

ANÁLISE DE CAPACIDADE E NÍVEL DE SERVIÇO DE RODOVIAS DE PISTA SIMPLES

Sergio Henrique Demarchi
Universidade Estadual de Maringá

1. INTRODUÇÃO

Em diversos países, como no Brasil, a maior parte da malha rodoviária é composta por rodovias de pista simples, constituindo rotas de acesso a todas as regiões do país. Em alguns casos, as rodovias de pista simples são utilizadas como rotas principais de tráfego e frequentemente são utilizadas em regiões turísticas ou em locais montanhosos em que a construção de rodovias de pista dupla é economicamente inviável.

1.1. Classificação das Rodovias de Pista Simples

O HCM classifica as rodovias de pista simples em duas categorias, para propósito de análise:

- Categoria I: inclui rodovias em que os motoristas esperam trafegar com velocidade razoável, sendo dada grande importância à mobilidade. Normalmente rodovias desse tipo constituem rotas de tráfego que conectam pólos de geração de viagens ou servem como componentes de ligação de rodovias de maior importância, sendo utilizadas por tráfego cotidiano em viagens cuja distância percorrida é relativamente longa.
- Categoria II: rodovias dessa categoria o aspecto mobilidade não é tão crítico como no caso das rodovias da categoria I. Normalmente, são rodovias que interligam outras rodovias de pista simples mais importantes, servem como rota turística ou localizam-se em regiões montanhosas em que as velocidades desenvolvidas não podem ser muito altas. Em geral, são utilizadas para viagens não muito longas, para o final ou começo de viagens de longa duração ou para viagens com propósito de turismo.

1.2. Limitações da Metodologia

A metodologia exposta aqui não se aplica a trechos de rodovias de pista simples com várias faixas de ultrapassagem ou faixas adicionais para tráfego de veículos lentos em ambos os sentidos de tráfego. Para esses casos, recomenda-se o uso de simulação.

Da mesma forma, a metodologia não pode ser aplicada para trechos controlados por semáforos. Interseções semaforizadas, bem como segmentos da rodovia controlada por semáforos, podem e devem ser analisadas por outros métodos específicos.

1.3. Capacidade e Nível de Serviço

A capacidade de uma rodovia de pista simples é 1700 carros de passeio (cp) por hora, para cada sentido de tráfego de viagem e, em segmentos genéricos, pode chegar a 3200 cp/h em ambos os sentidos. Em segmentos curtos, tais como pontes ou túneis, a capacidade para ambas as direções pode chegar a 3400 cp/h.

O HCM considera que, em rodovias de pista simples, dois parâmetros refletem ade-

quadamente a satisfação dos motoristas em relação à qualidade da operação:

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

O nível de serviço é definido de forma distinta em rodovias das categorias I e II. Nas rodovias do tipo I, nas quais o fator mobilidade é importante, são levados em conta tanto a velocidade média de operação bem como a porcentagem de tempo em pelotão. Nas rodovias do tipo II, o nível de serviço é definido somente em termos da porcentagem de tempo em pelotão, sem consideração explícita da velocidade média operacional. O critério para definição do nível de serviço em rodovias do tipo I é apresentado na Tabela 1 e Figura 1, enquanto que o critério para definição do nível de serviço para rodovias de pista simples do tipo II é apresentado na Tabela 2 e Figura 2.

Tabela 1: Nível de serviço para rodovias de pista simples do tipo I (TRB, 2000, Figura 20-2, p. 20-3)

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

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

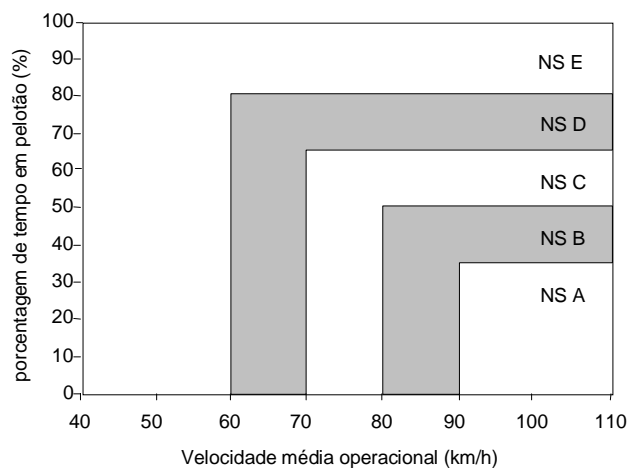


Figura 1: Diagrama de determinação do nível de serviço para rodovias do tipo I (TRB, 2000, Figura 20-3, p. 20-4)

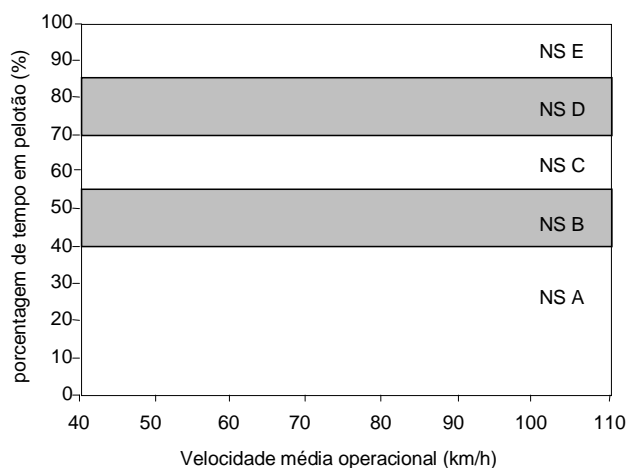


Figura 2: Diagrama de determinação do nível de serviço para rodovias do tipo II

Considera-se assim que os motoristas conseguem trafegar em pelotão por parcelas maiores de tempo em rodovias do tipo II do que em rodovias do tipo I, pois as rodovias do tipo II são utilizadas normalmente para viagens de menor duração. Por exemplo, em uma rodovia do tipo I com PTP = 45% e velocidade média de operação igual a 65 km/h, o nível de serviço obtido seria D, enquanto que, em uma rodovia do tipo II, o nível de serviço seria B. A diferença entre as avaliações de nível de serviço representam a diferença de expectativas dos motorista que trafegam por rodovias das duas diferentes categorias.

Tabela 2: Nível de serviço para rodovias de pista simples do tipo II
(TRB, 2000, Figura 20-4, p. 20-4)

Nível de serviço	Porcentagem de tempo em pelotão (%)
A	PTP ≤ 40
B	40 < PTP ≤ 55
C	55 < PTP ≤ 70
D	70 < PTP ≤ 85
E	PTP > 85

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

2. MÉTODO

O método do HCM para análise de capacidade e nível de serviço de rodovias de pista simples consiste basicamente em dois conjuntos de procedimentos, um para análise dos dois sentidos de tráfego em conjunto e o outro para análise direcional, na qual cada sentido de tráfego é analisado separadamente.

O primeiro tipo de análise, denominada *análise de trechos genéricos*, é utilizado em trechos relativamente longos de rodovias de pista simples localizadas em terreno plano ou ondulado, e que possuam características geométricas homogêneas em toda sua extensão, além de volumes e composição do tráfego relativamente constantes durante o período de análise. A capacidade e o nível de serviço são definidos em conjunto para os dois sentidos da via.

O segundo tipo de análise, denominada *análise de rampas específicas*, é realizada para cada sentido de tráfego separadamente, sendo recomendada para rampas ascendentes ou descendentes, em terrenos planos ou ondulados, com inclinação maior que 3% e comprimento

maior do que 1 km. Embora este tipo de análise seja mais recomendado para rampas de maior magnitude ou locais em que existem faixas para ultrapassagem, pode ser empregada também para magnitudes e extensões menores que os indicados, caso seja desejável realizar a análise operacional isoladamente para cada sentido de tráfego. Os trechos de rodovias em terrenos montanhosos são analisados utilizando-se sempre o método para rampas específicas, mesmo que sejam menores que 1 km.

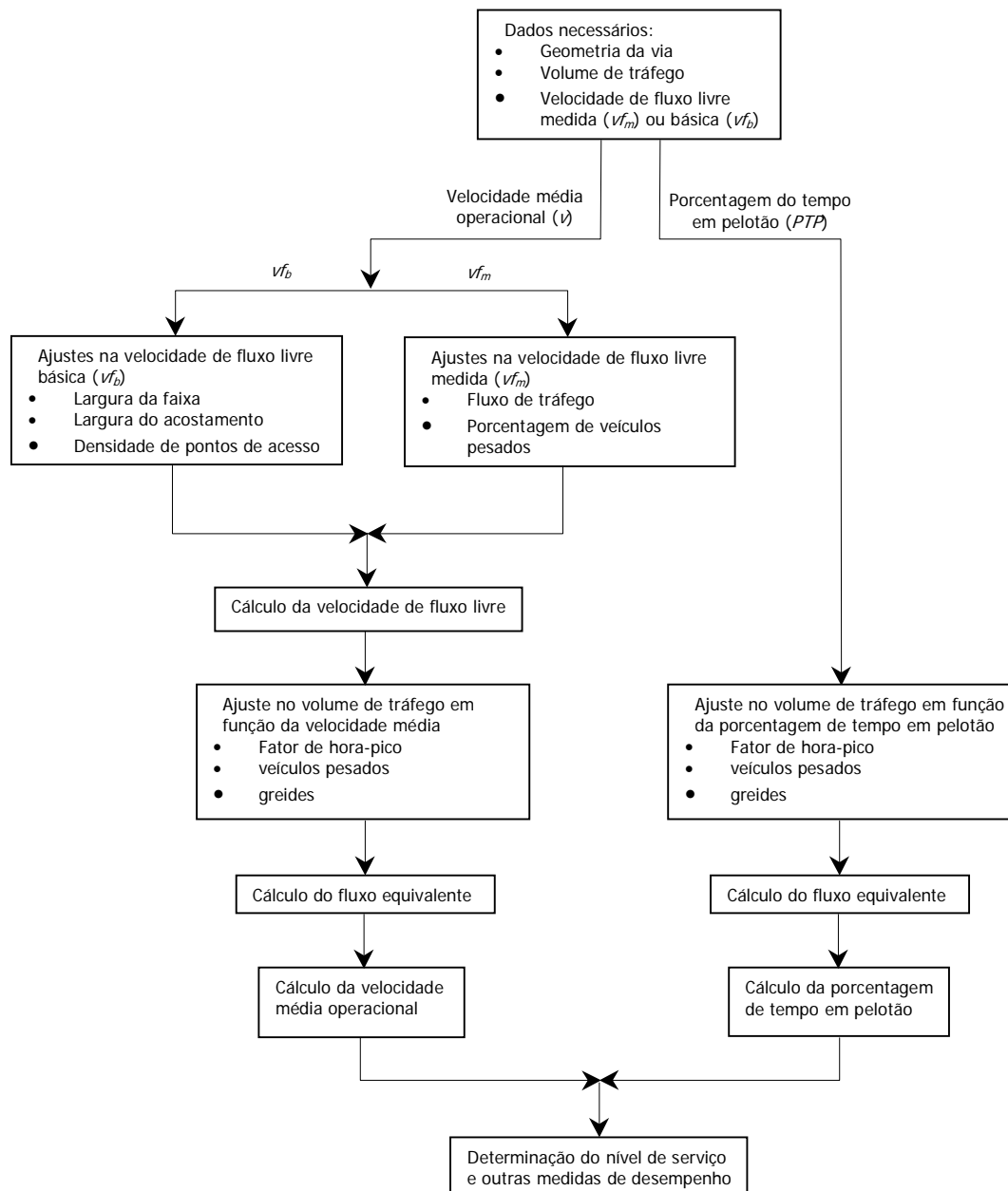


Figura 3: Fluxograma para análise de rodovias de pista simples (TRB, 2000, Figura 20-1, p. 20-2)

Apesar de existirem dois conjuntos de procedimentos distintos para a análise de capacidade e nível de serviço em função das duas categorias de rodovias de pista simples, ambos seguem as etapas mostradas no fluxograma da Figura 3 e fazem uso dos seguintes dados:

- relevo do terreno em que se localiza a rodovia: para trechos genéricos, é classificado em plano e ondulado;

- as características geométricas da via (largura das faixas, largura dos acostamentos, número de pontos de acesso); e
- condições do tráfego (volume horário, porcentagem de veículos pesados, fator de hora pico, distribuição direcional de tráfego).

Inicialmente, determina-se a velocidade de fluxo livre para o segmento de rodovia, a partir de medições de campo ou a partir de valores base ajustados em função de fatores que refletem o efeito da largura das faixas, da largura dos acostamentos e do número de pontos de acesso. Em seguida, são determinados dois valores de taxa de fluxo equivalente, expressos em cp/h, levando-se em conta o efeito do fator de hora pico, da porcentagem de veículos pesados e da magnitude dos greides. As taxas de fluxo equivalente servem para determinar os valores de velocidade média operacional e de porcentagem de tempo trafegando em pelotão, que por sua vez são necessárias para estimar o nível de serviço de rodovias de pista simples do tipo I. Para determinar o nível de serviço em rodovias do tipo II, basta determinar a porcentagem do tempo trafegando em pelotão.

2.1. Análise para Segmentos Genéricos

Os procedimentos de análise de segmentos genéricos são aplicados para determinar a capacidade e o nível de serviço de trechos bidirecionais de rodovias de pista simples, com relevo tipicamente plano ou ondulado. Para trechos de rodovia em relevo montanhoso, deve-se utilizar o método de análise para rampas específicas, apresentado no item **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** A seguir, são descritos todos os procedimentos adotados, de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 3.

2.1.1. Determinação da Velocidade de Fluxo Livre

Uma das etapas do método para avaliação do nível de serviço de rodovias de pista simples é a determinação da *velocidade de fluxo livre* (v_f). A velocidade de fluxo livre pode ser medida diretamente ou estimada analiticamente.

Medição em Campo

No caso da velocidade de fluxo livre ser medida em campo, sua determinação deve ser realizada para taxas de fluxo inferiores a 200 cp/h nos dois sentidos de tráfego medindo, por exemplo, a velocidade do 10^o veículo de cada amostra de 10 veículos observados, e a velocidade de fluxo livre será a média dos valores observados.

No caso da velocidade de fluxo livre ser medida para fluxos maiores que 200 cp/h, ou para correntes de tráfego contendo veículos pesados, a velocidade de fluxo livre ainda pode ser obtida a partir de ajustes nas velocidades observadas:

$$v_f = v + 0,0125 \frac{q}{f_{HV}} \quad (1)$$

em que v : velocidade média medida em campo (km/h);
 q : taxa de fluxo para o período de coleta de dados;
 f_{HV} : fator de ajuste em função da presença de veículos pesados na corrente de tráfego.

Estimativa a partir de um Valor Base

A velocidade de fluxo livre pode também ser estimada analiticamente caso não seja possível medi-la no campo. Para isso, é necessário inicialmente adotar uma velocidade de fluxo livre básica v_{fb} e ajustá-la em função das características geométricas da via, de forma a estimar a velocidade de fluxo livre que provavelmente seria observada em campo.

O HCM recomenda que o valor da velocidade de fluxo livre básica seja adotado no intervalo entre 70 e 110 km/h, não estabelecendo, no entanto, um critério mais específico para a escolha do valor mais apropriado. O HCM apenas menciona que a velocidade de fluxo livre básica pode ser estimada a partir das condições operacionais observadas em rodovias similares, ou mesmo considerada como sendo igual à velocidade limite da rodovia, embora não necessariamente a velocidade de projeto e o limite de velocidade sejam escolhidos de acordo com as condições operacionais da via.

Dessa forma, a velocidade de fluxo livre v_f é obtida ao se ajustar v_{fb} em função de fatores que levam em conta a largura das faixas de tráfego, a largura dos acostamentos e o número de pontos de acesso:

$$v_f = v_{fb} - f_{LS} - f_A \quad (2)$$

em que f_{LS} : fator de ajuste em função da largura das faixas de tráfego e dos acostamentos (Tabela 3);

f_A : fator de ajuste para número de pontos de acesso por quilômetro (Tabela 4).

O fator de ajuste f_{LS} procura levar em conta a redução de velocidade observada em rodovias de pista simples com faixas estreitas, ou em rodovias com acostamentos estreitos ou que possuem obstáculos localizados próximos à pista. Os ajustes mostrados na Tabela 3 mostram que uma rodovia com faixas de tráfego de 3,3 m e largura do acostamento igual a 1,2 m apresenta uma redução na velocidade de fluxo livre básica de 2,8 km/h.

Tabela 3: Fator de ajuste (f_{LS}) para largura de faixas e de acostamentos
(TRB, 2000, Figura 20-5, p. 20-6)

Largura da faixa L_f (m)	Redução no valor de v_f (km/h)			
	Largura dos acostamentos L_a (m)			
	$0,0 \leq L_a < 0,6$	$0,6 \leq L_a < 1,2$	$1,2 \leq L_a < 1,8$	$L_a \geq 1,8$
$2,7 \leq L_f < 3,0$	10,3	7,7	5,6	3,5
$3,0 \leq L_f < 3,3$	8,5	5,9	3,8	1,7
$3,3 \leq L_f < 3,6$	7,5	4,9	2,8	0,7
$L_f \geq 3,6$	6,8	4,2	2,1	0,0

O fator de ajuste f_A considera o efeito da densidade do pontos de acesso na redução da velocidade de fluxo livre, ou seja, quanto maior o número de interseções com rodovias secundárias ou pontos de entrada ou saída de veículos localizados na lateral da rodovia, menor será a velocidade de fluxo livre no trecho considerado. O HCM recomenda que a densidade de pontos de acesso seja calculada como a média do número de acessos por quilômetro de rodovia, considerando para tal um trecho de comprimento maior que 5 km. Assim, num trecho de 10 km composto por 45 pontos de acesso em um sentido de tráfego e 15 pontos de acesso no outro sentido, a densidade de pontos de acesso é igual a $(45 + 15)/10 = 6$ acessos/km, ocasio-

nando uma redução de 4,0 km/h no valor da velocidade de fluxo livre básica.

Tabela 4: Fator de ajuste (f_A) para densidade de pontos de acesso por quilômetro (TRB, 2000, Figura 20-6, p. 20-6)

Número de acessos por quilômetro (nos dois sentidos de tráfego)	Redução no valor de v_f (km/h)
0	0,0
6	4,0
12	8,0
18	12,0
≥ 24	16,0

2.1.2. Determinação da Taxa de Fluxo Equivalente

A taxa de fluxo equivalente é o valor hipotético estimado para uma corrente de tráfego composta somente por carros de passeio, para um período de pico de 15 min de análise. Para isso, são necessários os seguintes parâmetros:

- o volume observado ou estimado para o período de 1 h de análise – q (veíc/h);
- o fator de hora-pico – FHP ;
- fatores para ajuste do fluxo q em função do greide – f_{v_G} e f_{p_G} ;
- fatores para ajuste do fluxo q devido à presença de veículos pesados – $f_{v_{HV}}$ e $f_{p_{HV}}$.

O método de análise requer a determinação de dois valores de taxa de fluxo. Um dos valores (qv_b) é determinado para estimar a velocidade média de operação, e o segundo valor (qp_b) é calculado para estimativa da porcentagem de tempo trafegando em pelotão. Dessa forma, quando se deseja calcular o fluxo equivalente qv_b , utilizado para posterior determinação da velocidade média, utiliza-se a seguinte equação:

$$qv_b = \frac{q}{FHP \times f_{v_G} \times f_{v_{HV}}} \quad (3)$$

Para determinar o segundo valor de fluxo equivalente qp_b , utilizado na estimativa da porcentagem de tempo trafegando em pelotão, utiliza-se equação semelhante à (3), mas com outros fatores de ajuste:

$$qp_b = \frac{q}{FHP \times f_{p_G} \times f_{p_{HV}}} \quad (4)$$

A seguir são fornecidos os valores dos fatores de ajuste utilizados no cálculo dos fluxos equivalentes.

Fator de Hora Pico

O fator de hora-pico pode ser obtido empiricamente, sempre que possível, caso contrário podem ser adotados os valores padrão fornecidos pelo HCM. Assim, para rodovias de pista simples rurais recomenda-se $FHP = 0,88$ e para rodovias de pista simples urbanas $FHP = 0,92$.

Fatores de Ajuste para Greides

Os fatores de ajuste para greides levam em consideração o impacto das rampas ascendentes tanto na velocidade média da corrente de tráfego (v) bem como na determinação da porcentagem de tempo que os veículos trafegam em pelotões (PTP). Deve-se notar que o impacto dos greides na determinação de v e de PTP é numericamente diferente. Dessa maneira, na Tabela 5 são apresentados os valores de f_{vG} , para diferentes faixas de fluxos equivalentes, enquanto que na Tabela 6 são fornecidos os valores de f_{pG} .

Tabela 5: Fator de ajuste em função de greides (f_{vG}), para velocidades, em trechos genéricos de rodovias (TRB, 2000, Figura 20-7, p. 20-7)

Faixa de variação do fluxo equivalente (cp/h)		Tipo de terreno	
bidirecional	direcional	plano	ondulado
$0 < q \leq 600$	$0 < q \leq 300$	1,00	0,71
$600 < q \leq 1200$	$300 < q \leq 600$	1,00	0,93
$q > 1200$	$q > 600$	1,00	0,99

Tabela 6: Fator de ajuste em função de greides (f_{pG}), para porcentagem de tempo em pelotões, em trechos genéricos de rodovias (TRB, 2000, Figura 20-8, p. 20-7)

Faixa de variação do fluxo equivalente (cp/h)		Tipo de terreno	
bidirecional	direcional	plano	ondulado
$0 < q \leq 600$	$0 < q \leq 300$	1,00	0,77
$600 < q \leq 1200$	$300 < q \leq 600$	1,00	0,94
$q > 1200$	$q > 600$	1,00	1,00

Fatores de Ajuste para Veículos Pesados

A presença de veículos pesados na corrente de tráfego causa impactos na operação das rodovias, em função das maiores dimensões e desempenho inferior dos caminhões e ônibus, quando comparados aos automóveis. Para determinação do fluxo equivalente, deve-se ajustar o fluxo observado levando-se em conta a porcentagem de caminhões, ônibus e veículos recreacionais na corrente de tráfego e o impacto de cada tipo de veículo na velocidade média de operação e na porcentagem de tempo que os veículos trafegam em pelotões.

São considerados então duas categorias de veículos: 1) caminhões e ônibus; e 2) veículos recreacionais. O HCM considera que ônibus possuem características de dimensões e desempenho semelhantes aos caminhões, de forma que podem ser considerados como sendo caminhões. Assim, devem ser calculados os fatores de ajuste para veículos pesados f_{vHV} e f_{pHV} . O fator f_{vHV} é calculado a partir das porcentagens de veículos pesados e dos equivalentes veiculares dos respectivos tipos de veículos, utilizando a seguinte equação:

$$f_{vHV} = \frac{1}{1 + p_T(Ev_T - 1) + p_R(Ev_R - 1)} \quad (5)$$

em que f_{vHV} : fator de ajuste do fluxo para veículos pesados (usado na determinação da velocidade média);

p_T : porcentagem de caminhões e ônibus no tráfego (expresso em decimais);

p_R : porcentagem de veículos recreacionais no tráfego (expresso em decimais);

Ev_T : equivalente veicular para caminhões e ônibus (Tabela 7);

E_{v_R} : equivalente veicular para veículos recreacionais (Tabela 7);

Tabela 7: Equivalentes veiculares para determinação de velocidades em trechos genéricos de rodovias (TRB, 2000, Figura 20-9, p. 20-8)

Tipo de veículo	Faixa de variação da taxa de fluxo (cp/h)		Tipo de terreno	
	2 sentidos (qv_b)	direcional (qv_b^d)	plano	ondulado
Caminhões (E_{v_T})	$0 < q \leq 600$	$0 < q \leq 300$	1,7	2,5
	$600 < q \leq 1200$	$300 < q \leq 600$	1,2	1,9
	$q > 1200$	$q > 600$	1,1	1,5
Veículos Recreacionais (E_{v_R})	$0 < q \leq 600$	$0 < q \leq 300$	1,0	1,1
	$600 < q \leq 1200$	$300 < q \leq 600$	1,0	1,1
	$q > 1200$	$q > 600$	1,0	1,1

O mesmo procedimento deve ser adotado na determinação do fator fp_{HV} :

$$fp_{HV} = \frac{1}{1 + p_T(E_{p_T} - 1) + p_R(E_{p_R} - 1)} \quad (6)$$

em que E_{p_T} : equivalente veicular para caminhões e ônibus (Tabela 8);

E_{p_R} : equivalente veicular para veículos recreacionais (Tabela 8);

Tabela 8: Equivalentes veiculares para porcentagem de tempo em pelotão em trechos genéricos de rodovias (TRB, 2000, Figura 20-10, p. 20-8)

Tipo de veículo	Faixa de variação da taxa de fluxo (cp/h)		Tipo de terreno	
	2 sentidos (qp_b)	direcional (qp_b^d)	plano	ondulado
Caminhões (E_{p_T})	$0 < q \leq 600$	$0 < q \leq 300$	1,1	1,8
	$600 < q \leq 1200$	$300 < q \leq 600$	1,1	1,5
	$q > 1200$	$q > 600$	1,0	1,0
Veículos Recreacionais (E_{p_R})	$0 < q \leq 600$	$0 < q \leq 300$	1,0	1,0
	$600 < q \leq 1200$	$300 < q \leq 600$	1,0	1,0
	$q > 1200$	$q > 600$	1,0	1,0

Procedimento Iterativo para Determinação dos Fluxos Equivalentes

Como os valores dos fatores de ajuste em função do greide e dos equivalentes veiculares dependem do fluxo equivalente (expresso em cp/h), que por sua vez necessita dos valores dos fatores mencionados, um procedimento iterativo deve ser adotado para determinação dos valores de qv_b e qp_b :

1. Determina-se o valor de q/FHP ;
2. São selecionados os fatores fv_G e fp_G em função do fluxo calculado na etapa 1;
3. Em seguida, são selecionados os equivalentes veiculares E_{v_T} , E_{v_R} , E_{p_T} e E_{p_R} , também em função do fluxo determinado na etapa 1;
4. Os fluxos equivalentes qv_b e qp_b são calculados, respectivamente, através das equações (3) e (4), utilizando os fatores de ajuste para greides determinados na etapa 2 e os fatores de ajuste para veículos pesados, calculados a partir dos equivalentes veiculares determinados na etapa 3;
5. Caso os fluxos equivalentes obtidos forem maiores que o valor limite de fluxo para qual

os fatores de ajuste foram determinados, as etapas 2, 3 e 4 devem ser repetidas sucessivamente, utilizando os fatores de ajuste e equivalentes fornecidos para os próximos intervalos de fluxo equivalente, até que os fluxos obtidos sejam menores ou iguais ao limite superior de fluxo de uma determinada faixa de variação.

2.1.3. Determinação da Velocidade Média de Operação

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

$$v = vf - 0,0125qv_b - f_{NP} \quad (7)$$

em que vf : velocidade de fluxo livre observada ou estimada (km/h);
 qv_b : fluxo equivalente para ambos os sentidos de tráfego (cp/h);
 f_{NP} : fator de ajuste para a porcentagem de trechos com ultrapassagem proibida (Tabela 9).

A porcentagem de trechos com ultrapassagem proibida é obtida conforme exemplo mostrado na Figura 4, e corresponde à soma da extensão dos trechos, em ambos os sentidos de tráfego, em que existe a pintura da faixa contínua, dividida por duas vezes a extensão total do trecho analisado, ou seja, $2(L_1 + L_2 + L_3 + L_4)$. No sentido 1-2, a extensão dos trechos com ultrapassagem proibida é igual a $L_2 + L_4$, e no trecho 2-1 é igual a $L_3 + L_4$.

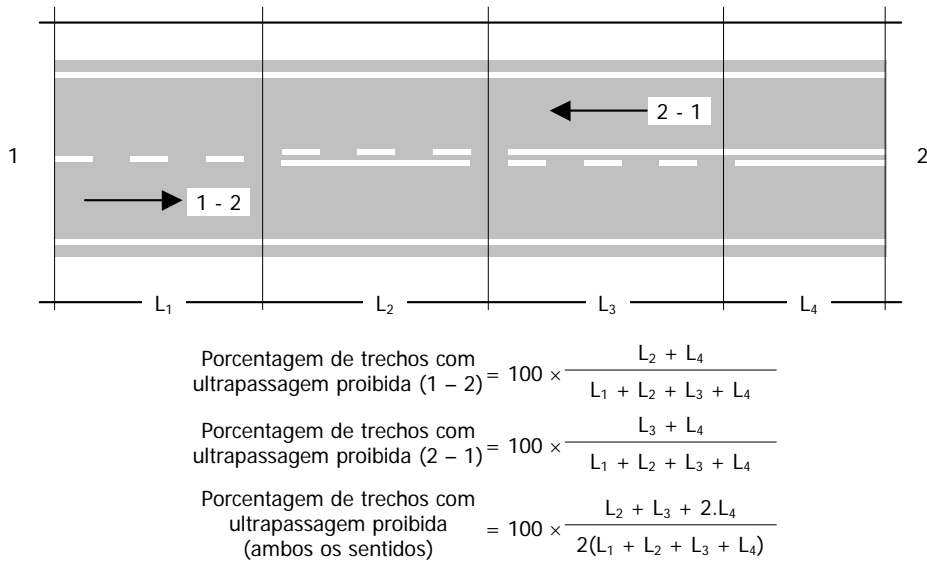


Figura 4: Determinação da porcentagem de trechos com ultrapassagem proibida

A Tabela 9 mostra que o efeito da porcentagem de trechos com ultrapassagem proibida na velocidade média aumenta até fluxos bidirecionais de 400 cp/h, diminuindo em seguida para fluxos equivalentes maiores. O maior valor de f_{NP} é 7,3 km/h, determinado para um fluxo bidirecional de 400 cp/h e 100% de trechos com ultrapassagem proibida.

2.1.4. Determinação da Porcentagem de Tempo Trafegando em Pelotão

A porcentagem de tempo que os veículos trafegam em pelotão (PTP) parte de um valor base (PTP_b), calculado em função da taxa de fluxo equivalente qp_b , determinada no item 2.1.2:

$$PTP_b = 100(1 - e^{-0,000879qp_b}) \quad (8)$$

A partir de PTP_b , calcula-se PTP :

$$PTP = PTP_b + f_{d/NP} \quad (9)$$

em que $f_{d/NP}$: fator de ajuste determinado função do efeito combinado da distribuição direcional do tráfego e da porcentagem de trechos com ultrapassagem proibida (Tabela 10).

Tabela 9: Fator de ajuste (f_{NP}) em função da porcentagem de trechos com ultrapassagem proibida em trechos genéricos de rodovias de pista simples (TRB, 2000, Figura 20-11, p. 20-10)

Fluxo equivalente, nos dois sentidos (cp/h)	Redução na velocidade média (km/h)					
	Porcentagem de trechos com ultrapassagem proibida (%)					
	0	20	40	60	80	100
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
200	0,0	1,0	2,3	3,8	4,2	5,6
400	0,0	2,7	4,3	5,7	6,3	7,3
600	0,0	2,5	3,8	4,9	5,5	6,2
800	0,0	2,2	3,1	3,9	4,3	4,9
1000	0,0	1,8	2,5	3,2	3,6	4,2
1200	0,0	1,3	2,0	2,6	3,0	3,4
1400	0,0	0,9	1,4	1,9	2,3	2,7
1600	0,0	0,9	1,3	1,7	2,1	2,4
1800	0,0	0,8	1,1	1,6	1,8	2,1
2000	0,0	0,8	1,0	1,4	1,6	1,8
2200	0,0	0,8	1,0	1,4	1,5	1,7
2400	0,0	0,8	1,0	1,3	1,5	1,7
2600	0,0	0,8	1,0	1,3	1,4	1,6
2800	0,0	0,8	1,0	1,2	1,3	1,4
3000	0,0	0,8	0,9	1,1	1,1	1,3
3200	0,0	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1

2.1.5. Determinação do Nível de Serviço

O primeiro passo na determinação do nível de serviço é verificar se os valores de qv_b e qp_b são maiores que a capacidade de 3200 cp/h, o que significa que a rodovia está super-saturada e, portanto, operando no nível de serviço F. Além disso, deve ser observado se o fluxo equivalente em qualquer um dos sentidos de tráfego não excede os 1700 cp/h/sentido, caracterizando também a operação com nível de serviço F. Nesses dois casos, a porcentagem de tempo trafegando em pelotão é próxima a 100% e a velocidade média é altamente variável, sendo portanto difícil determinar com precisão o seu valor.

Quando um segmento de rodovia de pista simples de categoria I tiver um fluxo equivalente menor que a capacidade, o nível de serviço é determinado a partir da velocidade média e da porcentagem de tempo em pelotão, utilizando os critérios definidos na Tabela 1 ou a e na Figura 1. Para rodovias de categoria II, a porcentagem de tempo em pelotão é o parâmetro de entrada para a determinação do nível de serviço, conforme o critério estabelecido na Tabela 2 e na Figura 2. Em ambas as categorias de rodovia, devem ser informados como resultado da análise os valores da velocidade média e da porcentagem de tempo em pelotão, mesmo no caso das rodovias do tipo II, pois a estimativa da velocidade média pode servir

como informação adicional na avaliação de toda uma rede viária composta por diferentes tipos de rodovias.

Tabela 10: Fator de ajuste ($f_{d/NP}$) em função do efeito combinado da distribuição direcional do tráfego e da porcentagem de trechos com ultrapassagem proibida, na porcentagem de tempo trafegando em pelotão em trechos genéricos de rodovias de pista simples (TRB, 2000, Figura 20-12, p. 20-11)

Fluxo de tráfego nos dois sentidos (cp/h)	Aumento na porcentagem de tempo em pelotão (%)					
	Porcentagem de trechos com ultrapassagem proibida (%)					
	0	20	40	60	80	100
Distribuição direcional = 50/50						
≤ 200	0,0	10,1	17,2	20,2	21,0	21,8
400	0,0	12,4	19,0	22,7	23,8	24,8
600	0,0	11,2	16,0	18,7	19,7	20,5
800	0,0	9,0	12,3	14,1	14,5	15,4
1400	0,0	3,6	5,5	6,7	7,3	7,9
2000	0,0	1,8	2,9	3,7	4,1	4,4
2600	0,0	1,1	1,6	2,0	2,3	2,4
3200	0,0	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4
Distribuição direcional = 60/40						
≤ 200	1,6	11,8	17,2	22,5	23,1	23,7
400	0,5	11,7	16,2	20,7	21,5	22,2
600	0,0	11,5	15,2	18,9	19,8	20,7
800	0,0	7,6	10,3	13,0	13,7	14,4
1400	0,0	3,7	5,4	7,1	7,6	8,1
2000	0,0	2,3	3,4	3,6	4,0	4,3
≥ 2600	0,0	0,9	1,4	1,9	2,1	2,2
Distribuição direcional = 70/30						
≤ 200	2,8	13,4	19,1	24,8	25,2	25,5
400	1,1	12,5	17,3	22,0	22,6	23,2
600	0,0	11,6	15,4	19,1	20,0	20,9
800	0,0	7,7	10,5	13,3	14,0	14,6
1400	0,0	3,8	5,6	7,4	7,9	8,3
≥ 2000	0,0	1,4	4,9	3,5	3,9	4,2
Distribuição direcional = 80/20						
≤ 200	5,1	17,5	24,3	31,0	31,3	31,6
400	2,5	15,8	21,5	27,1	27,6	28,0
600	0,0	14,0	18,6	23,2	23,9	24,5
800	0,0	9,3	12,7	16,0	16,5	17,0
1400	0,0	4,6	6,7	8,7	9,1	9,5
≥ 2000	0,0	2,4	3,4	4,5	4,7	4,9
Distribuição direcional = 90/10						
≤ 200	5,6	21,6	29,4	37,2	37,4	37,6
400	2,4	19,0	25,6	32,2	32,5	32,8
600	0,0	16,3	21,8	27,2	27,6	28,0
800	0,0	10,9	14,8	18,6	19,0	19,4
≥ 1400	0,0	5,5	7,8	10,0	10,4	10,7

2.1.6. Outras Medidas de Desempenho

A relação volume/capacidade (q/c) pode ser determinada da seguinte maneira:

$$q/c = \frac{qv_b}{q_c} \quad (10)$$

em que qv_b : fluxo equivalente (cp/h), bidirecional ou unidirecional

q_c : capacidade da via, igual a 3200 cp/h para ambos os sentidos de tráfego, ou 1700 cp/h para um único sentido de tráfego.

O número de quilômetros percorridos (qkm_{15}), expressos em veíc.km, durante o período de pico de 15 min, é dado por:

$$qkm_{15} = 0,25L \left(\frac{q}{FHP} \right) \quad (11)$$

em que L : comprimento do segmento de rodovia analisado (km);

q : volume horário coletado ou estimado (veíc/h);

FHP : fator de hora-pico.

O tempo total de viagem (TT_{15}) dos veículos durante o período de pico de 15 min pode ser obtido da seguinte maneira:

$$TT_{15} = \frac{qkm_{15}}{v} \quad (12)$$

em que v : velocidade média de operação (km/h).