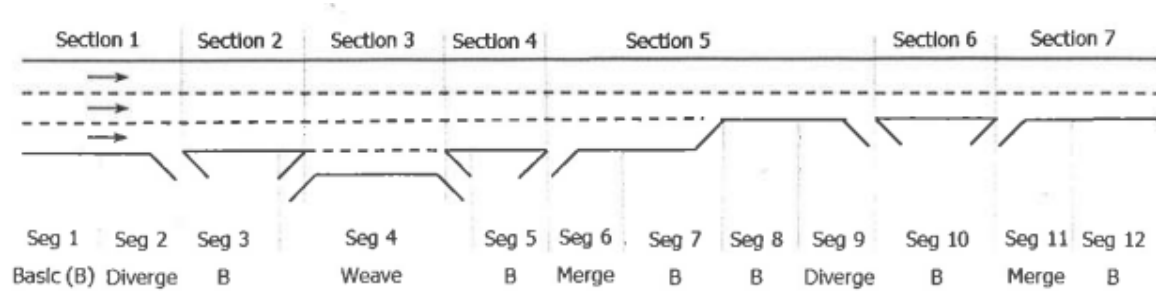


## Procedimento do U.S.HCM/6thEd (2016)

⇒ **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)**

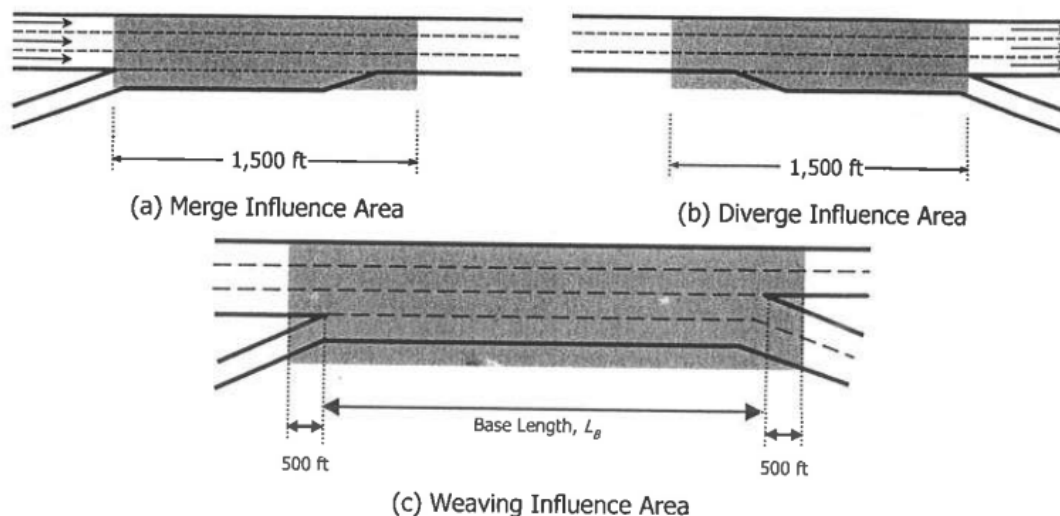
| Analysis Period | Seg 1 | Seg 2 | Seg 3 | Seg 4 | Seg 5 | Seg 6 | Seg 7 | Seg 8 | Seg 9 | Seg 10 | Seg 11 | Seg 12 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 1               |       |       |       |       |       |   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

Note: Seg = segment.

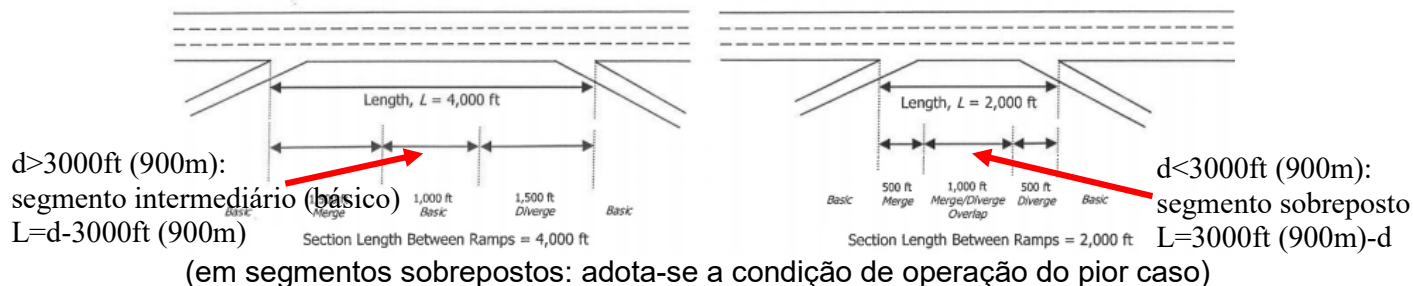
para operação não-saturada: análise por segmento (espaço,tempo)  
velocidade e densidade por período (15min)

para operação saturada: refinamento nó-segmento, a partir do gargalo  
passo de tempo (em geral de 15 a 60 segundos).

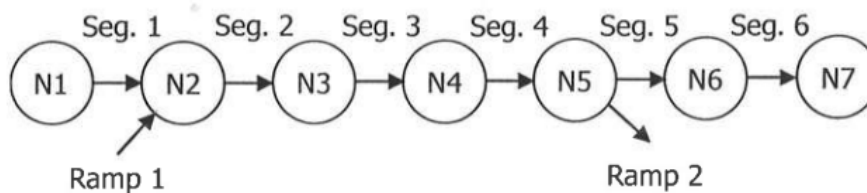
**Figura 10-1. Segmentos e Áreas de Influência em Vias Expressas-HCM/6thEd (2016)**



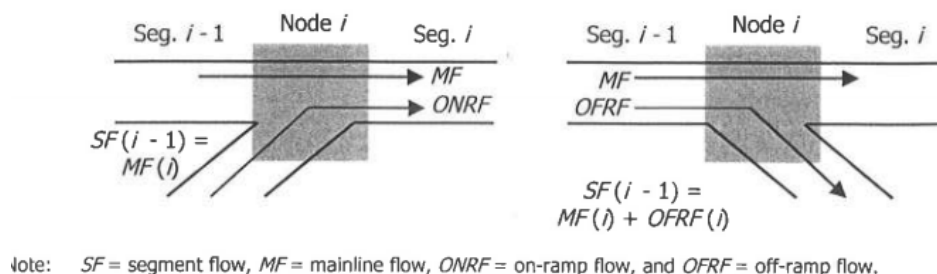
**Figura 10-11. Segmentos Sobrepostos em Vias Expressas-HCM/6thEd (2016)**



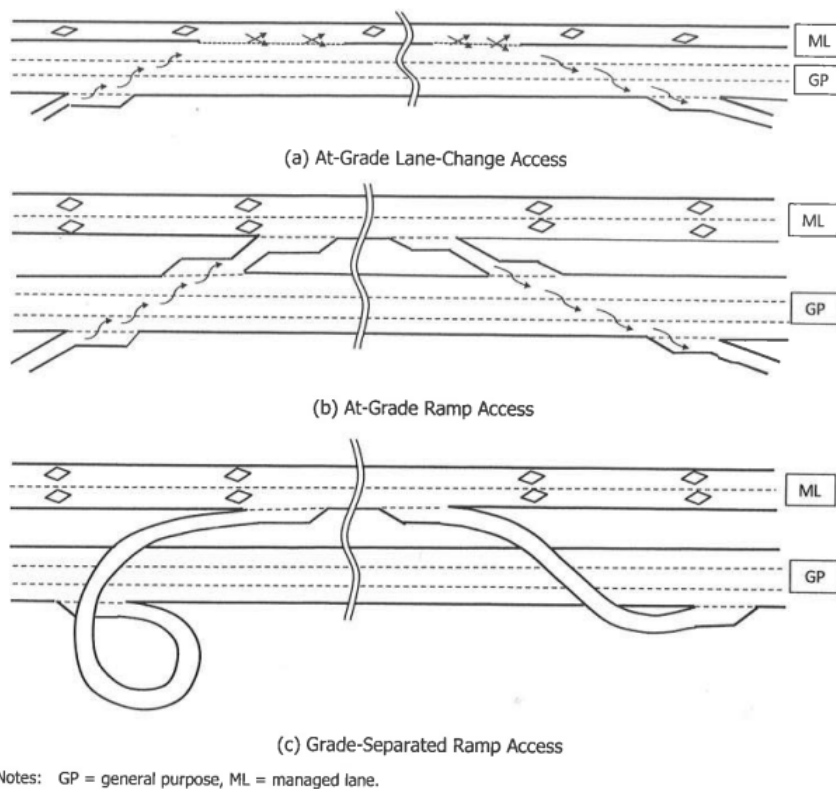
**Figura 10-13. Representação Nó-Segmento em Vias Expressas-HCM/6thEd (2016)**



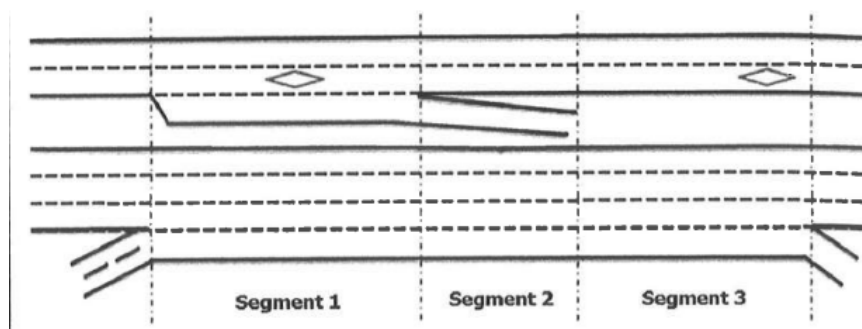
**Figura 10-14. Fluxos Direto e de Entrada/Saída em Vias Expressas-HCM/6thEd (2016)**



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

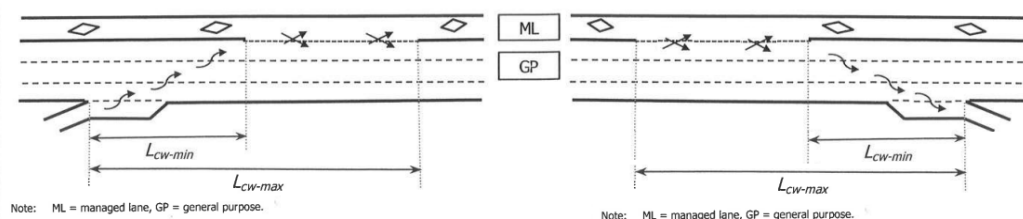


**Figura 10-18. Ajuste da Segmentação com Faixas de Uso Especial (*Managed Lanes*) em Vias Expressas-HCM/6thEd (2016)**



(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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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:  $V_{\max} = V_f - (V_f - V_{\text{prev}}) e^{-0,0053 \cdot L}$ ,  $L \text{ (m)}$ ;  
distinto do modelo convencional com aceleração variável para  $v^*$  ( $t_0 = 0$ )

$$a[t] = \gamma \cdot (v^* - v[t]) \Rightarrow v[t] = v^* - (v^* - v_0) e^{-\gamma \cdot t}, \quad x[t] = x_0 + v^* \cdot t - \frac{(v^* - v_0)}{\gamma} \cdot (1 - e^{-\gamma \cdot t})$$

$$\text{modelo implícito: } \frac{dv}{dx} = \gamma \cdot (v^* - v[x]) \Leftrightarrow a[t] = \gamma \cdot v[t] \cdot (v^* - v[t]) \dots v^* = V_{FL} \dots$$

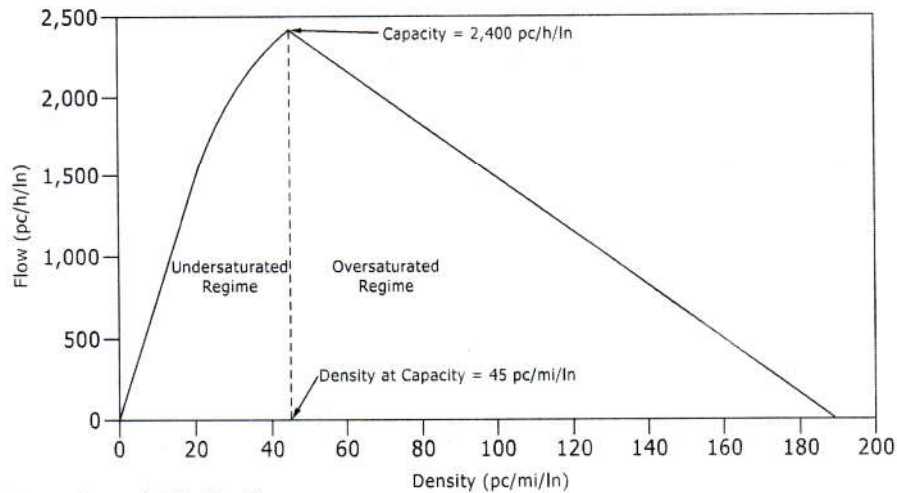
- análise sem saturação: realizada para cada período (normalmente 15 minutos) em segmento do trecho analisado; permite identificar gargalos (de montante para jusante); seguindo os modelos de análise usuais do HCM/6thEd (2016) (procedimento similar ao do HCM/85, HCM/97, HCM/2000 e HCM/2010);
- análise 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  $\Delta t < \frac{L_{\min}}{V_f}$  (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.

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

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

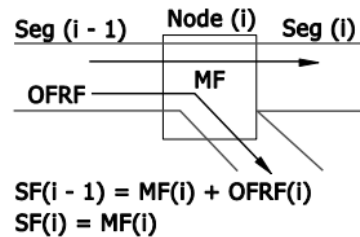
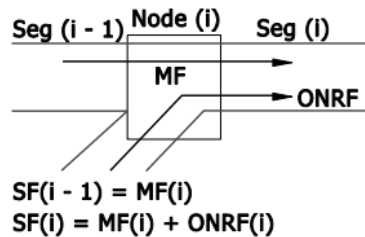
(constante em fluxo forçado)

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

- 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 (usa fluxo) por segmento, na ordem de fluxo  
 $ED[i, p] = \min\{SC[i, p], ED[i-1, p] + OND[i, p] - OFD[i, p]\}$  em número 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  $S$  passos, revisão para trás  
 passo  $t$ , "prefixo" nó:  $M$ =direto,  $ON$ =acesso,  $OF$ =egresso ( $S$ =segmento)  
 (além das mudanças de segmento, os 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  
 entre períodos  $t=0$ :  $ONQ[i, 0, p] = ONQ[i, S, p-1]$ ,  $Mon[i, 0, p] = Mon[i, S, p-1]$   
 (inicializadas como zero no primeiro período com saturação)
- segmento  $i$  (do nó  $i$  a  $i+1$ ): extensão  $L[i]$ , faixas  $N[i, p]$ , capacidade  $SC[i, p]$  ( $SC = CS$ ),  
 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 das filas:  $SF[i, p] = ED[i, p]$ , densidade  $KB[i, p]$  (background).  
 variáveis adicionais dos segmentos:  $NV$ =veículos na via,  $UV$ =não servidos  
 entre períodos  $t=0$ :  $NV[i, 0, p] = UV[i, S, p-1]$ ,  $UV[i, 0, p] = UV[i, S, p-1]$   
 e  $DEF[i, 0, p] = \max\left\{0, \sum_{k=1}^{p-1} SD[i, k] - \sum_{k=1}^{p-1} \sum_{t=1}^S SF[i-1, t, k]\right\}$   
 (inicializadas como zero no primeiro período com saturação)  
 $t=1$ :  $NV[i, 1, p] = L[i] * KB[i, p] + UV[i, S, p-1]$   
 (capacidade saturada  $CS = (1 - \alpha)C$ ;  $\alpha \cong 7\%$  na ausência de dados locais!).

onde  $Mon[i, t, p] = MF[i-1, t, p] + ONF[i, t, p]$ ,  $SCR[i, t, p] = SC[i, p] - ONF[i-1, t, p]$  (residual)  
 $Mof[i, t, p] = MF[i, t, p] + OFF[i+1, t, p]$ ,  $SCd[i, t, p] = SCR[i, t, p] + OFF[i, t, p]$  (disponível)

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

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

$MI[i, t, p] = MF[i-1, t, p] + ONF[i-1, t, p] - OFF[i, t, p] + UV[i-1, t-1, p]$  (com não servidos),

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

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

espaço:  $MO2[i, t, p] = SF[i, \tilde{t}, p] - ONF[i, t, p] + KQ[i, t, p]L[i] - NV[i, t-1, p]$ ,  $\tilde{t} = t-1$ ,

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

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, período com  $SC[i, p] - OND[i, p] > SD[i, p]$

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

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

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

$ONI[i, t, p] = OND[i, p] + ONQ[i, t-1, p]$  (com fila retida no ramal de acesso),

$ONO[i, t, p] = \min\{ONC[i, p], ONM[i, t, p]\}$  (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  $MOo[i, t, p] = \min\{SC[i, p], MO2[i, \tilde{t}, p], MO3[i, \tilde{t}, p]\}$ ,  $\tilde{t} = t-1$ ,

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:  $ONQ[i, t, p] = ONQ[i, t-1, p] + OND[i, p] - ONF[i, t, p]$ ;

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

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

( $DEF[i, 0, 1] = 0$ ; para  $p > 1$ :  $DEF[i, 0, p] = \max\left\{0, \sum_{k=1}^{p-1} SD[i, k] - \sum_{k=1}^{p-1} \sum_{t=1}^S SF[i-1, t, k]\right\}$ )

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

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

**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:

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

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

(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<br>Por Sentido | No.Faixas Abertas<br>Por Sentido | OR<br>(Proporção de<br>Faixas Aberta) | LCSI (Índice de<br>Severidade do<br>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 ( $LCSI=1/(OR.NA=NT/NA^2)$ ); 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 as 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:  $Q_{pk}^j = Q_{pk}^{sj} \cdot \frac{f_p}{f_s}$  (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 ...

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

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<br>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 | 0.25-0.49mi (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 | 0.25-0.49mi (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.