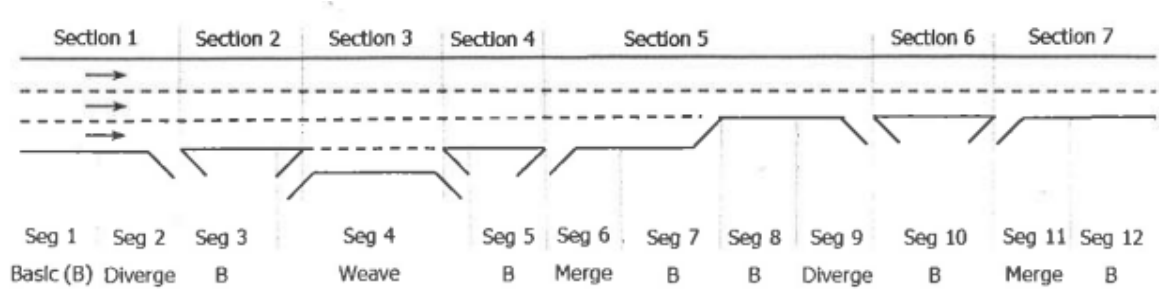


**Procedimento do U.S.HCM/6thEd (2016)**

⇒ **Sistemas Expressos:** método de análise capaz analisar condições de tráfego dinâmicas (sucessivos períodos de 15 minutos) de um trecho dividido em diversos segmentos, incluindo a formação e dissipação de filas decorrentes de sobre-demanda e incidentes (passou a incorporar a análise de regularidade/confiabilidade introduzida em 2015).

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

**Figura 10-9. Seções (Trechos) e Segmentos de Vias Expressas-HCM/6thEd (2016)**



- . faixas de uso especial: sujeitas a restrições de uso (pouco usadas no Brasil mas há tendência crescente de uso; inclui faixas para veículos de alta ocupação, faixas para veículos comerciais ou transporte público, faixas pedagiadas, ...)
- . faixas de uso geral: as demais faixas (também acesso/egresso das especiais)

os dados e a análise distinguem os grupos de faixas (de uso geral e de uso especial) (para integração da análise deve-se ter segmentos paralelos, em cada grupo)

⇒ **Simulação:** para frente (operação não saturada) ou para trás (operação saturada).

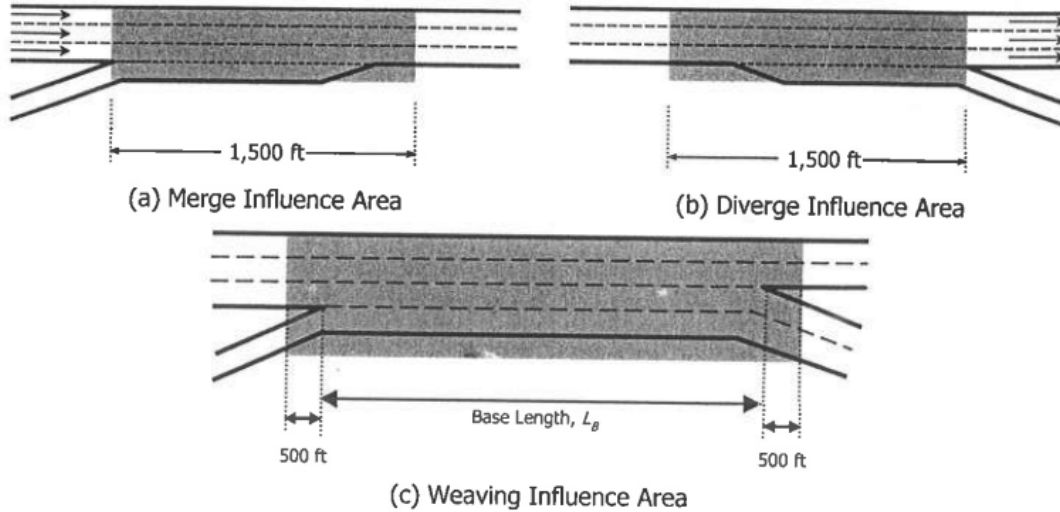
**Figura 10-10. Domínio Espaço-Tempo em Sistemas Expressos-HCM/6thEd (2016)**

Analysis Period	Seg 1	Seg 2	Seg 3	Seg 4	Seg 5	Seg 6	Seg 7	Seg 8	Seg 9	Seg 10	Seg 11	Seg 12
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												

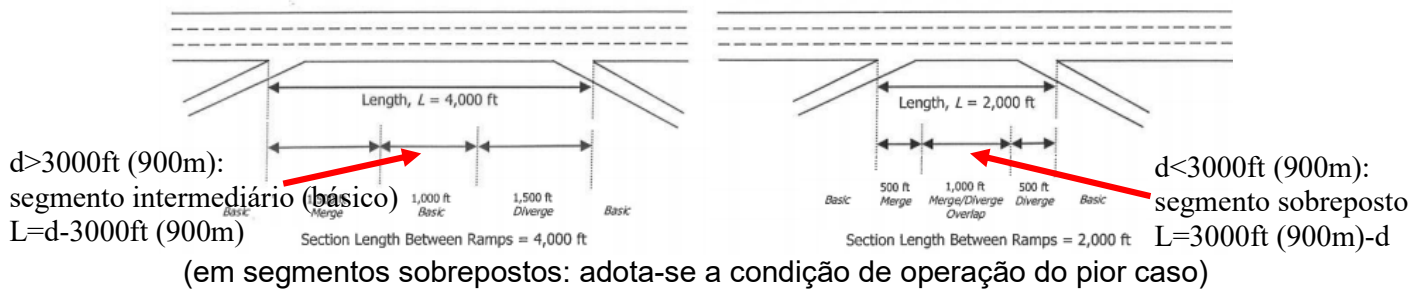
Note: Seg = segment.

- para operação não-saturada: análise por segmento (espaço,tempo) velocidade e densidade por período (15min)
- para operação saturada: refinamento nó-segmento, a partir do gargalo passo de tempo (em geral de 15 a 60 segundos).

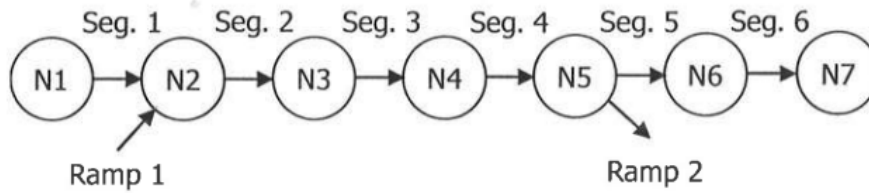
**Figura 10-1. Segmentos e Áreas de Influência em Vias Expressas-HCM/6thEd (2016)**



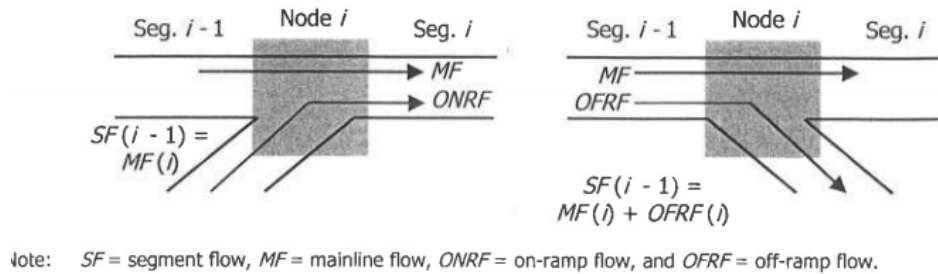
**Figura 10-11. Segmentos Sobrepostos em Vias Expressas-HCM/6thEd (2016)**



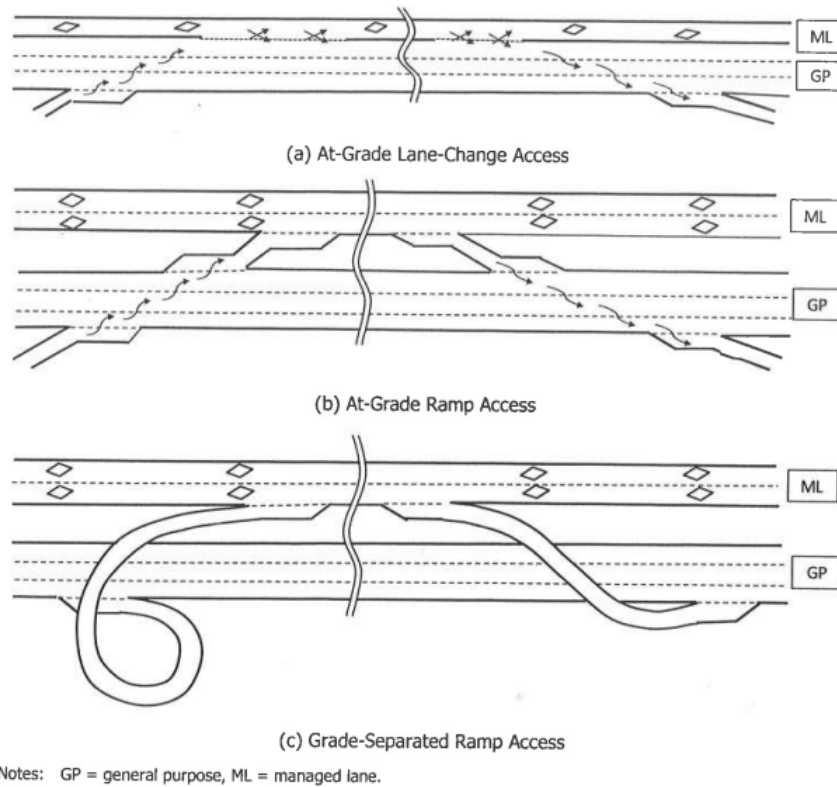
**Figura 10-13. Representação Nó-Segmento em Vias Expressas-HCM/6thEd (2016)**



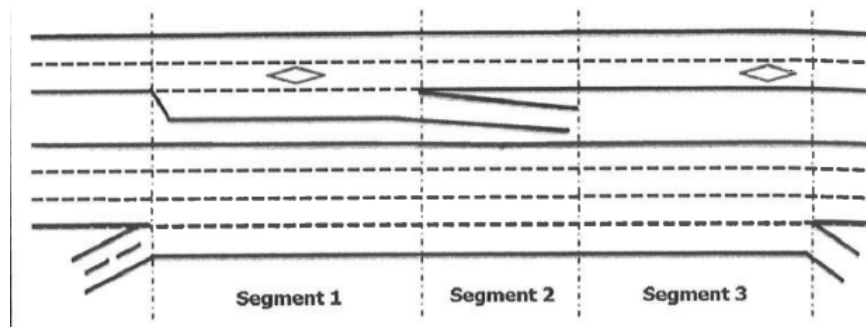
**Figura 10-14. Fluxos Direto e de Entrada/Saída em Vias Expressas-HCM/6thEd (2016)**



**Figura 10-3. Acesso a Faixas de Uso Especial (*Managed Lanes*) em Vias Expressas-HCM/6thEd (2016)**

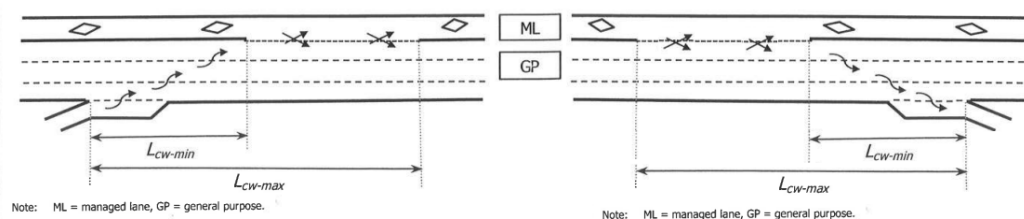


**Figura 10-18. Ajuste da Segmentação com Faixas de Uso Especial (*Managed Lanes*) em Vias Expressas-HCM/6thEd (2016)**



(segmentação deve ser correspondente nas faixas de uso geral e especial)

**Figura 10-19. Entrelaçamento Cruzado (*Cross-Weave*) no Acesso e Egresso a Faixas de Uso Especial (*Managed Lanes*) em Vias Expressas-HCM/6thEd (2016)**



⇒ **Procedimentos:**

- definir a segmentação adequada (correspondente se há faixas de uso especial)
  - seções: limites são as entradas e saídas ou mudanças físicas ...
  - segmentos: consideram as áreas de influência dos elementos viários
- recomendado que:
  - . primeiro e último segmento sejam básicos ...
  - . primeiro e último períodos sem saturação ...
  - . filas não devem exceder a extensão considerada
  - . extensão menor que o tempo de viagem em 15min.

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

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

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

- estimativa/ajuste das curvas de operação: CAF (capacidade) e SAF (velocidade)

forma algébrica:  $\hat{V} = \begin{cases} \hat{V}_{FL}, \text{ se } \hat{q}_f \leq \hat{q}_{BP}, \text{ ou se } \hat{q}_f \leq \hat{c}_f \\ \hat{V}_{FL} - (\hat{V}_{FL} - \hat{V}_C) \left( \frac{\hat{q}_f - \hat{q}_{BP}}{\hat{c}_f - \hat{q}_{BP}} \right)^a \end{cases}$  (ajustados ou não)

em fluxo equivalente, com  $\hat{c}_f = \tilde{c}_f \cdot CAF_{ao}$ ,  $\hat{V}_{FL} = \tilde{V}_{FL} \cdot SAF_{ao}$  e  $\hat{V}_C = \frac{\tilde{c}_f}{\tilde{K}_C}$ ,  $a = 2,00$ ;

$$\hat{q}_{BP} = (1000 + \gamma_{bm} \cdot (75 - FFS)) CAF^2 = (1000 + \gamma_{bk} \cdot (120 - \hat{V}_{FL})) CAF^2, \gamma_{bm} = 40; \gamma_{bk} = 25;$$

(CAF, SAF: fatores de ajuste de capacidade e velocidade de fluxo livre em relação aos valores normais estimados ou medidos)

na capacidade:  $\tilde{K}_c^f = 45$  pc/mi/px (28 pc/km/px) admitido em todos os casos também perda de 7% no fluxo de saturação (livre dissipação de filas) densidade de saturação  $\tilde{K}_j^f = 190$  pc/mi/ln (120 pc/km/px).

melhor: fluxo misto com composição de tráfego  $\hat{c}_r = \tilde{c}_r \cdot CAF_{mix}$ ,  $\hat{V}_{FL} = \tilde{V}_{FL} \cdot SAF_{mix}$  ...

condições específicas de clima e incidentes **ver Tabelas 11-20,21,23;**  
de obras na via: ver procedimento usual (detalhado adiante ...)

- restrito pelo segmento anterior:  $V_{m\acute{a}x} = V_f - (V_f - V_{prev}) e^{-0,0053 \cdot L}$ , 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:  $\frac{dv}{dx} = \gamma \cdot (v^* - v[x]) \Leftrightarrow a[t] = \gamma \cdot v[t] \cdot (v^* - v[t]) \dots v^* = V_{FL} \dots$

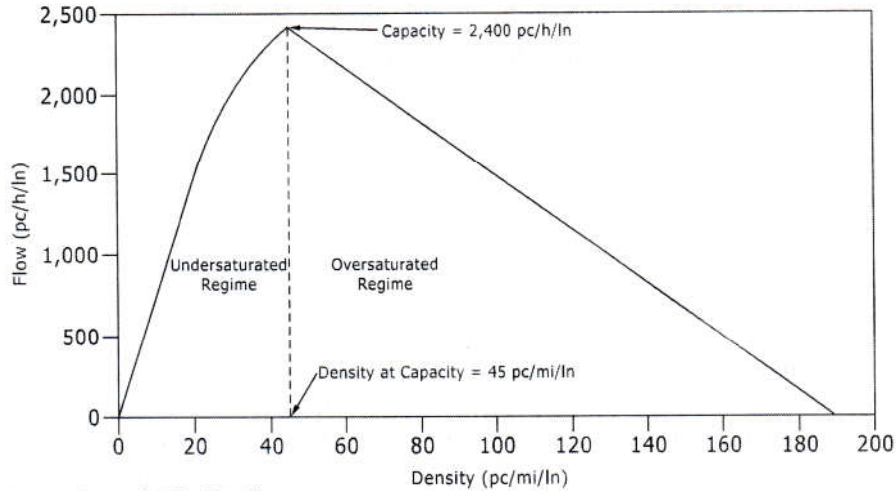
- análise sem saturação: realizada para cada período (normalmente 15 minutos) em segmento do trecho analisado; permite identificar gargalos (de montante para jusante); seguindo os modelos de análise usuais do HCM/6thEd (2016) (procedimento similar ao do HCM/85, HCM/97, HCM/2000 e HCM/2010);
  
- análise com saturação: realizada se houver gargalos ativos, usando um modelo macroscópico de 1ª ordem (versão simplificada com hipóteses de equilíbrio com reação instantânea e local); são usados passos de intervalo menores, que devem satisfazer a restrição  $\Delta t < L_{\min} / V_f$  (adota 15seg para segmentos de até 300ft ou 90m); a curva de operação saturada representada por uma suposição linear (o que equivale a  $W_s$  constante) **ver Figura 25-2;** (procedimento essencialmente similar ao do HCM/2000 e HCM/2010) mas pode introduzir a perda de capacidade na dissipação das filas ...
  
- interação entre faixas de uso geral e faixas de uso especial:
  - . efeito de fricção gerado por altas densidades nas faixas de uso geral para condições de acesso contínuo ou restrição de acesso com 1faixa, com o método descrito na análise de segmentos básicos;
  - . efeito de entrelaçamento cruzado no acesso das faixas de uso especial (APIA-área de influência dos acessos, definida por  $L_{cw-min}$  e  $L_{cw-máx}$ ) com o método descrito na análise de entrelaçamentos;
  - . efeito de saturação: adiciona atraso avaliado com modelo de fila vertical ...
  
- obtenção das medidas de desempenho: fluxo, velocidade, densidade, filas para cada segmento e período (agregação para valores globais para o trecho analisado).

### Segmentos com Faixas de Uso Especial (*Managed Lanes*):

- faixas de uso geral e especial consideradas separadamente ...
  
- interação: fluxos que mudam entre faixas de uso geral e especial (e seu efeito na capacidade e curva de operação da via) interação com saturação é maior (demanda retida em filas ...) simplificação atual: avalia fila vertical (demanda não atendida) e atraso ... atraso total:  $D_T^{GP} = \tilde{n}_T^{GP} \cdot T$  e  $D_T^{ML} = \tilde{n}_T^{ML} \cdot T$ , no período  $T = 15 \text{ min}(0,25h)$  ...

- simplificação da curva de operação saturada ( $q \times K$ , linear):

**FIGURA 25-2. Curva Fluxo-Densidade Básica dos Segmentos – HCM/6thEd (2016)**



Note: Assumed FFS = 75 mi/h.

$$\text{fluxo normal } q = S[K]$$

$$\text{fluxo forçado } q = R[K]$$

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)

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

- ênfase na calibração: rodada básica sem ajustes, para um dado cenário
- 3 etapas:
  - . calibrar FFS, com medições de campo ou observação;
  - capacidade dos gargalos (e dissipação de filas);
  - nível de demanda geral ... nessa ordem ...
- validar com comparação dos tempos de viagem e extensão de filas ...  
(eventualmente calibrar também análise de confiabilidade)
- complementar:
  - . calibrar distribuição dos tempos de viagem e etc ...
  - (variação da demanda até percentil 50 a 60; depois probabilidade de incidentes e eventos climáticos ...)

**Simulação Numérica:** solução para frente, segmento  $i$ , período  $p$  (Newell, 1993).  
 melhor transformar fluxos de tráfego em volumes de tráfego (no.efetivo de veículos)

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

$$ED[i, p] = \min\{SC[i, p], ED[i - 1, p] + OND[i, p] - OFD[i, p]\} \text{ em no.de veículos}$$

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

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

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

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

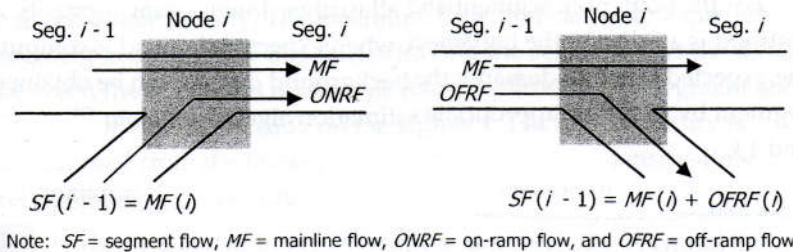
modelo/curva do segmento  $SF[i, p] \Rightarrow U[i, p] \dots V_{\max} \dots KB[i, p]$  (densidade).

- para cada período com efeitos da saturação:  $t=1$  a  $NS$  passos, revisão para trás

passo  $t$ :  $S$ =segmento,  $nó$ :  $M$ =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.



- 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

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

$$ONQ[i, 0, p] = ONQ[i, S, p - 1], \text{ Mon}[i, 0, p] = \text{Mon}[i, S, p - 1],$$

(inicializadas como zero no primeiro período com saturação).

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

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

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

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

variáveis adicionais dos segmentos: veículos na via, não servidos

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

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

(inicializadas como 0 no início da saturação, adotando capacidade  $SC = (1 - \alpha)C$ !).

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

$\text{Mof}[i, t, p] = MF[i, t, p] + OFF[i + 1, t, p]$ ,  $\text{SCd}[i, t, p] = \text{SCr}[i, t, p] + OFF[i, t, p]$

**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:  $UV[i, t, p] = NV[i, t, p] - KB[i, p]L[i]$  (saturação:  $UV \geq 1$ )

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:** densidade e velocidade média

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

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

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

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

**Resultados para o sistema expresso:** densidade e velocidade agregadas

$$\text{por período: } MK[p] = \frac{\sum_i K[i, p]L[i]}{\sum_i N[i, p]L[i]} \quad \text{por faixa, } MS[p] = \frac{\sum_i SF[i, p]L[i]}{\sum_i \frac{SF[i, p]L[i]}{U[i, p]}}$$

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

**TABELA 10-6. Nível de Serviço para Sistemas Expressos - HCM/6tEd (2016)**

NÍVEL DE SERVIÇO	DENSIDADE DE TRÁFEGO (média ponderada por faixa e extensão)	
	Urbana	Rural
A	≤11 vea/mi/fx (6.875 vea/km.fx)	≤6 vea/mi/fx (3.75 vea/km.fx)
B	>11 a 18 vea/mi/fx (6.875 a 11.25 vea/km.fx)	>6 a 14 vea/mi/fx (3.75 a 8.75 vea/km.fx)
C	>18 a 26 vea/mi/fx (11.25 a 16.25 vea/km.fx)	>14 a 22 vea/mi/fx (8.75 a 13.75 vea/km.fx)
D	>26 a 35 vea/mi/fx (16.25 a 21.875 vea/km.fx)	>22 a 29 vea/mi/fx (13.75 a 18.125 vea/km.fx)
E	>35 a 45 vea/mi/fx (21.875 a 28.125 vea/km.fx)	>29 a 39 vea/mi/fx (18.125 a 24.375 vea/km.fx)
F	Demanda > Capacidade*, >45 vea/mi/fx (28.125 vea/km.fx)	Demanda > Capacidade*, >39 vea/mi/fx (24.375 vea/km.fx)

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

. efeito de obras na pista: função da configuração viária e de obra:

$$\tilde{C}_{fwz} = \frac{\tilde{q}_{fdwz}}{1 - \alpha_{wz}}, \alpha_{wz} \cong 13,4\% \text{ em obras (perda de capacidade com fila); e } CAF_{wz} = \frac{\tilde{C}_{fwz}}{\tilde{C}_f}$$

$$\text{com } \tilde{q}_{fdwz} = 2093 - 154.LCSI - 194.f_{Br} - 179.f_{AT} + 30.d_{LAT} - 59.f_{DN}$$

(fluxo de tráfego em condição livre de dissipação de fila, *Free Queue Discharging*)

$$\tilde{V}_{FLwz} = \tilde{\Delta}_{0Vwz} + 53,4.f_{Sr} + 0,53.VL_{wz} - 8,96.LCSI - 6,14.f_{Br} - 2,7.f_{DN} - \tilde{\Delta}_{DRwz} \text{ e } SAF_{wz} = \frac{\tilde{V}_{FLwz}}{\tilde{V}_{FL}}$$

onde LCSI é o índice de severidade da redução de faixas (**ver Tabela 10-15**)

$f_{Br}$  é o indicador de tipo de barreira (0=concreto, rígido; =cone, tambor, etc)

$f_{AT}$  é o indicador de tipo de área (0=urbana; 1=rural)

$d_{LAT}$  (m) é a distância lateral das obras às barreiras, até 1,80m ( $f_{LAT}$ : 0-12ft)

$f_{DN}$  é o indicador de período do dia (0=diurno; 1=noturno)

$VL_{wz}$ : limite de velocidade com obras em km/h ( $SL_{wz}$  em mi/h)

$f_{Sr}$ : razão do limite de velocidade sem/com obras ( $f_{Sr} = \frac{VL}{VL_{wz}} = \frac{SL}{SL_{wz}}$ )

com  $\tilde{\Delta}_{0Vwz} = 15,9 \text{ km/h}$  (ou  $\tilde{\Delta}_{0Vwz} = 9,95 \text{ mi/h}$ , constante da velocidade com obras)

$\tilde{\Delta}_{DRwz} = 13,9.DRK \text{ km/h}$  (ou  $\tilde{\Delta}_{DRwz} = 8,7.TRD \text{ mi/h}$ ,  $f_{RDwz}$ ) onde

DRK : densidade de ramais/km (TDR densidade de ramais/mi)

em 9,6km (6mi), 4,8km (3mi) em cada lado do ponto médio do trecho

reduções maiores que as previstas com o procedimento atual ocorrem em

- trechos com desobstrução lateral mínima (que limitam a condução dos veículos) ...

- trechos com significativa presença de veículos pesados em aclives acentuados ...

(especialmente quando o trecho reduz-se a uma faixa, com seguimento forçado)

ajustes adicionais para trechos não básicos (**ver Figuras 25-7,8,10,11,12,13,14**)

**TABELA 10-15. Índice de Severidade do Bloqueio de Faixas em Obras na Via – HCM/6thEd (2016)**

No.Faixas Total Por Sentido	No.Faixas Abertas Por Sentido	OR (Proporção de Faixas Aberta)	LCSI (Índice de Severidade do Bloqueio de Faixas)
3	3	1,00	0,33
2	2	1,00	0,50
4	3	0,75	0,44
3	2	0,67	0,75
4	2	0,50	1,00
2	1	0,50	2,00
3	1	0,33	3,00
4	1	0,25	4,00

\* LCSI=Lane Closure Severity Index (LCSI=1/(OR.NA=NT/NA<sup>2</sup>); OR=Open Ratio (OR=NA/NT)

⇒ **Análise de Regularidade do Tempo de Viagem:** análise complementar (anteriormente introduzida como adendo ao HCM/2010, em 2015 ...)

análise operacional feita com um método de força bruta: enumera e avalia cenários construídos com base nos dados obtidos sobre incidência de eventos climáticos e operacionais e suas características para uma definição do período de referência para análise da distribuição dos tempos de viagem previstos (e outras variáveis ...)

⇒ procedimento gera diversos cenários de interesse e avalia aplicando a metodologia, de sistemas expressos (Ch.10) para cada cenário operacional (método de força bruta) (inclui dados sobre efeitos de incidentes e bloqueio de faixas em vias expressas)

⇒ obtém distribuição de tempos de viagens avaliando resultados de cenários com:

- variações recorrentes de demanda (hora do dia, dia da semana, mês do ano) ...
- clima severo (chuva pesada, neve, ...) e incidentes (acidentes, paradas, ...)
- obras na via e eventos especiais (incluindo medidas mitigadoras ...)

⇒ medidas de confiabilidade do tempo de viagem:

- **Índice de tempo de viagem** (TTI-Travel Time Index): razão entre o tempo (médio) de viagem (numa via ou trecho) e o tempo de viagem básico (de fluxo livre);
- **Índice planejado de tempo de viagem** (PTI-Planning Time Index): razão entre o percentil 95 do tempo de viagem e o tempo de viagem básico (do tipo de via);
- (**índice de política:** substituir tempo de viagem básico por meta de tempo de viagem)

Índices de confiabilidade subjacentes à distribuição dos tempos de viagem:

- **medidas de variabilidade** (variância e percentis 50, 85 ou 95 do tempo de viagem)
- **medidas de confiabilidade** (porcentagem de falha/sucesso do tempo de viagem)
- (**nota de confiabilidade:** %das viagens com tempo de viagem abaixo de um limite).

⇒ muitos dados dificilmente transferíveis entre regiões (exigem dados locais)

- fatores de variação da demanda (mês do ano, dia da semana, hora do dia);
- incidência de eventos climáticos e de incidentes (incluindo composição e duração)
- eventualmente também o impacto na via (pelo menos exige validação em campo)

⇒ método alternativo: análise de cenários contingenciais, considerados prováveis ... (ênfase: definir planos contingenciais ao invés de obter estatísticas de desempenho)

componente básico para avaliar a ações de GATD-gestão ativa do tráfego e demanda (ATDM-Active Traffic and Demand Management) ...

⇒ **Procedimentos:**

- consiste em gerar inúmeros cenários de oferta e demanda (e sua probabilidade) para obter a distribuição dos tempos de viagem previstos (e confiabilidade)... (pode também variar a geometria e o controle de tráfego em cada cenário)

**Cenários de análise para avaliação da regularidade/confiabilidade:**

Período de Estudo T (usual: 1 a 6hs) dividido em período de análise (usual: 15min)  
 Período de Referência: período do ano, tipos de dia e períodos do dia considerados  
 Dados básicos: condições de demanda e oferta usuais (médio ou global; ex.:VDMA)  
 Fatores de Ajuste ou Variação: por mês, dia da semana, hora do dia, etc ...  
 Fatores de Ajuste ou Impacto de clima e incidentes: por tipo, intensidade, etc ...  
 Dados alternativos: condições especiais (períodos de obra, eventos, etc ...)  
 Replicações: em princípio 4 para cada cenário de demanda (**ver Tabela 11-9**).

Ajuste da Demanda:  $Q_{spa} = f_m \cdot f_d \cdot f_t \cdot Q_{sp}$  com  $Q_{sp} = K_{sp} \cdot D \cdot VDMA$  (ou  $Q_{spa} = DAF \cdot Q_{sp}$ )

fatores de variação do mês do ano  $f_m$ , dia da semana  $f_d$ , da hora do dia  $f_t$   
 (dados do HCM/6thEd dificilmente são aplicáveis ao Brasil; obter dados locais)  
 ignora efeito do clima e outros na demanda ...

. com dados detalhados de demanda:  $Q_{pk}^j = Q_{pk}^{sj} \cdot \frac{f_p}{f_p^s}$  (s refere-se ao dado base)

. sem dados detalhados de demanda:  $Q_{pk}^{p15min} = f_p \cdot 4 \cdot K_{p15min} \cdot D \cdot \frac{AADT_k}{24}$  (segmento k)

( $f_p = f_m \cdot f_d \cdot f_t$  ou DAF e  $K_{p15min}$  para volume de tráfego do pico de 15min)

Ajuste da Oferta: alguns fatores de ajustamento básicos (*default*) para replicações ...

$$\hat{V} = \begin{cases} \hat{V}_{FL}, & \text{se } \hat{q}_f \leq \hat{q}_{BP}, \text{ ou se } \hat{q}_f \leq \hat{c}_f \\ \hat{V}_{FL} - (\hat{V}_{FL} - \hat{V}_C) \left( \frac{\hat{q}_f - \hat{q}_{BP}}{\hat{c}_f - \hat{q}_{BP}} \right)^a, & \text{V}_{Fa} = SAF \cdot V_F, \tilde{c}_{fa} = CAF \cdot \tilde{c}_f, \tilde{V}_c = \frac{\tilde{c}_{fa}}{\tilde{K}_{cf}} \end{cases}$$

onde  $\hat{q}_{BP} = (1000 + \gamma_M \cdot (75 - FFS)) CAF^2 = (1000 + \gamma_K \cdot (120 - \hat{V}_{FL})) CAF^2$ ,  $a = 2,00$  (via expressas)

com  $\gamma_M = 40(v/h)/(mi/h)$  ou  $\gamma_K = 25(v/h)/(km/h)$ ,  $\tilde{K}_{cf} = 45pc/mi/ln = 28veq/km/fx$

(fluxo normal; fluxo forçado: perda de capacidade com filas: ~7% ... ~ linear ...)

clima: CAF e SAF para 11 tipos de eventos; adotado em todo trecho ...

dados históricos de incidência de eventos (institutos meteorológicos)

incidentes: CAF para 6 níveis de severidade; início, meio ou fim do trecho ...

ocorrência: dado local; em T ou no trecho: igual probabilidade ...

dados de incidentes, pelo menos acidentes (IC/AC~4,9 e índice AC dado)

obras/eventos: dados do analista (somente significativos); muito variáveis ...

obra de longa duração é caso base distinto (com análise de regularidade)

obras não programadas ou muito curtas são tratadas como incidentes ...

(**ver Tabelas 36-26, 36-16, 10-17, 36-24, 36-25, 10-14, 11-22**)

- geração de cenários em vias expressas: períodos de estudo com duração  $T_{sp}$

cenário de demanda  $c=pwi$ : probabilidade  $p_c = \frac{n_{c,sp}}{\sum_{pwi} n_r^{pwi} \cdot n_{pwi,sp}}$  ( $n_r^{pwi}$  : replicações)

cenários operacionais:  $c=pwi$ ,  $o=tle$  ( $t$ =início  $l$ =posição  $e$ =duração), de 15min  
adiciona eventos de clima, incidente (também obras, e eventos especiais)  
em cada replicação de cada cenário de demanda, com base na  
probabilidade temporal (por minuto) de ocorrência  $p_{spwi}$  (e características)

composição:  $p_{spwi} = p_{sp} \cdot p_{wsp} \cdot p_{i/wsp}$  (evento de clima  $w$ , incidente  $i$ /minuto de  $sp$ )

. cenários  $c(=pwi)$ : duração  $T_{sp}^c$  períodos de 15min,  $T_{wsp}^c$   $c$ /clima  $w$  e  $T_{iws}^c$   $c$ /incidente  $i$

tendo-se  $p_{wsp}^c = \frac{T_{wsp}^c}{T_{sp}^c}$ ,  $p_{iws}^c = \frac{T_{iws}^c}{T_{wsp}^c}$  por evento (atualmente  $c=m$  e  $p_{spwi} = p_{spi} = \frac{T_{isp}}{T_{sp}}$ )

(duração: **ver Tabela 11-22**;  $n_{wsp}^c = \frac{p_{wsp}^c \cdot T_{sp}^c \cdot N_{sp}^c}{E_{15\text{min}} [D_{wsp}^c]}$  períodos de 15min nos casos  $c$ )

. grande simplificação (e redução de casos) em relação ao procedimento do HCM/2010:  
não é necessário enumerar cenários aleatórios, incluindo início, posição, etc...

não é necessário obter peso  $\pi_c$  ( $\pi_c = p_c$  em  $sp$  para ponderar cada caso  $c=pwi$ )

utiliza o mesmo procedimento para aleatorizar demais características:

. início do evento climático:  $p_{início}$  uniforme em  $sp$  (em todo trecho de via)

. duração do incidente: qualquer distribuição (pode ser condicional ao clima)

. início do incidente:  $p_{início}$  proporcional ao VKM na via do período em  $sp$

. posição do incidente:  $p_{seg}$  proporcional ao VKM em  $sp$  do segmento na via

(procedimento ajusta para ter valores inteiros e elimina eventos sobre-postos) ...

**TABELA 11-9. No.Recomendado de Replicações para Geração de Cenários – HCM/6thEd (2016)**

Duração do Período de Referência (em meses)	No.de Dias Considerado	No.de Replicações Recomendado	No.de Cenários Resultante
1	5 (dias úteis)	48	240
2	5 (dias úteis)	24	240
4	5 (dias úteis)	12	240
6	5 (dias úteis)	8	240
9	5 (dias úteis)	6	270
12 <sup>a</sup>	5 (dias úteis)	4 <sup>a</sup>	240 <sup>a</sup>
12	2 (fim de semana)	10	240
12	7 (toda semana) <sup>b</sup>	3	252

Notas: <sup>a</sup> valor básico (*default*); <sup>b</sup> não desejável (preferível separar dias úteis e fim de semana)

Determinação dos Eventos Aleatórios de Clima (início, duração) e Incidentes (início, tipo, duração, posição) no Período de Estudo (Exemplo de Período de Estudo de 3 horas em Via de 10 segmentos, com Chuva, R, e 2 Incidentes, I-2: principal e I-S: secundário)

Analysis Period	Segment Number									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
4	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
5	R	R	R	R	R	R	R	R and I-2	R	R
6								I-2		
7								I-2		
8								I-2		
9										
10										
11			I-S							
12										

Cenário de Demanda: Mês do ano, Dia da semana e Hora do dia; mais 1 evento climático e 2 incidentes => Cenário Operacional ...

Evento Climático: Chuva, com início gerado no período 3 e duração de 45min (admitido em todo o trecho da via)

Incidente Principal: bloqueio de 2 faixas, no segmento 8 (posição), com início no período 5 e duração de 60min

Incidente Secundário: bloqueio do acostamento, no segmento 3 (posição), com início e término no período 11 ...

(procedimento do HCM/2010 gerava casos definidos de início (2) de clima e de início (2), posição (3), duração (3) de incidentes).

. efeito de clima (CAF, SAF: **Tabela 11-20,21**) e incidentes (CAF: **Tabela 11-23**)  
novos dados: Zegeer et al. (2014)- SHRP 2-S2-L08-RW1 (TRB, USA) ...

**TABELA 11-20. Ajustes de Capacidade Genéricos para Condições de Clima – HCM/6thEd (2016)**

Condição de Clima	Definição do Evento Climático	Fator de Ajuste de Capacidade (CAF)				
		V <sub>FL</sub> =55 mi/h	V <sub>FL</sub> =60 mi/h	V <sub>FL</sub> =65 mi/h	V <sub>FL</sub> =70 mi/h	V <sub>FL</sub> =75 mi/h
Chuva Média	>0,10-0,25in/h (>2,5-6mm/h)	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90
Chuva Pesada	>0,25in/h (>6mm/h)	0,89	0,88	0,86	0,84	0,82
Neve Leve	>0,00-0,05in/h (>0-1,25mm/h)	0,97	0,96	0,96	0,95	0,95
Neve Leve a Média	>0,05-0,10in/h (>1,25-2,5mm/h)	0,95	0,94	0,92	0,90	0,88
Neve Média a Pesada	>0,10-0,50in/h (>2,5-12,5mm/h)	0,93	0,91	0,90	0,88	0,87
Neve Pesada	>0,5in/h (>12,5mm/h)	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72
Frio Severo	< -4°F (< -20°C)	0,93	0,92	0,92	0,91	0,90
Baixa Visibilidade	0,50-0,99mi (0,8-<1,6km)	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Muito Baixa Visibilidade	0,25-0,49m (0,4-<0,8km)	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
Mínima Visibilidade	<0,25mi (<0,4km)	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Clima Não Severo	todas as demais condições	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fonte: Zegeer et al. (2014)- SHRP 2-S2-L08-RW1 (TRB, USA)

**TABELA 11-21. Ajustes de Velocidade Genéricos para Condições de Clima – HCM/6thEd (2016)**

Condição de Clima	Definição do Evento Climático	Fator de Ajuste de Velocidade (SAF)				
		V <sub>FL</sub> =55 mi/h	V <sub>FL</sub> =60 mi/h	V <sub>FL</sub> =65 mi/h	V <sub>FL</sub> =70 mi/h	V <sub>FL</sub> =75 mi/h
Chuva Média	>0,10-0,25in/h (>2,5-6mm/h)	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93
Chuva Pesada	>0,25in/h (>6mm/h)	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91
Neve Leve	>0,00-0,05in/h (>0-1,25mm/h)	0,94	0,92	0,89	0,87	0,84
Neve Leve a Média	>0,05-0,10in/h (>1,25-2,5mm/h)	0,92	0,90	0,88	0,86	0,83
Neve Média a Pesada	>0,10-0,50in/h (>2,5-12,5mm/h)	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82
Neve Pesada	>0,5in/h (>12,5mm/h)	0,88	0,86	0,85	0,83	0,81
Frio Severo	< -4°F (< -20°C)	0,95	0,95	0,94	0,93	0,92
Baixa Visibilidade	0,50-0,99mi (0,8-<1,6km)	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93
Muito Baixa Visibilidade	0,25-0,49m (0,4-<0,8km)	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
Mínima Visibilidade	<0,25mi (<0,4km)	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
Clima Não Severo	todas as demais condições	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fonte: Zegeer et al. (2014)- SHRP 2-S2-L08-RW1 (TRB, USA)

**TABELA 11-22. Dados de Severidade e Duração de Incidentes – HCM/6thEd (2016)**

Parâmetro	Acostamento Bloqueado	1 Faixa Bloqueada	2 Faixas Bloqueadas	3 Faixas Bloqueadas	4 Faixas Bloqueadas
Distribuição (%)	75,4	19,6	3,1	1,9	0
Duração média (min)	34	34,6	53,6	67,9	67,9
Desvio padrão (min)	15,1	13,8	13,9	21,9	21,9
Mediana (min)*	36,5*	32,6*	60,1*	69,6*	69,6*
Duração mínima (min)	8,7	16	30,5	36	36
Duração máxima (min)	58	58,2	66,9	93,3	93,3

Fonte: Zegeer et al. (2014)- SHRP 2-S2-L08-RW1 (TRB, USA); \* da Tabela 25-41 (com correção).

**TABELA 11-23. Ajustes de Capacidade Genéricos para Incidentes – HCM/6thEd (2016)**

No.Faixas Por Sentido	Sem Incidente	Acostamento Bloqueado	1 Faixa Bloqueada	2 Faixas Bloqueadas	3 Faixas Bloqueadas	4 Faixas Bloqueadas
2	1,00	0,81	0,70	-	-	-
3	1,00	0,83	0,74	0,51	-	-
4	1,00	0,85	0,77	0,50	0,52	-
5	1,00	0,87	0,81	0,67	0,50	0,50
6	1,00	0,89	0,85	0,75	0,52	0,52
7	1,00	0,91	0,88	0,80	0,63	0,63
8	1,00	0,93	0,89	0,84	0,66	0,66

Fonte: Zegeer et al. (2014)- SHRP 2-S2-L08-RW1 (TRB, USA)



## Comentários sobre o Procedimento do U.S.HCM/6thEd (2016)

- ⇒ os procedimentos são essencialmente os mesmos do HCM/2010 (e HCM/2000) com novos dados de campo e análise de confiabilidade do tempo de viagem (além de considerar as faixas de uso geral e especial, com sua interação)
- ⇒ 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 pode considerar fenômeno das duas capacidades; (embora curvas de volumeXdensidade mais simples sejam inicialmente utilizadas).
- ⇒ 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); análise de confiabilidade do tempo de viagem usa método de força bruta (usa dados de campo para enumerar cenários que são avaliados um a um)
- ⇒ são fornecidas informações básicas sobre efeitos dos gargalos.