

METODOLOGIA PARA CÁLCULO DA CAPACIDADE DE
RODOVIAS DE DUAS FAIXAS E RODOVIAS DE
MULTIPLAS FAIXAS

Com base no Manual do HCM 2000

Prof.^a Vânia Barcellos G. Campos

METODOLOGIA PARA CÁLCULO DA CAPACIDADE DE RODOVIA DE DUAS FAIXAS

As rodovias de duas faixas e dois sentidos podem ser divididas em rodovias de classe I e classe II. As de classe I são aquelas que fazem as ligações de longa distância entre cidades como as rodovias federais, estaduais e municipais. As de classe II são aquelas que dão acesso a propriedades rurais, indústrias, hotéis localizados em zonas rurais entre outros.

O manual de capacidade (HCM, 2000) apresenta um procedimento para avaliar o nível de serviço destas vias, utilizando como variáveis básicas a velocidade de fluxo livre, as características físicas da via e a composição do tráfego.

O nível de serviço de uma rodovia pode variar ao longo do dia em função do volume de tráfego, além disso, o nível de serviço também pode ser diferente para diferentes segmentos de via. Para tanto, ao se fazer a análise de uma via, deve-se previamente dividi-la em segmentos homogêneos e analisar cada segmento separadamente.

As características ideais para Rodovias de Duas Faixas são :

- ✓ Largura de faixa maior ou igual a 3,60 m
- ✓ Acostamento ou afastamento lateral maior ou igual a 1,80m
- ✓ Inexistência de faixas de Não ultrapassagem
- ✓ Somente carros de passeio (automóveis) no tráfego
- ✓ Nenhum tipo de impedimento ao fluxo de tráfego
- ✓ Divisão direcional de tráfego 50/50

Procedimento Básico para Definir o Nível de Serviço

Em rodovias de duas faixas, classe I, o nível de serviço de um segmento é definido com base em dois parâmetros: velocidade média de viagem e percentagem de tempo perdido no segmento. Para rodovias de classe II considera-se somente o tempo perdido.

O tempo perdido, neste tipo de rodovia, refere-se ao tempo que o veículo desenvolve uma baixa velocidade à espera de uma possibilidade para ultrapassar, o que é dificultado quando, por exemplo, a rodovia tem grande volume de veículos, incluindo veículos pesados e visibilidade difícil. Nestes

casos, formam-se os “pelotões” que induzem a redução de velocidade e dificultam a ultrapassagem.

A capacidade da rodovia de duas faixas, com características ideais, é de 1.700 cp/h por sentido e a capacidade nos dois sentidos para grandes comprimentos de rodovias não excederá 3.200 cp/h. Porém, para trechos curtos, tais como túneis e pontes, pode-se verificar uma capacidade variando entre 3.200 a 3.400 cp/h para ambos sentidos.

Para este tipo de rodovia a capacidade pode ser analisada de duas formas: unidirecional, ou seja, analisando-se cada sentido separadamente, ou bidirecional. A análise unidirecional se faz necessária quando o segmento analisado apresenta aclives ou declives acentuados, definidos pela metodologia como “greides específicos”

PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE BIDIRECIONAL

A análise bidirecional significa que o nível de serviço é analisado considerando em conjunto os dois sentidos da rodovia.

A avaliação do nível de serviço numa rodovia rural de duas faixas/ dois sentidos segue as seguintes etapas:

- 1 - Estimativa da Velocidade do Fluxo Livre
- 2 – Demanda de Fluxo (taxa de fluxo)
- 3 – Determinação da Velocidade média de Viagem (VMV)
- 4 – Determinação da Percentagem do Tempo Perdido (PTP)
- 5 – Definição do Nível de serviço

1-Estimativa da Velocidade do Fluxo Livre

A estimativa da velocidade de fluxo livre pode ser feita de três formas:

- a) a partir de uma pesquisa de campo, em local onde o fluxo bidirecional for menor que 200 cp/h (amostra de no mínimo 100 veículos);
- b) com base numa pesquisa de campo mas, para um volume superior a 200 cp/h, utilizando-se a seguinte equação:

$$VFL = VM + 0,0125 TF / f_{hv} \quad (Eq.1)$$

Onde :

VFL- estimativa da velocidade do fluxo livre (km/h)

VM - velocidade média medida no campo

TF - taxa de fluxo observada no período em que a pesquisa foi realizada (veículos/h)

F_{hv} - fator de ajustamento para veículos pesados

Observação: pode-se utilizar os dados de uma rodovia com características semelhantes

- c) quando a pesquisa em campo não é viável , a estimativa deve ser feita a partir de uma *velocidade de fluxo livre básica* (VFLB)que deve refletir as características de tráfego e de alinhamento da rodovia.

Não existe uma fórmula para definir a VFLB. Estimativas desta velocidade podem ser desenvolvidas baseadas em dados locais de velocidade e conhecimento local das condições de operação em facilidades similares.

A velocidade de projeto e a velocidade limite da via podem ser consideradas na determinação da VFLB, embora a velocidade de projeto e a velocidade limite para muitas facilidades não se baseiem nas condições atuais da rodovia.

Quando se toma como base a velocidade limite da rodovia, pode-se estimar a VFLB como 10% superior a esta velocidade.

Uma vez definida a VFLB, ajustamentos podem ser feitos baseados na influência da largura de faixa, largura do acostamento e densidade de pontos de acesso, utilizando a seguinte equação:

$$VFL = VFLB - f_{LS} - f_A \quad (Eq.2)$$

VFL - estimativa da velocidade do fluxo livre (km/h)

VFLB - Velocidade de fluxo livre básica

f_{LS} - fator de ajustamento para largura e faixa de acostamento (Tab.20.5)

f_A - fator de ajustamento para pontos de acesso (Tab. 20.6)

2 – Estimativa da Demanda de Fluxo (taxa de fluxo)

Para análise do nível de serviço deve-se fazer ajustamentos do volume para obtermos a taxa de fluxo em carros de passeio, utilizando a expressão a seguir:

$$V_{cp} = \frac{V}{f_{HV} \times f_G \times FHP} \quad (Eq.3)$$

V_{cp} - taxa de fluxo em carros de passeio para o período de 15 minutos (estendido)

V - volume total na hora de pico (em ambos sentidos)

FHP - fator de hora de pico

f_{HV} - fator de ajustamento para veículos pesados

f_G - fator de ajustamento para *greide*. (Tab.20.7)

O fator de ajustamento f_G varia com o volume (taxa) e o tipo de terreno (plano “level” ou ondulado “rolling”).

O fator de ajuste para veículos pesados f_{HV} são calculados em função dos equivalentes (E) em veículos de passeio (tab.20.9). Estes equivalentes variam com o volume de tráfego (taxa), o tipo de terreno e tipo de veículos: caminhões, ônibus e veículos recreacionais. Os caminhões e ônibus são considerados como um único tipo

Em relação ao tipo de terreno consideram-se dois tipos quando a rodovia não se encontra em área montanhosa:

- Terreno em nível: uma combinação de alinhamento vertical e horizontal que permite que os veículos pesados mantenham aproximadamente, a mesma velocidade que os automóveis. Isto inclui segmentos pequenos com *greide* menor que 2%.
- Terreno ondulado: uma combinação de alinhamento horizontal e vertical que causa uma redução na velocidade dos veículos pesados, substancialmente abaixo dos automóveis, sem atingir uma “velocidade de arrasto” por longo período. Inclui segmentos pequenos e médios com *greides* menores que 4%.

Segmentos longos com *greide* maior que 4% devem ser analisados como “*greide* específico”.

Então para o cálculo do fator de ajuste utiliza-se a seguinte expressão:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T (E_T - 1) + P_R (E_R - 1)} \quad (\text{Eq.4})$$

Onde:

f_{HV} - fator de ajustamento para veículos pesados

P_T - percentual de caminhões e ônibus no fluxo de tráfego

P_R - percentual de veículos de recreio

E_T - equivalente em carros de passeio para caminhões e ônibus (Tab.20.9)

E_R - equivalente em carros de passeio para veículos de recreio (Tab. 20.9)

Verifica-se que nas tabelas 20.7 a 20.10 que os valores de f_G e equivalente E , são definidos para intervalos de V_{cp} , desta forma, pode acontecer que o resultado da Eq. 4 exceda o intervalo inicialmente considerado. Nestes casos, se faz necessário repetir o cálculo, utilizando-se os valores de F_G e E para o intervalo referente ao resultado inicial de V_{cp} .

3 – Determinação da Velocidade média de Viagem (ATS)

$$VMV = VFL - 0,0125V_{cp} - f_{np} \quad (\text{Eq.5})$$

VMV - velocidade média de viagens para ambos os lados (km/h)

V_{cp} - taxa de fluxo em veículos de passeio / hora

f_{np} - ajustamento para percentual de não ultrapassagem (*)

Observação: o valor máximo de f_{np} é 7,3 km/h.

(*) utilizando a tabela referente a fluxo bidirecional (Tab.20.11)

4 – Determinação da Percentagem do Tempo Perdido

A percentagem de tempo perdido é estimada a partir da demanda de fluxo (taxa de fluxo, V_{cp}), da distribuição direcional de tráfego e da percentagem de zonas de não ultrapassagem.

$$PTP = PBTP + f_{d/np} \quad (\text{Eq.6})$$

Onde,

PBTP – percentual base de tempo perdido para ambas as direções, utilizando a seguinte equação

$$PBTP = 100(1 - e^{-0,000879V_{cp}}) \quad (\text{Eq.7})$$

$f_{d/np}$ – ajustamento para o efeito combinado de distribuição direcional e percentagem de tempo perdido; (Tab.20.12)

Observe-se que os valores para calculo de V_{cp} na análise do tempo perdido é diferente daquele calculado para VMV, pois conforme se pode observar, as tabelas para F_G e E são diferentes para cada tipo de análise.

5 – Análise

O primeiro passo na determinação do NS é comparar a taxa de fluxo com os 3200 cp/h. Se V_{cp} é maior do que a capacidade então a rodovia já está saturada e com nível de serviço F. Simultaneamente se a demanda de fluxo em qualquer direção é maior do que 1700 cp/h, então a rodovia também está saturada.

Quando se analisa uma rodovia de classe I que tem uma demanda menor que a capacidade, o NS é determinado pela localização de um ponto dentro do gráfico da Figura 20.3 e Tabela 20.2.

Se o segmento é de classe II e a demanda é menor que a sua capacidade, o NS é determinado comparando a percentagem de tempo perdido dada pela Tabela 20.4.

PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE UNIDIRECIONAL

A metodologia de estudo da capacidade do HCM aborda três tipos de análise: segmentos em nível, aclives e declives. A análise para “segmentos em nível” se aplica em terrenos planos ou ondulados, usualmente para seções de no mínimo 3,0 km. Qualquer aclive (ou declive) de 3 % ou mais, e com mais de 1,0 km necessita ser tratado como um segmento específico, conhecidos como “ *greides* específicos”.

A metodologia para análise unidirecional é análoga a bidirecional, exceto que esta estima a performance operacional e o Nível de Serviço para um sentido da via.

Esta análise é utilizada, principalmente, para avaliar as condições de um sentido da via e para segmentos em desnível (montanhoso).

A metodologia básica desta análise compreende as seguintes etapas:

1 - Determinação do VFL

Utiliza-se dos mesmos procedimentos definidos para a análise bidirecional.

2- Determinação da Taxa de Fluxo

Neste caso a determinação da taxa de fluxo se faz para cada sentido da via, considerando dois tipos de taxa de fluxo: Vpd, taxa de fluxo no sentido analisado e Vpo, taxa de fluxo no sentido oposto.

$$V_{pd} = \frac{V_d}{FHP \times f_g \times f_{hv}} \quad (\text{Eq.8})$$

Vpd = taxa de fluxo no sentido analisado

V = volume no sentido analisado

f_g = fator de ajustamento p/ grade (Tab.20.13 e 20.14)

FHP = fator de agrupamento p/ veículos pesados

$$V_{po} = \frac{V_o}{FHP \times f_g \times f_{hv}} \quad (\text{eq.9})$$

V_{po} = taxa de fluxo no sentido oposto
 V_o = demanda (volume) do fluxo na direção oposta

As equações 8 e 9 devem ser aplicadas iterativamente em algumas situações para determinados valores de V_d e V_o . Este processo iterativo deve ser aplicado de forma análoga ao de análise bidirecional (ver item ajuste de cálculo de Taxa de Fluxo - V_{cp})

O fator de ajuste f_g avalia os efeitos do tipo de terreno na velocidade e no percentual de tempo perdido. Para obtê-los utilizam-se as tabelas 20.7 e 20.8. Em caso de greides específicos as tabelas 20.12 / 20.14 para aclives e considera-se $f_g = 1,00$ para maioria dos declives.

O fator de ajuste para veículos pesados (f_{hv}) é aplicado basicamente para dois tipos de veículos: caminhões e recreacionais. Ônibus devem ser considerados como caminhões. Os equivalentes para veículos de passeio (E) são encontrados nas tabelas 20.9 e 20.10. Para *greides* específicos: tabelas 20.15 e 20.16 para aclives e, tabelas 20.9 e 20.10 para declives.

Os equivalentes para veículos recreacionais (E_R) para estimativa da velocidade para aclives são obtidos na tabela 20.17 e, conforme apresentado na tabela 20.16 para estimativa do tempo perdido e o equivalente é sempre 1,0 (um). No caso de declive este equivalente é 1,0 (um).

Obs.: qualquer declive de 3% ou mais e com um comprimento de 1,0 km ou mais deve ser analisada como uma *greide* específico. Isto inclui todos os declives em segmentos unidirecionais em terreno montanhoso.

Alguns declives específicos são longos e acentuados de forma que os veículos pesados acabam por utilizar a velocidade de “arrasto” para evitar a perda de controle. Isto, certamente, impede outros veículos de fazerem ultrapassagem, aumenta a percentagem de tempo perdido e decresce a velocidade média da viagem. Neste caso, utiliza-se a seguinte equação:

$$f_{hv} = \frac{1}{1 + P_{TC} \times P_T (E_{TC} - 1) \times (1 - P_{TC}) P_T (E_T - 1) + P_R (E_r - 1)} \quad (\text{Eq.10})$$

Onde:

P_{TC} – proporção dos caminhões no tráfego com velocidade de arrasto num declive acentuado.

E_{TC} – equivalente em carros de passeio para caminhões utilizando velocidade de arrasto. (TAB. 20-18)

Ajuste de Calculo da Taxa de Fluxo

As equações 8 e 9 precisam ser aplicadas iterativamente em algumas situações para definir apropriadamente os valores de V_{pd} e V_{po} .

Este processo iterativo para segmentos unidirecionais é análogo para segmentos bidirecionais, mas com as seguintes características:

- a. para segmento em nível ou ondulado, ou para declives específicos, são utilizadas as taxas de fluxo direcionais das tabelas de 20.7 a 20.10 .
- b. para aclives específicos, as tabelas de 20.13 a 20.17 são utilizadas ao invés da 20.7 a 20.10.
- c. para declives específicos nos quais os caminhões trafegam com baixa velocidade, a equação 10 é utilizada ao invés da Eq.4.

3-Determinando a Velocidade Média de Viagem

$$VMV_d = VFL_d - 0,0125 (V_{pd} + V_{po}) - f_{np} \quad (Eq.11)$$

VMV_d = velocidade média de viagem no sentido analisado

VFL_d = velocidade de fluxo livre no sentido analisado

V_{pd} = taxa de fluxo equivalente para um período de 15 minutos no sentido analisado

V_{po} = taxa de fluxo equivalente no fluxo oposto (equação 9)

f_{np} = fator de ajustamento para segmentos de não ultrapassagem no sentido analisado

4- Determinação da Percentagem de Tempo Perdido

A percentagem de tempo perdido é estimada a partir da demanda de fluxo, da taxa de fluxo na direção oposta e um fator de ajustamento para a percentagem de segmentos de não ultrapassagem na direção em análise. O percentual de tempo perdido é estimado da seguinte forma:

$$PTPd = BTPd + fnp \quad (\text{Eq.12})$$

PTPd - percentual de tempo perdido no sentido analisado
 BTPd - percentual base de tempo perdido no sentido analisado
 fnp - fator de ajustamento de segmentos de não ultrapassagem

$$BTPd = 100(1 - e^{-aV_{pd}^b}) \quad (\text{Eq.13})$$

Os valores dos coeficientes a e b na equação 13 são determinados a partir da taxa de fluxo na direção oposta, conforme tabela 20.21.

Observe-se também neste caso que o cálculo de V_{pd} para PTP é diferente daquele realizado para determinação da VMV em função dos equivalentes definidos para cada cálculo de cada um destes parâmetros.

5- Determinação do Nível de Serviço

O primeiro passo na determinação de nível de serviço é comparar a taxa de fluxo V_{pd} com a capacidade de 1.700 cp / h. Se V_{pd} é maior que a capacidade, então a rodovia está em nível F.

Para segmentos de classe I com demanda menor que a capacidade, o NS é determinado pelo ponto no gráfico da figura 20.3 em função da taxa de fluxo e da velocidade média da viagem.

Para segmentos de classe II com demanda maior que a capacidade, o NS é determinado comparando o percentual de tempo perdido na direção analisada com o critério da tabela 20.4.

Segmentos com Faixa auxiliar de Subida

Uma faixa auxiliar de subida é uma faixa acrescentada num trecho em aclive que permite a ultrapassagem de veículos pesados que tem velocidade reduzida.

As seguintes condições indicam a necessidade de se implantar uma faixa de subida:

- a taxa de fluxo de subida excede 200 veículos por hora
- a taxa de fluxo para caminhões na subida excede 20 caminhões por hora
- e uma das seguintes condições:

- uma redução de velocidade de 15 km/h para um caminhão pesado
- NS E ou F no aclave ou
- Uma redução de dois ou mais níveis de serviço em relação à aproximação

Aplicações da metodologia

A metodologia apresentada se aplica para o cálculo do nível de serviço de rodovias de duas faixas. Também é utilizada para análise de projeto em que o objetivo é estimar a taxa de fluxo em carros de passeio por hora (Vcp), para um conjunto de condições de tráfego, rodovias e velocidade de fluxo livre.

TABELAS PARA ANÁLISE DE RODOVIAS DE DUAS FAIXAS
(Fonte: HCM 2000)

Figura 20-3 Nível de serviço para rodovias de classe I

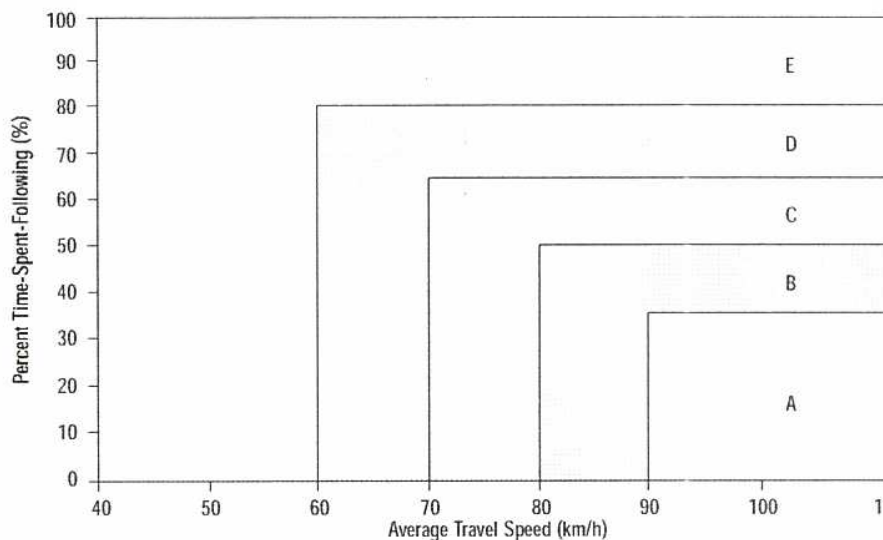


Tabela 20-4 Nível de serviço para rodovias de classe II

LOS	Percent Time Spent Following
A	≤ 40
B	> 40–55
C	> 55–70
D	> 70–85
E	> 85

Note:
LOS F applies whenever the flow rate exceeds the segment capacity.

Tabela 20-5 Fator de Ajuste para largura de acostamento

Lane Width (m)	Reduction in FFS (km/h)			
	Shoulder Width (m)			
	≥ 0.0 < 0.6	≥ 0.6 < 1.2	≥ 1.2 < 1.8	≥ 1.8
2.7 < 3.0	10.3	7.7	5.6	3.5
≥ 3.0 < 3.3	8.5	5.9	3.8	1.7
≥ 3.3 < 3.6	7.5	4.9	2.8	0.7
≥ 3.6	6.8	4.2	2.1	0.0

Tabela 20-6 Fator de Ajuste para número de acessos

Access Points per km	Reduction in FFS (km/h)
0	0.0
6	4.0
12	8.0
18	12.0
≥ 24	16.0

Tabela 20-7 Fator de Ajuste *greide* (f_G) para determinação da VMV na análise bidirecional e unidirecional

Range of Two-Way Flow Rates (pc/h)	Range of Directional Flow Rates (pc/h)	Type of Terrain	
		Level	Rolling
0–600	0–300	1.00	0.71
> 600–1200	> 300–600	1.00	0.93
> 1200	> 600	1.00	0.99

Tabela 20-8 Fator de Ajuste *greide* (f_G) para determinação da PMP na análise bidirecional e unidirecional

Range of Two-Way Flow Rates (pc/h)	Range of Directional Flow Rates (pc/h)	Type of Terrain	
		Level	Rolling
0–600	0–300	1.00	0.77
> 600–1200	> 300–600	1.00	0.94
> 1200	> 600	1.00	1.00

Tabela 20-9 Equivalente em automóveis para veículos pesados para determinação da VMV na análise bidirecional e unidirecional

Vehicle Type	Range of Two-Way Flow Rates (pc/h)	Range of Directional Flow Rates (pc/h)	Type of Terrain	
			Level	Rolling
Trucks, E_T	0–600	0–300	1.7	2.5
	> 600–1,200	> 300–600	1.2	1.9
	> 1,200	> 600	1.1	1.5
RVs, E_R	0–600	0–300	1.0	1.1
	> 600–1,200	> 300–600	1.0	1.1
	> 1,200	> 600	1.0	1.1

Tabela 20-10 Equivalente em automóveis para veículos pesados para determinação da PMP na análise bidirecional e unidirecional

Vehicle Type	Range of Two-Way Flow Rates (pc/h)	Range of Directional Flow Rates (pc/h)	Type of Terrain	
			Level	Rolling
Trucks, E_T	0–600	0–300	1.1	1.8
	> 600–1,200	> 300–600	1.1	1.5
	> 1,200	> 600	1.0	1.0
RVs, E_R	0–600	0–300	1.0	1.0
	> 600–1,200	> 300–600	1.0	1.0
	> 1,200	> 600	1.0	1.0

Tabela 20-11 Fator de ajuste (f_{np}) para % de faixas de não ultrapassagem na determinação da VMV na análise bidirecional

Two-Way Demand Flow Rate, v_p (pc/h)	Reduction in Average Travel Speed (km/h)					
	No-Passing Zones (%)					
	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

Tabela 20 -12 Fator de ajuste ($f_{d/np}$) combinando o efeito de distribuição direcional e percentagem de faixas de não ultrapassagem no calculo de PMP na analise bidirecional

Two-Way Flow Rate, v_p (pc/h)	Increase in Percent Time-Spent-Following (%)					
	No-Passing Zones (%)					
	0	20	40	60	80	100
Directional Split = 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
Directional Split = 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
Directional Split = 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
Directional Split = 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
Directional Split = 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

Tabela 20-13 Fator de ajuste (f_G) para estimativa da VMV em greides específicos

Grade (%)	Length of Grade (km)	Grade Adjustment Factor, f_G		
		Range of Directional Flow Rates v_d (pc/h)		
		0–300	> 300–600	> 600
$\geq 3.0 < 3.5$	0.4	0.81	1.00	1.00
	0.8	0.79	1.00	1.00
	1.2	0.77	1.00	1.00
	1.6	0.76	1.00	1.00
	2.4	0.75	0.99	1.00
	3.2	0.75	0.97	1.00
	4.8	0.75	0.95	0.97
	≥ 6.4	0.75	0.94	0.95
$\geq 3.5 < 4.5$	0.4	0.79	1.00	1.00
	0.8	0.76	1.00	1.00
	1.2	0.72	1.00	1.00
	1.6	0.69	0.93	1.00
	2.4	0.68	0.92	1.00
	3.2	0.66	0.91	1.00
	4.8	0.65	0.91	0.96
	≥ 6.4	0.65	0.90	0.96
$\geq 4.5 < 5.5$	0.4	0.75	1.00	1.00
	0.8	0.65	0.93	1.00
	1.2	0.60	0.89	1.00
	1.6	0.59	0.89	1.00
	2.4	0.57	0.86	0.99
	3.2	0.56	0.85	0.98
	4.8	0.56	0.84	0.97
	≥ 6.4	0.55	0.82	0.93
$\geq 5.5 < 6.5$	0.4	0.63	0.91	1.00
	0.8	0.57	0.85	0.99
	1.2	0.52	0.83	0.97
	1.6	0.51	0.79	0.97
	2.4	0.49	0.78	0.95
	3.2	0.48	0.78	0.94
	4.8	0.46	0.76	0.93
	≥ 6.4	0.45	0.76	0.93
≥ 6.5	0.4	0.59	0.86	0.98
	0.8	0.48	0.76	0.94
	1.2	0.44	0.74	0.91
	1.6	0.41	0.70	0.91
	2.4	0.40	0.67	0.91
	3.2	0.39	0.67	0.89
	4.8	0.39	0.66	0.88
	≥ 6.4	0.38	0.66	0.87

Tabela 20-14 Fator de ajuste (f_G) para estimativa da PMP em greides específicos

Grade (%)	Length of Grade (km)	Grade Adjustment Factor, f_G		
		Range of Directional Flow Rates, v_d (pc/h)		
		0–300	> 300–600	> 600
$\geq 3.0 < 3.5$	0.4	1.00	0.92	0.92
	0.8	1.00	0.93	0.93
	1.2	1.00	0.93	0.93
	1.6	1.00	0.93	0.93
	2.4	1.00	0.94	0.94
	3.2	1.00	0.95	0.95
	4.8	1.00	0.97	0.96
	≥ 6.4	1.00	1.00	0.97
$\geq 3.5 < 4.5$	0.4	1.00	0.94	0.92
	0.8	1.00	0.97	0.96
	1.2	1.00	0.97	0.96
	1.6	1.00	0.97	0.97
	2.4	1.00	0.97	0.97
	3.2	1.00	0.98	0.98
	4.8	1.00	1.00	1.00
	≥ 6.4	1.00	1.00	1.00
$\geq 4.5 < 5.5$	0.4	1.00	1.00	0.97
	0.8	1.00	1.00	1.00
	1.2	1.00	1.00	1.00
	1.6	1.00	1.00	1.00
	2.4	1.00	1.00	1.00
	3.2	1.00	1.00	1.00
	4.8	1.00	1.00	1.00
	≥ 6.4	1.00	1.00	1.00
$\geq 5.5 < 6.5$	0.4	1.00	1.00	1.00
	0.8	1.00	1.00	1.00
	1.2	1.00	1.00	1.00
	1.6	1.00	1.00	1.00
	2.4	1.00	1.00	1.00
	3.2	1.00	1.00	1.00
	4.8	1.00	1.00	1.00
	≥ 6.4	1.00	1.00	1.00
≥ 6.5	0.4	1.00	1.00	1.00
	0.8	1.00	1.00	1.00
	1.2	1.00	1.00	1.00
	1.6	1.00	1.00	1.00
	2.4	1.00	1.00	1.00
	3.2	1.00	1.00	1.00
	4.8	1.00	1.00	1.00
	≥ 6.4	1.00	1.00	1.00

Tabela 20-15 Equivalente em automóveis para caminhões para determinação da VMV em greides específicos

Grade (%)	Length of Grade (km)	Passenger-Car Equivalent for Trucks, E_T		
		Range of Directional Flow Rates, v_d (pc/h)		
		0–300	> 300–600	> 600
$\geq 3.0 < 3.5$	0.4	2.5	1.9	1.5
	0.8	3.5	2.8	2.3
	1.2	4.5	3.9	2.9
	1.6	5.1	4.6	3.5
	2.4	6.1	5.5	4.1
	3.2	7.1	5.9	4.7
	4.8	8.2	6.7	5.3
	≥ 6.4	9.1	7.5	5.7
$\geq 3.5 < 4.5$	0.4	3.6	2.4	1.9
	0.8	5.4	4.6	3.4
	1.2	6.4	6.6	4.6
	1.6	7.7	6.9	5.9
	2.4	9.4	8.3	7.1
	3.2	10.2	9.6	8.1
	4.8	11.3	11.0	8.9
	≥ 6.4	12.3	11.9	9.7
$\geq 4.5 < 5.5$	0.4	4.2	3.7	2.6
	0.8	6.0	6.0	5.1
	1.2	7.5	7.5	7.5
	1.6	9.2	9.0	8.9
	2.4	10.6	10.5	10.3
	3.2	11.8	11.7	11.3
	4.8	13.7	13.5	12.4
	≥ 6.4	15.3	15.0	12.5
$\geq 5.5 < 6.5$	0.4	4.7	4.1	3.5
	0.8	7.2	7.2	7.2
	1.2	9.1	9.1	9.1
	1.6	10.3	10.3	10.2
	2.4	11.9	11.8	11.7
	3.2	12.8	12.7	12.6
	4.8	14.4	14.3	14.2
	≥ 6.4	15.4	15.2	15.0
≥ 6.5	0.4	5.1	4.8	4.6
	0.8	7.8	7.8	7.8
	1.2	9.8	9.8	9.8
	1.6	10.4	10.4	10.3
	2.4	12.0	11.9	11.8
	3.2	12.9	12.8	12.7
	4.8	14.5	14.4	14.3
	≥ 6.4	15.4	15.3	15.2

Tabela 20-16 Equivalente em automóveis para caminhões e veículos recreacionais para determinação da PMP em greides específicos

Grade (%)	Length of Grade (km)	Passenger-Car Equivalent for Trucks, E_T			RVs, E_R
		Range of Directional Flow Rates, v_d (pc/h)			
		0-300	> 300-600	> 600	
$\geq 3.0 < 3.5$	0.4	1.0	1.0	1.0	1.0
	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.6	1.0	1.0	1.0	1.0
	2.4	1.0	1.0	1.0	1.0
	3.2	1.0	1.0	1.0	1.0
	4.8	1.4	1.0	1.0	1.0
	≥ 6.4	1.5	1.0	1.0	1.0
$\geq 3.5 < 4.5$	0.4	1.0	1.0	1.0	1.0
	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.6	1.0	1.0	1.0	1.0
	2.4	1.1	1.0	1.0	1.0
	3.2	1.4	1.0	1.0	1.0
	4.8	1.7	1.1	1.2	1.0
	≥ 6.4	2.0	1.5	1.4	1.0
$\geq 4.5 < 5.5$	0.4	1.0	1.0	1.0	1.0
	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.6	1.0	1.0	1.0	1.0
	2.4	1.1	1.2	1.2	1.0
	3.2	1.6	1.3	1.5	1.0
	4.8	2.3	1.9	1.7	1.0
	≥ 6.4	3.3	2.1	1.8	1.0
$\geq 5.5 < 6.5$	0.4	1.0	1.0	1.0	1.0
	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.6	1.0	1.2	1.2	1.0
	2.4	1.5	1.6	1.6	1.0
	3.2	1.9	1.9	1.8	1.0
	4.8	3.3	2.5	2.0	1.0
	≥ 6.4	4.3	3.1	2.0	1.0
≥ 6.5	0.4	1.0	1.0	1.0	1.0
	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.2	1.0	1.0	1.3	1.0
	1.6	1.3	1.4	1.6	1.0
	2.4	2.1	2.0	2.0	1.0
	3.2	2.8	2.5	2.1	1.0
	4.8	4.0	3.1	2.2	1.0
	≥ 6.4	4.0	3.1	2.2	1.0

Tabela 20-17 Equivalente em automóveis para veículos pesados para estimativa da VMV em greides específicos

Grade (%)	Length of Grade (km)	Passenger-Car Equivalent for RVs, E_R		
		Range of Directional Flow Rates, v_d (pc/h)		
		0-300	> 300-600	> 600
$\geq 3.0 < 3.5$	0.4	1.1	1.0	1.0
	0.8	1.2	1.0	1.0
	1.2	1.2	1.0	1.0
	1.6	1.3	1.0	1.0
	2.4	1.4	1.0	1.0
	3.2	1.4	1.0	1.0
	4.8	1.5	1.0	1.0
	≥ 6.4	1.5	1.0	1.0
$\geq 3.5 < 4.5$	0.4	1.3	1.0	1.0
	0.8	1.3	1.0	1.0
	1.2	1.3	1.0	1.0
	1.6	1.4	1.0	1.0
	2.4	1.4	1.0	1.0
	3.2	1.4	1.0	1.0
	4.8	1.4	1.0	1.0
	≥ 6.4	1.5	1.0	1.0
$\geq 4.5 < 5.5$	0.4	1.5	1.0	1.0
	0.8	1.5	1.0	1.0
	1.2	1.5	1.0	1.0
	1.6	1.5	1.0	1.0
	2.4	1.5	1.0	1.0
	3.2	1.5	1.0	1.0
	4.8	1.6	1.0	1.0
	≥ 6.4	1.6	1.0	1.0
$\geq 5.5 < 6.5$	0.4	1.5	1.0	1.0
	0.8	1.5	1.0	1.0
	1.2	1.5	1.0	1.0
	1.6	1.6	1.0	1.0
	2.4	1.6	1.0	1.0
	3.2	1.6	1.0	1.0
	4.8	1.6	1.2	1.0
	≥ 6.4	1.6	1.5	1.2
≥ 6.5	0.4	1.6	1.0	1.0
	0.8	1.6	1.0	1.0
	1.2	1.6	1.0	1.0
	1.6	1.6	1.0	1.0
	2.4	1.6	1.0	1.0
	3.2	1.6	1.0	1.0
	4.8	1.6	1.3	1.3
	≥ 6.4	1.6	1.5	1.4

Tabela 20-18 Equivalente em automóveis para estimativa do efeito da velocidade dos caminhões em aclives acentuados

Difference Between FFS and Truck Crawl Speed (km/h)	Passenger-Car Equivalent for Trucks at Crawl Speeds, E_{TC}		
	Range of Directional Flow Rates, v_d (pc/h)		
	0–300	> 300–600	> 600
≤ 20	4.4	2.8	1.4
40	14.3	9.6	5.7
≥ 60	34.1	23.1	13.0

Tabela 20-19 Fator de ajuste (f_{np}) para VMV em relação ao percentual de faixas de não ultrapassagem na análise unidirecional

Opposing Demand Flow Rate, v_o (pc/h)	No-Passing Zones (%)				
	≤ 20	40	60	80	100
FFS = 110 km/h					
≤ 100	1.7	3.5	4.5	4.8	5.0
200	3.5	5.3	6.2	6.5	6.8
400	2.6	3.7	4.4	4.5	4.7
600	2.2	2.4	2.8	3.1	3.3
800	1.1	1.6	2.0	2.2	2.4
1000	1.0	1.3	1.7	1.8	1.9
1200	0.9	1.3	1.5	1.6	1.7
1400	0.9	1.2	1.4	1.4	1.5
≥ 1600	0.9	1.1	1.2	1.2	1.3
FFS = 100 km/h					
≤ 100	1.2	2.7	4.0	4.5	4.7
200	3.0	4.6	5.9	6.4	6.7
400	2.3	3.3	4.1	4.4	4.6
600	1.8	2.1	2.6	3.0	3.2
800	0.9	1.4	1.8	2.1	2.3
1000	0.9	1.1	1.5	1.7	1.9
1200	0.8	1.1	1.4	1.5	1.7
1400	0.8	1.0	1.3	1.3	1.4
≥ 1600	0.8	1.0	1.1	1.1	1.2
FFS = 90 km/h					
≤ 100	0.8	1.9	3.6	4.2	4.4
200	2.4	3.9	5.6	6.3	6.6
400	2.1	3.0	3.8	4.3	4.5
600	1.4	1.8	2.5	2.9	3.1
800	0.8	1.1	1.7	2.0	2.2
1000	0.8	0.9	1.3	1.5	1.8
1200	0.8	0.9	1.2	1.4	1.6
1400	0.8	0.9	1.1	1.2	1.4
≥ 1600	0.8	0.8	0.9	0.9	1.1
FFS = 80 km/h					
≤ 100	0.3	1.1	3.1	3.9	4.1
200	1.9	3.2	5.3	6.2	6.5
400	1.8	2.6	3.5	4.2	4.4
600	1.0	1.5	2.3	2.8	3.0
800	0.6	0.9	1.5	1.9	2.1
1000	0.6	0.7	1.1	1.4	1.8
1200	0.6	0.7	1.1	1.3	1.6
1400	0.6	0.7	1.0	1.1	1.3
≥ 1600	0.6	0.7	0.8	0.8	1.0
FFS = 70 km/h					
≤ 100	0.1	0.6	2.7	3.6	3.8
200	1.5	2.6	5.0	6.1	6.4
400	1.5	0.8	3.2	4.1	4.3
600	0.7	0.5	2.1	2.7	2.9
800	0.5	0.5	1.3	1.8	2.0
1000	0.5	0.5	1.0	1.3	1.8
1200	0.5	0.5	1.0	1.2	1.6
1400	0.5	0.5	1.0	1.0	1.2
≥ 1600	0.5	0.5	0.7	0.7	0.9

Tabela 20-20 Fator de ajuste (f_{np}) para PMP em relação ao percentual de faixas de não ultrapassagem na análise unidirecional

Opposing Demand Flow Rate, v_o (pc/h)	No-Passing Zones (%)				
	≤ 20	40	60	80	100
FFS = 110 km/h					
≤ 100	10.1	17.2	20.2	21.0	21.8
200	12.4	19.0	22.7	23.8	24.8
400	9.0	12.3	14.1	14.4	15.4
600	5.3	7.7	9.2	9.7	10.4
800	3.0	4.6	5.7	6.2	6.7
1000	1.8	2.9	3.7	4.1	4.4
1200	1.3	2.0	2.6	2.9	3.1
1400	0.9	1.4	1.7	1.9	2.1
≥ 1600	0.7	0.9	1.1	1.2	1.4
FFS = 100 km/h					
≤ 100	8.4	14.9	20.9	22.8	26.6
200	11.5	18.2	24.1	26.2	29.7
400	8.6	12.1	14.8	15.9	18.1
600	5.1	7.5	9.6	10.6	12.1
800	2.8	4.5	5.9	6.7	7.7
1000	1.6	2.8	3.7	4.3	4.9
1200	1.2	1.9	2.6	3.0	3.4
1400	0.8	1.3	1.7	2.0	2.3
≥ 1600	0.6	0.9	1.1	1.2	1.5
FFS = 90 km/h					
≤ 100	6.7	12.7	21.7	24.5	31.3
200	10.5	17.5	25.4	28.6	34.7
400	8.3	11.8	15.5	17.5	20.7
600	4.9	7.3	10.0	11.5	13.9
800	2.7	4.3	6.1	7.2	8.8
1000	1.5	2.7	3.8	4.5	5.4
1200	1.0	1.8	2.6	3.1	3.8
1400	0.7	1.2	1.7	2.0	2.4
≥ 1600	0.6	0.9	1.2	1.3	1.5
FFS = 80 km/h					
≤ 100	5.0	10.4	22.4	26.3	36.1
200	9.6	16.7	26.8	31.0	39.6
400	7.9	11.6	16.2	19.0	23.4
600	4.7	7.1	10.4	12.4	15.6
800	2.5	4.2	6.3	7.7	9.8
1000	1.3	2.6	3.8	4.7	5.9
1200	0.9	1.7	2.6	3.2	4.1
1400	0.6	1.1	1.7	2.1	2.6
≥ 1600	0.5	0.9	1.2	1.3	1.6
FFS = 70 km/h					
≤ 100	3.7	8.5	23.2	28.2	41.6
200	8.7	16.0	28.2	33.6	45.2
400	7.5	11.4	16.9	20.7	26.4
600	4.5	6.9	10.8	13.4	17.6
800	2.3	4.1	6.5	8.2	11.0
1000	1.2	2.5	3.8	4.9	6.4
1200	0.8	1.6	2.6	3.3	4.5
1400	0.5	1.0	1.7	2.2	2.8
≥ 1600	0.4	0.9	1.2	1.3	1.7

Tabela 20-21 Valores dos coeficientes utilizados na estimativa do PMP na análise unidirecional

Opposing Demand Flow Rate, v_0 (pc/h)	a	b
≤ 200	-0.013	0.668
400	-0.057	0.479
600	-0.100	0.413
800	-0.173	0.349
1000	-0.320	0.276
1200	-0.430	0.242
1400	-0.522	0.225
≥ 1600	-0.665	0.199

Rodovias de Múltiplas Faixas

Rodovias de Múltiplas Faixas (RMF) são aquelas que possuem duas ou mais faixas por sentido e podem ser divididas ou não. As divididas apresentam uma divisão central separando os dois sentidos de fluxo. (Figuras 1 e 2).

A metodologia do HCM considera as rodovias de múltiplas faixas como aquelas que possuem, geralmente, limites de velocidade de 70 a 100 km/h. Estas vias têm normalmente de 4 a 6 faixas e estão tipicamente localizadas em áreas urbanas ou em áreas rurais, com grandes volumes de tráfego, conectando importantes centros de desenvolvimento gerando um número significativo de viagens diárias.

Semáforos podem ser encontrados ao longo de tais vias, embora quando espaçados de em menos de 3 km, podem adquirir características de vias arteriais urbanas, neste caso considera-se fluxo descontínuo e para análise de capacidade deve-se considerar as interseções sinalizadas.

O volume de tráfego varia bastante, porém deve ser tipicamente de 15.000 a 40.000 veículos por dia.

A principal diferença entre estas vias e as freeways é que as RMF não têm um controle total de acesso e algumas vezes não possuem divisão e, portanto, recebem influência do fluxo oposto, o que somado a ocupação do solo ao longo da via pode levar a problemas de acesso e de mudança de faixas.

A capacidade de uma rodovia de múltiplas faixas sob condições básicas é 2.200 cp / h / faixa para rodovias com fluxo livre com VFL igual 100 km / h.

1- CARACTERÍSTICAS

Uma das mais importantes características de uma rodovia de múltiplas faixas é a velocidade de fluxo livre que é a velocidade de tráfego quando o volume é baixo e a densidade se aproxima de zero. Praticamente é a velocidade em que os motoristas se sentem confortáveis viajando sob as condições físicas, ambientais e de controle de tráfego existente num segmento não congestionado.



Rodovia de Múltiplas Faixas Dividida em ambiente rural



Rodovia de Múltiplas Faixas Dividida em subúrbio.

Figura 1- RMF Divididas
Fonte :HCM 2000



Rodovia de Múltiplas Faixas não Dividida
em ambiente rural



Rodovia de Múltiplas Faixas não Dividida
em subúrbio

Figura 2 – RMF não divididas
Fonte :HCM 2000

A importância da velocidade no fluxo livre é ser o parâmetro básico para análise de capacidade e nível de serviço para condições de fluxo contínuo.

De acordo com alguns estudos, a determinação da VLF no campo é possível, quando o volume é baixo e inferior a 1400cp/h/f.

Quando não for possível utilizar dados de campo ou de uma rodovia similar, uma estimativa se faz necessária baseada em dados existentes, experiência e

consideração de vários fatores que tem influência na VFL. A velocidade limite, por exemplo, é um fator que afeta a VFL.

Consideram-se como em condições ideais as Rodovias de Múltiplas faixas que apresentam as seguintes características:

- Largura de faixa de no mínimo 3,60 m.
- Largura total de afastamento de 3,60 m num sentido
- Somente carros de passeio no tráfego
- Sem acessos diretos na rodovia
- Divisão central
- Velocidade de fluxo livre maior que 100 km / h

2 - METODOLOGIA

A metodologia de análise da capacidade de rodovias de Múltiplas faixas compreende as seguintes etapas:

1. Estimativa da Velocidade de Fluxo Livre
2. Calculo da Taxa de Fluxo
3. Determinação do Nível de serviço

Obs.: a metodologia definida pelo HCM não considera velocidades de fluxo livre inferiores a 70 km / h e maiores que 100 km / h. A densidade é o fator determinante do nível de serviço.

2,1. Estimativa de Velocidade Fluxo Livre (VFL)

Conforme dito anteriormente, para valores até 1.400 cp /h /f pode-se obter a velocidade de fluxo livre no campo.

Quando não houver pesquisa de campo utiliza-se a expressão:

$$VFL = VFLB - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A, \quad (\text{Eq 1})$$

onde:

- VFLB – velocidade de Fluxo livre básica
- f_{LW} - fator de ajustamento para largura de faixa
- f_{LC} - ajustamento para afastamento lateral
- f_M - ajustamento para o tipo de rodovia (dividida e não dividida)
- f_A - ajustamento para pontos de acesso

2.1.1. Estimativa de VFLB

Recentes pesquisas sugerem (segundo HCM 2000) que a VFLB em rodovias de múltiplas faixas sob condições básicas (ideais) é de aproximadamente 11 km / h maior que a velocidade limite para 65 e 70 km / h e 8 km / h maior para 80 e 90 km / h. Quando houver controle eletrônico de velocidade é usual considerar-se um valor 10% acima da velocidade limite.

Esta velocidade também pode ser considera igual a velocidade de projeto em segmentos que não têm uma limitação definida da velocidade de limite.

2.1.2. Fator de Ajuste para largura de faixa f_{Lw}

Este fator varia de 0,0 (para 3,60 m) a 10,6 (para 3,0 m)conforme se pode observar na tab 21-4, ou seja para larguras de faixas inferiores a ideal (3,60m) tem-se uma redução da velocidade.

2.1.3 Fator de Ajuste para afastamentos laterais (f_{LC})

Este fator se refere a redução de velocidade causada pela distância total a obstruções fixas na lateral da via ou no meio. Obstruções fixas incluem postes, sinais árvores, pontes ferroviárias, barreiras ao tráfego ou muros. Calçadas “padrão “ não são consideradas obstruções. Este fator varia de varia de 0,0 (para 3,60 m) a 8,7 (para 0,0 m) em rodovias de 4faixas e de 0,0 (para 3,60 m) a 6,3 (para 0,0 m) em rodovias de 6 faixas.

Para definir o valor correspondente ao total da distância a obstrução (*), utiliza-se:

$$TLC = L_{CR} + L_{CL},$$

onde:

T_{LC} - total de obstrução lateral

L_{CR} - distância a obstrução a direita da via (se maior que 1,80 m considerar 1,80 m)

L_{CL} .-distância a obstrução a esquerda da via (se maior que 1,80 m considerar 1,80 m)

(*) obstruções fixas com efeitos no afastamento lateral incluem postes, sinais, árvores,pilares, pontes ferroviárias, barreiras ao tráfego e paredes

Para rodovias não divididas não há fator de afastamento à esquerda. Porém, para usar a tabela 21.5 considera-se uma distância central igual a 1,80 m, pois a influência pelo fato de ser uma rodovia não dividida já é considerada no parâmetro f_M para tipo de divisão central

A distância lateral central de rodovias que possuem faixas para giro a esquerda é considerada de 1,80 m.

2.1.4. Fator de Ajuste para divisão central (f_M)

Este fator considera uma redução da velocidade no caso em que a via não possui uma divisão central. A redução de velocidade é de 2,60 km / h para rodovias não divididas.

2.1.5. Ajustamento por Densidade de Pontes de Acesso (f_A)

A densidade de pontos de acesso (entradas ou saídas) numa rodovia RMF é determinada dividindo o total de número de acesso (interseções ou “driveways”) no lado direito da via pelo comprimento total do segmento.

A tabela 21.7 indica que cada acesso por quilometro representa uma redução de aproximadamente 0,40 km / h.

Um acesso ou “driveway” deve ser incluído somente quando influencia o tráfego. Um acesso que não é notado pelos usuários da via porque tem pouca utilização não deve ser incluída.

2.2 Determinação da Taxa de Fluxo

A taxa de fluxo representa um ajustamento do fluxo de veículos para carros de passeio considerando a presença de veículos pesados e o fator de hora de pico. Para tal utiliza-se a seguinte expressão:

$$V_{cp} = \frac{V}{FHP \times N \times f_{HV} \times f_p} \quad (\text{Eq.2})$$

Onde:

- V.- volume horário (veículos / hora)
- V_{cp} - taxa de fluxo (cp / h) para 15 minutos
- N. -. número de faixas
- f_{HV} - veículos pesados
- f_p .- fator de ajuste para população

2.2.1. Fator de Ajuste para Veículos Pesados

Este fator varia em função dos fatores de equivalência para caminhões / ônibus (E_t) e veículos recreacionais (E_r) para cada do tipo de terreno: plano, ondulado ou montanhoso ,assim definidos:

- ✓ terreno plano - pequenos greides de até 2%
- ✓ terreno ondulado - veículos pesados reduzem substancialmente sua velocidade
- ✓ terreno montanhoso - veículos pesados operam em velocidade de arrasto por distâncias significantes e intervalos freqüentes.

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad (\text{Eq.3})$$

Onde:

f_{HV} - fator de ajustamento para veículos pesados

P_T - percentual de caminhões e ônibus no fluxo de tráfego

P_R - percentual de veículos de recreio

E_T - equivalente em carros de passeio para caminhões e ônibus (Tab.21.8)

E_R - equivalente em carros de passeio para veículos de recreio (Tab. 21.8)

Greide Específico

Um segmento é considerado um “greide específico”, quando tem uma elevação de até 3% numa extensão maior que 1,6 km ou maior que 3% com mais de 0,8km.

Além disso, o aclave e o declive devem ser tratados de forma diferentes. Para aclives as tabelas 21.9 e 21.10 apresentam os equivalentes em carros de passeio para ônibus/caminhão (E_t) e para veículos recreacionais (E_r) em rodovias de 4 e 6 faixas. Os valores da tabela 21.9 são baseados em caminhões que têm a relação peso/força de 100kg/kw que é o caminhão típico desta vias nos EUA.

Para declives menores que 4% e para extensões de declive menores ou iguais a 3,2 km, utilizam-se os equivalentes para terreno plano da tab. 21.8. Para declives de no mínimo 4% e maior que 3,2km, utilizam-se os valores da tabela 21.11 para caminhões e ônibus. Para veículos recreacionais (E_r) utilizam-se os equivalentes para terreno em nível da tabela 21.8.

2.2.2. Fator de Ajustamento para População de Motoristas

Este fator reflete o conhecimento do motorista quanto à rodovia. Motoristas habituais que usam a via para viagens casa-trabalho têm um conhecimento da via maior do que aqueles que a usam esporadicamente. Assim, tem-se que conhecer a característica da via, se ela é utilizada diariamente ou apenas em fins de semana pela grande maioria dos usuários. De acordo com esta característica este fator pode variar entre 0,85 e 1,00.

3. DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE SERVIÇO

- 1) Segmentar a rodovia de forma apropriada.
- 2) Com base na medida ou estimativa de VFL construa uma curva de fluxo versus Velocidade de acordo com a forma da curva mostrada na figura 21.3
- 3) Baseada na taxa de fluxo V_{cp} entre no gráfico da figura 21.3 até encontrar a VFL desenhada e identifique o NS.
- 4) Determinar a densidade de fluxo de acordo com a seguinte equação:

$$D = \frac{V_{cp}}{S} \quad (\text{Eq.4})$$

Onde :

D - densidade (cp/h/f)

V_{cp} - taxa de fluxo (cp/h/f)

S - velocidade média de viagem (km/h)(calculada pela equações da figura 21.3)

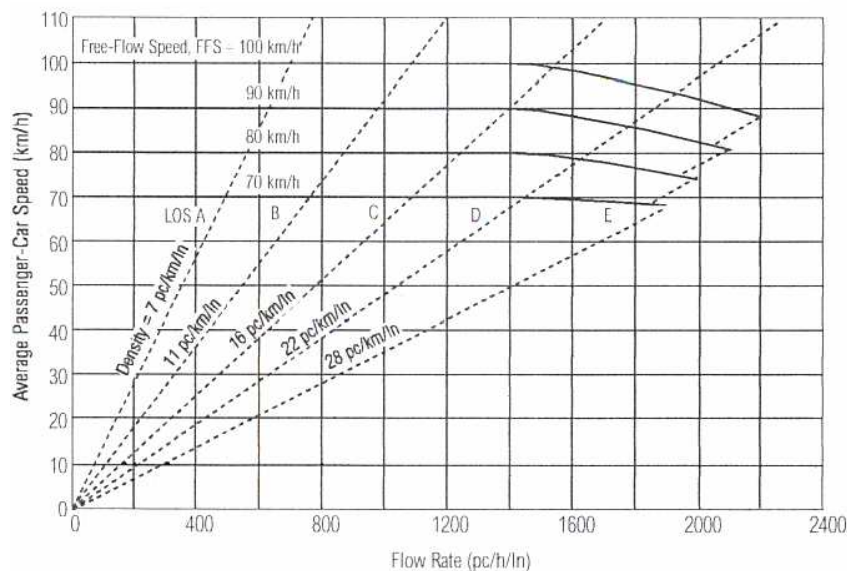
Com o valor da densidade, pode-se, também, fazer uma estimativa do nível de serviço, utilizando-se a Tabela 21-2. Nesta, estão definidas as densidades máximas para cada nível de serviço.

Tabelas e Figuras para Rodovias de Múltiplas faixas
(Fonte: HCM 2000)

Tabela 21-2 - Nível de Serviço para rodovias de múltiplas faixas

Free-Flow Speed	Criteria	LOS				
		A	B	C	D	E
100 km/h	Maximum density (pc/km/ln)	7	11	16	22	25
	Average speed (km/h)	100.0	100.0	98.4	91.5	88.0
	Maximum volume to capacity ratio (v/c)	0.32	0.50	0.72	0.92	1.00
	Maximum service flow rate (pc/h/ln)	700	1100	1575	2015	2200
90 km/h	Maximum density (pc/km/ln)	7	11	16	22	26
	Average speed (km/h)	90.0	90.0	89.8	84.7	80.8
	Maximum v/c	0.30	0.47	0.68	0.89	1.00
	Maximum service flow rate (pc/h/ln)	630	990	1435	1860	2100
80 km/h	Maximum density (pc/km/ln)	7	11	16	22	27
	Average speed (km/h)	80.0	80.0	80.0	77.6	74.1
	Maximum v/c	0.28	0.44	0.64	0.85	1.00
	Maximum service flow rate (pc/h/ln)	560	880	1280	1705	2000
70 km/h	Maximum density (pc/km/ln)	7	11	16	22	28
	Average speed (km/h)	70.0	70.0	70.0	69.6	67.9
	Maximum v/c	0.26	0.41	0.59	0.81	1.00
	Maximum service flow rate (pc/h/ln)	490	770	1120	1530	1900

Figura 21.3 - Curva de VFL versus Nível de serviço



Observe-se que a máxima densidade ocorre para o nível de serviço E para $v/c=1$. A capacidade varia com a velocidade de fluxo livre. Assim, a capacidade por faixa é de 2200, 2100, 2000 e 1900 cp/h para velocidades de fluxo livre de 100, 90, 80 e 70km/h respectivamente.

Equações da figura 21.3

km/h, respectively.

For flow rate (v_p), $v_p > 1400$ and

$90 < \text{FFS} \leq 100$ then

$$S = \text{FFS} - \left[\left(\frac{9.3}{25} \text{FFS} - \frac{630}{25} \right) \left(\frac{v_p - 1,400}{15.7\text{FFS} - 770} \right)^{1.31} \right]$$

For $v_p > 1,400$ and

$80 < \text{FFS} \leq 90$ then

$$S = \text{FFS} - \left[\left(\frac{10.4}{26} \text{FFS} - \frac{696}{26} \right) \left(\frac{v_p - 1,400}{15.6\text{FFS} - 704} \right)^{1.31} \right]$$

For $v_p > 1,400$ and

$70 < \text{FFS} \leq 80$ then

$$S = \text{FFS} - \left[\left(\frac{11.1}{27} \text{FFS} - \frac{728}{27} \right) \left(\frac{v_p - 1,400}{15.9\text{FFS} - 672} \right)^{1.31} \right]$$

For $v_p > 1,400$ and

$\text{FFS} = 70$ then

$$S = \text{FFS} - \left[\left(\frac{3}{28} \text{FFS} - \frac{75}{14} \right) \left(\frac{v_p - 1,400}{25\text{FFS} - 1,250} \right)^{1.31} \right]$$

For $v_p \leq 1,400$, then

$S = \text{FFS}$

Tabela 21-4 - Fator de Ajuste para Largura de Faixa

Lane Width (m)	Reduction in FFS (km/h)
3.6	0.0
3.5	1.0
3.4	2.1
3.3	3.1
3.2	5.6
3.1	8.1
3.0	10.6

Tabela 21-5 - Fator de Ajuste para distancia total a obstáculos laterais e centrais

Four-Lane Highways		Six-Lane Highways	
Total Lateral Clearance ^a (m)	Reduction in FFS (km/h)	Total Lateral Clearance ^a (m)	Reduction in FFS (km/h)
3.6	0.0	3.6	0.0
3.0	0.6	3.0	0.6
2.4	1.5	2.4	1.5
1.8	2.1	1.8	2.1
1.2	3.0	1.2	2.7
0.6	5.8	0.6	4.5
0.0	8.7	0.0	6.3

Tabela 21-6 - Fator de Ajuste para rodovia não dividida

Median Type	Reduction in FFS (km/h)
Undivided highways	2.6
Divided highways (including TWLTLs)	0.0

Tabela 21-7 - Fator de Ajuste para número de acessos a rodovia

Access Points/Kilometer	Reduction in FFS (km/h)
0	0.0
6	4.0
12	8.0
18	12.0
≥ 24	16.0

Tabela 21-8 - Equivalentes em automóveis para veículos pesados em segmentos em nível

Factor	Level	Rolling	Mountainous
E_T (trucks and buses)	1.5	2.5	4.5
E_R (RVs)	1.2	2.0	4.0

Tabela 21-9 - Equivalentes em automóveis para caminhões e ônibus em aclives

Upgrade (%)	Length (km)	E ₁								
		Percentage of Trucks and Buses								
		2	4	5	6	8	10	15	20	25
<2	All	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
≥ 2-3	0.0-0.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.4-0.8	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.8-1.2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 1.2-1.6	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 1.6-2.4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 2.4	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
> 3-4	0.0-0.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.4-0.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5
	> 0.8-1.2	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 1.2-1.6	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
	> 1.6-2.4	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 2.4	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
> 4-5	0.0-0.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.4-0.8	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 0.8-1.2	3.5	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	> 1.2-1.6	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 1.6	5.0	4.0	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0
> 5-6	0.0-0.4	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.4-0.5	4.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 0.5-0.8	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	> 0.8-1.2	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 1.2-1.6	5.5	5.0	4.5	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 1.6	6.0	5.0	5.0	4.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
> 6	0.0-0.4	4.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
	> 0.4-0.5	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 0.5-0.8	5.0	4.5	4.0	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 0.8-1.2	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0
	> 1.2-1.6	6.0	5.5	5.0	5.0	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5
	> 1.6	7.0	6.0	5.5	5.5	5.0	4.5	4.0	4.0	4.0

Figura 21-10 - Equivalentes em automóveis para veículos recreacionais em aclives

Grade (%)	Length (km)	E ₁								
		Percentage of RVs								
		2	4	5	6	8	10	15	20	25
≤2	All	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
> 2-3	0.0-0.8	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	> 0.8	3.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.2	1.2	1.2
> 3-4	0.0-0.4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	> 0.4-0.8	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5
	> 0.8	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5
> 4-5	0.0-0.4	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.4-0.8	4.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
	> 0.8	4.5	3.5	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0
> 5	0.0-0.4	4.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5
	> 0.4-0.8	6.0	4.0	4.0	3.5	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0
	> 0.8	6.0	4.5	4.0	4.5	3.5	3.0	3.0	2.5	2.0

Figura 21-11 - Equivalentes em automóveis para caminhões para segmentos em declive

Downgrade (%)	Length (km)	L ₁			
		Percentage of Trucks			
		5	10	15	20
< 4	All	1.5	1.5	1.5	1.5
4-5	≤ 6.4	1.5	1.5	1.5	1.5
4-5	> 6.4	2.0	2.0	2.0	1.5
> 5-6	≤ 6.4	1.5	1.5	1.5	1.5
> 5-6	> 6.4	5.5	4.0	4.0	3.0
> 6	≤ 6.4	1.5	1.5	1.5	1.5
> 6	> 6.4	7.5	6.0	5.5	4.5