

Procedimento do U.S.HCM2010

- ⇒ integra análise modo auto, pedestre e bicicleta (como usual 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 18-4,5

(HCM2010 não distingue 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 18-2
- ⇒ atraso médio de controle com fórmula dinâmica (termo determinístico regular calculado com QAP="polígono de acumulação de fila"); incorpora de forma simplificada o efeito do tipo de controlador semafórico e da coordenação semafórica, além da fila inicial, sobre os atrasos e calcula fila média e máxima (para diversos percentis)

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, revisado, e declividade, do HCM/97-2000), considerando separadamente os efeitos de movimentos de estacionamento (função do número de movimentos por hora), das paradas de ônibus (função do número de movimentos por hora), do HCM/97-2000, além de outros efeitos de interferência caracterizados por tipo de local (CBD), distinguindo fatores equivalentes por tipo de veículo apenas para caminhões

Ver Tabela 18-12 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 18-4. Nível de Serviço para Modo Auto em Interseções Semaforizadas- HCM/2010

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.

$$d_a = d_r + d_s \text{ onde } d_r = \sum_i \frac{(n_i + n_{i+1})t_i}{2 \cdot q \cdot t_c}, n_i, t_i \text{ do QAP="Polígono de Acumulação de Fila" regular em } t_c$$

sub-período i (duração t_{di}): $n_{i+1} = n_i + (q_i - c_{si})t_i \geq 0$, em r: $c_{si} = 0$; em g: $c_{si} = S_i$ (em t_{si})

se $q_i < c_{si}$, $t_i = \min\left\{t_{di}, t_{si} = \frac{n_i}{c_{si} - q_i}\right\}$ (em $t_{di} - t_{si}$, $n_i = 0$) senão $t_i = t_{di}$ ($d_r = d_{rs}$ se $q = C_s$)

regular (para $\bar{q} \leq \bar{C}$): com $C = C_q$ se $n_0 = 0$ e $Q < C_q$ ou $C = C_s$ se $n_0 > 0$ ou $Q > C_q$ ($X = \frac{Q}{C}$)

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)

na análise suplementar admite $d_r = d_1$ com $d_1 = \frac{PF \cdot (1-u)^2}{2 \cdot (1-u \cdot X_q)} \cdot t_c$, $X_q = \frac{q}{C} \leq 1$ ($d_1 = \frac{r}{2}$ se $X \geq 1$)

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

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

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

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

- (I): 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 HCM2010:

- 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

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

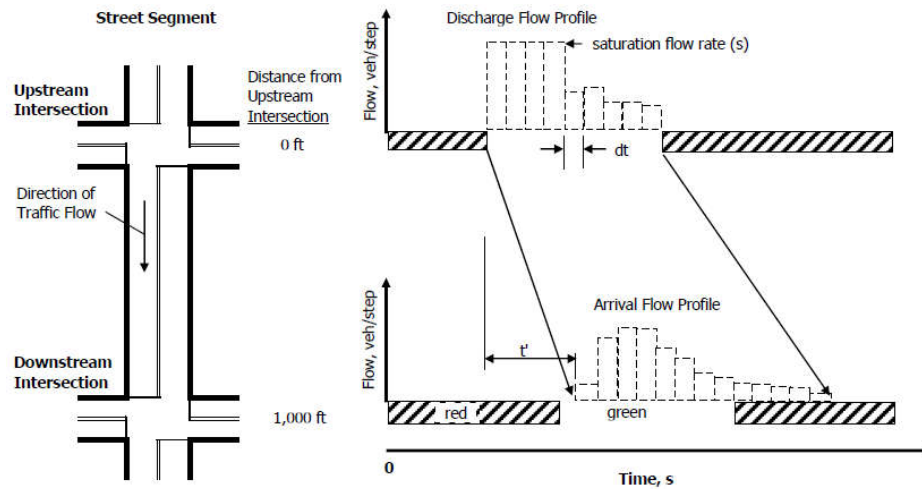
q_i^A, q_i^B : fluxo de entrada e chegada final no link AB;

. 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).

- $d_1 = PF \cdot \frac{(1-u)^2}{2 \cdot (1-u \cdot X_q)} \cdot t_c$, com $X_q \leq 1$ ($d_1 = \frac{r}{2}$ para $X \geq 1$, pois $X_q = 1$) com PF da TABELA 31-46

(método considerado somente na análise expedita complementar)

Fila média/máxima no HCM2010:

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)

- $n_{b1} = \max\{n_i\}$ do ADP="Polígono de Chegadas e Partidas" ajustado (ver adiante ...)

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

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

- 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 HCM2010:

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

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

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

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

Alternativa do HCM2000: 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 18-8,29. Relação entre Tipo de Chegada e Razão de Pelotão (R_p)- HCM/2010

Tipo de Chegada	Valor Padrão, R_p	Qualidade de Progressão	Condições Prováveis
1	0,333	Muito pobre	Coordenação desfavorável; espaçamento entre semáforos $\leq 488m$ (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 $\leq 488m$ (1600ft)
6	2,000	Excepcional	Coordenação favorável em via de mão única, redes densas e áreas centrais; espaçamento entre semáforos $\leq 244m$ (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 31-46. Fator de Ajuste (PF) para Qualidade de Progressão - HCM/2010

Padrão de Operação	Fator de Ajuste para Qualidade de Progressão (PF)					
	$u=0,20$ (20%)	$u=0,30$ (30%)	$u=0,40$ (40%)	$u=0,50$ (50%)	$u=0,60$ (60%)	$u=0,70$ (70%)
Não coordenado	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Coordenado *	0,92	0,86	0,78	0,67	0,50	0,22

Obs: * Estimado por $PF = (1 - 1,33 \cdot u) / (1 - u)$, onde $u = g/t_c$ (corresponde a admitir $P_g = 1,33 \cdot u$).

TABELA 16-12. Fator de Ajustamento (PF) para Atraso Uniforme (d_1)- HCM/2000

Fator de Ajustamento de Progressão (PF)						
$PF = (1 - P) f_p / (1 - u)$, $u = g/t_c$ (ver observação)						
Taxa de Verde (g/t_c)	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_p	1,000	0,930	1,000	1,150	1,000	1,000
R_p	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_p e R_p . ** $P = R_p \cdot u$ (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_2)- HCM/2000

Extensão de Verde (UE, seg.)	Grau de Saturação (X)					
	$\leq 0,50$	0,60	0,70	0,80	0,90	$\geq 1,0$
$\leq 2,0$	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_{min} em $X=0,5$, a fórmula para k é $(1 - 2 \cdot k_{min}) \cdot (X - 0,5) + k_{min}$, com $k_{min} \leq k \leq 0,5$.

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

Tabela 18-6,7. Dados Requeridos – Modo Auto - Interseções Semáforizadas – HCM/2010

Símbolo	Referência	Definição
Tráfego		
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 _p	G.Movimento	Razão de Pelotão (=Pg/u)
I	G.Movimento	Fator de Ajustamento para Filtragem à Montante
n ₀ (Q _b)	G.Movimento	Fila Inicial
S _b (s ₀)	G.Movimento	Fluxo de saturação básico (ideal), em veq/hv.fx
f _u	G.Movimento	Fator de Ajustamento para Utilização das Faixas
Q _{ped} (V _{ped})	Aproximação	Fluxo de pedestres, em ped/h
Q _{bic} (V _{bike})	Aproximação	Fluxo de bicicletas, em bic/h
N _m	G.Movimento	Número de movimentos de estacionamento na área da interseção, em manobras/h (*)
N _b	Aproximação	Número de paradas de ônibus na área da interseção, em manobras/h (*)
Geometria		
N	G.Movimento	Número de faixas
L (W)	G.Movimento	Largura média das faixas, em metros
	Aproximação	Número de faixas de saída
L _s	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 aclave, - é declive)
Semáforo		
	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 _a (Y)	Fase Semafórica	Tempo de entreverdes em amarelo, em seg.
I _v (R)	Fase Semafórica	Tempo de entreverdes em vermelho de segurança, em seg.
g _{edx} (G _{edx})	Fase Semafórica	Tempo de verde para pedestres, seg (Walk)
I _{eisc} (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 _c (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
Outros		
CBD, Outro	Interseção	Tipo de Área
T _p (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 _L (S _L)	Aproximação	Velocidade Limite, km/h (mph)

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

$S_b (s_0)$	fluxo básico de saturação, usualmente 1900 veq/hv.fx
$f_L (f_w)$	fator de correção devido à largura (Tabela 18-13)
$f_{VP} (f_{HV})$	fator de correção devido aos veículos pesados ($e_{VP}=2,0$)
$f_i (f_g)$	fator de correção devido à declividade (-6,0% a +10,0%)
$f_{est} (f_p)$	fator de correção devido às manobras de estacionamento (18seg/manobra)
$f_{bus} (f_{sb})$	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)
$f_{cc} (f_{LT})$	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)

FIGURA 18-2. Numeração dos Movimentos em Interseção Semaforizada- HCM/2010

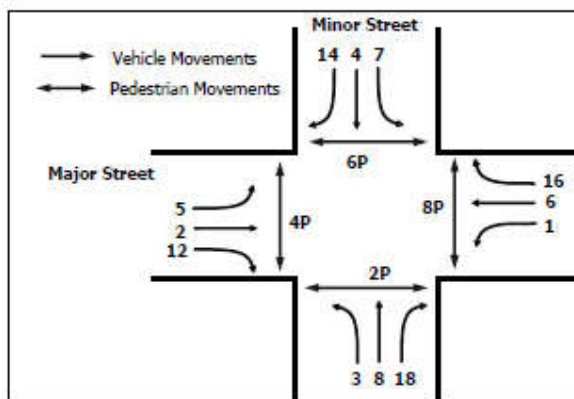


FIGURA 18-12. Definição dos Grupos de Faixas em Interseção Semaforizada- HCM/2010

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: MG 3:	LG 1: LG 2: LG 3:

Sumário - Fator de Ajustamento para Fluxo de Saturação - HCM/2010

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 f_{VP} (f_{HV})	$f_{VP} = \frac{100}{100 + \%VP \cdot (c_{VP} - 1)}$	%VP: porcentagem de veículos pesados	$0 \leq \%VP \leq 100$, onde $c_{VP} = 2,0$ passageiro de carro por veículos pesados.
Rampas f_i (f_g)	$f_i = 1 - \%i/200$	%i: porcentagem de aclive (negativo para declive)	$-6 \leq \%i \leq +10$
Manobras de Estacionamento f_{est} (f_p)	$f_{est} = \frac{N - 0,1 - 18 N_m/3600}{N}$	N: no.de faixas N_m : manobras/hora de estacionamento até 75m (250ft) da linha de retenção	$0 \leq N_m \leq 180$ $0,050 \leq f_{est}$
Manobras de Obstrução de Ônibus f_{bus} (f_{bb})	$f_{bus} = \frac{N - 14,4 N_b/3600}{N}$	N: no.de faixas N_b : manobras/hora de ônibus (parada) até 75m (250ft) da linha de retenção	$0 \leq N_b \leq 250$ $0,050 \leq f_{bus}$
Tipo de Área f_{loc} (f_a)	0,900 para CBD (centro) 1,000 para outras áreas		
Utilização de Faixa f_u (f_{LU})	$f_u = \frac{q_i}{q_{fu} \cdot N}$	q_i : fluxo total, sem ajuste, nas faixas q_{fu} : fluxo, sem ajuste, na faixa com maior volume N: no.de faixas	Ver Tabela 18-30
Conversões à Esquerda f_{ce} (f_{LT})	para estágios protegidos $c_{ce} = 1,05$ (ou $c_{ce} = 1 + 1,71/R_{ce}[m]$)* para faixas exclusivas: $f_{ce} = 1/c_{ce}$ $f_{ce} = \frac{1}{1 + 0,05 \cdot P_{ce}}$ 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})	$c_{cd} = 1,18$ (ou $c_{cd} = 1 + 1,71/R_{cd}[m]$)* para faixas exclusivas: $f_{cd} = 1/c_{cd}$ $f_{cd} = \frac{1}{1 + 0,18 \cdot P_{cd}}$ 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: $c_{em} = 1 + P_{pe} \cdot (c_e/f_{pe} - 1)$ HCM-2000: $f_{pe} = 1 - P_{pe} \cdot (1 - A_{pbe}) \cdot (1 - P_{ceA})$ para conversão à direita em faixa exclusiva: $f_{pd} = A_{pbd}$ compartilhada: $c_{em} = 1 + P_{pe} \cdot (c_e/f_{pe} - 1)$ HCM-2000: $f_{pd} = 1 - P_{pd} \cdot (1 - A_{pbd}) \cdot (1 - P_{cdA})$	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	$A_{pi} = f$ (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)

* Efeito de R[m] introduzido na análise de interseções em interconexões.

TABELA 18-30. Valores Padrão de Fatores de Utilização de Faixa- HCM/2010

Movimento de Grupo de Faixas	Número de faixas no grupo de faixa	Porcentagem de tráfego na faixa para com uso mais intenso	Fator de utilização f_u (f_{LU})
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_{LU}) seja usado para o tipo de grupo de faixa.

Análise Suplementar do bloqueio de pedestres e ciclistas (revisado) no HCM-2010

- tem preferências sobre conversão (exceto em estágios com conversão protegido)
- 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:

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

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:

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

é o fluxo de ciclistas no verde

- 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:

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

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) no HCM-2010

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 $g_{f,máx} = \frac{\bar{n}_f}{s_f} - \ell_p$ com $\bar{n}_f = \frac{1 - P_L}{P_L} \cdot \left(1 - (1 - P_L)^{n_{máx}} \right)$ e $n_{máx} = S_m \cdot g_p = 0,5 \cdot g_p$ (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 $\bar{n}_u = C_{Eu} \cdot g_u$

$e_{CEu} = E_{L1} \cdot vt / vu$ 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: $n_m = \bar{n}_d$

$e_{CEb} = E_{L2} \cdot vt / vb$ 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 ...

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 no HCM-2010

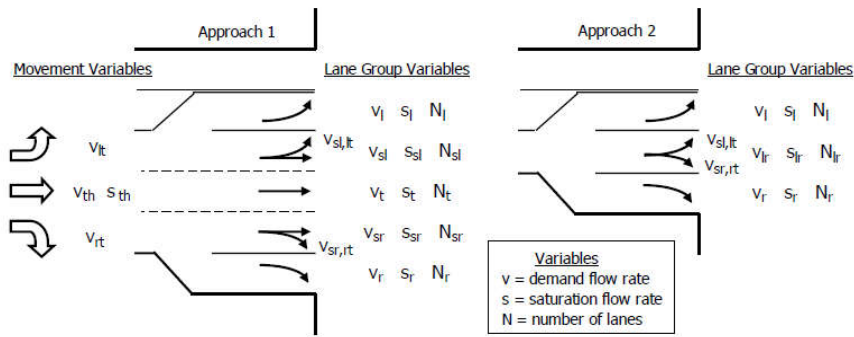
- generalização do método tradicional introduzido no HCM1985 ...

- 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: $\sum_m \frac{Q_{mi}}{S_{mi}} = \frac{Q_i}{S_i} = \frac{\sum_i Q_i}{\sum_i S_i} = \bar{y}_s$

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_ℓ é o fluxo na faixa lateral



faixas compartilhadas

- **direto e à direita:**

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

- **à direita e esquerda:**

$N_{DE}(N_{rl})$

- **direto e à esquerda:**

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

q_ℓ : 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-2010

- 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 ...)
- 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 $\bar{q} = \bar{Q} \leq \bar{C}$
- 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/2010
 $V_a \cong 0,9 \cdot V_0, V_0 = V_{B0} + 0,47 \cdot VL$ $V_{B0} = 25,6\text{mi/h}$ $b = 4\text{ft/s}$ $a = 3,5\text{ft/s}$
 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*): $n_b = n_{b1} + n_{b2} + n_{b3}, R_b = n_b \cdot \ell_v / L_a$
. $n_{b1} = n_{br}$ regular; se $\delta_{ba} \leq S \cdot (1 - P_g) \cdot g \cdot \frac{Q}{C}$ então $n_{br} = Q_r \cdot r + Q_g \cdot (t_s - \delta_{ba}), t_s = \frac{Q_r \cdot r - \delta_{ba} \cdot P_g / g}{S \cdot (1 - X_q \cdot P_g)}$;
se $\delta_{ba} > S \cdot (1 - P_g) \cdot g \cdot \frac{Q}{C}$ então $n_{br} = Q_r \cdot (r - \delta_{ba} + t_s), t_s = \frac{Q_r \cdot r \cdot (r - \delta_{ba})}{S \cdot (r - X_q \cdot (1 - P_g) \cdot g)}$

TABELA 31-16. Ajustes do Tempo Morto Inicial e do Ganho no Amarelo- HCM/2010

Phase Sequence (phase numbers shown in boxes)	Displayed Unblocked Permitted Green Time $G_U(s)^a$	Permitted Start-Up Lost Time $h_{L,P}(s)^b$	Permitted Extension Time $e_P(s)^c$				
Lead- Lead <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>5</td><td>6</td></tr></table>	1	2	5	6	$G_{UL} = \min[D_{P1} + D_{P2} - D_{P5} - Y_6 - R_{C6}, G_{UL}^*]$ with $G_{UL}^* = D_{P2} - Y_6 - R_{C6} - G_{Q2}$	$h_{L,1}^*$	e_1
1	2						
5	6						
<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>5</td><td>6</td></tr></table>	1	2	5	6	$G_{UL} = D_{P2} - Y_6 - R_{C6} - G_{Q2}$	$h_{L,1}^*$	e_1
1	2						
5	6						
Lead- Lag or Lead- Perm <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td></tr></table>	1	2	6	5	$G_{UL} = D_{P5} - Y_6 - R_{C6} - D_{P1} - G_{Q2}$	0.0	e_1
1	2						
6	5						
<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>6</td><td>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>1</td><td>2</td></tr><tr><td>6</td><td>6</td></tr></table>	1	2	6	6	$G_{UL} = D_{P5} - Y_6 - R_{C6} - D_{P1} - G_{Q2}$	0.0	e_1
1	2						
6	6						
Lag- Lead or Lag- Perm <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>5</td><td>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>2</td><td>1</td></tr><tr><td>5</td><td>6</td></tr></table>	2	1	5	6	$G_{UL} = D_{P2} - Y_2 - R_{C2} - \max[D_{P5}, G_{Q2}]$	$h_{L,1}$	0.0
2	1						
5	6						
<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>6</td></tr></table>	2	1	6	6	$G_{UL} = \min[D_{P2} - Y_2 - R_{C2}, D_{P5} - Y_6 - R_{C6}] - G_{Q2}$	$h_{L,1}$	0.0
2	1						
6	6						
Perm- Lead <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>2</td><td>2</td></tr><tr><td>5</td><td>6</td></tr></table>	2	2	5	6	$G_{UL} = D_{P2} - Y_2 - R_{C2} - \max[D_{P5}, G_{Q2}]$	$h_{L,1}$	e_1
2	2						
5	6						
Perm- Lag <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>2</td><td>2</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td></tr></table>	2	2	6	5	$G_{UL} = \min[D_{P2} - Y_2 - R_{C2}, D_{P5} - Y_6 - R_{C6}] - G_{Q2}$	$h_{L,1}$	e_1
2	2						
6	5						
Perm- Perm <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>2</td><td>2</td></tr><tr><td>6</td><td>6</td></tr></table>	2	2	6	6	$G_{UL} = D_{P2} - Y_6 - R_{C6} - G_{Q2}$	$h_{L,1}$	e_1
2	2						
6	6						
Lag- Lag <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td></tr></table>	2	1	6	5	$G_{UL} = \min[D_{P2} - Y_2 - R_{C2}, D_{P5} - Y_6 - R_{C6}] - G_{Q2}$	$h_{L,1}$	e_1^*
2	1						
6	5						
<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td></tr></table>	2	1	6	5	$G_{UL} = \min[D_{P2} - Y_2 - R_{C2}, D_{P5} - Y_6 - R_{C6}] - G_{Q2}$	$h_{L,1}$	e_1^*
2	1						
6	5						

Notes: ^a 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 $G_{Q2} = g_P + h_L$. If an opposing lane is shared, then $G_{Q2} = g_P - g_e + h_L$, where g_P is the effective green time for permitted operation (s), g_e is the green extension time (s), and h_L is the start-up lost time (s).
^b If $D_{P5} > (D_{P1} - Y_1 - R_{C1})$ then, $h_{L,1}^* = D_{P5} - (D_{P1} - Y_1 - R_{C1}) + h_L - e_1$; otherwise, $h_{L,1}^* = 0.0$. Regardless, the result should not be less than 0.0 or more than h_L .
^c $e_1^* = D_{P2} - (D_{P5} - Y_6 - R_{C6})$, provided that the result is not less than 0.0 or more than e_1 . Perm = permitted.

Figura 31-15,29. QAP/ADP Básico para Grupos de Faixas em Estágio Protegido - HCM/2010

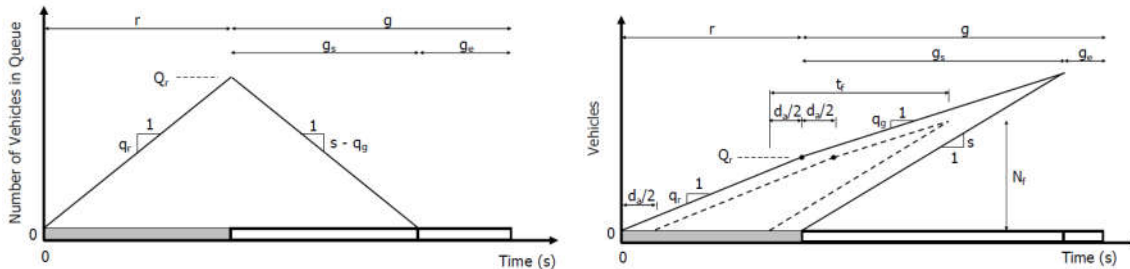


Figura 31-17,30. QAP/ADP p/Conversão à Esquerda Permitida FxExclusiva - HCM/2010

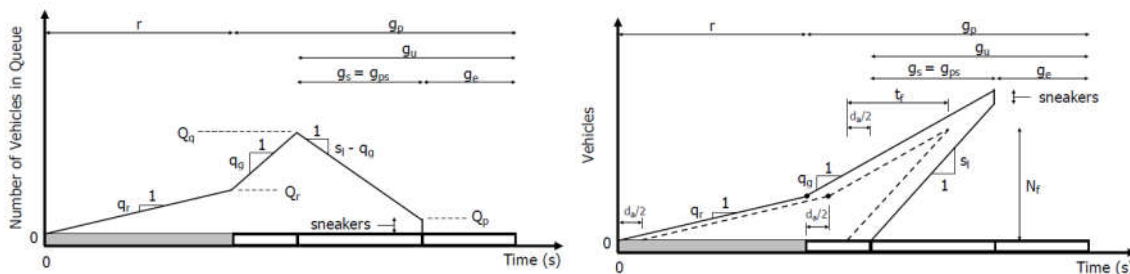


Figura 31-18,31. QAP/ADP p/Conversão à Esquerda Permitida FxCompartilhada - HCM/2010

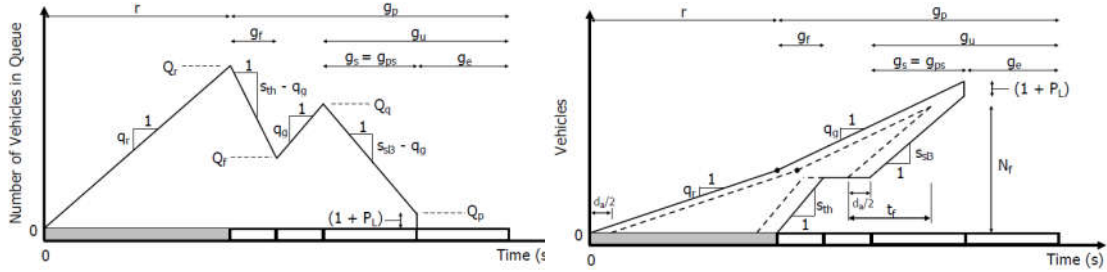


Figura 31-19,32. QAP/ADP p/ConvEsquerda Antes Protegida-Permitida Exclusiva - HCM/2010

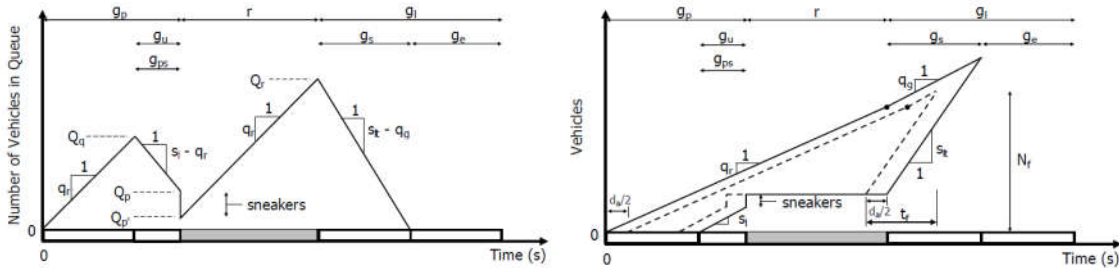


Figura 31-20,33. QAP/ADP p/ConvEsquerda Depois Protegida-Permitida Exclusiva-HCM/2010

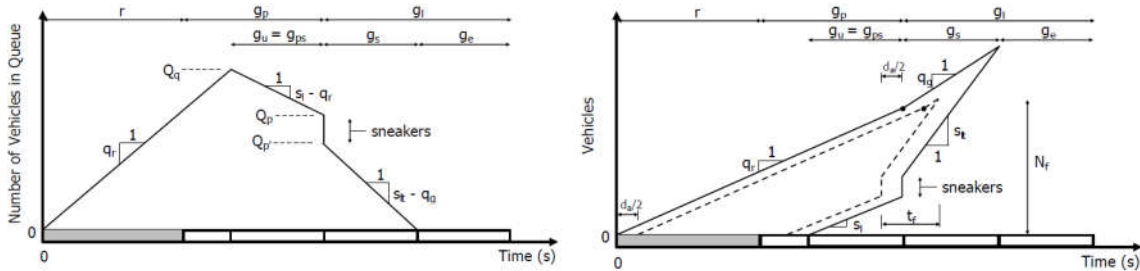


Figura 31-21,34. QAP/ADP p/ConvEsquerda Antes Protegida-Permitida Compartilhada-HCM/2010

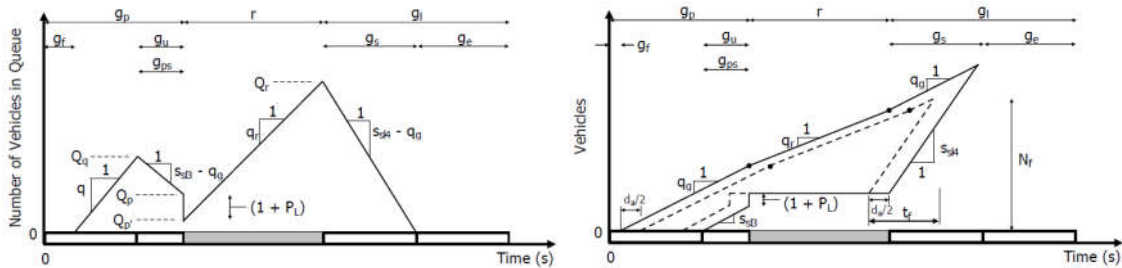
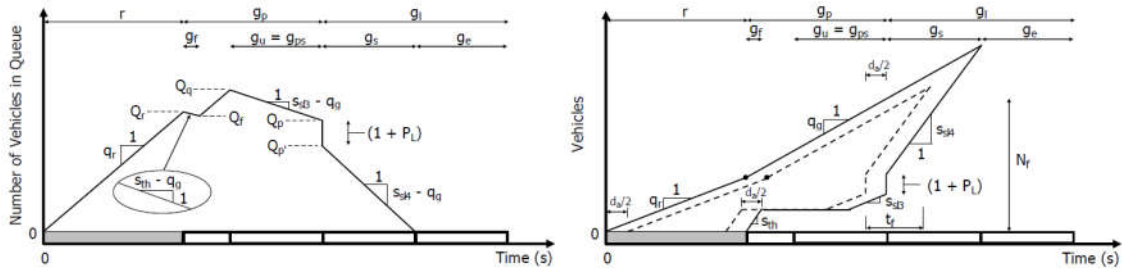


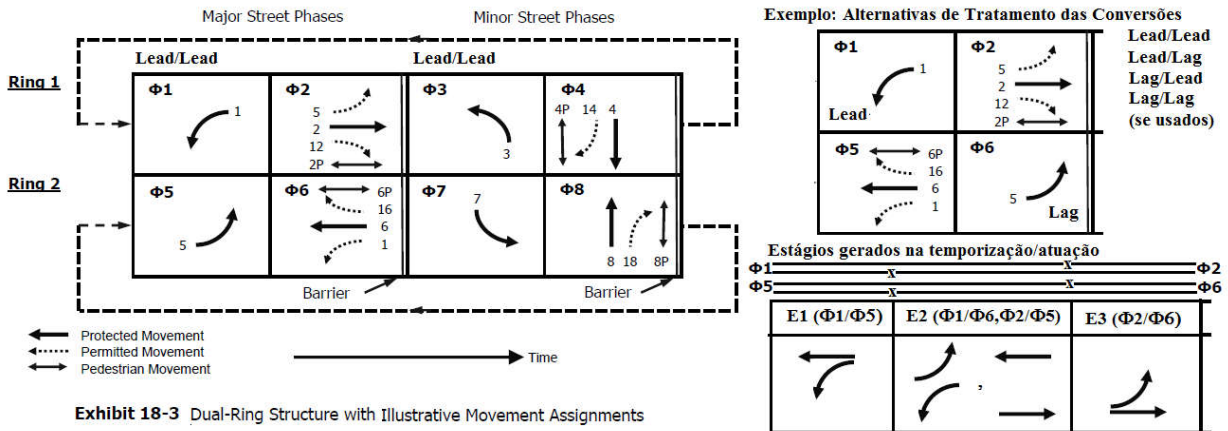
Figura 31-22,35. QAP/ADP p/ConvEsquerda Depois Protegida-Permitida Compartilhada-HCM/2010



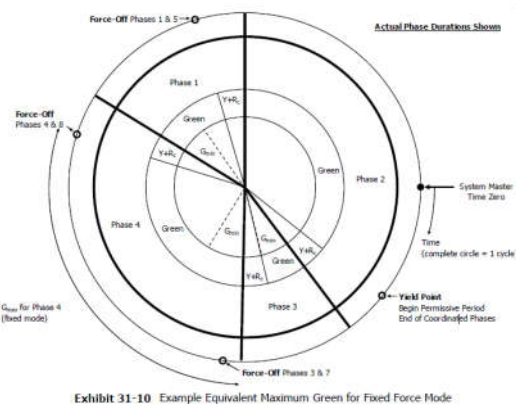
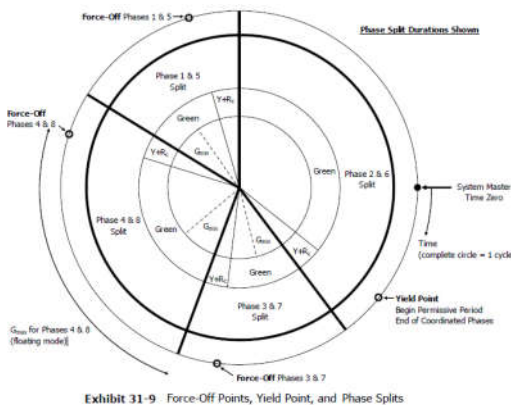
Controle Atuado (revisado) no HCM-2010 ...

- 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): $MAH \cong e_0 + t_0$
 $t_0 = \frac{\ell_d + \bar{\ell}_v}{V_a}$, ℓ_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: $D_r = p_v \cdot (1 - p_p) D_v + p_p \cdot (1 - p_v) D_p + p_v \cdot p_p \cdot \max\{D_v, D_p\}$
 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})

- 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 coordenados)
 - . limite liberado (*yield*), na coordenação com atuação (Br: O_f-I estágio principal $-g_{min}$) (na proposta do HCM, pode ser definido para todos os estágios coordenados)
 - . 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 18-9a. Dados Requeridos – Modo Pedestre - Interseções SemafORIZADAS – HCM/2010

Símbolo	Referência	Definição
Tráfego		
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)
$Q_{ped} (V_{ped})$	Movimento	Fluxo de pedestres, em ped/h
Geometria		
L (W)	Aproximação	Largura Total da calçada, em metros
N	Via	Número de faixas
Ni	Via	Número de ilhas na Conversão à Direita
L_r	Via	Largura da faixa de travessia, em metros
L_t	Via	Extensão da faixa de travessia, em metros
r (R)	Aproximação	Raio de curva, em metros
Semáforo		
$g_{edx} (G_{edx})$	Fase Semafórica	Tempo de verde para pedestres, seg (Walk)
$I_{eisc} (F)$	Fase Semafórica	Tempo de limpeza (piscante) para pedestres, seg (Flashing Don't Walk)
	Fase Semafórica	Opções de atuação (rest in walk)
$t_c (C)$	Interseção	Tempo de ciclo da operação do semáforo, em seg. se tempo fixo ou coordenado-atuado
$I_a (Y)$	Fase Semafórica	Tempo de entreverdes em amarelo, em seg.
$I_v (R)$	Fase Semafórica	Tempo de entreverdes em 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
Outros		
$T_F (T)$	Interseção	Duração do período de análise, em h

Tabela 18-9b. Dados Requeridos – Modo Bicicleta - Interseções SemafORIZADAS – HCM/2010

Símbolo	Referência	Definição
Tráfego		
Q (V)	Aproximação	Demanda de tráfego, por movimento, em v/h
$Q_{bic} (V_{bike})$	Aproximação	Fluxo de bicicletas, em bic/h
	Aproximação	Proporção ocupada de estacionamento na via
Geometria		
L (W)	Aproximação	Largura da via, em metros
N	Aproximação	Número de faixas
$L_o (W_o)$	Aproximação	Largura da faixa direta externa (à direita), em metros
$L_b (W_b)$	Aproximação	Largura da ciclo-faixa, em metros
$L_a (W_s)$	Aproximação	Largura do acostamento pavimentado externo (à direita), em metros
Semáforo		
$t_c (C)$	Interseção	Tempo de ciclo da operação do semáforo, em seg. se tempo fixo ou coordenado-atuado
$I_a (Y)$	Fase Semafórica	Tempo de entreverdes em amarelo, em seg.
$I_v (R)$	Fase Semafórica	Tempo de entreverdes em vermelho de segurança, em seg.
	Fase Semafórica	Duração da Fase Semafórica (Estágio Semafórico) servindo os ciclistas, em seg.
Outros		
$T_F (T)$	Interseção	Duração do período de análise, em h

Procedimento para QoS de Pedestres em Travessia Semaforizada:

TABELA 18-5. Nível de Serviço para Modo Pedestre e Bicicleta em Interseções Semaforizada-HCM/2010

Nível de Serviço	Nota de Nível de Serviço
A	$\leq 2,0$
B	$> 2,0, \leq 2,75$
C	$> 2,75, \leq 3,5$
D	$> 3,5, \leq 4,25$
E	$> 4,25, \leq 5,0$
F	$> 5,0$

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)

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

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

- 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 (m²/ped) e grau de mobilidade permitido;
- critério proposto considera qualitativamente o espaço disponível por pedestre;

TABELA 18-24. Nível de Serviço para Pedestres em Áreas de Circulação- HCM/2010

Espaço por Pedestre	Descrição Qualitativa do Espaço para Pedestres
> 60 ft ² /ped (1,2m ² /ped)	Habilidade de mover-se no caminho desejado, sem necessidade de alterar movimento
> 40-60 ft ² /ped (0,9-1,2 m ² /ped)	Necessidade ocasional de ajustar caminho para evitar conflito
> 24-40 ft ² /ped (0,6-0,9 m ² /ped)	Necessidade frequente de ajustar caminho para evitar conflito
> 15-24 ft ² /ped (0,3-0,6 m ² /ped)	Restrição à velocidade e à habilidade de ultrapassar pedestres mais lentos
> 8-15 ft ² /ped (0,2-0,3 m ² /ped)	Restrição à velocidade; habilidade muito limitada de ultrapassar pedestres mais lentos
≤ 8 ft ² /ped (0,2 m ² /ped)	Velocidade severamente limitada; contato frequente com outros usuários

- 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 ($i=1,2,\dots$)

$$T_{ep} = T_{e1} + T_{e2}, T_{qi} = N_{pd} \cdot d_{pi}, N_{pd} = p_{di} \cdot q_{poi} \cdot t_c, p_{di} = \frac{t_c - g_{pede}^i}{t_c}, d_{pi} = \frac{t_c - g_{pede}^i}{2}$$

. 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 18-24)

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

- com semáforo, circulação na travessia da via:

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

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

($t_{tv} \cong w_{sw} \cdot t_{sw} = 40ft \cdot s \cong 12m \cdot s$, 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 18-24)

- sem semáforos, ambos os aspectos são ignorados.

EXHIBIT 18-10. INTERSECTION CORNER GEOMETRY AND PEDESTRIAN MOVEMENTS

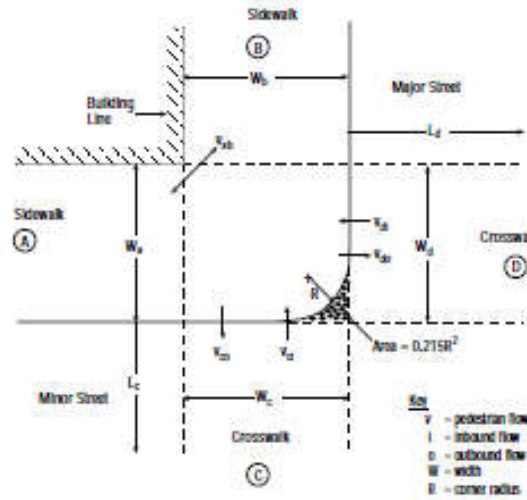


EXHIBIT 18-11. CONDITION 1: MINOR-STREET CROSSING

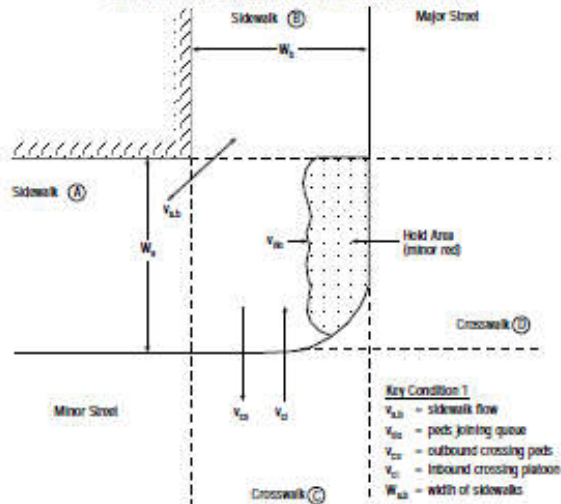
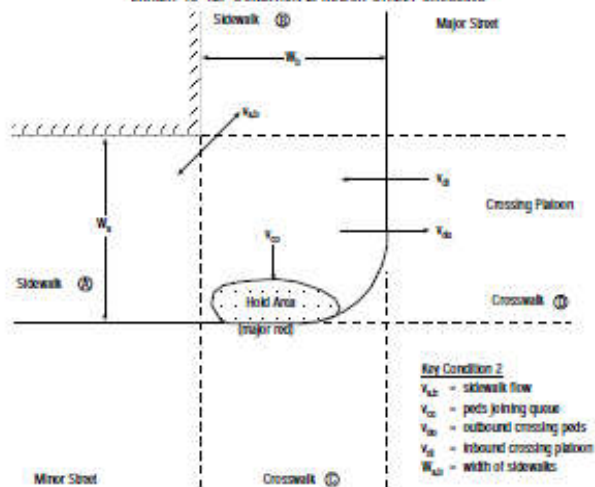


EXHIBIT 18-12. CONDITION 2: MAJOR-STREET CROSSING



Procedimento para QoS de Ciclistas em Aproximações de Semáforos:

TABELA 18-5. Nível de Serviço para Modo Pedestre e Bicicleta em Interseções SemafORIZADA-HCM/2010

Nível de Serviço	Nota de Nível de Serviço
A	≤2,0
B	>2,0, ≤2,75
C	>2,75, ≤3,5
D	>3,5, ≤4,25
E	>4,25, ≤5,0
F	>5,0

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)

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

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

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

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

- ⇒ procedimentos generalizados do HCM/2010 são mais complexos (iterativos);
- ⇒ implementação computacional requerida para alguns passos do procedimento geral;
- ⇒ mantém tradição (positiva) de análise por grupo de movimentos (desde o HCM/85); com maior integração na análise da escolha entre faixas e bloqueios nas conversões;
- ⇒ HCM/2010 não considera explicitamente o efeito de faixas de comprimento reduzido; e interferências de bloqueios tem de ser consideradas externamente;
- ⇒ HCM/2010 usa estimativas de atraso e fila com termo adicional pela presença de fila inicial (procedimento baseado na análise de períodos sucessivos é mencionado como opção), apresentados de forma obscura e discutível;
- ⇒ HCM/2010 passou a preferir procedimentos mais gerais 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;
- ⇒ HCM/2010 abandonou a recomendação de métodos para estimar a fila média e passou 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%;
- ⇒ HCM/2010 adota 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 ...);
- ⇒ HCM/2010 recomenda avaliar efeito de pelotões por simulação (mais trabalhoso)
- ⇒ HCM/2010 usa 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/2010