575	12,6	66,735342	15,34912864	A
100%	1069,7575	0,399696049	60,589209		C
29%	1069,7575	41,95	83,907518		E
-	1069,7575	12,6	67,098906	15,43274831	A
-	1069,7575	12,6	66,735342	15,34912864	A
-	1069,7575	12,6	66,735342	15,34912864	A
30%	1069,7575	41,95	81,520958		E
-	1069,7575	12,6	68,719953	15,80558919	A
-	1069,7575	12,6	69,3638	15,95367401	D
100%	1069,7575	0,399696049	60,589209		C
28%	1069,7575	41,95	83,907518		E

Fonte: O autor (2015)

