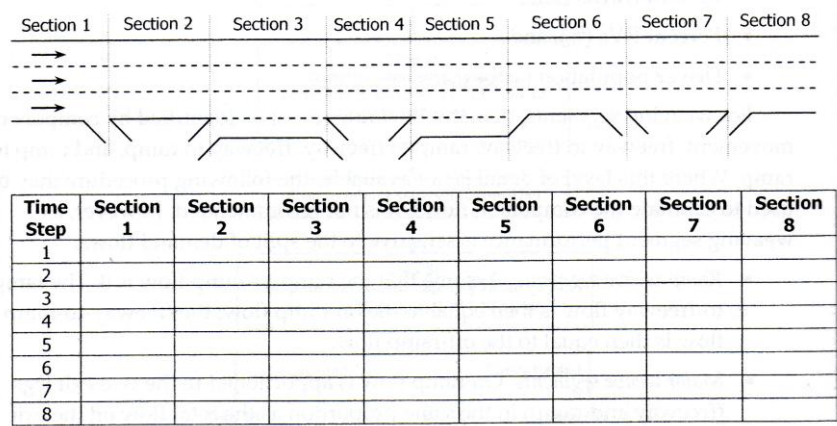


Procedimento do U.S.HCM/2010

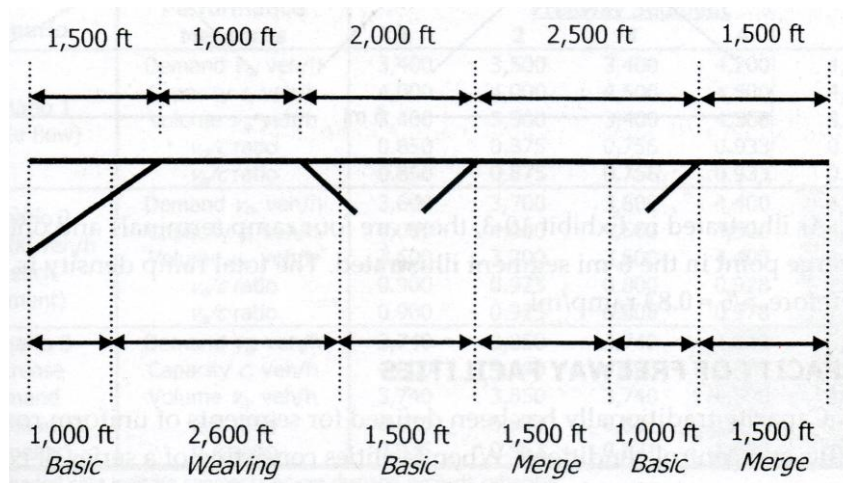
⇒ **Dados de campo:** por seção, períodos de 15 minutos.

Figura 10-1. Domínio Espaço-Tempo na Análise de Vias Expressas-HCM/2010



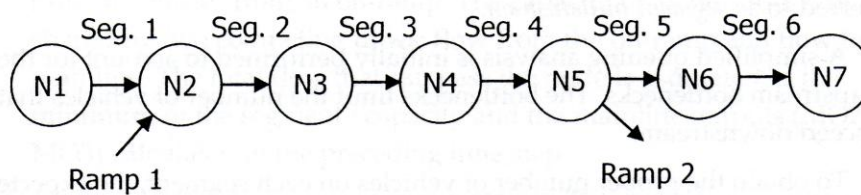
⇒ **Simulação:** segmento para operação não saturada, período=15 minutos.

Figura 10-2. Definição de Segmentos na Análise Vias Expressas-HCM/2010



para operação saturada: nó-segmento,
passo de tempo (15 a 60 segundos).

Figura 10-29. Representação Nó-Segmento na Análise de Vias Expressas-HCM/2010



⇒ **Procedimentos:**

- estimativa de demanda de tráfego a partir de volumes de tráfego (para dados com contagens em operação saturada)

$$\hat{Q}_{out}^{ij} = f^t \cdot q_{out}^{ij}, \text{ onde } f^t = \frac{\sum q_{in}^{ij}}{\sum q_{out}^{ij}}, \text{ (Q=demanda, q=fluxo)}$$

fator de escala (grosseiro), não detalhado, para toda a via;

- estimativa/ajuste das curvas de operação **ver Figuras 10-18,19;**

aproximação analítica: $\tilde{V} = \tilde{V}'_f + \left(1 - e^{-\frac{\ln(\tilde{V}'_f + 1 - \tilde{V}'_c) \tilde{q}_f}{\tilde{c}'_f}} \right), v = \tilde{V}$

(diferente das fornecidas para os segmentos no próprio HCM/2010)

onde $\tilde{c}'_f = F_C \cdot \tilde{c}_f$, $\tilde{V}'_f = F_V \cdot \tilde{V}_f$ e $\tilde{V}'_c = \frac{\tilde{c}'_f}{\tilde{K}_c}$ para $\tilde{q}_f = \tilde{c}'_f$

(F_C, F_V são fatores de ajuste de capacidade e velocidade de fluxo livre em relação aos valores normais estimados ou medidos)

$\tilde{K}_c^f = 45 \text{ pc/mi/ft}$ (28 pc/km/ft) admitido em todos os casos

densidade de saturação $\tilde{K}_j^f = 190 \text{ pc/mi/ln}$ (120 pc/km/ft).

condições específicas e incidentes **ver Tabelas 10-14,15,16,17;**

com obras de curta duração: $c'_f = \left((1600 \pm \tilde{\delta}_1) f_{VP} \cdot N - \delta_R \right) f_{LV}$ onde

$\tilde{\delta}_1$: efeito da intensidade de obra (de -160 a +160 veq/h/ft) e

δ_R : efeito da presença de ramal de acesso (depende de \tilde{q}_R);

f_{LV} : efeito da restrição local de largura ($\geq 10 < 12 \text{ft}$: 0,91; $\geq 9 < 10 \text{ft}$: 0,86);

composição de tráfego: implícito $K = \tilde{K} \cdot f_{VP} \Leftrightarrow V = \tilde{V}$

- restrito pelo segmento anterior: $V_{m\acute{a}x} = V_f - (V_f - V_{prev}) e^{-0,0053L}$, L (m);

distinto do modelo convencional com aceleração variável para v^*

$$a[t] = \gamma \cdot (v^* - v[t]) \Rightarrow v[t] = v^* - (v^* - v_0) e^{-\gamma \cdot t} \text{ e } x[t] = v^* \cdot t - \frac{(v^* - v_0)}{\gamma} \cdot (1 - e^{-\gamma \cdot t})$$

modelo implícito: $a[s] = \gamma \cdot (v^* - v[s]) \Leftrightarrow a[t] = \gamma \cdot v[t] \cdot (v^* - v[t]) \dots V_f = V_{FL} \dots$

- análise sem saturação: realizada para cada período (normalmente 15 minutos) e segmento do trecho analisado, permite identificar gargalos (de montante para jusante); seguindo os modelos de análise usuais do HCM2010 (procedimento similar ao do HCM/85, HCM/97 e HCM/2000);

- análise com saturação: realizada se houver gargalos com modelo macroscópico (versão simplificada com hipóteses de equilíbrio com reação instantânea e local); usa passos de intervalo menores, que devem satisfazer a restrição $\Delta t < L_{\min} / V_f$ (ou 1 minuto) **ver Tabela 25-4**; operação saturada representada por uma suposição linear (que equivale a W_s constante) **ver Figura 25-5**; (procedimento essencialmente similar ao do HCM/2000)

- obtenção das medidas de desempenho: fluxo, velocidade, densidade, filas para cada segmento e período (agregação para valores globais para o trecho analisado).

TABELA 10-14. Capacidade por Faixa (v/h/fx) com Obras de Longa Duração – HCM/2010

Redução 2->1	Redução 3->2	Redução 3->1	Redução 4->3	Redução 4->2	Redução 4->1
1400	1450	1450	1500	1450	1350

TABELA 10-15. Redução de Capacidade devida ao Clima e Condições Ambientais – HCM/2010

Tipo de Condição	Intensidade da Condição	Redução Média (%)	Faixa de Redução (%)
Chuva	>0 ≤0,10in/h (>0 ≤2,54mm/h)	2,01	1,17 – 3,43
	>0,10 ≤0,25in/h (>2,54 ≤6,35mm/h)	7,24	5,67 – 10,10
	>0,25in/h (>6,35mm/h)	14,13	10,72 – 17,67
Neve	>0 ≤0,05in/h (>0 ≤1,27mm/h)	4,29	3,44 – 5,51
	>0,05 ≤0,10in/h (>1,27 ≤2,54mm/h)	8,66	5,48 – 11,53
	>0,10 ≤0,50in/h (>2,54 ≤12,27mm/h)	11,04	7,45 – 13,35
	>0,50in/h (>12,27mm/h)	22,43	19,53 – 27,82
Temperatura	<50 ≥34°F (<10 ≥ 1°C)	1,07	1,06 – 1,08
	<34 ≥-4°F (<10 ≥ -20°C)	1,50	1,49 – 1,52
	<-4°F (<-20°C)	8,45	6,62 – 10,27
Vento	>10 ≤20mi/h (>16 ≤32km/h)	1,07	0,73 – 1,41
	>20mi/h (>32km/h)	1,47	0,74 – 2,19
Visibilidade	<1 ≥0,50mi (<1,6 ≥0,8km)	9,67	(um local)
	<0,8 ≥0,25mi (<0,8 ≥0,4km)	11,67	(um local)
	<0,25mi (<0,4km)	10,49	(um local)

TABELA 10-16. Capacidade por Faixa (v/h/fx) sob Condições Variadas na Alemanha – HCM/2010

Tipo de Via Expressa	Tipo de Dia	Diurno e Seco	Noturno e Seco	Diurno e Chuvoso	Noturno e Chuvoso
6 faixas (3 por sentido)	dia útil	1489	1299 -13%	1310 -12%	923 38%
6 faixas (3 por sentido)	final de semana	1380	1084 -21%	1014 -27%	-
4 faixas (2 por sentido)	dia útil	1739	1415 -19%	1421 -18%	913 -47%
4 faixas (2 por sentido)	final de semana	1551	1158 -25%	1104 -29%	-

* Dados obtidos em Auto-estradas Alemãs. Redução em % da condição diurna/seca no mesmo tipo de dia.

TABELA 10-17. Proporção da Capacidade Disponível com Incidentes – HCM/2010

No. de Faixas Expressas por Sentido	Acostamento Impedido	Acidente no Acostamento	Bloqueio de uma Faixa	Bloqueio de duas Faixas	Bloqueio de três Faixas
2	0,95	0,81	0,35	0,00	-
3	0,99	0,83	0,49	0,17	0,00
4	0,99	0,85	0,58	0,25	0,13
5	0,99	0,87	0,65	0,40	0,20
6	0,99	0,89	0,71	0,50	0,26
7	0,99	0,91	0,75	0,57	0,36
8	0,99	0,93	0,78	0,63	0,41

- curvas de operação ($V \times q$) ajustadas: exemplos do HCM2010

FIGURA 10-18. Ilustração de Curvas para Diferentes Condições de Clima – HCM/2010

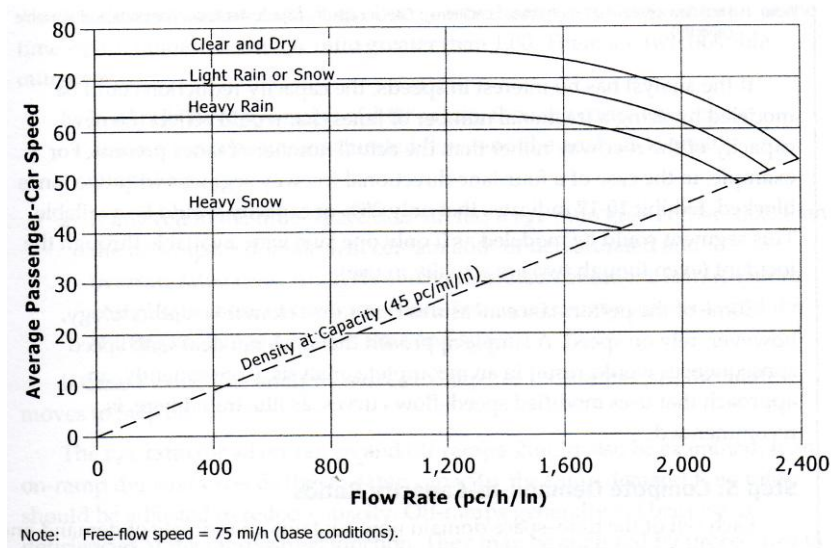
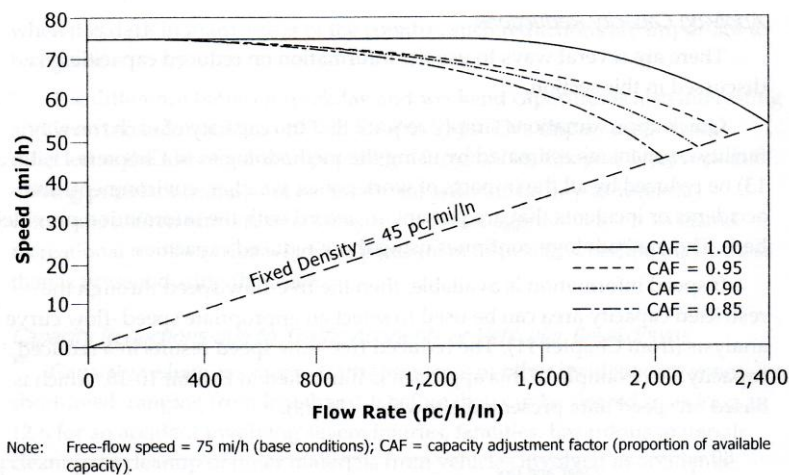
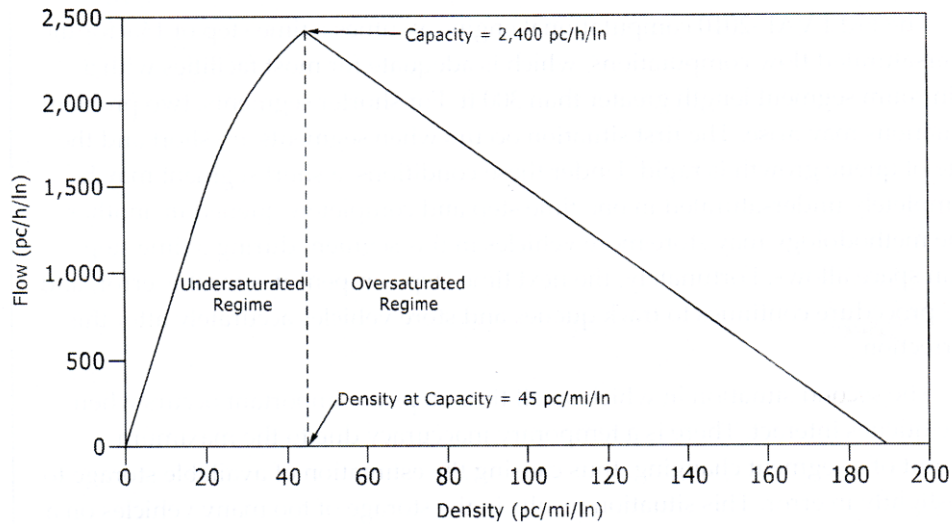


FIGURA 10-19. Ilustração de Curvas Ajustadas para Redução de Capacidade – HCM/2010



- simplificação: operação saturada ($q \times K$)

FIGURA 25-5. Curva Fluxo-Densidade Básica dos Segmentos – HCM/2010



fluxo normal $q = S[K]$

fluxo forçado $q = R[K]$

fluxo forçado q^F :
(aproximação linear)

$$K = KC + \frac{SC - q^F}{SC} (KJ - KC)$$

$$\therefore K = KJ - \frac{q^F}{SC} (KJ - KC)$$

propagação do
congestionamento

$$\text{velocidade: } W_s = \frac{SC}{KJ - KC}$$

(constante em fluxo forçado)

$$\text{percurso: } t_w = \frac{L}{W_s}$$

TABELA 25-4. Duração de Intervalo Recomendada em Condições Saturadas – HCM/2010

Extensão do Menor Segmento	$\geq 300\text{ft}$ (100m)	600ft (200m)	900ft (300m)	1300ft (400m)	$\geq 1500\text{ft}$ (450m)
Duração do Passo do Intervalo	15 s	25 s	40 s	60 s	60 s

Simulação Numérica: solução para frente, segmento i , período p (Newell, 1993)
 indefinição: dados de tráfego em volume (por período ou passo) ou fluxo.

- inicialização: demanda esperada por segmento, na ordem de fluxo

$$ED[i, p] = \min \{ SC[i, p], ED[i-1, p] + OND[i, p] - OFD[i, p] \}$$

identificação dos períodos com saturação: gargalos $ED[i, p] > SC[i, p]$

- para cada período anterior ao início ou posterior ao término da saturação:

análise não saturada: demanda no período $SF[i, p] = SD[i, p]$,

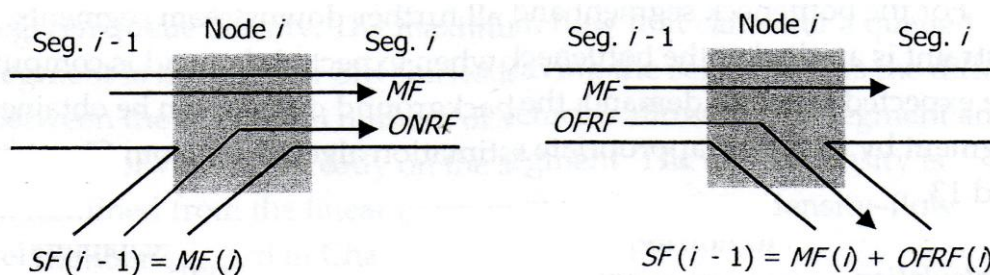
curva do segmento $SF[i, p] \Rightarrow U \dots V_{\max}$

- para o cada período com efeitos da saturação: $t=1$ a NS passos por período

passo t : S =segmento, M =direto, ON =acesso, OF =egresso

(além das mudanças de segmento, acessos e egressos são nós)

sufixo: D =demanda, C =capacidade, F =fluxo, Q =fila, V =veículos.



Note: SF = segment flow, MF = mainline flow, $ONRF$ = on-ramp flow, and $OFRF$ = off-ramp flow

- fluxos no nó i : direto $MF[i, t, p]$, acesso $ONF[i, t, p]$, egresso $OFF[i, t, p]$

variáveis adicionais dos nós: déficit de atendimento, fila nos acessos

entre períodos $t=1$: $DEF[i, 0, p] = DEF[i, S, p-1] + SD[i-1, p-1]$

$ONQ[i, 0, p] = ONQ[i, S, p-1]$, $Mon[i, 0, p] = Mon[i, S, p-1]$,

(inicializadas como zero no primeiro período com saturação).

- segmento i (do nó i a $i+1$): extensão $L[i]$, faixas $N[i, p]$, capacidade $SC[i, p]$,

fluxo segmento i (nó i , $i+1$): $SF[i, t, p] = MF[i+1, t, p] + OFF[i+1, t, p]$

nos nós: $F = \min\{I, O\}$, {demanda manifesta, capacidade disponível}

fora de filas: $SF[i, p] = ED[i, p]$, densidade $KB[i, p]$ (background).

variáveis adicionais dos segmentos: veículos na via, não servidos

entre períodos $t=1$: $NV[i, 1, p] = L[i] * KB[i, p] + UV[i, S, p-1]$,

$NV[i, 0, p] = UV[i, S, p-1]$, $UV[i, 0, p] = UV[i, S, p-1]$

(inicializadas como zero no primeiro período com saturação).

onde $Mon[i, t, p] = MF[i, t, p] + ONF[i, t, p]$, $SCr[i, t, p] = SC[i, p] - ONF[i-1, t, p]$

$Mof[i, t, p] = MF[i, t, p] + OFF[i+1, t, p]$, $SCd[i, t, p] = SCr[i, t, p] + OFF[i, t, p]$

Simulação durante a saturação: para trás $SF[i - 1, t, p] = MF[i, t, p] + OFF[i, t, p]$

- fluxo direto: $MF[i, t, p] = \min\{MI[i, t, p], SC[i - 1, p], MO[i, t, p], SC[i, p]\}$

$MI[i, t, p] = MF[i - 1, t, p] + ONF[i - 1, t, p] - OFF[i, t, p] + SUV[i - t, t - 1, p]$,

$MO[i, t, p] = \min\{MO1[i, t, p], MO2[i, t, p], MO3[i, t, p]\}$ (acesso, caixa, adiante),

acesso: $MO1[i, t, p] = \min\{SC[i, p] - ONF[i, t, p], MO2[i, t - 1, p], MO3[i, t - 1, p]\}$,

caixa: $MO2[i, t, p] = SF[i, t - 1, p] - ONF[i, t, p] + KQ[i, t, p] * L[i] - NV[i, t - 1, p]$,

veículos na via: $NV[i, t, p] = NV[i, t - 1, p] + Mof[i, t, p] - Mof[i + 1, t, p]$,

densidade de veículos em fila $KQ[i, t, p] = KJ - (KJ - KC) \cdot \frac{SF[i, t - 1, p]}{SC[i, p]}$

veículos não servidos: $UV[i, t, p] = NV[i, t, p] - KB[i, p] \cdot L[i]$

adiante: se há gargalo dissipando adiante, quando $SC[i, p] - OND[i, p] > SD[i, p]$

e $(SC[i, p] - OND[i, p]) > (SC[i, p - 1] - OND[i, p - 1])$, então também

$MO3[i, t, p] = \min\{MO1[i + 1, t - w, p], MOq[i + 1, t - w, p], MOc[i + 1, t - w, p]\}$

tempo de recuperação $w = \frac{L[i]}{W_s}$, em passos, com $W_s = \frac{SC[i, p]}{KJ - KC}$

onde $MOq[i + 1, t - w, p] = \min\{Mf2[i + 1, t - w, p], Mf3[i + 1, t - w, p]\}$,

com $Mf2[i + 1, t - w, p] = MO2[i + 1, t - w, p] + OFF[i + 1, t - w, p]$,

$Mf3[i + 1, t - w, p] = MO3[i + 1, t - w, p] + OFF[i + 1, t - w, p]$,

e $MOc[i + 1, t - w, p] = \min\{SC[i, t - w, p], SCd[i + 1, t - w, p]\}$;

- fluxo acesso: $ONF[i, t, p] = \min\{ONI[i, t, p], ONO[i, t, p]\}$

$ONI[i, t, p] = OND[i, p] + ONQ[i, t - 1, p]$,

$ONO[i, t, p] = \min\{ONC[i, p], ONM[i, t, p]\}$ (capacidade, incorporação),

capacidade: $ONC[i, p]$, regulação: $ONC[i, p] = \min\{ONC[i, p], RM[i, p]\}$

incorporação: $ONM[i, t, p] = \max\left\{MOo[i, t, p] - MI[i, t, p], \frac{MOo[i, t, p] / N[i, p]}{2}\right\}$

onde $MOo[i, t, p] = \min\{SC[i, p], Mo2[i, t - 1, p], Mo3[i, t - 1, p]\}$,

com $Mo2[i, t - 1, p] = MO2[i, t - 1, p] + ONF[i, t - 1, p]$

$Mo3[i, t - 1, p] = MO3[i, t - 1, p] + ONF[i, t - 1, p]$

fila no acesso: $ONQ[i, t, p] = ONQ[i, t - 1, p] + OND[i, t, p] - ONF[i, t, p]$;

- fluxo egresso: $OFF[i, t, p] = OFI[i, t, p]$, $pof[i, p] = OFD[i, p] / SD[i - 1, p]$

déficit acumulado: $DEF[i, t, p] = \max\{0, DEF[i, t - 1, p] - Mon[i - 1, t - 1, p]\}$

$OFF[i, t, p] = DEF[i, t, p] * pof[i, p - 1] + (Mon[i - 1, t, p] - DEF[i, t, p]) * pof[i, p]$

(se $Mon[i - 1, t, p] < DEF[i, t, p]$, $OFF[i, t, p] = Mon[i - 1, t, p] * pof[i, p - 1]$)

Resultados para os segmentos: velocidade e densidade média

$$\text{segmento / período: } SF[i, p] = \frac{\sum_t SF[i, t, p]}{T_p}, \quad NV[i, p] = \frac{\sum_t NV[i, t, p]}{S}$$

$$\text{densidade } K[i, p] = \frac{NV[i, p]}{L[i]}, \quad \text{velocidade } U[i, p] = \frac{SF[i, p]}{K[i, p]}$$

$$\text{segmento: } SF[i] = \frac{\sum_{t,p} SF[i, t, p]}{N \cdot T_p}, \quad NV[i] = \frac{\sum_{t,p} NV[i, t, p]}{N \cdot S}$$

$$\text{densidade } K[i] = \frac{NV[i]}{L[i]}, \quad \text{velocidade } U[i] = \frac{SF[i]}{K[i]}$$

Resultados para o sistema expresso: velocidade e densidade acumuladas

$$\text{por período: } SMK = \frac{\sum_i K[i, p] \cdot L[i]}{\sum_i N[i, p] \cdot L[i]} \text{ por faixa, } SMS = \frac{\sum_i SF[i, p] \cdot L[i]}{\sum_i \frac{SF[i, p] \cdot L[i]}{U[i, p]}}$$

$$\text{globais: } SMK = \frac{\sum_{i,p} K[i, p] \cdot L[i]}{\sum_{i,p} N[i, p] \cdot L[i]} \text{ por faixa, } SMS = \frac{\sum_{i,p} SF[i, p] \cdot L[i]}{\sum_{i,p} \frac{SF[i, p] \cdot L[i]}{U[i, p]}}$$

TABELA 10-7. Nível de Serviço para Sistemas Expressos - HCM/2010

NÍVEL DE SERVIÇO	DENSIDADE DE TRÁFEGO (equivalente)
A	11 vea/mi/fx (7 vea/km.fx)
B	>11 a 18 vea/mi/fx (7 a 11 vea/km.fx)
C	>18 a 26 vea/mi/fx (11 a 16 vea/km.fx)
D	>26 a 35 vea/mi/fx (16 a 22 vea/km.fx)
E	>35 a 45 vea/mi/fx (22 a 28 vea/km.fx)
F	Demanda > Capacidade*, >45 vea/mi/fx (28 vea/km.fx)

(*) Demanda > Capacidade em qualquer dos componentes do sistema (qualquer sub-período).

Comentários sobre o Procedimento do U.S.HCM/2010

- ⇒ os procedimentos são essencialmente os mesmos do HCM/2000;
- ⇒ procedimentos implementados no FREEVAL (aplicativo no MS-EXCEL);
- ⇒ os procedimentos podem permitir a análise consistente de segmentos expressos;
- ⇒ combinam a análise dos segmentos individuais com uma análise integrada inicial:
 - . determinam nível de serviço e variáveis de operação (reais, autos);
 - . recomendações para análise dinâmica simplificada ou uso de modelos;
 - . ainda avaliam as condições de operação básicas (reais);
 - . usa uma formulação macroscópica (eq.continuidade e eq.fundamental);
 - . não incorporam fatores importantes (como as brechas e velocidades);
 - . permitem representar formação e dissipação de filas (sobre-demanda) ;
 - . inclui a representação dos efeitos de gargalos (estruturais ou incidentais);
 - . formulação simplificada usa relações de equilíbrio velocidade-fluxo;
 - . formulação simplificada despreza fenômeno das duas capacidades;
(embora curvas de volumeXdensidade mais gerais possam ser usadas).
- ⇒ os procedimentos não analisam a transição da operação entre segmentos;
(com exceção do limite de velocidade máxima dada a velocidade anterior);
- ⇒ os procedimentos não tratam a aleatoriedade (efeito nas equações apenas);
- ⇒ faltam informações mais precisas sobre efeitos dos gargalos.