

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

- ⇒ integra análise modo auto, pedestre e bicicleta (como introduzido no HCM/2010)
  - . nível de serviço para auto função de atraso de controle e razão Q/C
  - . nível de serviço para pedestre/bicicleta função de nota subjetiva (*LoS Score*)

**Ver Tabela 19-8,9**

(HCM2016,2010 não distinguem claramente conceitos de nível e qualidade de serviço mas nota subjetiva é medida de qualidade de serviço percebida pelos usuários)
- ⇒ análise de operação usa explicitamente esquemas dos controladores nos EUA
  - . adota esquema de numeração da NEMA, similar às interseções sem semáforo
  - . incorpora maior parte dos parâmetros de controle de tempos fixos e atuado

**Ver Figura 19-1**
- ⇒ atraso médio de controle com fórmula dinâmica; incorpora de forma simplificada o efeito do tipo de controlador semafórico e da coordenação semafórica, com o fator de progressão, sobre os atrasos e calcula fila média e máxima (para diversos percentis) HCM/2016 trata termo determinístico regular com QAP="polígono de acumulação de fila" e termo de correção com filas iniciais como procedimentos especiais ...
 

**Ver análise geral do construção de QAPs (e ADPs)**
- ⇒ calcula fluxo de saturação (e capacidade) por grupo de faixas do HCM85 a 2000
  - fluxo básico de saturação: 1900 veq/hv (pop<250mil: 1750 veq/hv); ajustamento pelo efeito de geometria (largura da faixa), separando os efeitos de estacionamento e paradas de ônibus (função do número de manobras por hora), do HCM/97-2000, além de outros efeitos de interferência caracterizados por tipo de local (CBD);
  - HCM/2016: introduz efeito combinado de tipos de veículo (apenas caminhões)&rampas e efeitos de bloqueio de faixa, saturação global e obras na aproximação semafórica

**Ver Figura 19-19 e Sumário ...**
- ⇒ trata como suplementar a influência de movimentos de pedestres (com prioridade) sobre os fatores equivalentes dos movimentos de conversão, sem fluxo oposto veicular, a partir do bloqueio de faixas, revisando o método do HCM/97-2000
 

**Ver análise suplementar: bloqueio de pedestres**
- ⇒ trata a dependência entre fator equivalente e capacidade para os movimentos de conversão permitidos (de forma simplificada) e a interação entre movimentos permitidos e protegidos (ou ambos, permitido e protegido)
 

**Ver análise suplementar: conversões à esquerda**  
**Ver análise geral do equilíbrio entre faixas**
- ⇒ procedimento revisado para análise de controle atuado pelo tráfego: Bonneson
 

**Ver controle atuado ...**
- ⇒ incorpora procedimento de análise para pedestre e bicicleta (*LevelOfService Score*).
  - . mantém análise baseada no espaço disponível para pedestres em esquinas
  - . introduz análise integrada de qualidade de serviço para pedestres e bicicletas

**Ver procedimento para QoS de pedestres e ciclistas**

**TABELA 19-8. Nível Serviço Veículos para Interseções SemafORIZADAS-HCM/6thEd (2016)**

Atraso de Controle por Veículo (seg)	Nível de Serviço para Q/C ≤ 1	Nível de Serviço para Q/C > 1
≤ 10	A	F
> 10 e ≤ 20	B	F
> 20 e ≤ 35	C	F
> 35 e ≤ 55	D	F
> 55 e ≤ 80	E	F
> 80	F	F

Obs.: para aproximações ou movimentos, nível de serviço é definido pelo atraso de controle apenas.

$d_a = d_r + d_s$  onde  $d_r = d_1$  com fator de progressão PF (pelotões, função de  $R_p$ , **Tabela 19-13,14**)

$$d_1 = \frac{PF \cdot (1-u)^2}{2 \cdot (1-u \cdot X_q)} \cdot t_c \quad (d_1 = \frac{r}{2} \text{ se } X \geq 1), \quad u = \frac{g_{ef}}{t_c}, \quad X_q = \frac{Q}{C}, \quad X_q = \frac{q}{C} \leq 1 \quad (q = \min\{Q, C\} \text{ e } C = u \cdot S)$$

$$PF = \frac{1 - P_g}{1 - u} \cdot \frac{1 - y_q}{1 - X_q \cdot P_g} \cdot \left( 1 + y_q \cdot \frac{1 - P_g / u}{1 - u} \right), \quad y_q = \frac{q}{S}, \quad P_g = \frac{\bar{q}_g \cdot g_{ef}}{\bar{q}_g \cdot t_c} = R_p \cdot u \quad \text{dado } R_p = \frac{P_g}{u} \quad (\text{ver adiante})$$

ou  $d_r = \sum_i \frac{(n_i + n_{i+1}) \cdot t_i}{2 \cdot q \cdot t_c}$  com  $n_i, t_i$  obtidos do QAP="Polígono de Acumulação de Fila" regular

em T: se  $Q > C_q$ ,  $T_s = T, q = C = C_s, \bar{d}_r = d_{rs}$ ; se  $n_0 = 0$  e  $Q < C_q$ ,  $T_s = 0, q = Q, C = C_q, \bar{d}_r = d_{rq}$

se  $n_0 > 0$  e  $Q < C_s$ ,  $T_s = \min\left\{T, \frac{n_0}{C_s - Q}\right\}$ ,  $\bar{d}_r = \frac{d_{rs} \cdot T_s}{T} + \frac{d_{rq} \cdot (T - T_s)}{T}$  e  $\bar{C} = \frac{C_s \cdot T_s}{T} + \frac{C_q \cdot (T - T_s)}{T}$

(se  $n_i = 0$ , usar  $T_s = \bar{T}_s$  dos demais; permite estimar o efeito de  $d_{rs}$  e  $C_s$  no ciclo saturado)

$$d_s = d_2 + d_3 \text{ com sobre-atraso (médio) } d_2 = 900 \cdot T \left[ (X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8 \cdot \kappa \cdot I \cdot X}{C \cdot T}} \right], \text{ sendo } X \leq \frac{\bar{Q}}{C} \text{ com}$$

-  $\kappa$  ( $\kappa$ ): fator de atraso incremental; para semáforo de tempos fixos:  $\kappa = 0,50$

para semáforos atuados:  $\kappa = \kappa_{\min} + (1 - 2 \cdot \kappa_{\min}) \cdot (Q/C_a - 0,50) \leq 0,50$  com  $C_a = \frac{g_a}{t_c} \cdot S$ ,  $g_a = G_{\max} + I - \ell$

$\kappa_{\min} = -0,375 + 0,354 \cdot UE - 0,0910 \cdot UE^2 + 0,00889 \cdot UE^3 \geq 0,04$ ; UE(PT): extensão de verde (s)

- I (I): fator de ajustamento por regulação à montante,  $I = 1,0$  para semáforos isolados ou

$I = 1,0 - 0,91 \cdot X_u^{2,68}$ , função de  $X_u$  do semáforo à montante (Tabela 16-13, do HCM/2000)

-  $d_3$  é o efeito (determinístico, regular) da fila inicial no período (ou sub-período anterior)

em T com  $n_0 > 0$ : se  $X = \frac{Q}{C} \geq 1$ ,  $t_s = T$  (período com fila),  $d_3 = \frac{n_0}{C}$  e  $n_T = n_0 + (X_T - 1) \cdot \bar{C} \cdot T > 0$

se  $X = \frac{Q}{C} < 1$ ,  $t_s = \min\left\{\frac{n_0}{C - Q}; T\right\}$ ,  $d_3 = \frac{n_0 + n_T}{2 \cdot C} \cdot \frac{t_s}{T}$  e  $n_T = \max\{n_0 + (X_T - 1) \cdot \bar{C} \cdot T; 0\}$

**Efeito dos Pelotões no Atraso Regular no HCM/6thEd (2016):**

$$d_1 = PF \cdot \frac{(1-u)^2}{2 \cdot (1-u \cdot X_q)} \cdot t_c, \text{ com } X_q \leq 1 \left( d_1 = \frac{r}{2} \cdot \left( 1 + \frac{u}{1-u} \cdot (1-R_p) \right) \text{ para } X \geq 1 \right), u = \frac{g_{ef}}{t_c}, R_p = \frac{P_g}{u}$$

$$PF = \frac{1-P_g}{1-u} \cdot \frac{1-y_q}{1-X_q \cdot P_g} \cdot \left( 1 + y_q \cdot \frac{1-P_g/u}{1-u} \right), y_q = \frac{q}{S}, P_g = \frac{\bar{q}_g \cdot g_{ef}}{\bar{q} \cdot t_c} = R_p \cdot u \text{ dado } R_p, \text{ Tabela 19-13,14}$$

(ou construir QAP na análise suplementar com modelo de fluxo  $q_g, q_r \dots$  ver adiante)

opção: efeito dos pelotões (integrado com a análise de corredores arteriais)

. recomenda determinar a proporção de chegadas no verde  $P_g$  por simulação (construir perfis cíclicos de tráfego baseados no modelo de Robertson, com

$$\delta_t = 1s, t_{\min} = \bar{t}_R - \frac{1}{F} + 1,25, F = \frac{1}{1 + 0,138 \cdot \bar{t}_R + 0,315 / \delta_t} \text{ e } q_i^B = F \cdot q_{i-t_{\min}}^A + (1-F) \cdot q_{i-1}^A;$$

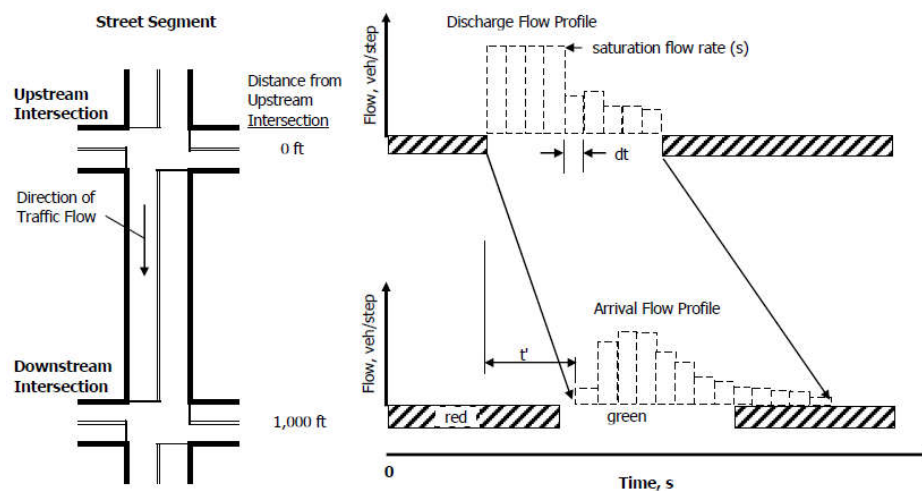
$q_i^A, q_i^B$  : fluxo de entrada e chegada final no link AB;

. a proporção de chegadas no verde é  $P_g = \frac{N_g}{N_c}$ , onde

$$N_g = \sum_{i \in g} q_i^B : \text{ é o total de chegadas no verde}$$

$$N_c = \sum_i q_i^B : \text{ é o total de chegadas no ciclo}$$

. a razão de pelotão é  $R_p = \frac{P_g}{u}$ , onde  $u = \frac{g_{ef}}{t_c}$  ) é a taxa de verde efetivo



(naturalmente pode ser obtido em campo, para interseções existentes).

**Fila média/máxima no HCM/6thEd (2016):**

não é analisada de forma consistente:  $n_b = n_{b1} + n_{b2} + n_{b3}$  (total, por faixa)

$$R_b = n_b \cdot \bar{\ell}_v / L_a, \quad \bar{\ell}_v = p_{vl} \cdot \ell_{vl} + p_{vp} \cdot \ell_{vp}, \quad \ell_{vl} = 7,6\text{m}(25\text{ft}), \quad \ell_{vp} = 13,7\text{m}(45\text{ft}) \text{ (leves/pesados)}$$

$L_a$ : extensão disponível no segmento (da entrada do segmento à linha de retenção)

$$\cdot n_{b1} = q_r \cdot r + q_g \cdot (t_s - \delta_{ba}), \quad t_s = \frac{q_r \cdot r - q_g \cdot \delta_{ba}}{S - q_g} \text{ (com } q_g = \frac{P_g}{u} \cdot q, q_r = \frac{1 - P_g}{1 - u} \cdot q, P_g = R_p \cdot u, q \leq C)$$

ou  $n_{b1} = \max\{n_i\}$  do ADP="Polígono de Chegadas e Partidas" regular (ver adiante);

$\cdot n_{b2}$ : sobre-fila;  $n_{b2} = \bar{n}_2 = \bar{C} \cdot d_2$  (suposta constante no período; inconsistente se  $Q > C$ )

$\cdot n_{b3}$ : da fila inicial;  $n_{b3} = n_0$  se  $X = \frac{Q}{C} \geq 1$ ;  $n_{b3} = \frac{n_0 + n_T}{2}$  se  $X = \frac{Q}{C} < 1$  (inconsistente ...)

**Aleatoriedade da Fila no HCM/6thEd (2016):**

$$\text{percentil } p: n_{bp} = (n_{b1} + n_{b2}) f_{bp} + n_{b3}; \quad \begin{matrix} p = & 85\% & 90\% & 95\% \\ z_p = & 1,04 & 1,28 & 1,64 \end{matrix}, \quad p = \alpha \text{ (unicaudal)}$$

$$\text{se } X = \frac{Q}{C} \geq 1, \quad f_{bp} = \min \left\{ 1,8; 1 + z_p \sqrt{\frac{I}{(n_{b1} + n_{b2})}} + 0,60 \cdot z_p^{0,24} \cdot \left( \frac{g}{t_c} \right)^{0,33} \cdot (1 - e^{-2 \cdot 2 \cdot X}) \right\}$$

$$\text{se } X = \frac{Q}{C} < 1, \quad f_{bp} = \min \left\{ 1,8; 1 + z_p \sqrt{\frac{I}{(n_{b1} + n_{b2})}} \right\}, \quad I: \text{ajustamento da regulação à montante}$$

$$R_{bp} = n_{bp} \cdot \bar{\ell}_v / L_a \text{ (probabilidade de bloqueio no segmento, se } R_{bp} > 1)$$

**Alternativa do HCM/2000:** simplificação que dispensa a construção QAP/ADP ...

$$d_a = d_r + d_s \text{ com } d_r = PF \cdot d_1 \text{ e } d_1 = \frac{(1-u)^2}{2 \cdot (1-u \cdot X_q)} \cdot t_c, \text{ com } X_q \leq 1 \text{ (0,5.r para } X \geq 1, \text{ pois } X_q = 1)$$

$$PF = \frac{(1-P_g) \cdot f_p}{1-u}, P_g = \frac{q_g \cdot g}{\bar{q} \cdot t_c}, R_p = \frac{P_g}{u} \text{ medidos (para } f_p, \text{ TABELA 16-12, do HCM2000)}$$

(na ausência de dados, adotar AT=4 para fluxos diretos e AT=3 para conversões ou estimar  $P_g$  através de  $R_p$ , ponderando pelos volumes de tráfego se preciso)

$$\text{fila média: } n_a = n_r + n_s, n_r = PF' \cdot n_1 \text{ e } d_1 = \frac{q_m \cdot (1-u)^2}{2 \cdot (1-u \cdot X_q)} \cdot t_c, \text{ com } X_q \leq 1 \text{ (0,5.C.r para } X \geq 1)$$

$$PF' = \frac{(1-P_g) \cdot (1-y)}{(1-u)(1-R_p \cdot y)}, P_g = \frac{q_g \cdot g}{\bar{q} \cdot t_c}, R_p = \frac{P_g}{u}, \text{ medidos (ou } P_g = R_p \cdot u), q_m = \frac{q + n_0 / T_p}{m}$$

$$n_s = n'_2 \text{ com } n'_2 = 900 \cdot c_m \cdot T_p \cdot \left[ (x_m - 1) + \sqrt{(x_m - 1)^2 + \frac{8 \cdot \kappa \cdot x_m}{c_m \cdot T} + \frac{16 \cdot \kappa \cdot n_{om}}{(c_m \cdot T)^2}} \right], \text{ onde}$$

$$x_m = \frac{q_m}{c_m}, n_{om} = \frac{n_0}{m}, \kappa = 0,12 \cdot I \cdot \left( \frac{s_m \cdot g}{3600} \right)^{0,7} \text{ em tempo fixo, } \kappa = 0,10 \cdot I \cdot \left( \frac{s_m \cdot g}{3600} \right)^{0,6} \text{ atuado}$$

$$\text{efeito da fila inicial em } q_m = \frac{q + n_0 / T_p}{m}, \text{ em } n_1 \text{ (inconsistente) e em } n_2 \text{ (consistente)}$$

**Tabela 19-13,14. Relação entre Tipo de Chegada e Razão de Pelotão (R<sub>p</sub>)- HCM/6thEd (2016)**

Tipo de Chegada	Valor Padrão, R <sub>p</sub>	Qualidade de Progressão	Condições Prováveis
1	0,333	Muito pobre	Coordenação desfavorável; espaçamento entre semáforos ≤ 488m (1600ft)
2	0,667	Desfavorável	Intermediário entre 1 e 3
*3	1,000	Chegada aleatória	Semáforos Isolados; espaçamento entre semáforos > 975m (3200ft)
4	1,333	Favorável	Coordenação favorável em vias de mão dupla; espaçamento entre semáforos 488-975m (1600-3200ft)
5	1,667	Muito favorável	Coordenação favorável em vias de mão dupla; espaçamento entre semáforos ≤ 488m (1600ft)
6	2,000	Excepcional	Coordenação favorável em via de mão única, redes densas e áreas centrais; espaçamento entre semáforos ≤ 244m (800ft)

Obs.: A relação entre a razão de pelotão e a porcentagem do fluxo que chega no verde é  $R_p = P_g / u$  onde  $u$  é a taxa de verde.

**TABELA 19-16. Valores Básicos para Manobras de Estacionamento - HCM/6thEd (2016)**

Tipo de Via	Valores Básicos para			
	No.vagas de Estacionamento em 75m (250ft)	Tempo Limite para Estacionamento (h)	Taxa de Rotatividade (manobras/vaga/h)	Fluxo de Estacionamento (manobras/hora)*
Sentido duplo	10	1	1,00	16
		2	0,50	8
Sentido único	20	1	1,00	32
		2	0,50	16

\* Obs.: Assumindo 7,5m (25ft) por vaga e ocupação média das vagas de 80%.

**TABELA 16-12. Fator de Ajustamento (PF) para Atraso Uniforme (d<sub>1</sub>)- HCM/2000**

Fator de Ajustamento de Progressão (PF)						
PF=(1-P) f <sub>p</sub> / (1-u), u=g/t <sub>c</sub> (ver observação)						
Taxa de Verde (g/t <sub>c</sub> )	Tipo de Chegada (AT)					
	AT-1	AT-2	AT-3	AT-4	AT-5	AT-6
0,20	1,167	1,007	1,000	1,000***	0,833	0,750
0,30	1,286	1,063	1,000	0,986	0,714	0,571
0,40	1,445	1,136	1,000	0,895	0,555	0,333
0,50	1,667	1,240	1,000	0,767	0,333	0,000
0,60	2,001	1,395	1,000	0,576	0,000	0,000
0,70	2,556	1,653	1,000	0,256	0,000	0,000
f <sub>p</sub>	1,000	0,930	1,000	1,150	1,000	1,000
R <sub>p</sub>	0,333	0,667	1,000	1,333	1,667	2,000
Progressão	muito ruim	ruim	chegada aleatória	boa	muito boa	excepcional

Obs: \* Tabulação é baseada em valores de atraso de f<sub>p</sub> e R<sub>p</sub>. \*\*P= R<sub>p</sub>. u (não deve exceder 1.0). \*\*\* PF não deve exceder 1.0 para AT-3 até AT-6.

**TABELA 16-13. Fator de Atraso Incremental (k) por Tipo de Controlador (d<sub>2</sub>)- HCM/2000**

Extensão de Verde (UE, seg.)	Grau de Saturação (X)					
	≤ 0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	≥ 1,0
≤ 2,0	0,04	0,13	0,22	0,32	0,41	0,50
2,5	0,08	0,16	0,25	0,33	0,42	0,50
3,0	0,11	0,19	0,27	0,34	0,42	0,50
3,5	0,13	0,20	0,28	0,35	0,43	0,50
4,0	0,15	0,22	0,29	0,36	0,43	0,50
4,5	0,19	0,25	0,31	0,38	0,44	0,50
5,0*	0,23	0,28	0,34	0,39	0,45	0,50
Tempos Fixos	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Obs: Para um dado UE e seu valor k<sub>min</sub> em X=0,5, a fórmula para k é (1-2.k<sub>min</sub>).(X-0,50)+k<sub>min</sub>, com k<sub>min</sub> ≤ k ≤ 0,5.

\* para EU > 5,0 seg, extrapolar o valor de k mantendo k ≤ 0,5

**Tabela 19-11,12. Dados Requeridos para Interseções SemafORIZADAS – HCM/6thEd (2016)**

Símbolo	Referência	Definição
<b>Tráfego</b>		
Q (V)	Movimento	Demanda de tráfego, por movimento, em v/h
	Aproximação	Fluxo de Conversões à Direita no Vermelho, em v/h
%VP (%HV)	G.Movimento	Porcentagem de veículos pesados
FHP (PHF)	Interseção	Fator de hora-pico da interseção
R <sub>p</sub>	G.Movimento	Razão de Pelotão (=Pg/u)
I	G.Movimento	Fator de Ajustamento para Filtragem à Montante
n <sub>0</sub> (Q <sub>b</sub> )	G.Movimento	Fila Inicial
S <sub>b</sub> (s <sub>0</sub> )	G.Movimento	Fluxo de saturação básico (ideal), em veq/hv.fx
f <sub>u</sub>	G.Movimento	Fator de Ajustamento para Utilização das Faixas
Q <sub>ped</sub> (V <sub>ped</sub> )	Aproximação	Fluxo de pedestres, em ped/h
Q <sub>bic</sub> (V <sub>bike</sub> )	Aproximação	Fluxo de bicicletas, em bic/h
N <sub>m</sub>	G.Movimento	Número de movimentos de estacionamento na área da interseção, em manobras/h (*)
N <sub>b</sub>	Aproximação	Número de paradas de ônibus na área da interseção, em manobras/h (*)
d <sub>0</sub>	Movimento	Atraso para movimentos não semaforizados, em seg.
<b>Geometria</b>		
N	G.Movimento	Número de faixas
L (W)	G.Movimento	Largura média das faixas, em metros
	Aproximação	Número de faixas de saída
L <sub>s</sub>	G.Movimento	Extensão de armazenamento na baía de conversão à direita ou esquerda, em metros
	G.Movimento	Existência de estacionamento na via
%i (%G)	Aproximação	Declividade, em porcentagem (+ é aclive, - é declive)
<b>Semáforo</b>		
	Interseção	Tipo de operação do semáforo (P/A, programado a tempos fixos ou atuado pelo tráfego)
	Interseção	Sequência de Fases Semafóricas (Estágios Semafóricos)
	Aproximação	Tipo de Operação da Conversão à Esquerda (Lead, Lag, Opposed, Split) e opção Dallas
IC (PT)	Fase Semafórica	Intervalo de Corte (Passage Time), em seg., se atuado
g (G)	Fase Semafórica	Tempo de verde, em seg., programado se tempo fixo, mínimo/máximo, se atuado
I <sub>a</sub> (Y)	Fase Semafórica	Tempo de entreverdes em amarelo, em seg.
I <sub>v</sub> (R)	Fase Semafórica	Tempo de entreverdes em vermelho de segurança, em seg.
g <sub>edx</sub> (G <sub>edx</sub> )	Fase Semafórica	Tempo de verde para pedestres, seg (Walk)
I <sub>eisc</sub> (F)	Fase Semafórica	Tempo de limpeza (piscante) para pedestres, seg (Flashing Don't Walk)
	Fase Semafórica	Opções de atuação (phase recall, dual entry, simultaneous gap-out)
t <sub>c</sub> (C)	Interseção	Tempo de ciclo da operação do semáforo, em seg. se tempo fixo ou coordenado-atuado
	Fase Semafórica	Repartição da Fase Semafórica, se coordenado-atuado
	Interseção	Defasagem (Offset), s, se coordenado
	Interseção	Ponto de Referência da Defasagem (Offset), se coordenado
	Interseção	Modo Forçado, se coordenado-atuado
	G.Movimento	Dimensões dos detectores, em m, e modo de detecção, se atuado
<b>Outros</b>		
CBD, Outro	Interseção	Tipo de Área
T <sub>p</sub> (T)	Interseção	Duração do período de análise, em h
	G.Movimento	Modo de detecção (pulso/presença) e Extensão do detector de linha de retenção
V <sub>L</sub> (S <sub>L</sub> )	Aproximação	Velocidade Limite, km/h (mph)

$$S = \tilde{S}_b \cdot N \cdot f_L \cdot f_{VP} \cdot f_{est} \cdot f_{bus} \cdot f_{loc} \cdot f_u \cdot f_{cd} \cdot f_{ce} \cdot f_{pd} \cdot f_{pe} \cdot f_{BI} \cdot f_{Bg}, \text{ onde}$$

$S_b (s_0)$	fluxo básico de saturação, usualmente 1900 veq/hv.fx
$f_L (f_w)$	fator de correção devido à largura (Tabela 18-13)
$f_{VP} (f_{HVg})$	fator de correção devido aos veículos pesados em rampas ( $e_{VP}=2,0$ )
$f_i (f_g)$	(eliminado; efeito combinado com o fator de veículos pesados)
$f_{est} (f_p)$	fator de correção devido às manobras de estacionamento (18seg/manobra)
$f_{bus} (f_{bb})$	fator de correção devido às paradas de ônibus (14,4seg/parada)
$f_{loc} (f_a)$	fator de correção devido ao tipo de local (1,0; ou 0,90 em CBD:)
$f_u (f_{LU})$	fator de correção devido à diferença de utilização das faixas ( $f_u = (q/N)/q_{Lmax}$ )
$f_{cd} (f_{RT})$	fator de correção devido às conversões à direita ( $e_D=1,18$ ou análise suplementar)
$f_{ce} (f_{LT})$	fator de correção devido às conversões à esquerda ( $e_E=1,05$ ou análise suplementar)
$f_{pd} (f_{Rpb})$	fator de correção devido a pedestres e bicicletas na conversão à direita (suplementar)
$f_{pe} (f_{Lpb})$	fator de correção devido a pedestres na conversão à esquerda (suplementar)
$f_{BI} (f_{ms})$	fator de correção devido a bloqueio de faixa local
$f_{Bg} (f_{ss})$	fator de correção devido a saturação global (sustained spillback)

\* Há um fator adicional quando há presença de obras na aproximação semaforizada,  $f_{wz} (f_{wz})$  até 75m (250ft) da linha de retenção.

FIGURA 19-1. Numeração dos Movimentos em Interseção Semaforizada- HCM/6thEd (2016)

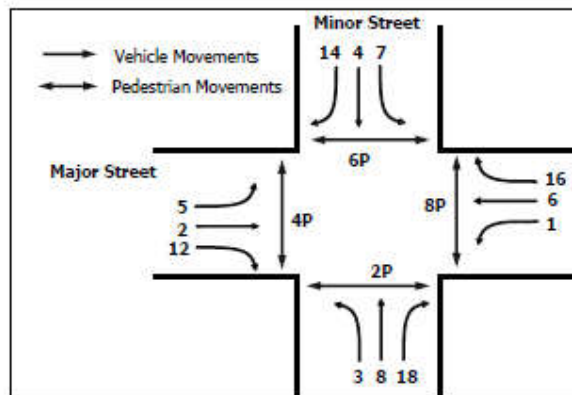


FIGURA 19-19. Definição dos Grupos de Faixas em Interseção Semaforizada- HCM/6thEd (2016)

Number of Lanes	Movements by Lanes	Movement Groups (MG)	Lane Groups (LG)
1	Left, thru., & right:	MG 1:	LG 1:
2	Exclusive left: Thru. & right:	MG 1: MG 2:	LG 1: LG 2:
2	Left & thru.: Thru. & right:	MG 1: MG 2:	LG 1: LG 2:
3	Exclusive left: Exclusive left: Through: Thru. & right:	MG 1: MG 2:	LG 1: LG 2: LG 3:



**Sumário - Fator de Ajustamento para Fluxo de Saturação - HCM/6thEd (2016)**

Fator	Fórmula	Variáveis	Observações
Largura de Faixa Média $f_L$ ( $f_w$ ), revisado	$f_L = 0,96$ $L \geq 2,4m$ , $L < 3,0m$ (8-<10ft) $f_L = 1,00$ $L \geq 3,0m$ , $L \leq 3,9m$ (10-12,9t) $f_L = 1,04$ $L > 3,9m$ (>12,9ft)	L: largura da faixa, em metros	se $L > 4,8m$ , a análise com 2 faixas pode ser considerada.
Veículos Pesados e Rampas $f_{VP}$ ( $f_{HVg}$ )	declive: $f_{VP} = \frac{100 - 0,79 \cdot \%VP - 2,07 \cdot \%i}{100}$ active/ nível: $f_{VP} = \frac{100 - 0,78 \cdot \%VP - 0,31 \cdot \%i^2}{100}$	%VP: porcentagem de veículos pesados %i: porcentagem de active (negativo para declive)	$0 \leq \%VP \leq 100$ , onde $e_{VP} = 2,0$ autos por veículos pesados, calibrado com $\%VP \leq +50\%$ e com $-4 \leq \%i \leq +10$ .
Manobras de Estacionamento $f_{est}$ ( $f_p$ )	$f_{est} = \frac{N - 0,1 - 18 \cdot N_p / 3600}{N}$	N: no.de faixas $N_m$ : manobras/hora de estacionamento até 75m (250ft) da linha de retenção	$0 \leq N_m \leq 180$ $0,050 \leq f_{est}$ (ver Tabela 19-16)
Manobras de Obstrução de Ônibus $f_{bus}$ ( $f_{bb}$ )	$f_{bus} = \frac{N - 14,4 \cdot N_p / 3600}{N}$	N: no.de faixas $N_p$ : manobras/hora de ônibus (parada) até 75m (250ft) da linha de retenção	$0 \leq N_p \leq 250$ $0,050 \leq f_{bus}$
Tipo de Área $f_{loc}$ ( $f_a$ )	0,900 para CBD (centro) 1,000 para outras áreas		
Utilização de Faixa $f_u$ ( $f_{L,U}$ )	$f_u = \frac{q_i}{q_{fi} \cdot N}$	$q_i$ : fluxo total, sem ajuste, nas faixas $q_{fi}$ : fluxo, sem ajuste, na faixa com maior volume N: no.de faixas	Ver Tabela 19-15
Conversões à Esquerda $f_{ce}$ ( $f_{LT}$ )	para estágios protegidos $e_{ce} = 1,05$ (ou $e_{ce} = 1 + 1,71/R_{cd}[m]$ ) para faixas exclusivas: $f_{ce} = 1/e_{ce}$ $f_{ce} = \frac{1}{1 + 0,05 \cdot P_{ce}}$ com faixa compartilhada	$P_{ce}$ : proporção de conversões à esquerda	análise suplementar para conversões permitidas; não discute claramente operação protegida/permitida (critérios do HCM-2000 são aplicáveis)
Conversões à Direita $f_{cd}$ ( $f_{RT}$ )	$e_{cd} = 1,18$ (ou $e_{cd} = 1 + 1,71/R_{cd}[m]$ ) para faixas exclusivas: $f_{cd} = 1/e_{cd}$ $f_{cd} = \frac{1}{1 + 0,18 \cdot P_{cd}}$ com faixa compartilhada	$P_{cd}$ : proporção de conversões à direita	análise suplementar para conversões permitidas; não discute claramente operação protegida/permitida (critérios do HCM-2000 são aplicáveis)
Bloqueio por Pedestres e Ciclistas	para conversão à esquerda em faixa exclusiva: $f_{pe} = A_{pbe}$ compartilhada: $e_{em} = 1 + P_{ce} \cdot (e_{ce}/f_{pe} - 1)$ HCM-2000: $f_{pe} = 1 - P_{ce} \cdot (1 - A_{pbe}) \cdot (1 - P_{ceA})$ para conversão à direita em faixa exclusiva: $f_{pd} = A_{pbd}$ compartilhada: $e_{em} = 1 + P_{ce} \cdot (e_{ce}/f_{pe} - 1)$ HCM-2000: $f_{pd} = 1 - P_{cd} \cdot (1 - A_{pbd}) \cdot (1 - P_{cdA})$	$P_{ce}, P_{cd}$ : proporção de conversões à esquerda e à direita $A_{pbe}, A_{pbd}$ : bloqueio de pedestre em conversões à esquerda e à direita $P_{ceA}, P_{cdA}$ : proporção de conversões à esquerda e à direita protegidas	$A_{pb} = f$ (ocupância nas faixas dos pedestres, número de faixas de saída e entrada das conversões veiculares); não discute claramente operação protegida/permitida (critérios do HCM-2000 são aplicáveis)
Bloqueio de faixa local $f_{BI}$ ( $f_{ms}$ )	$f_{BI} = C_{ms}/C_{in} \leq 1$ (em princípio, ajusta todos os fluxos de saturação contribuintes ...)	$C_{ms}$ : capacidade adiante (meio de quadra) $C_{in}$ : capacidade contribuinte	análise suplementar (Cap.30): estimativa inversa: efeito da capacidade reduzida adiante.
Saturação global $f_{Bg}$ ( $f_{ss}$ )	$f_{Bg} = C_{out}/C_{in} \leq 1$ (considera saturação dos fluxos diretos nos semáforos adiante ...)	$C_{out}$ : capacidade adiante quando a fila transborda $C_{in}$ : capacidade contribuinte	análise suplementar (Cap.29): estimativa inversa: efeito da capacidade reduzida adiante.

\* Há um fator adicional,  $f_{wz}$  ( $f_{wz}$ ), quando houver obras na aproximação semaforizada, até 75m (250ft) da linha de retenção; neste caso, tem-se  $f_{wz} = 0,858 \cdot f_{wzL} \cdot f_{wzN}$ , onde  $f_{wzL} = 1/(1 - 0,0057 \cdot (La_{wz} - 12ft)) = 1/(1 - 0,0187 \cdot (La_{wz} - 3,6m))$ , para largura média de faixa  $La_{wz}$  com obras na via, e  $f_{wzN} = 1/(1 + 0,0402 \cdot (N_o - N_{wz}))$  para trecho com redução no número de faixas de  $N_o$  para  $N_{wz}$  em obras viárias.

**TABELA 19-15. Valores Padrão de Fatores de Utilização de Faixa- HCM/6thEd (2016)**

Movimento de Grupo de Faixas	Porcentagem de tráfego na faixa para com uso mais intenso		Fator de utilização $f_u$ ( $f_{L,U}$ )
	Número de faixas no grupo de faixa		
Direto ou compartilhada	1	100,0	1,000
	2	52,5	0,952
	3*	36,7	0,908
Conversão à esquerda (LT) exclusiva	1	100,0	1,000
	2*	51,5	0,971
Conversão à direita (RT) exclusiva	1	100,0	1,000
	2*	56,5	0,885

\* Se o grupo de faixas tem mais faixas que o número de faixas mostrado na tabela, é recomendável que uma pesquisa seja feita ou que o maior fator de utilização  $f_u$  ( $f_{L,U}$ ) seja usado para o tipo de grupo de faixa.

**Análise Suplementar do bloqueio de pedestres e ciclistas (revisado)-HCM/6thEd (2016)**

- preferência sobre conversão (exceto em estágios com conversão protegido) ... do HCM/2010

- pode ser ignorado ( $f=1$ ) quando não há pedestres e ciclistas conflitantes e quando a conversão à direita é protegida ou a conversão à esquerda é protegida se mão-dupla ...

- ocupância das faixas de tráfego pelos pedestres em travessia:

$$O_{pg} = \begin{cases} q_{pg}/2000, & \text{para } q_p \leq 1000 \text{ ped/h} \\ 0,4 + q_{pg}/10000, & \text{para } q_p > 1000 \text{ ped/h} \end{cases}, \quad O_p \leq 0,9$$

onde  $q_{pg} = \frac{q_{ped}}{u_{pef}} \leq 5000 \text{ ped/h}$  é o fluxo de pedestres no verde com  $u_{pef} = \frac{g_{pef}}{t}$

sendo o tempo efetivo de verde do pedestre  $g_{pef} = g$  ou  $\min\{g, g_{ped} + I_{pisc}\}$

- ocupância das faixas de tráfego pelos ciclistas na interseção:

$$O_{bg} = 0,02 + \frac{q_{bg}}{2700} \quad \text{onde } q_{bg} = \frac{q_{bic}}{u_{pef}} \leq 1900 \text{ bic/h}$$

- ocupância combinada nas zonas de conflito com pedestres e ciclistas:

para conversões à direita (e esquerda se mão-única) sem ciclistas:  $O_C = \frac{g_{ped}}{g} \cdot O_{pg}$

senão (existindo também ciclistas):  $O_C = \frac{g_{ped}}{g} \cdot O_{pg} + O_{bg} - \frac{g_{ped}}{g} \cdot O_{pg} \cdot O_{bg}$

para conversões à esquerda (mão-dupla) permitida e protegida-permitida:

$$O_C = \begin{cases} 0, & \text{se } g_{pef} \leq g_{s0} \\ \frac{g_{ped} - g_s}{g - g_s} \cdot O_u \cdot e^{-5 \cdot q_0 / 3600}, & \text{c.c.} \end{cases} \quad \text{com } O_u = O_p \left( 1 - 0,5 \cdot \frac{g_s}{g_{ped}} \right) \quad \text{se } g_s < g_{ped} \quad (\text{senão } O_u = 0)$$

sendo  $g_s = G_s - t \leq g_{ef}$ ,  $G_s = \frac{q_0 \cdot r}{S_0 - q_0}$  correspondente à dissipação da fila do fluxo oposto

- efeito de bloqueio no estágio com conversões permitidas (preferência dos pedestres)

se  $N_{saida} = N_{entrada}$  (faixas de saída e entrada das conversões):  $A_C = 1 - O_C$

se  $N_{saida} > N_{entrada}$  (veículos contornam os pedestres):  $A_C = 1 - 0,6 \cdot O_C$

- fator de correção (conjunto com estágio protegido para as conversões, se houver):

conv.direita: exclusiva  $f_{pbD} = A_{cD}$ ; compartilhada equivalente ajustado  $e_{Db} = \frac{e_D}{f_{pbD}}$

conv.esquerda: exclusiva  $f_{pbE} = A_{cE}$ ; compartilhada equivalente ajustado:  $e_{Eb} = \frac{e_E}{f_{pbE}}$

. efeito das mudanças de faixa:  $e_{Dm} = 1 + P_{lc} \cdot \left( \frac{e_D}{f_{pbD}} - 1 \right)$  e  $e_{Em} = 1 + P_{lc} \cdot \left( \frac{e_E}{f_{pbE}} - 1 \right)$

$P_{lc}$  é a probabilidade de mudança de faixa (avaliado com o modelo de Bonneson)

**Análise Suplementar para Conversão à Esquerda (revisado) -HCM/6thEd (2016)**

tempo perdido na dissipação da fila do fluxo oposto:  $g_s = G_s - \ell \leq g_{ef}$  e  $g_u = g - g_s$

onde  $G_s = \frac{q_{mf0} \cdot P_{r0} \cdot t_c}{S_{m0} - q_{mf0} \cdot \frac{P_{g0}}{u_0}}$  ou  $G_s = 4,943 \cdot (q_{m0})^{0,762} \cdot (P_{r0} \cdot t_c)^{1,061}$  para faixa simples

com  $q_{m0} = \frac{q_0}{N_0}$ ,  $q_{mf0} = \frac{q_{m0}}{f_u}$ ,  $S_{m0} = \frac{S_0}{N_0} \cong 0,5v/s$  e  $P_{g0} = 1 - P_{r0}$  ( $P_{g0} = R_p \cdot u$ )

tempo com fluxo direto (sem bloqueio pela conversão):  $g_f = G_f - \ell \leq g_s$  e  $g_n = g_s - g_f$

com  $G_f = g \cdot e^{-0,882 \cdot N_{CE}^{0,717}}$  ou  $G_f = g \cdot e^{-0,860 \cdot N_{CE}^{0,629}}$  para pista simples ( $N_{CE} = p_E \cdot Q \cdot t_c$ )

sujeito a  $g_{f,m\acute{a}x} = \frac{\bar{n}_f}{s_f} - \ell_p$  com  $\bar{n}_f = \frac{1 - P_L}{P_L} \cdot \left( 1 - (1 - P_L)^{n_{m\acute{a}x}} \right)$  e  $n_{m\acute{a}x} = S_m \cdot g_p = 0,5 \cdot g_p$  (s)

conversão à esquerda no verde útil:  $C_{Eu} = \frac{e^{-q_{mo} \cdot \alpha_o}}{1 - e^{-q_{mo} \cdot \beta_{2o}}} \cdot q_{mo}$  com fluxo oposto  $q_{mo}$  e  $\bar{n}_u = C_{Eu} \cdot g_u$

$e_{CEu} = E_{L1} vt / vu$  com  $E_{L1} \cong \frac{\tilde{S}_T}{C_{Eu}}$ ;  $\alpha_o(t_{co}) = 4,5s$  e  $\beta_o(t_{fo}) = 2,5ou4,5s$  (exclusivo ou não)

conversão à esquerda com movimento oposto bloqueado em via de faixa simples:  $n_m = \bar{n}_d$

$e_{CEb} = E_{L2} vt / vb$  onde  $E_{L2} = \frac{1 - (1 - p_{L0})^m}{p_{L0}}$ ,  $m = S_m \cdot (g_s - g_f)$ ,  $S_m = 0,5v/s$  e  $\bar{n}_d = \dots$

períodos de operação na faixa lateral esquerda: no verde efetivo  $g = G - \ell$  ( $G$  de foco)!

1: opera  $q_T$  com  $s_T$  durante  $g_f = G_f - \ell \leq g_s$  ( $g_f = 0$  em faixas exclusivas)

2: movimento direto oposto bloqueado  $g_n = g_s - g_f$  (0 se  $G_s < G_f$ ) com  $E_{L2}$

3: operam ambos os movimentos  $g_u = g - g_s$  ( $g - g_f$  se  $G_s > G_f$ ) com  $E_{L1}$

$\therefore f_L = \frac{g_f}{g} + \frac{g_u}{g} \cdot f_{CE}^1 + \frac{g_n}{g} \cdot f_{CE}^2$ , onde  $f_{CE} = \frac{1}{1 + p_L \cdot (e_{CE} - 1)}$  com  $E_{L1m}$  ou  $E_{L2m}$

onde  $f_L$  é o fator de aproveitamento da faixa esquerda da aproximação !

( $E_{L1m}$  e  $E_{L2m}$  incorporam os efeitos adicionais de bloqueio e mudança de faixa)

conversões no final do verde:  $n_{CE} > n_{min} = n_f$ ,  $n_f \cong 1 + p_L \Rightarrow f_L \geq \frac{(1 + p_L)}{g}$

no fluxo oposto: assume-se  $\frac{S_0}{N_0} \cong 1800 v / hv = 0,5 v / sv$  (para evitar cálculo recíproco)

mas deve obter repartição dos fluxos de equilíbrio entre faixas no sentido analisado ...

adota o mesmo procedimento recomendado pelo HCM/2010 ...

não discute claramente protegido/permitido ou permitido/protegido (antes ou depois),

critério proposto no HCM-2000: adotar  $X_{antes} = 100\%$ ,  $X_{depois}$  residual

**Análise Geral da Repartição do Tráfego entre Faixas-HCM/6thEd (2016)**

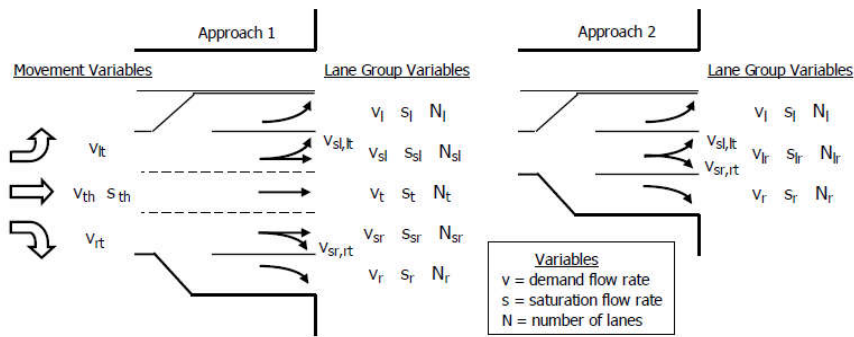
- generalização do método tradicional introduzido no HCM1985 ... mesmo do HCM/2010

- equilíbrio pelo critério de tempo de ocupação das faixas: com fila  $\Omega = t_s = q \cdot h_s = \frac{Q}{S} = y$  !

em cada faixa:  $\sum_m \frac{Q_{mi}}{S_{mi}} = \frac{Q_i}{S_i} \Rightarrow S_i = \frac{Q_i}{\sum_m \frac{Q_{mi}}{S_{mi}}}$ , global:  $\sum_m \frac{Q_{mi}}{S_{mi}} = \frac{Q_i}{S_i} = \frac{\sum_i Q_i}{\sum_i S_i} = \bar{y}_s$  igual !

revisão: incorporação do modelo de mudança de faixas de Bonneson  $E_m = 1 + P_{lc}(E_b - 1)$

$P_{lc} = 1 - \left( 2 \cdot \frac{q_\ell}{S_{lc}} - 1 \right)^2$ , onde  $S_{lc} = \frac{1}{t_{lc}}$  com  $t_{lc} = 3,7s$  e  $q_\ell$  é o fluxo na faixa lateral



**faixas compartilhadas**

- **direto e à direita:**

$N_{sD}(N_{sr})$

- **à direita e esquerda:**

$N_{DE}(N_r)$

- **direto e à esquerda:**

$N_{sE}(N_{sl})$

$q_\ell$  : fluxo na faixa lateral (admitido como o fluxo médio das faixas compartilhadas)

- processo iterativo:  $Q_{mi}$  de equilíbrio  $Q_i = \sum_m Q_{mi} = \bar{y}_s \cdot S_i$  nas faixas compartilhadas

. inicialmente, pode-se assumir fluxos de conversões nas faixas exclusivas ...

. ao final de cada iteração, solução anterior  $Q_{mi}$  é atualizada com  $Q_i = \bar{y}_s \cdot S_i$  ...

.. alocar os fluxos de conversão para  $Q_{mi}$  até  $Q_i$  nas faixas exclusivas ...

.. alocar fluxos de conversão residuais nas faixas compartilhadas ...

.. identificar fluxos diretos em faixas compartilhadas e faixas exclusivas ...

.. atualizar fluxos de saturação por manobra  $S_{mi}$  e por faixa  $S_i = \frac{Q_i}{\sum_m \frac{Q_{mi}}{S_{mi}}}$  ..

(direto:  $S_{tm} = f_{tm} \cdot S_t$ ;  $f_{tm} = 0,91$  se há faixas compartilhadas; senão  $f_{tm} = 1,0$ )

(nas faixas compartilhadas,  $S_c = f_c \cdot S_t$ , onde  $f_c = \frac{1}{1 + P_D \cdot (e_{Dm} - 1) + P_E \cdot (e_{Em} - 1)}$ )

.. verificar equilíbrio:  $\bar{y}_s = \frac{\sum_i Q_i}{\sum_i S_i}$ ,  $Q_i = \bar{y}_s \cdot S_i$  (convergência em  $Q_i$  ou  $Q_{mi}$ )

. nas faixas compartilhadas, solução fornece  $P_{Di}$  (dado  $p_D$ ) e  $P_{Ei}$  (dado  $p_E$ ) ...

**Análise Geral para Construção do QAP/ADP Regular no HCM/6thEd (2016)**

- QAP: “Polígono de Acumulação de Fila” regular ( $n_i, t_i$  em um ciclo, para  $\bar{Q} \leq \bar{C}$ )

(generalização do método tradicional introduzido no HCM1985 ... mesmo do HCM/2010)

- operação dividida em estágios e sub-períodos (dissipação de filas, bloqueio de filas, ...)

iterações: ponto com  $n_i = 0$  (inicial: final do verde principal) ou reduzir Q até  $\bar{Q} \leq \bar{C}$

- sub-período i:  $n_{i+1} = n_i + (Q_i - c_{Si}) \cdot t_i \geq 0, r : c_{Si} = 0; g : c_{Si} = S_i$  (dissipação de filas  $w_i = c_{Si} - q_i$ )

se  $Q_i < c_{Si}, t_i = \min \left\{ t_{di}, t_{si} = \frac{n_i}{c_{Si} - q_i} \right\}$  ( $t_{di} - t_{si}$  com  $n_i = 0$ ), senão  $t_i = t_{di}$  (duração de i)

$Q_i$  é a taxa de chegadas:  $Q_g = \frac{P_g}{u} \cdot Q$  (verde),  $Q_r = \frac{1 - P_g}{1 - u} \cdot Q$  (vermelho),  $q = \min \{ Q, c_{Si} \}$

( $P_g = R_p \cdot u$  : razão de chegadas no verde;  $R_p$  : razão de pelotão;  $u$  : taxa de verde)

$q_i$  é a taxa de partidas ( $C_s = \bar{q}$  com fila contínua; sem fila residual  $\bar{q} = \bar{Q}$ , regular):

. para operação protegida: tempo morto inicial  $\sim 2s$ ; ganho no amarelo  $\sim 2s$  ...

(se conv.esquerda ou direita:  $S = \tilde{S}_b \cdot N \cdot f_L \cdot f_{VP} \cdot f_i \cdot f_{est} \cdot f_{bus} \cdot f_{loc} \cdot f_u \cdot (f_{ce} \cdot f_{pe}) \cdot (f_{cd} \cdot f_{pd})$ )

. para operação permitida: tempo morto inicial e ganho no amarelo da Tabela 31-16

(se conv.esquerda em fx.compartilhada, deve-se obter  $g_s, g_{so}$  e  $g_f, g_d$ ;  $g_u = g_p - g_s$ ;

em  $g_f, q_{if} = S_i$ ; em  $g_u, q_{iu} = S_i$  com  $e_c = E_{L1m}$ ; em  $g_{id}, q_{iu} = S_2$  com  $e_c = E_{L2m}$ ;

se conv.esquerda em fx.exclusiva, em  $g_u, q_{iu} = S_{pu} = s_p \cdot f_L \cdot f_{VP} \cdot f_i \cdot f_{est} \cdot f_{bus} \cdot f_{loc} \cdot f_u \cdot f_{pBE}$ ;

se conv.direita em fx.compartilhada: em  $g_p, q_{if} = S_{sr}$  com  $e_c = E_{Rm}$ ; caso adicional,

se conv.direita em fx.exclusiva: em  $g_p, q_{iu} = S_{ru} = s_o \cdot f_L \cdot f_{VP} \cdot f_i \cdot f_{est} \cdot f_{bus} \cdot f_{loc} \cdot f_u \cdot f_{pBD}$ )

. para operação protegida-permitida ou permitida-protegida, mais um sub-período com operação protegida é adicionado (fx.compartilhada ou fx.exclusiva ...)

. para fluxo direto(protegido):  $q_i = S_{tm} = \tilde{S}_b \cdot N \cdot f_L \cdot f_{VP} \cdot f_i \cdot f_{est} \cdot f_{bus} \cdot f_{loc} \cdot f_u \cdot (f_{ce} \cdot f_{pe}) \cdot (f_{cd} \cdot f_{pd}) \cdot f_{tm}$

com  $f_{tm} = 0,91$  se há faixas compartilhadas (interferências); senão  $f_{tm} = 1,0$

- ADP="Polígono de Chegadas e Partidas":  $n_{b,i+1} = n_{b,i} + Q_i \cdot t_i$  até  $n_i = 0$ ; parada parcial:  $V_i > V_s$

. ajuste para  $V = V_s$ :  $\delta_{ba} = \frac{(V_a - V_s)^2}{2 \cdot V_a} \cdot \left( \frac{1}{b} + \frac{1}{a} \right)$  com  $V_s = 8\text{km/h}$  (5mph), fila no HCM/2016

$V_a \cong 0,9 \cdot V_0, V_0 = V_{B0} + 0,47 \cdot VL$   $V_{B0} = 25,6\text{mi/h}$   $b = 4\text{ft/s}$   $a = 3,5\text{ft/s}$

$VL$ : limite de velocidade  $\cong 41\text{km/h}$   $\cong 4,4\text{km/h/s}$   $\cong 3,8\text{km/h/s}$

deslocamento do ADP de  $\pm \frac{\delta_{ba}}{2}$  para reduzir a fila n! (melhor:  $-Q \cdot \delta_{ba}$  paradas parciais)

- previsão da razão do espaço ocupado pela fila armazenada (*queue storage ratio*):

. extensão máxima (final) da fila (*back of queue*):  $n_b = n_{b1} + n_{b2} + n_{b3}, R_b = n_b \cdot \ell_v / L_a$

.  $n_{b1} = n_{fr}$  regular; se  $\delta \leq S \cdot (1 - P_g) \cdot g \cdot \frac{Q}{C}$  então  $n_{fr} = Q_r \cdot r + Q_g \cdot (t_f - \delta), t_f = \frac{Q_r \cdot r - \delta \cdot P_g / g}{S \cdot (1 - X_q \cdot P_g)}$ ;

se  $\delta > S \cdot (1 - P_g) \cdot g \cdot \frac{Q}{C}$  então  $n_{fr} = Q_r \cdot (r - \delta + t_f), t_f = \frac{Q_r \cdot r \cdot (r - \delta)}{S \cdot (r - X_q \cdot (1 - P_g) \cdot g)}$

TABELA 31-12. Ajustes do Tempo Morto Inicial e do Ganho no Amarelo- HCM/6thEd (2016)

Phase Sequence (phase numbers shown in boxes)	Displayed Unblocked Permitted Green Time $G_{U^*}$ <sup>a</sup>	Permitted Start-Up Lost Time $h_{L,P}$ (s) <sup>b</sup>	Permitted Extension Time $e_p$ (s) <sup>c</sup>				
Lead- Lead <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="border: 1px solid black;">1</td><td style="border: 1px solid black;">2</td></tr><tr><td style="border: 1px solid black;">5</td><td style="border: 1px solid black;">6</td></tr></table>	1	2	5	6	$G_{U^*} = \min[D_{P1} + D_{P2} - D_{P5} - Y_6 - R_{C5}, G_{U^*}]$ with $G_{U^*} = D_{P2} - Y_6 - R_{C5} - G_{Q2}$	$h_{L,1}^*$	$e_1$
1	2						
5	6						
<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="border: 1px solid black;">1</td><td style="border: 1px solid black;">2</td></tr><tr><td style="border: 1px solid black;">5</td><td style="border: 1px solid black;">6</td></tr></table>	1	2	5	6	$G_{U^*} = D_{P2} - Y_6 - R_{C5} - G_{Q2}$	$h_{L,1}^*$	$e_1$
1	2						
5	6						
Lead- Lag or Lead- Perm <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="border: 1px solid black;">1</td><td style="border: 1px solid black;">2</td></tr><tr><td style="border: 1px solid black;">6</td><td style="border: 1px solid black;">5</td></tr></table>	1	2	6	5	$G_{U^*} = D_{P5} - Y_6 - R_{C5} - D_{P1} - G_{Q2}$	0.0	$e_1$
1	2						
6	5						
<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="border: 1px solid black;">1</td><td style="border: 1px solid black;">2</td></tr><tr><td style="border: 1px solid black;">6</td><td style="border: 1px solid black;">5</td></tr></table>	1	2	6	5	No permitted period	Not applicable	Not applicable
1	2						
6	5						
<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="border: 1px solid black;">1</td><td style="border: 1px solid black;">2</td></tr><tr><td colspan="2" style="border: 1px solid black;">6</td></tr></table>	1	2	6		$G_{U^*} = D_{P5} - Y_6 - R_{C5} - D_{P1} - G_{Q2}$	0.0	$e_1$
1	2						
6							
Lag- Lead or Lag- Perm <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="border: 1px solid black;">2</td><td style="border: 1px solid black;">1</td></tr><tr><td style="border: 1px solid black;">5</td><td style="border: 1px solid black;">6</td></tr></table>	2	1	5	6	No permitted period	Not applicable	Not applicable
2	1						
5	6						
<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="border: 1px solid black;">2</td><td style="border: 1px solid black;">1</td></tr><tr><td style="border: 1px solid black;">5</td><td style="border: 1px solid black;">6</td></tr></table>	2	1	5	6	$G_{U^*} = D_{P2} - Y_2 - R_{C2} - \max[D_{P5}, G_{Q2}]$	$h_{L,1}$	0.0
2	1						
5	6						
<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="border: 1px solid black;">2</td><td style="border: 1px solid black;">1</td></tr><tr><td colspan="2" style="border: 1px solid black;">6</td></tr></table>	2	1	6		$G_{U^*} = \min[D_{P2} - Y_2 - R_{C2}, D_{P5} - Y_6 - R_{C5}] - G_{Q2}$	$h_{L,1}$	0.0
2	1						
6							
Perm- Lead <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td colspan="2" style="border: 1px solid black;">2</td></tr><tr><td style="border: 1px solid black;">5</td><td style="border: 1px solid black;">6</td></tr></table>	2		5	6	$G_{U^*} = D_{P2} - Y_2 - R_{C2} - \max[D_{P5}, G_{Q2}]$	$h_{L,1}$	$e_1$
2							
5	6						
Perm- Lag <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td colspan="2" style="border: 1px solid black;">2</td></tr><tr><td style="border: 1px solid black;">6</td><td style="border: 1px solid black;">5</td></tr></table>	2		6	5	$G_{U^*} = \min[D_{P2} - Y_2 - R_{C2}, D_{P5} - Y_6 - R_{C5}] - G_{Q2}$	$h_{L,1}$	$e_1$
2							
6	5						
Perm- Perm <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td colspan="2" style="border: 1px solid black;">2</td></tr><tr><td colspan="2" style="border: 1px solid black;">6</td></tr></table>	2		6		$G_{U^*} = D_{P2} - Y_6 - R_{C5} - G_{Q2}$	$h_{L,1}$	$e_1$
2							
6							
Lag- Lag <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="border: 1px solid black;">2</td><td style="border: 1px solid black;">1</td></tr><tr><td style="border: 1px solid black;">6</td><td style="border: 1px solid black;">5</td></tr></table>	2	1	6	5	$G_{U^*} = \min[D_{P2} - Y_2 - R_{C2}, D_{P5} - Y_6 - R_{C5}] - G_{Q2}$	$h_{L,1}$	$e_1^*$
2	1						
6	5						
<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="border: 1px solid black;">2</td><td style="border: 1px solid black;">1</td></tr><tr><td style="border: 1px solid black;">6</td><td style="border: 1px solid black;">5</td></tr></table>	2	1	6	5	$G_{U^*} = \min[D_{P2} - Y_2 - R_{C2}, D_{P5} - Y_6 - R_{C5}] - G_{Q2}$	$h_{L,1}$	$e_1^*$
2	1						
6	5						

Notes: <sup>a</sup>  $G_{Q2}$  is computed for each opposing lane and the value used corresponds to the lane requiring the longest time to clear. In general, if the opposing lanes serve through movements exclusively, then  $G_{Q2} = g_2 + h_1$ . If an opposing lane is shared, then  $G_{Q2} = g_p - g_e + h_1$ , where  $g_p$  is the effective green time for permitted operation (s),  $g_e$  is the green extension time (s), and  $h_1$  is the start-up lost time (s).  
<sup>b</sup> If  $D_{P5} > (D_{P1} - Y_1 - R_{C1})$ , then,  $h_{L,1}^* = D_{P5} - (D_{P1} - Y_1 - R_{C1}) + h_1 - e_1$ ; otherwise,  $h_{L,1}^* = 0.0$ . Regardless, the result should not be less than 0.0 or more than  $h_1$ .  
<sup>c</sup>  $e_1^* = D_{P2} - (D_{P5} - Y_6 - R_{C5})$ , provided that the result is not less than 0.0 or more than  $e_1$ . Perm = permitted.

Figura 31-11,25. QAP/ADP Básico Grupos de Faixas em Estágio Protegido - HCM/6thEd (2016)

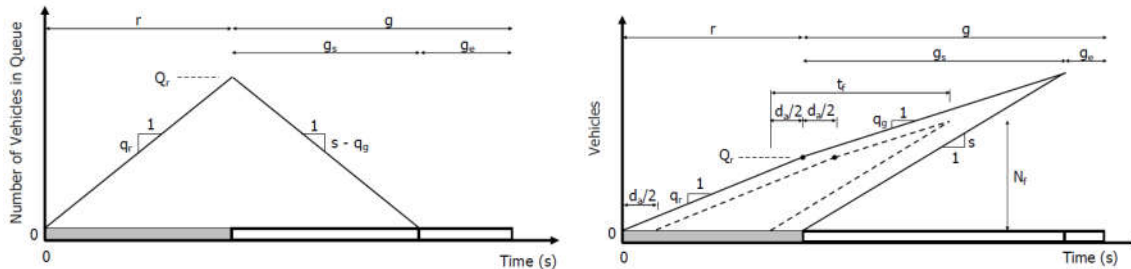


Figura 31-13,26. QAP/ADP Conversão à Esquerda Permitida FxExclusiva - HCM/6thEd (2016)

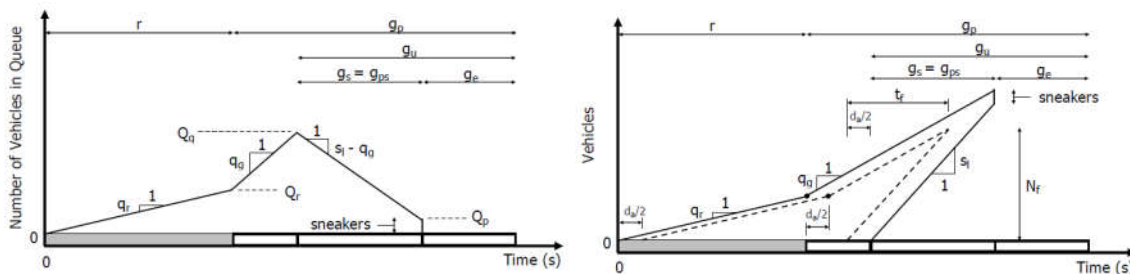


Figura 31-14,27. QAP/ADP Conversão à Esquerda Permitida FxCompartilhada-HCM/6thEd (2016)

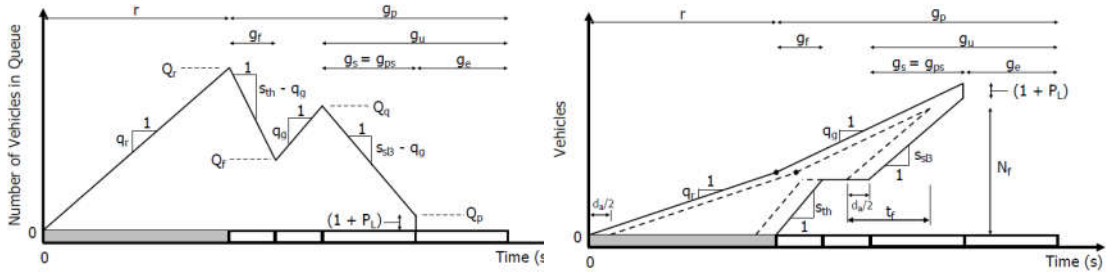


Figura 31-15,28. QAP/ADP ConvEsquerda AntesProt/Permitida Exclusiva-HCM/6thEd (2016)

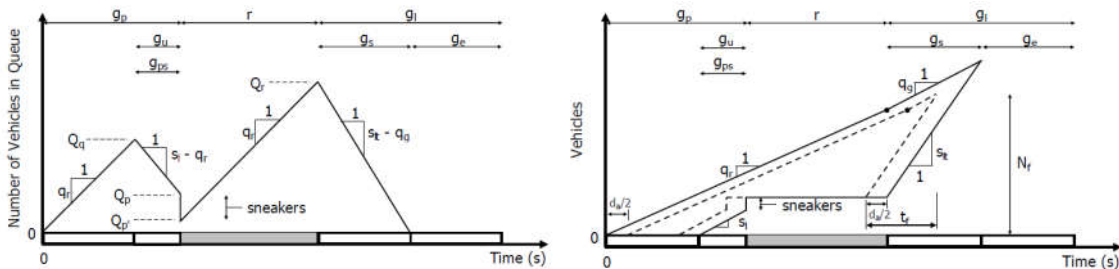


Figura 31-16,29. QAP/ADP ConvEsquerda DepoisProt/Permitida Exclusiva-HCM/6thEd (2016)

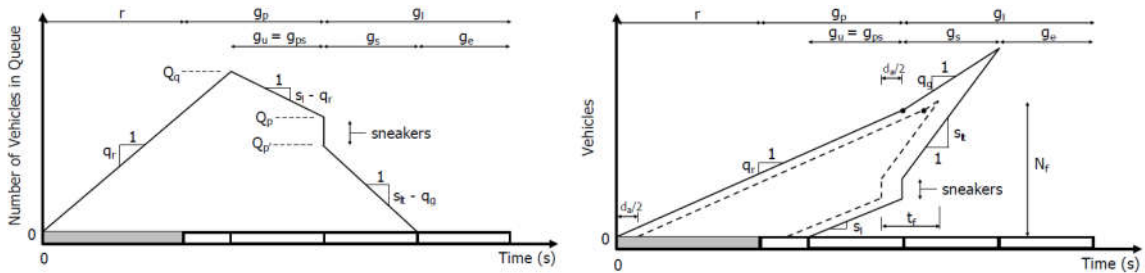


Figura 31-17,30. QAP/ADP ConvEsquerda AntesProt/Permitida Compartilhada-HCM/6thEd (2016)

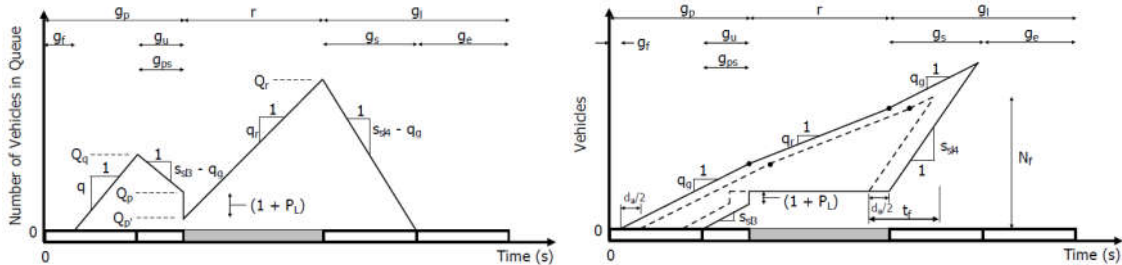
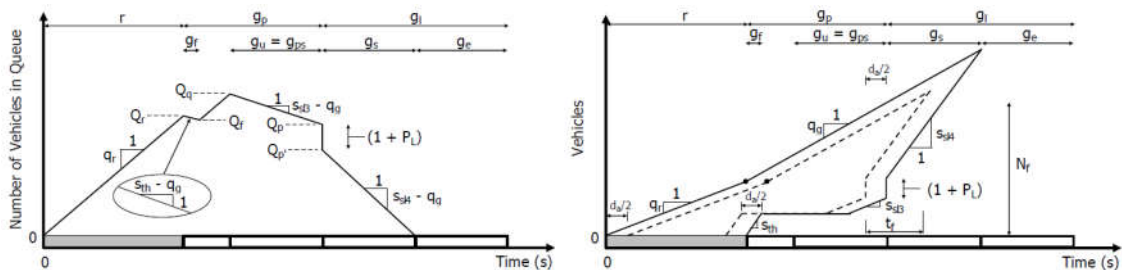


Figura 31-18,31. QAP/ADP ConvEsquerda DepoisProt/Permitida Compartilhada-HCM/6thEd (2016)



**Análise Suplementar do bloqueio adiante (local e global) do HCM-6thEd (2016)**

- efeito de bloqueio local: interferências locais adiante, em meio de quadra (após interseção) redução de faixas adiante, em geral temporário (obras, incidentes, eventos), após a interseção (pode ser também uma restrição física com redução do no.de faixas adiante)

. capacidade em meio de quadra:  $C_{ms} = N_{un} \cdot K_{fms} \cdot V_{ms} \leq 1800 \cdot N_{un}$ ,  $N_{un}$ : no.faixas livres

onde  $K_{fms} = 0,25 \cdot K_{fj}$ ,  $K_{fj} = \frac{1}{\ell_v}$ ,  $\ell_v$ : extensão média ocupado por veículo (parado)

e  $V_{ms} = V_{FL}$ ,  $V_{FL}$ : velocidade de fluxo livre na via urbana ...

. capacidade contribuinte: inicialmente com  $f_{Bl}^0 = 1$ ,  $C_{in}^k = \sum_i p_{ij} \cdot C_i^k$ ,  $C_i^k = u_i^k \cdot f_{Bl}^k \cdot S_i^k$

$C_{in}^0 > C_{ms}$ : ajuste iterativo  $f_{Bl}^{k+1} = f_{Bl}^k \cdot C_{ms} / C_{in}^k \geq 0,10$  até  $C_{in}^k \cong C_{ms}$ ,  $f_{Bl} = f_{Bl}^k$  (senão  $f_{Bl} = 1$ )

(estimativa inversa pelo efeito da restrição de capacidade adiante  $C_{ms}$ )

em princípio deve ajustar todos os fluxos de saturação contribuintes (i)

- efeito de bloqueio por saturação global: bloqueio pela fila parada adiante (após a interseção) em geral, avaliado com  $f_{Bl} = 1$  (ou  $f_{Bl}$  constante; senão efeito combinado  $f_{Bg} = f_{Bl} \cdot f_{Bg}$ )

. estimativa da extensão média por veículo na fila (parada ou em movimento):  $\ell_v^*$  (a seguir)

. estimativa da capacidade de acumulação de fila adiante e tempo até bloqueio: aproximação i

extensão  $z_{e\max}^i = z_{\max}^i - z_0^i$ ,  $n_{a\max}^i = \frac{z_{a\max}^i}{\ell_v^*}$ ; se  $q_i > c_i$  então  $t_b^i = \frac{n_{a\max}^i}{q_i - c_i} \geq 0$  (senão fazer  $t_b^i = T$ )

se aproximação tem diversos grupos de faixa i e/ou baias de conversão j (extensão  $L_b^j$ ) em i:

$N_t^i, N_b^j$ : no.faixas da fila j (faixa compartilhada pela proporção  $P_j^i$  na fila; t=direto e b=baia)

$N_t^i = N_i - P_D - P_E$ ,  $n_{\max}^i = \frac{N_t^i \cdot z_{\max}^i}{\ell_v^*}$  direto,  $N_b^j = N_b^j + P_j$ ,  $n_{\max}^j = \frac{N_b^j \cdot L_b^j + P_j^i \cdot z_{\max}^i}{\ell_v^*}$  j: direita, esquerda

fila inicial j:  $n_0^j$ ; grupo i:  $n_0^i = \max\left\{0; n_0^j - \frac{N_b^j \cdot L_b^j}{\ell_v^*}; n_0^t - \frac{N_t^i \cdot L_b^j}{\ell_v^*}\right\}$ ,  $z_{\text{comb}}^i = z_{\max}^i - L_b^j$ ,  $n_{\text{comb}}^i = \frac{z_{\text{comb}}^i}{\ell_v^*}$  ?

faixa compartilhada  $q_s^i = \max\left\{q_i^j, \frac{q_i^j + q_i^t}{N_i}\right\}$ ,  $x_s = \frac{q_i^j}{c_i^j} + \frac{q_i^t - q_i^j}{c_i^t / N_i}$ ,  $c_i = \frac{q_s^i}{x_s} + \frac{c_i^t (N_i - 1)}{N_i}$  direita, esquerda

(tem de ser feita simultaneamente com análise da alocação dos fluxos às faixas de tráfego)

se  $q_i > c_i$  então  $t_b^i = \frac{n_{a\max}^i}{q_i - c_i} \geq 0$ , senão fazer  $t_b^i = T$  (obtem  $t_b^i$  para cada grupo de faixas i)

. análise dos efeitos de bloqueio: divide período T em sub-períodos  $t_k$  (bloqueios sucessivos)

discussão pouco detalhada: cada interseção adiante (d) pode bloquear a aproximação (u)

analisa trecho (u,d) adiante e os movimentos: 1=esquerda, 2=direto, 3=direita; 4:lindeiro;

início:  $f_{Bg}^0 = 1$ ,  $T_0 = T$ ,  $k=1$ ,  $t_b^k = t_b^{k*}$ : menor  $t_b^i > 0$ , parece analisar apenas (u,d) com i\* direto

$q_{i2}^k = p_{i2}^k \cdot c_{d2}^k$ ,  $q_{i1}^k = \min\{p_{i1}^k \cdot c_{d1}^k; f_{i2}^{xk} \cdot q_{i1}^k\}$ ;  $q_{i3}^k = \min\{p_{i3}^k \cdot c_{d3}^k; f_{i2}^{xk} \cdot q_{i3}^k\}$ ;  $q_{i4}^k = f_{i2}^{xk} \cdot q_{i4}^k$ ;  $q_i^k = q_{i1}^k + q_{i2}^k + q_{i3}^k + q_{i4}^k$

com  $f_{Bg}^k = f_{Bg}^{k-1} \cdot (q_{i2}^k / c_{d2}^k)^\alpha$  ( $\alpha = 0,5$  melhor convergência); se  $T_k = T_{k-1} - t_b^k > 0$ ,  $k=k+1$ ,  $n_0^{k+1} = \dots$

senão  $f_{Bg} = f_{Bg}^k$  (estimativa inversa pelo efeito da restrição de capacidade adiante  $c_{d2} \dots$ )



- análise de bloqueio (restrição de capacidade) é importante mas proposta é muito criticável:

. estimativa da velocidade da onda de dissipação (fila parada):  $w_s = \frac{t_{pr}}{\ell_v}, t_{pr} \cong 1,3\text{seg} \quad ??$

aplicação (criticável) da análise das ondas (cinemáticas) de parada e dissipação de fila:

$$\text{Akçelik: visão microscópica correta seria } w_c = \frac{\ell_v}{V \cdot \bar{h} - \ell_v} \cdot V \text{ e } w_s = \frac{\ell_v}{V_s \cdot \bar{h}_s - \ell_v} \cdot V_s$$

$$\text{(ou } w_c = \frac{Q}{K_J - K} \text{ e } w_s = \frac{S}{K_J - K_s} \text{ pois } q = \frac{1}{h}, V = \frac{Q}{K}, S = \frac{1}{h_s}, V_s = \frac{S}{K_s}, K_J = \frac{1}{\ell_v} \text{)}$$

. estimativa da extensão média por veículo na fila média (parada ou em movimento)  $\ell_v^*$ :

usa estimativa da velocidade na fila em movimento:  $V_n = \frac{\ell_v}{2,0 - t_{pr}}, t_{pr} \cong 1,3\text{seg} \quad ?? \text{ e}$

$$\ell_v^* = \ell_v \text{ se } t_{\text{máx}} < r, \ell_v^* = \frac{2,0}{\frac{r}{z_{\text{máx}}} - \frac{1}{V_n}} \geq \ell_v \text{ se } r \leq t_{\text{máx}} < t_c, \ell_v^* = \frac{1}{2} \frac{\ell_v}{2,0 - t_{pr} \cdot u} \text{ se } t_{\text{máx}} \geq t_c \quad ??$$

obscuras e provavelmente incorretas: melhor obter  $V_n = f[q_n] q_n = S \text{ e } e_s = \frac{V_s}{S}$ , tendo-se

$$\ell_v^* = \ell_v \text{ se } t_{\text{máx}} < r, \ell_v^* = \frac{r}{t_{\text{máx}}} \cdot \ell_v + \frac{t_{\text{máx}} - r}{t_{\text{máx}}} \cdot e_s \text{ se } r \leq t_{\text{máx}} < t_c, \ell_v^* = (1 - u) \ell_v + u \cdot e_s \text{ se } t_{\text{máx}} \geq t_c$$

. estimativa da capacidade de acumulação de fila adiante e dos tempos até bloquear ...  
 não há detalhamento claro e exemplo de aplicação (parece concebido para o software HCS)  
 mas tratamento das baias parece ter fórmulas com diversos erros a serem corrigidos e não  
 há detalhamento da atualização dos dados entre iterações e das iterações internas do método  
 (além dos erros do uso de modelos de fila vertical, implícitos em todas as fórmulas do HCM...)

- estimativa direta:  $f_B = 1 - \frac{t_{bg}}{t_c}$  ou  $\frac{T_{bg}}{T}$  a partir do tempo com bloqueio por filas (ou  $g'_{ef} = g_{ef} - t_{bg}$ )

causas usuais: falta de capacidade adiante mas também sincronismo deficiente ...

.  $t_{bg}, T_{bg}$ : tempo de bloqueio por fila no verde (vermelho de fato) no ciclo ou no período

. essencial prever a variação com fatores causais (difícilmente pode ser admitido fixo!)

(em interseções próximas, há um fator similar de desperdício de capacidade por verde vazio)  
 (o enfoque direto adotado nos métodos para interseções em interconexões com  $\ell' = \ell + t_{bg}$  ...)

**Controle Atuado (revisado) no HCM/6thEd (2016) ...**

- previsão dos tempos médios e análise de desempenho: processo iterativo baseado no modelo de Bonneson para estimativa da intervalo máximo aceito (MAH) para detecção

em fluxos por faixa com distribuição de Cowan ( $\Pr[H_i \geq h] = 1 - \theta_{Li} \cdot e^{-\lambda_i \cdot (h - \tau_i)}$ ,  $\lambda_i = \frac{\theta_{Li} \cdot q_i}{1 - q_i \cdot \tau_i}$ )

e parâmetros de Akçelik ( $\theta_{Li} = e^{-\gamma_i \cdot q_i \cdot \tau_i}$ ,  $\gamma = 0,6; 0,5; 0,8$  p/1;2;3+fxs,  $\tau = 1,5s; 0,5s$  p/1;2+fxs)

- estimativa da duração dos estágios:  $D_k = \ell_0 + g_s + g_c + I_a + I_v$  (suposição  $e = 0$  em  $I_a$ )

. a parametrização do controlador atuado deve permitir identificar o fluxo total que ativa um dado estágio ou estende seu verde (eventualmente distintos),

tendo-se  $\lambda^* = \sum \lambda_i, \theta_L^* = e^{-\sum \gamma_i \cdot q_i \cdot \tau_i}, \tau^* = \sum \lambda_i \cdot \tau_i / \lambda^*, q^* = \sum q_i$  para  $\Pr\{[H^* \geq h^*]\}$

. valores iniciais calculados com um dos tempos parametrizados ( $g_{cf0}, r_{cf0}$ );

(semáforo isolado: mínimo  $g_{in} + e_0 + I$ , máximo  $g_{max} + I$ ; coordenado:  $g_r = v_r \cdot t_c$ )

. para cada estágio atuado (se fixo adotar  $g$ ), dado o tempo de vermelho anterior:

.. tempo de dissipação da fila acumulada:  $g_s = \frac{q_r \cdot r_{cf0}}{S - q_g}$  ou obtido do QAP ( $\geq g_{in} + e_0$ )

.. probabilidade de extensão do verde:  $p_e = \Pr[H < MAH] = 1 - \theta_L^* \cdot e^{-\lambda^* \cdot (MAH - \tau^*)}$

MAH =  $f[e_0(PT)]$  (função da forma de detecção e extensão):  $MAH \cong e_0 + t_0$

$t_0 = \frac{\ell_d + \bar{\ell}_v}{V_a}$ ,  $\ell_d, \bar{\ell}_v$ : extensão do detector e do veículo,  $V_a$ : velocidade (autos)

.. tempo médio de extensão do verde:  $\bar{g}_e = p_e \cdot \bar{n}_e \cdot \bar{h}^*$  com  $\bar{h}^* \cong 1/q^*$  (melhor  $\bar{h}_<^*, \bar{h}_{sc}^*$ )

onde número de extensões até o verde máximo:  $n_{em\acute{a}x} = q^* \cdot (g_{m\acute{a}x} - (\ell_0 + g_s)) \geq 0$

mas  $\bar{n}_e = \frac{p_e^2 \cdot (1 - p_e^{n_{em\acute{a}x}})}{(1 - p_e)}$  (número médio, dado  $n_e \leq n_{em\acute{a}x}$  e  $\ell_0 + g_s + g_c \leq g_{m\acute{a}x}$ )

.. probabilidade de ativação (se opcional):  $p_c = 1 - (1 - p_v)(1 - p_p)$  com  $p_i = 1 - e^{-q_{ia} \cdot t_c}$

onde  $q_{ia} = q_i$  para veículos e  $q_{ia} = p_a \cdot q_i$  para pedestres (botoeira:  $p_a \cong 0,5$ )

.. duração do estágio requerido:  $D_r = p_v \cdot (1 - p_p) \cdot D_v + p_p \cdot (1 - p_v) \cdot D_p + p_v \cdot p_p \cdot \max\{D_v, D_p\}$

onde  $D_v = \ell_0 + g_s + \bar{g}_e + I$  para veículos e  $D_p = g_{ped} + I_{pisc}$  para pedestres

.. probabilidade de extensão máxima (max-out ao invés de gap-out):  $p_x = p_e^{n_x}$  ?!

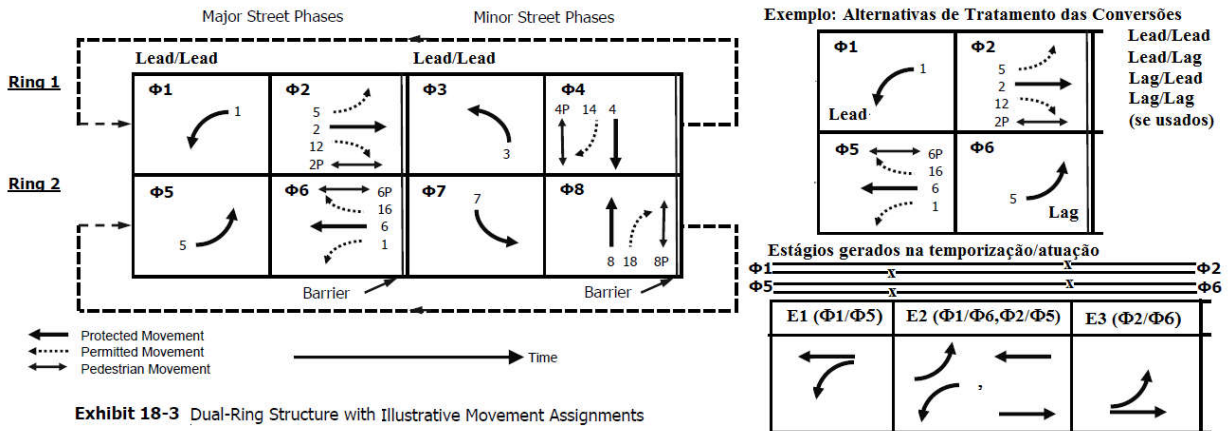
onde  $n_x = \frac{(g_{m\acute{a}x} - (\ell_0 + g_s))}{\bar{h}_<^*} \geq 0$ ,  $\bar{h}_<^* = \frac{\tau^* + \theta_L^* / \lambda^* - (MAH + 1/\lambda^*) \theta_L^* \cdot e^{-\lambda^* \cdot (MAH - \tau^*)}}{1 - \theta_L^* \cdot e^{-\lambda^* \cdot (MAH - \tau^*)}}$  !?

.. verificação dos tempos efetivos e de tempo de ciclo:  $t_c = \sum D_k$ ,  $g_{cfk} = D_k - I_{lk}$

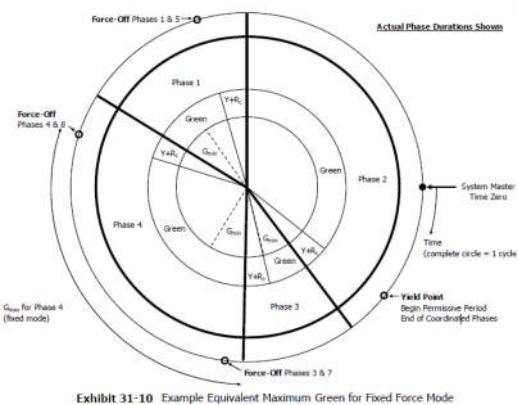
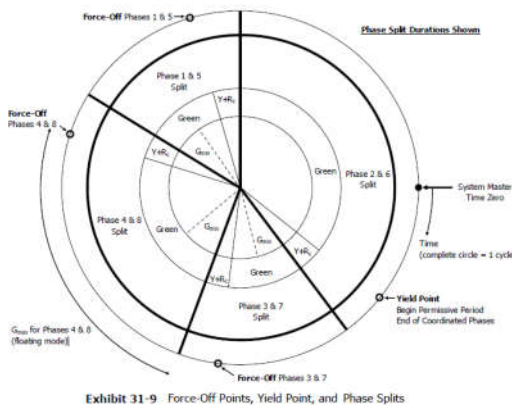
. reiterar se os tempos não são compatíveis com os anteriores ( $g_{cf}, r_{cf}$ )

adota mesmo procedimento do HCM/2010 ...

- estrutura dos controladores atuados nos EUA é peculiar em diversos aspectos:
  - . atuação tradicional (com intervalo de corte=unidade de extensão) similar, além da coordenação com semi-atuação e atuação total (proposta no HCM ...)
  - . estrutura com anéis duais (*dual ring*), concatenados, não é usual no Brasil (diversos anéis compartilham controle e relógio mas são “independentes” ...)



- alguns parâmetros de atuação não são usuais (ou são restritos) no Brasil:
- . barreira (*barrier*): força sincronização dos anéis (Br: anéis “independentes”)
  - . modo de início/final: dual (somente se ambos os anéis) ou simples (Br: simples)
  - . limite forçado (*force-off*), na coordenação com atuação (Br:  $O_f-I$  estágio principal) (na proposta do HCM, pode ser definido para todos os estágios não coordenados)
  - . limite liberado (*yield*), na coordenação com atuação (Br:  $[O_f+I+g_{min} pr.; O_f-I-g_{min} op.]$ ) (na proposta do HCM, pode ser definido para cada estágio coordenado)
  - . modo de ponto forçado: flutuante (da entrada, não do ciclo) ou fixo (Br: fixo)
  - . opções de atuação automática (*recall to min/max*): independente da detecção (utilizado para implementar semi-atuação garantindo duração do estágio principal)
  - . opções de estágio de repouso (*rest on*): se não há detecção concorrente ...
- estimativa dos tempos no controle atuado baseado em parâmetros equivalentes:
- máximo intervalo permitido (MAH): traduz brecha de corte e requisito simultâneo
  - verde máximo equivalente: traduz verde máximo ou pontos forçado/liberado ...



- há parâmetros do padrão NEMA, que o método do HCM2010 não incorpora:
- . verde inicial variável: conta detecções no vermelho e calcula verde inicial até  $g_{inimáx}$
  - . controle “volume-densidade”: reduz unidade de extensão de U a  $U_{min}$  após  $g_{min}$

**Tabela 19-31. Dados Requeridos – Modo Pedestre - Interseções Semaforizadas-HCM/6thEd (2016)**

Símbolo	Referência	Definição
<b>Tráfego</b>		
Q (V)	Movimento	Demanda de tráfego, por movimento, em v/h
	Aproximação	Fluxo de Conversões à Direita no Vermelho, em v/h
	G.Movimento	Fluxo de Conversões à Esquerda Permitidas, em v/h
V85	Aproximação	Velocidade do Percentil 85% no meio do segmento, km/h ( mph)
Q <sub>ped</sub> (V <sub>ped</sub> )	Movimento	Fluxo de pedestres, em ped/h
<b>Geometria</b>		
N	Via	Número de faixas
N <sub>i</sub>	Via	Número de ilhas na Conversão à Direita
L (W)	Aproximação	Largura Total da calçada, em metros
L <sub>r</sub>	Via	Largura da faixa de travessia, em metros
L <sub>t</sub>	Via	Extensão da faixa de travessia, em metros
r (R)	Aproximação	Raio de curva, em metros
<b>Semáforo</b>		
g <sub>edx</sub> (G <sub>edx</sub> )	Fase Semafórica	Tempo de verde para pedestres, seg (Walk)
I <sub>eisc</sub> (F)	Fase Semafórica	Tempo de limpeza (piscante) para pedestres, seg (Flashing Don't Walk)
	Fase Semafórica	Opções de atuação (rest in walk)
t <sub>c</sub> (C)	Interseção	Tempo de ciclo da operação do semáforo, em seg. se tempo fixo ou coordenado-atuado
I	Fase Semafórica	Tempo de entreverdes em amarelo mais vermelho de segurança, em seg.
	Fase Semafórica	Duração da Fase Semafórica (Estágio Semafórico) servindo os pedestres, em seg.
	Fase Semafórica	Existência de grupo focal para pedestres
<b>Outros</b>		
T <sub>F</sub> (T)	Interseção	Duração do período de análise, em h

**Tabela 19-34. Dados Requeridos – Modo Bicicleta-Interseções Semaforizadas-HCM/6thEd (2016)**

Símbolo	Referência	Definição
<b>Tráfego</b>		
Q (V)	Aproximação	Demanda de tráfego, por movimento, em v/h
Q <sub>bic</sub> (V <sub>bike</sub> )	Aproximação	Fluxo de bicicletas, em bic/h
	Aproximação	Proporção ocupada de estacionamento na via
<b>Geometria</b>		
L (W)	Aproximação	Largura da via, em metros
N	Aproximação	Número de faixas
L <sub>o</sub> (W <sub>o</sub> )	Aproximação	Largura da faixa direta externa (à direita), em metros
L <sub>b</sub> (W <sub>b</sub> )	Aproximação	Largura da ciclo-faixa, em metros
L <sub>a</sub> (W <sub>s</sub> )	Aproximação	Largura do acostamento pavimentado externo (à direita), em metros
L <sub>p</sub> (W <sub>s</sub> )	Aproximação	Largura da faixa de estacionamento demarcada, em metros
<b>Semáforo</b>		
t <sub>c</sub> (C)	Interseção	Tempo de ciclo da operação do semáforo, em seg. se tempo fixo ou coordenado-atuado
I (I)	Fase Semafórica	Tempo de entreverdes em amarelo mais vermelho de segurança, em seg.
	Fase Semafórica	Duração da Fase Semafórica (Estágio Semafórico) servindo os ciclistas, em seg.
<b>Outros</b>		
T <sub>F</sub> (T)	Interseção	Duração do período de análise, em h

## Procedimento para QoS de Pedestres em Travessia Semaforizada:

**TABELA 19-9 (18-2, Pedestre, Link). Nível de Serviço para Modo Pedestre e Bicicleta em Interseções Semaforizadas - HCM/6thEd (2016)**

Nível de Serviço	Nota de Nível de Serviço
A	≤1,50
B	>1,50, ≤2,50
C	>2,50, ≤3,50
D	>3,50, ≤4, 50
E	>4,50, ≤5,50
F	>5,50

Nota de Nível de Serviço (*LS Score*) para pedestres:  $I_{ped} = 0,5997 + \Delta_N + \Delta_Q + \Delta_V + \Delta_D$

$\Delta_N = 0,682.N_c^{0,514}$ , onde  $N_c$  é número de faixas atravessadas

$$\Delta_Q = 0,00569 \cdot \frac{Q_{Dverm} + Q_{Eperm}}{5} - N_{IcD} \cdot \left( 0,0027 \cdot \frac{Q_{H,M}}{4.N_c} - 0,1946 \right),$$

onde  $Q_{Dverm} + Q_{Eperm}$  é a soma dos fluxos de conversão na travessia (conversões à direita no vermelho e conversões à esquerda permitidas)

$N_{IcD}$  é o número de ilhas de canalização na conversão à direita

$Q_{H,M}$  é o fluxo total de veículos que cruzam a travessia da via

$$\Delta_V = 0,00013 \cdot \frac{Q_{H,M}}{4.N_c} \cdot \frac{V_{85,M}}{1,6}, \text{ onde } V_{85,M} \text{ é a velocidade (em km/h) na via}$$

correspondente ao do percentil 85 (85% dos veículos)

$\Delta_D = 0,0401 \cdot \ln[d_{ped}]$ , onde  $d_{ped}$  é o atraso médio por pedestre na travessia

$$d_{ped} = p_d \cdot \bar{d}_p = \frac{(t_c - g_{pede})^2}{2 \cdot t_c}, \text{ onde } g_{pede} \text{ é o verde efetivo para pedestres}$$

- com foco de pedestre de tempo fixo ou com botoeira:  $g_{pede} = g_{ped} + 4\text{seg}$

- sem foco de pedestre de tempo fixo ou com botoeira:  $g_{pede} = g_{veic}$  ou  $\bar{g}_{veic}$

$$\text{fluxo de pedestres uniforme: } p_d = \frac{t_c - g_{pede}}{t_c}, \bar{d}_p = \frac{(t_c - g_{pede})}{2}, N_{pd} = p_d \cdot q_p \cdot t_c = q_p \cdot (t_c - g_{pede})$$

(também deve ser analisado o espaço na área de espera das esquinas)

$$\text{- tempo de dissipação da fila na travessia } t_{ps} = \begin{cases} t_s + \frac{L_{ped}}{V_{ped}} + 0,27 \cdot \frac{N_{pd}}{W/W_b}, & W > W_b \\ t_s + \frac{L_{ped}}{V_{ped}} + 0,27 \cdot N_{pd}, & W \leq W_b \end{cases}$$

largura básica da faixa:  $W_b = 10\text{ft} \cong 3,0\text{m}$ ; tempo de início:  $t_s = 3,2\text{seg}$

(incorpora o efeito de formação de pelotão de pedestres na travessia)

## Procedimento para Pedestres em Áreas de Espera e Circulação:

- deveria considerar espaço disponível (m<sup>2</sup>/ped) e grau de mobilidade permitido;
- critério proposto considera qualitativamente o espaço disponível por pedestre;

**TABELA 19-28. Nível de Serviço p/Pedestres em Áreas de Circulação- HCM/6thEd (2016)**

Espaço por Pedestre	Descrição Qualitativa do Espaço para Pedestres
> 60 ft <sup>2</sup> /ped (5,6m <sup>2</sup> /ped)	Habilidade de mover-se no caminho desejado, sem necessidade de alterar movimento
* > 530 ft <sup>2</sup> /ped (49m <sup>2</sup> /ped)	Necessidade ocasional de ajustar caminho para evitar conflito
> 40-60 ft <sup>2</sup> /ped (3,7-5,6 m <sup>2</sup> /ped)	
* > 90-530 ft <sup>2</sup> /ped (8,4-49 m <sup>2</sup> /ped)	Necessidade frequente de ajustar caminho para evitar conflito
> 24-40 ft <sup>2</sup> /ped (2,2-3,7 m <sup>2</sup> /ped)	
* > 40-90 ft <sup>2</sup> /ped (3,7-8,4 m <sup>2</sup> /ped)	Restrição à velocidade e à habilidade de ultrapassar pedestres mais lentos
> 15-24 ft <sup>2</sup> /ped (1,4-2,2 m <sup>2</sup> /ped)	
* > 23-40 ft <sup>2</sup> /ped (2,1-3,7 m <sup>2</sup> /ped)	Restrição à velocidade; habilidade muito limitada de ultrapassar pedestres mais lentos
> 8-15 ft <sup>2</sup> /ped (0,7-1,4 m <sup>2</sup> /ped)	
* > 11-23 ft <sup>2</sup> /ped (1,0-2,1 m <sup>2</sup> /ped)	Velocidade severamente limitada; contato frequente com outros usuários
≤ 8 ft <sup>2</sup> /ped (0,7 m <sup>2</sup> /ped)	
* ≤ 11 ft <sup>2</sup> /ped (1,0 m <sup>2</sup> /ped)	

\* apenas para segmentos curtos, com fluxo de pedestres em pelotão (das Tabelas 16-9,18-15)

- estimativa do espaço por pedestre com base no conceito espaço-tempo (Fruin):  
avalia probabilidade de estar na área=%do espaço-tempo ocupando a área!

- com semáforo, circulação na área de espera:

. total disponível:  $TS = t_c (W_a \cdot W_b - 0,215 \cdot r^2)$ ,  $r = \min\{R, W_a, W_b\}$ , no ciclo semafórico

. tempo demandado na espera: pedestres saindo  $q_{poi}$  por travessia ( $i=1,2,\dots$ )

$$T_{ep} = T_{c1} + T_{c2}, T_{qi} = N_{pd} \cdot d_{pi}, N_{pd} = p_{di} \cdot q_{poi} \cdot t_c, p_{di} = \frac{t_c - g_{pede}^i}{t_c}, d_{pi} = \frac{t_c - g_{pede}^i}{2}$$

. disponível p/circulação:  $TS_{cp} = TS - a_p \cdot T_{ep}$ , no ciclo semafórico,  $a_p = 5 \frac{ft^2}{p} \cong 0,5 \frac{m^2}{p}$

. espaço por pedestre circulante:  $M_{cp} = \frac{TS_{cp}}{q_{pc,tot} \cdot t_c \cdot t_{pc}}$  (ver na Tabela 19-28)

$q_{pc,tot}$ : soma dos fluxos de pedestres circulando;  $t_{pc} = 4s$ : tempo circulando

- com semáforo, circulação na travessia da via:

. total disponível:  $TS = L_{ped} \cdot W_e \cdot t_{pe}$ , por ciclo semafórico

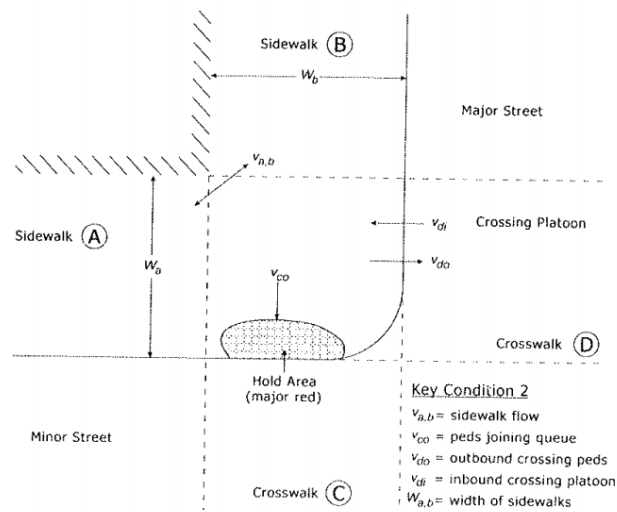
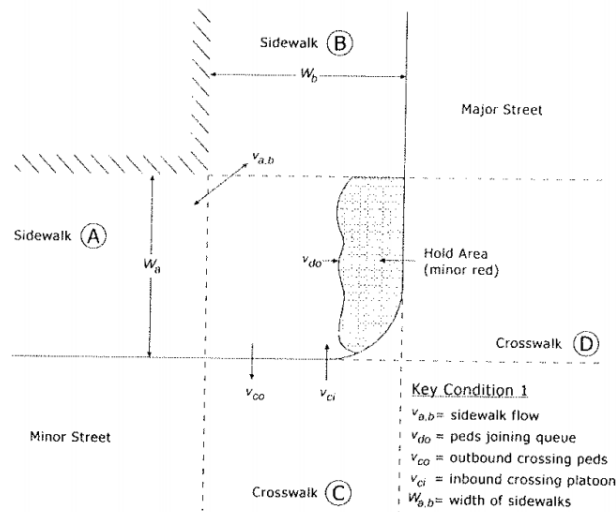
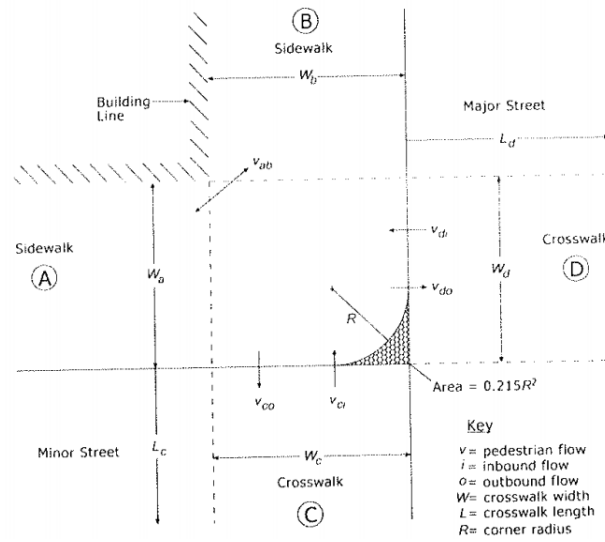
. disponível efetivo para pedestre:  $TS_{cw} = TS - TS_{tv}$ , com  $TS_{tv} \cong t_{tv} \cdot N_{tv} \cdot W_e$

( $t_{tv} \cong w_{sw} \cdot t_{sw} = 40ft \cdot s \cong 12m \cdot s$ , com  $w_{sw} = 2,4m$  e  $t_{sw} = 5seg$ ,  $N_{tv}$ : conversões/ciclo)

. tempo demandado:  $T_{dp} = (q_{qo} + q_{qi}) t_c \cdot t_{ps}$ , pedestres saindo  $q_{po}$  e chegando  $q_{pi}$

. espaço por pedestre atravessando:  $M_{cw} = \frac{TS_{cw}}{T_{dp}}$  (ver na Tabela 19-28)

- sem semáforos, ambos os aspectos são ignorados.



## Procedimento para QoS de Ciclistas em Aproximações de Semáforos:

**TABELA 19-9 (18-3, Ciclista, Link). Nível de Serviço para Modo Pedestre e Bicicleta em Interseções SemafORIZADAS - HCM/6thEd (2016)**

Nível de Serviço	Nota de Nível de Serviço
A	≤1,50
B	>1,50, ≤2,50
C	>2,50, ≤3,50
D	>3,50, ≤4,50
E	>4,50, ≤5,50
F	>5,50

Nota de Nível de Serviço (*LS Score*) para ciclistas:  $I_{bic} = 4,1324 + \Delta_W + \Delta_Q$

$$\Delta_W = 0,0153.W_{cd} - 0,2144.W_{ot} \text{ onde,}$$

$W_{ol} = W_{ol} + W_{bl} + I_{pk} \cdot W_{os}^*$  é a largura externa disponível

(da faixa externa, da ciclo-faixa adjacente e do acostamento pavimentado)

sendo  $I_{pk} = 1$  se não há estacionamento adjacente (0 caso contrário)

$W_{os}^* = W_{os} - \delta_{wos}$  é a largura ajustada do acostamento

com  $\delta_{wos} = 1,5m$  se há guia adjacente (0 caso contrário)

$W_{cd}$  é a largura total do cruzamento (de meio-fio a meio-fio)

$$\Delta_Q = 0,0066 \cdot \frac{Q_t + Q_D + Q_E}{4.N_t}, \text{ onde}$$

$Q_D$  é o fluxo de veículos na conversão à direita

$Q_E$  é o fluxo de veículos na conversão à esquerda

$Q_t$  é o fluxo de veículos adiante (fluxo direto)

$N_t$  é o número de faixas exclusivas para fluxo adiante (diretas)

Recomenda analisar a operação com os modelos simplificados ...

“faixas” com 4ft(1,2m) a 6ft(1,8m) por sentido, fluxo de saturação de 2000bic/h/fx com tráfego de bicicletas segregado (não há recomendação se compartilhado)

$$C_b = \frac{g_{bef}}{t_c} \cdot S_b, \quad g_{bef} = g_{cf} \text{ (veicular correspondente)}$$

$$d_b = \frac{t_c}{2} \frac{(1 - g_{bef}/t_c)^2}{1 - y_q}, \quad y_b = \min \left\{ 1; \frac{Q_b}{S_b} \right\} \cdot \frac{g_{bef}}{t_c}$$

$$\text{(atraso regular com } y_b = \frac{q_b}{S_b}, \quad q_b = \min \{ Q_b; C_b \})$$



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

- ⇒ procedimentos generalizados do HCM/2016,2010 são mais complexos (iterativos);
- ⇒ implementação computacional requerida para alguns passos do procedimento geral;
- ⇒ mantêm tradição (positiva) de análise por grupo de movimentos (desde o HCM-1985); com maior integração na análise da escolha entre faixas e bloqueios nas conversões;
- ⇒ não consideram explicitamente o efeito de faixas de comprimento reduzido; e interferências de bloqueios tem de ser consideradas externamente;
- ⇒ HCM/2016: introduz o efeito de bloqueio de faixas e saturação global (muito importante) e de obras em aproximações semaforizadas na estimativa do fluxo de saturação;
- ⇒ usam estimativa dinâmica de atraso e fila com correção pela presença de fila inicial (base para análise com períodos sucessivos), como análise suplementar no HCM2016;
- ⇒ HCM/2016 volta a usar o termo regular tradicional com fator de progressão, ao invés dos procedimentos mais gerais (análise suplementar) para estimar fila e atraso regular com QAP="Polígono de Acumulação de Filas"/ADP="Polígono de Chegadas e Partidas" (usando modelo de fila vertical) mas integração com efeito da fila inicial é discutível;
- ⇒ abandonaram a recomendação de métodos para estimar a fila média e passaram a recomendar apenas métodos para estimar a extensão máxima de fila (*back of queue*) incluindo a estima de filas máximas para percentis de 85%, 90% e 95%;
- ⇒ adotam critério discutível para o termo de sobre-fila na extensão máxima da fila (adota o valor médio mas a fila é crescente quando  $Q > C$  e depois até decrescente ...);
- ⇒ recomendam avaliar efeito de pelotões por simulação (mais trabalhoso)
- ⇒ usam critério direto de nível de serviço do HCM/97-2000;
- ⇒ procedimentos revisados para controle atuado e mudanças de faixa importantes;
- ⇒ procedimentos de avaliação da qualidade de serviço para pedestres e bicicletas;
- ⇒ também os procedimentos tradicionais para nível de serviço em calçadas e esquinas ...

**VER EXERCÍCIO FLUXO DE SATURAÇÃO-HCM/2016**