

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

- ⇒ procedimento para interseção com PARE simples (sem critérios p/DÊ PREFERÊNCIA) recomendações específicas para PARE múltiplo e para rotatórias (essencialmente mesmo procedimento do HCM/2010, com pequenas mudanças)
- ⇒ enfoque multimodal (auto=veículos, pedestres, ciclistas) tem maior ênfase:
  - pedestres tratados de forma integrada (como no HCM/97-2000,2010);
  - efeito de cessão de preferência de condutores aos pedestres (como no HCM/2010);
  - ciclistas mencionados especificamente; procedimentos e dados incipientes.
- ⇒ critério de nível de serviço é o atraso (de controle) médio (fórmula dinâmica mas ...) recomendações específicas p/veículos (HCM/97-2000) e pedestres (HCM/2010) para veículos: critério complementar de capacidade ( $Q/C > 100\%$  NS sempre F)  
**Ver Tabela 20-2 e 20-3**
- ⇒ mantém avaliação da fila máxima esperada (percentil 95%) do HCM/97-2000,2010
- ⇒ valores básicos de brecha crítica e intervalo de seguimento revisados do HCM/2010 inclui retornos e manobras em etapas (ao invés de ajustes anteriores)  
**Ver Tabela 20-12 e 20-13**
- ⇒ ajustes de brecha crítica e intervalo de seguimento do HCM/97-2000,2010 em função da composição de tráfego e declividade na via secundária sem considerar fatores locais (curvatura, visibilidade, população)
- ⇒ critério explícito de identificação de volumes conflitantes do HCM/97 mas fatores ponderadores (equivalentes) específicos para os diferentes fluxos prioritários.  
**Ver Figura 20-7,8,9,10,11**
- ⇒ fórmula tradicional (poissoniana, discreta) de capacidade potencial (do HCM/97-2000,2010; fluxos secundários e capacidades em veículos/hora!)
- ⇒ capacidade real/efetiva: considera efeito adicional de interferências em função da hierarquia de prioridade dos movimentos, da razão Q/C dos movimentos interferentes e do efeito da interação de interferências (do HCM/2010, similar ao HCM97-2000) novo critério para fator de hora-pico (FHP): confuso e inadequado ... embora relevante ... melhor: analisar pico de demanda e analisar pico de fluxo oposto (não simultâneos) ...
- ⇒ mantém procedimentos preliminares (do HCM/97-2000,2010) para avaliar efeito da existência de aproximações alargadas (faixas de comprimento reduzido, revisado no HCM/2010) ou canteiros centrais que permitem manobras em etapas (mantido).
- ⇒ efeito de pelotões gerados por semáforos adjacentes: mantém sugestão do HCM/2010 de uso de simulação (critérios do HCM/97-2000 ainda uma alternativa razoável ...)
- ⇒ análise simplificada para pedestres (não há método para ciclistas) integrada do HCM/2010 (similar ao procedimento utilizado nos capítulos separados do HCM97-2000) ... com avaliação do efeito de cessão de preferência de condutores aos pedestres efeito de interferência dos pedestres reintroduzido no procedimento básico (como opção).

**TABELA 20-2. Nível de Serviço para Interseções com Sinalização de Prioridade (TWSC) para Modo Auto - HCM/6thEd (2016)**

Atraso de Controle Médio (seg/v)	Nível de Serviço para Q/C≤1	Nível de Serviço para Q/C>1
≤10	A	F
>10 e ≤15	B	F
>15 e ≤25	C	F
>25 e ≤35	D	F
>35 e ≤50	E	F
>50	F	F

$$d_c = d_r + d_s, \quad d_r = \frac{3600}{\tilde{C}_m} + 5\text{seg por manobra ou } d_a = \frac{3600}{\tilde{C}_a} + 5\text{seg média na}$$

aproximação (ambos incluindo  $d_{ba} = 5$  seg de aceleração/desaceleração)

$$\text{e } d_s = \frac{T_p}{4} \left[ (X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{8 \cdot k \cdot X}{\tilde{C} \cdot T_p}} \right] \text{ (sobre-atraso)}$$

no HCM/2000:  $k = 1,0$  e  $T_p = 900\text{seg}$  (15min) para  $X \leq 0,90$  (ou o período saturado)

$$\text{utilizando-se } d_s \text{ calculado por manobra com } X_m = \frac{\tilde{Q}_m}{\tilde{C}_m}$$

$$\text{mas ... melhor: } d_Q \text{ comum com } X = \frac{\tilde{Q}}{\tilde{C}_s} \left( \tilde{Q} = \sum \tilde{Q}_m \text{ e } \bar{d}_a = \sum p_m \cdot \bar{d}_m \right) \text{ e } d_{ba} = f[V]$$

$$\text{filas do percentil 95: } n_{95} = \frac{\tilde{C} \cdot T_p}{4} \left[ (X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{24 \cdot X}{\tilde{C} \cdot T_p}} \right] \text{ (não superada 95\% do tempo)}$$

**TABELA 20-3. Nível de Serviço para Interseções com Sinalização de Prioridade (TWSC) para Modo Pedestre - HCM/6thEd (2016)**

Atraso de Controle Médio (seg/p)	Nível de Serviço	Comentário
≤5	A	Usualmente, sem fluxos conflitantes
>5 e ≤10	B	Atrasos ocasionais devidos aos fluxos conflitantes
>10 e ≤20	C	Atrasos percebidos pelos pedestres, mas não inconvenientes
>20 e ≤30	D	Atrasos percebidos e incômodos, aceitação de risco aumenta
>30 e ≤45	E	Atrasos próximos do limite tolerável, aceitação de risco é comportamento provável
>45	F	Atrasos além do limite tolerável, aceitação de risco é altamente provável

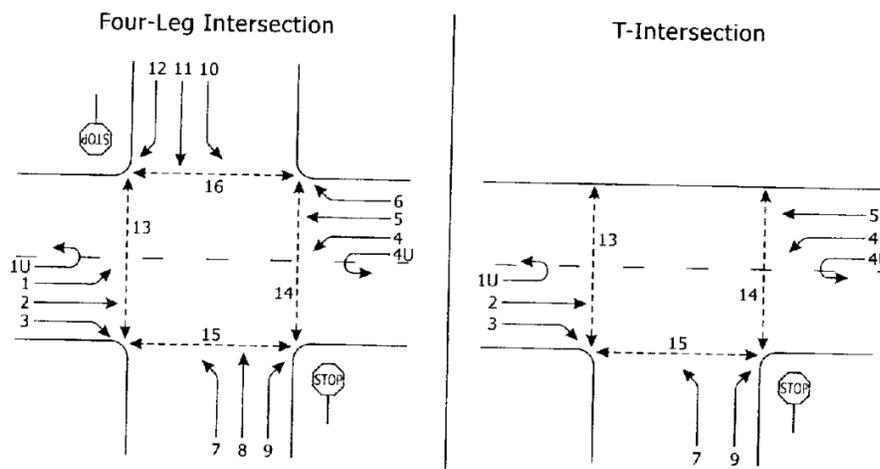
Obs: Atraso por pedestre ou por grupo de pedestres; pode manifestar-se como risco frequente.

**Parâmetros que Afetam Operação em Interseções com Sinalização de Prioridade**

Símbolo	Definição
$C_m$	capacidade (efetiva) para a manobra m, em veq/h ( $c_m$ )
$C_{p,m}$	capacidade potencial para a manobra m, em veq/h ( $c_{p,x}$ )
$f_m$	fator de ajustamento da capacidade (impedância) para a manobra m, $C_m = f_m \cdot C_{p,m}$
$C$	capacidade de uma faixa com uso compartilhado, em veq/h ( $c_{SH}$ )
$p_{0,x}$	probabilidade ausência de fila em um movimento interferente ( $p_{0,x}$ )
$C_{I,m}$	capacidade potencial da etapa I para a manobra m, em veq/h ( $c_{I,x}$ )
$C_{II,m}$	capacidade potencial da etapa II para a manobra m, em veq/h ( $c_{II,x}$ )
$C_{T,m}$	capacidade potencial efetiva para a manobra m em etapas, em veq/h ( $c_{T,x}$ )
$VH_m$	volume (demanda) para a manobra m, em veq/h, ( $V_x$ )
$q_m$	fluxo (demanda) para a manobra m, em veq/h, ( $v_x$ )
$Q$	fluxo total na faixa com uso compartilhado ( $v_{SH}$ )
$VH_{0,m}$	volume conflitante para a manobra m, em v/h ( $V_{c,x}$ )
$i$	índice de uma manobra de ordem de prioridade 1
$j$	índice de uma manobra de ordem de prioridade 2
$k$	índice de uma manobra de ordem de prioridade 3
$l$	índice de uma manobra de ordem de prioridade 4
$d_m$	atraso médio para a manobra m, em seg. ( $d_x$ )
$D$	atraso médio para a faixa com uso compartilhado, em seg. ( $d_{SH}$ )
$N$	fila média para a faixa com uso compartilhado, em seg. ( $Q_{SH}$ )

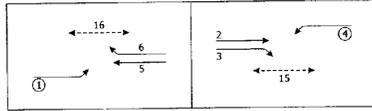
Obs: Na notação do HCM/2000, o fluxo  $q$  é  $v$

**Figura 20-1. Movimentos Veiculares e de Pedestres na Interseção com Sinalização de Prioridade (TWSC) – HCM/6thEd (2016)**



**Definição do Fluxo Oposto em Interseção com Sinalização de Prioridade (TWSC)**

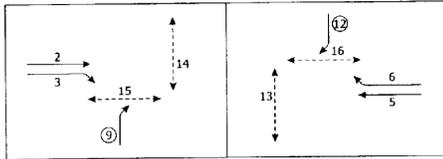
**Figura 20-7. Conversão à Esquerda na Via Principal (1,4) – HCM/6thEd (2016)**



$$v_{c,1} = v_5 + v_6 + v_{16}$$

$$v_{c,4} = v_2 + v_3 + v_{15}$$

**Figura 20-8. Conversão à Direita na Via Secundária (9,12) – HCM/6thEd (2016)**



Two-lane major streets:  $v_{c,9} = v_2 + 0.5v_3 + v_{14} + v_{15}$

$$v_{c,12} = v_5 + 0.5v_6 + v_{13} + v_{16}$$

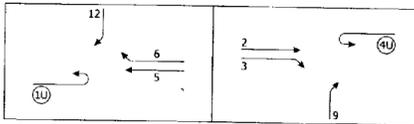
Four-lane major streets:  $v_{c,9} = 0.5v_2 + 0.5v_3 + v_{14} + v_{15}$

$$v_{c,12} = 0.5v_5 + 0.5v_6 + v_{13} + v_{16}$$

Six-lane major streets:  $v_{c,9} = 0.5v_2 + 0.5v_3 + v_{14} + v_{15}$

$$v_{c,12} = 0.5v_5 + 0.5v_6 + v_{13} + v_{16}$$

**Figura 20-9. Retorno na Via Principal (1U,4U) – HCM/6thEd (2016)**



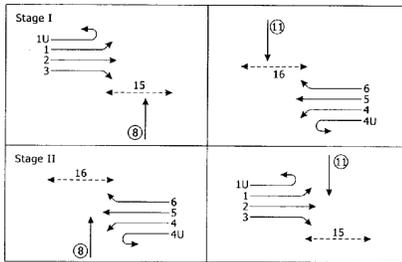
Four-lane major streets:  $v_{c,1U} = v_5 + v_6$

$$v_{c,4U} = v_2 + v_3$$

Six-lane major streets:  $v_{c,1U} = 0.73v_5 + 0.73v_6$

$$v_{c,4U} = 0.73v_2 + 0.73v_3$$

**Figura 20-10. Cruzamento na Via Secundária (8,11) – HCM/6thEd (2016)**



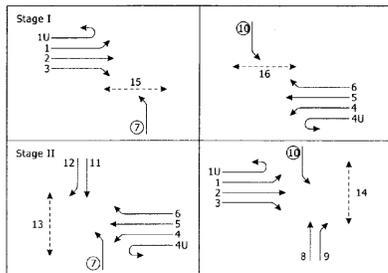
$$v_{c,I,8} = 2(v_1 + v_{1U}) + v_2 + 0.5v_3 + v_{15}$$

$$v_{c,I,11} = 2(v_4 + v_{4U}) + v_5 + 0.5v_6 + v_{16}$$

$$v_{c,II,8} = 2(v_4 + v_{4U}) + v_5 + v_6 + v_{16}$$

$$v_{c,II,11} = 2(v_1 + v_{1U}) + v_2 + v_3 + v_{15}$$

**Figura 20-11. Conversão à Esquerda na Via Secundária (7,10) – HCM/6thEd (2016)**



Two-lane major streets:  $v_{c,I,7} = 2v_1 + v_2 + 0.5v_3 + v_{15}$

$$v_{c,I,10} = 2v_4 + v_5 + 0.5v_6 + v_{16}$$

$$v_{c,II,7} = 2v_4 + v_5 + 0.5v_6 + 0.5v_{12} + 0.5v_{11} + v_{13}$$

$$v_{c,II,10} = 2v_1 + v_2 + 0.5v_3 + 0.5v_9 + 0.5v_8 + v_{14}$$

Four-lane major streets:  $v_{c,I,7} = 2(v_1 + v_{1U}) + v_2 + 0.5v_3 + v_{15}$

$$v_{c,I,10} = 2(v_4 + v_{4U}) + v_5 + 0.5v_6 + v_{16}$$

$$v_{c,II,7} = 2(v_4 + v_{4U}) + 0.5v_5 + 0.5v_{11} + v_{13}$$

$$v_{c,II,10} = 2(v_1 + v_{1U}) + 0.5v_2 + 0.5v_8 + v_{14}$$

Six-lane major streets:  $v_{c,I,7} = 2(v_1 + v_{1U}) + v_2 + 0.5v_3 + v_{15}$

$$v_{c,I,10} = 2(v_4 + v_{4U}) + v_5 + 0.5v_6 + v_{16}$$

$$v_{c,II,7} = 2(v_4 + v_{4U}) + 0.4v_5 + 0.5v_{11} + v_{13}$$

$$v_{c,II,10} = 2(v_1 + v_{1U}) + 0.4v_2 + 0.5v_8 + v_{14}$$

Obs: Na notação do HCM/2010, o fluxo  $q$  é representado por  $v$ ;

- a- se existir uma faixa de conversão à direita na via principal,  $q_3$  ou  $q_6$  não precisam ser considerado;
- b- se existir mais de uma faixa na via principal, o fluxo conflitante inclui somente o volume na faixa à direita, assumido como  $q_3/N$  ou  $q_5/N$ , onde  $N$  é o número de faixas diretas; pode ser especificado um valor distinto segundo a distribuição do fluxo entre faixas notado em campo;
- c- se a conversão à direita da via principal é separada por uma ilha de tráfego triangular e controlada por sinal PARE/DÊ PREFERÊNCIA, pode-se eliminar  $q_3$  e  $q_6$  do fluxo conflitante;
- d- se a conversão à direita da via principal é separada por uma ilha de tráfego triangular e controlada por sinal PARE/DÊ PREFERÊNCIA, deve-se eliminar  $q_9$  e  $q_{12}$  do fluxo conflitante;
- e- omitir  $q_9$  ou  $q_{12}$  se a via principal tem múltiplas faixas ou usar metade se a conversão à direita da via secundária é alargada;
- f- omitir a conversão à direita mais afastada  $q_3$  para o movimento 10 e  $q_6$  para o movimento 7 se a via principal tem múltiplas faixas.

**TABELA 20-12. Valores Básicos de Brecha Crítica  $\tilde{t}_c$  em Interseções com Sinalização de Prioridade (TWSC)-HCM/6thEd (2016)**

Tipo de Manobra	Brecha Crítica $\alpha$ ( $t_c$ ) Básica, seg.		
	Via principal de 2 faixas (1 por sentido)	Via principal de 4 faixas (2 por sentido)	Via principal de 6 faixas (3 por sentido)
Conversão à esquerda (LT), Via Principal	4,1	4,1	5,3
Retorno (UT), na Via Principal	n.d.	6,4 (canteiro largo) 6,9 (canteiro estreito)	5,6
Conversão à direita (RT), na Via Secundária	6,2	6,9	7,1
Cruzamento (TH), Via Secundária	6,5 (uma etapa) etapa 1: 5,5; etapa 2: 5,5	6,5 (uma etapa) etapa 1: 5,5; etapa 2: 5,5	6,5 (uma etapa) etapa 1: 5,5*; etapa 2: 5,5*
Conversão à esquerda (LT), Via Secundária	7,1 (uma etapa) etapa 1: 6,1; etapa 2: 6,1	7,5 (uma etapa) etapa 1: 6,5; etapa 2: 6,5	6,4 (uma etapa) etapa 1: 7,3; etapa 2: 6,7

TWSC - controle de prioridade com PARE apenas nas aproximações de uma das vias (via secundária); \* valores estimados (usar com cuidado).

**TABELA 20-13. Valores Básicos de Tempo de Seguimento  $\tilde{t}_f$  em Interseções com Sinalização de Prioridade (TWSC)-HCM/6thEd (2016)**

Tipo de Manobra	Tempo de Seguimento $\beta$ ( $t_f$ Básico, seg.)		
	Via principal de 2 faixas (1 por sentido)	Via principal de 4 faixas (2 por sentido)	Via principal de 6 faixas (2 por sentido)
Conversão à esquerda (LT), Via Principal	2,2	2,2	3,1
Retorno (UT), na Via Principal	n.d.	2,5 (canteiro largo) 3,1 (canteiro estreito)	2,3
Conversão à direita (RT), na Via Secundária	3,3	3,3	3,9
Cruzamento (TH), Via Secundária	4,0	4,0	4,0
Conversão à esquerda (LT), Via Secundária	3,5	3,5	3,8

TWSC - controle de prioridade com PARE apenas nas aproximações de uma das vias (via secundária).

ajuste:  $\alpha(t_c) = \tilde{t}_c + \delta_{c,VP} \cdot p_{VP} + \delta_{c,i} \cdot i - \delta_{c,ET}$  e  $\beta(t_f) = \tilde{t}_f + \delta_{f,VP} \cdot p_{VP}$ , onde

$\delta_{c,VP} = 1,0$  seg. para via de 2 fxs (1/sentido) e 2,0 seg. para via de 4 ou 6 fxs (2 ou 3/sentido)

$\delta_{c,i} = 0,1$  seg. para movimentos 9 e 12 e 0,2 seg. para movimentos 7, 8, 10 e 11

$\delta_{c,ET} = 0,7$  seg. (redução) para movimento 7 ou 10 em interseção em T

$\delta_{f,VP} = 0,9$  seg. para via de 2 fxs (1/sentido) e 1,0 seg. para via de 4 fxs (2/sentido)

$p_{VP}$  é a proporção de veículos pesados e  $i$  é a declividade da via (+ é alocativa)

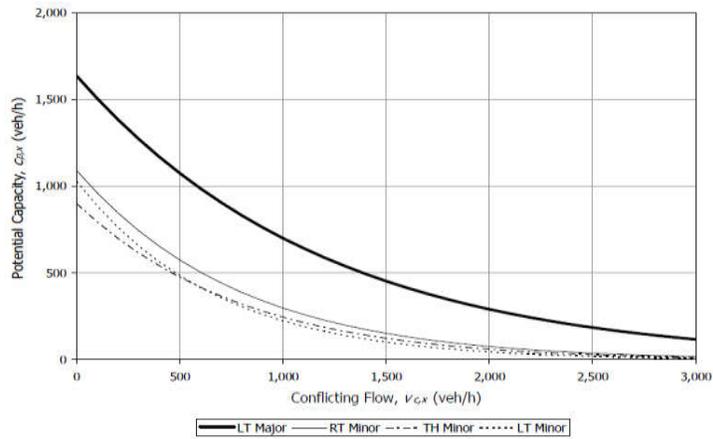
Capacidade potencial:  $C_{p,m} = \frac{e^{-t_c \cdot q_{0,m}}}{1 - e^{-t_f \cdot q_{0,m}}} \cdot q_{0,m}$  para cada manobra  $m$  com placa de PARE

curvas de capacidade para os valores básicos (potencial, sem interferências) ...

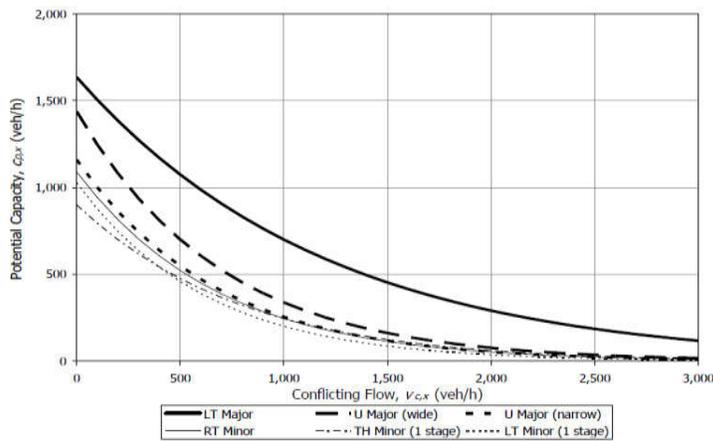
usar fluxos com fator de hora-pico global da interseção ou analisar cada período de 15min

DÊ PREFERÊNCIA: ajustar valores de brechas críticas e intervalos de segmento ...

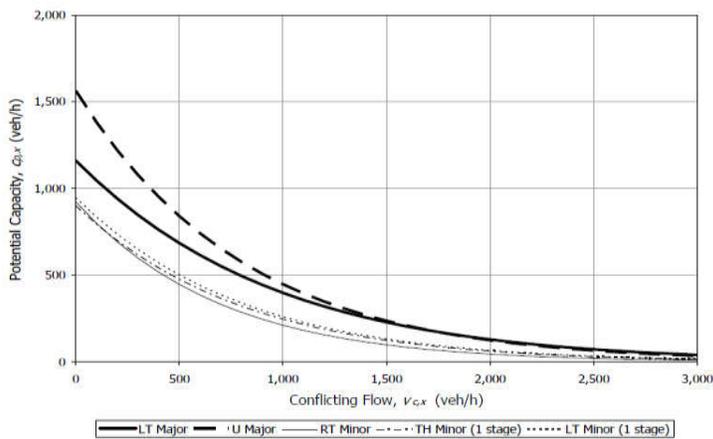
**Figura 32-1. Capacidade Potencial – Via Principal de 2 Faixas (1/1) – HCM/6thEd (2016)**



**Figura 32-2. Capacidade Potencial – Via Principal de 4 Faixas (2/2) – HCM/6thEd (2016)**



**Figura 32-3. Capacidade Potencial – Via Principal de 6 Faixas (3/3) – HCM/6thEd (2016)**



Obs: Na notação do HCM/2000, o fluxo oposto  $q_{om}$  é  $v_{c,x}$ , a brecha crítica  $\alpha$  é  $t_{cr}$  e a capacidade potencial  $\tilde{C}_{p,i}$  é  $c_{p,i}$ .

**Interferências entre movimentos secundários (Impedância):**

- interferência com os movimentos principais (revisado): baía com  $n_L$  vagas

$$\tilde{C}_i = f_j \cdot \tilde{S}, p_{0,j} = 1 - X_L, f_j = p_{0,j}^* = 1 - (1 - p_{0,j}) \left( \frac{(y_{T,L} + y_{R,L})^{n_L}}{1 - y_{T,L} - y_{R,L}} \right)^{1/n_L} \quad (\text{faixa L esquerda})$$

$p/L = 1: T = 2; R = 3; p/L = 4: T = 5, R = 6; p/T, R, \tilde{C}_i \cong \tilde{S}$  sem interferências

$$X = \frac{\tilde{Q}}{\tilde{C}}, y = \frac{\tilde{Q}}{\tilde{S}}; \text{direto: } \tilde{C}_T = \tilde{S}_T \cong 1800 \text{v/h}; \text{ para conv.direita: } \tilde{C}_R = \tilde{S}_R \cong 1500 \text{v/h}$$

$$\text{atraso } d_i = (1 - p_{0,j}^*) \cdot d_L, \text{ para } N = 1, \text{ ou } \frac{(1 - p_{0,j}^*)}{N} \cdot d_L \cdot \frac{q_{T,L}}{q_{T,L} + q_{R,L}}, N > 1$$

- interferência entre movimentos secundários: níveis 2 (j), 3(k) e 4 (l)

$$\tilde{C}_{m,j} = f_j \cdot \tilde{C}_{p,j}, f_j = \prod_p p_{0,p}, j = 1, 4, 9, 12 \text{ (sem interferência veicular)}$$

$$p/ j=1, p=16, p/ j=4, p=15, p/ j=9, p=15,14, p/ j=12, p=16,13$$

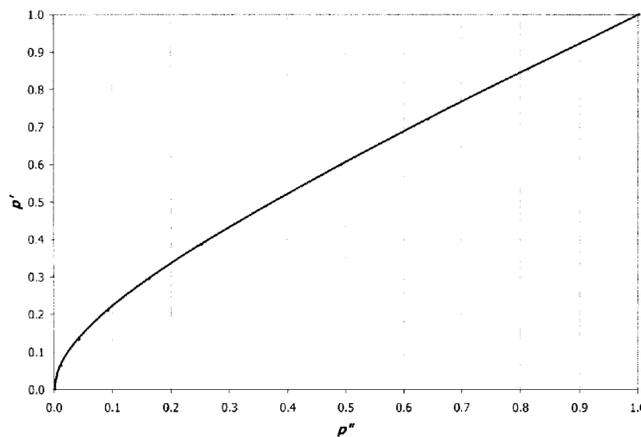
$$\tilde{C}_{m,k} = f_k \cdot \tilde{C}_{p,k}, f_k = \prod_j p_{0,j} \cdot \prod_p p_{0,p} \text{ com } p_{0,j} = 1 - \frac{\tilde{q}_j}{\tilde{C}_{mj}}$$

$$p/ k=8,11, j=1,4 \text{ e } p=15,16 \text{ (p/ ambos)}$$

$$\tilde{C}_{m,l} = f_l \cdot \tilde{C}_{p,l}, f_l = p_{0,j} \cdot p'_k \cdot \prod_p p_{0,p}, p' = 0,65 \cdot p'' - \frac{p''}{p'' + 3} + 0,6 \cdot \sqrt{p''}, p'' = p_{0,k} \cdot f_k$$

$$p/ l=7, k=11, j=12 \text{ e } p=15,13$$

$$p/ l=10, k=8; j=9 \text{ e } p=16,14$$



- também interferência de pedestres: tempo de travessia  $t_p = \frac{\ell}{V_p}$  ( $\ell$  largura de faixa)

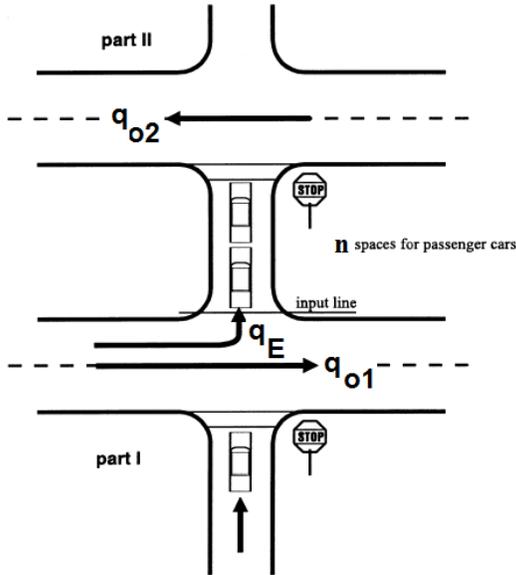
$$\text{impedância } p_{0,p} = \prod_i \left( 1 - t_{pi} \cdot \frac{N_{pi}}{3600} \right) \Rightarrow \text{adicional às impedâncias veiculares}$$

$N_p$  número de grupos de pedestres (fluxo em pelotões/hora seria melhor)

(não afeta fluxos da via principal; novo procedimento para cessão de preferência)

Casos Especiais:

- manobras realizadas em 2 etapas:



$$C_T = \frac{a}{y^{n+1} - 1} \cdot (y \cdot (y^n - 1) \cdot (C_{II} - q_E) + (y - 1) \cdot C_m) \cdot$$

ou  $C_T = \frac{a}{n + 1} \cdot (n \cdot (C_{II} - q_E) + C_m)$  se  $y = 1$

onde  $a = 1 - 0,32 \cdot e^{-1,3 \cdot \sqrt{n}}$  (ajuste)

e  $y = \frac{C_I - C_m}{C_{II} - q_E - C_m}$  (interação)

$n$  é o número de posições no canteiro

$C_T$  é a capacidade potencial, em 2 etapas

$C_m$  é a capacidade potencial em 1 etapa

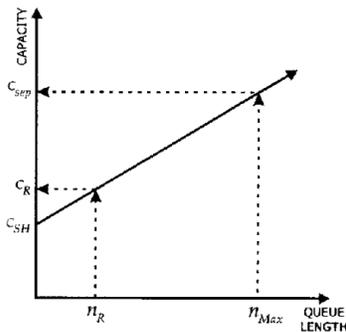
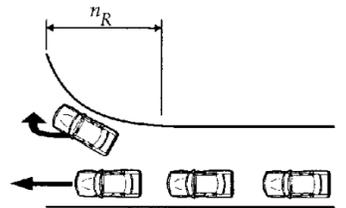
(=manobras simultâneas nas etapas)

$C_I$  é a capacidade potencial da etapa I

$C_{II}$  é a capacidade potencial da etapa II

(avaliação por manobra  $m$ )

- aproximações alargadas (revisado):



$$C_T = C_1 + (C_2 - C_1) \cdot \frac{n}{n_{max}} \text{ onde}$$

$n$  é o número de posições no trecho com alargamento (fora da faixa)

$n_{max}$  é número de posições que permite a eficiência máxima, calculado pela fila (média)

formada no alargamento:

$$n_{max} = \max \left\{ \left\lfloor \frac{q}{3600 \cdot d} \right\rfloor + 1 \right\} \text{ para os}$$

fluxos secundários

$C_1$  é a capacidade na faixa normal

$C_2$  a capacidade com alargamento

$$C_2 = \min \left\{ C_R \cdot \left( 1 + \frac{Q_O}{Q_R} \right); C_O \cdot \left( 1 + \frac{Q_R}{Q_O} \right) \right\}$$

( $Q_R$  : fluxo conversão;  $Q_O$  : fluxo outros)

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

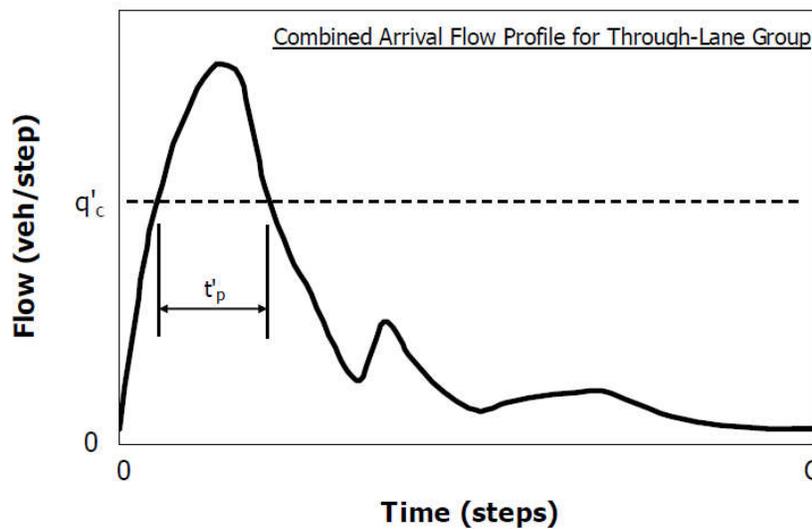
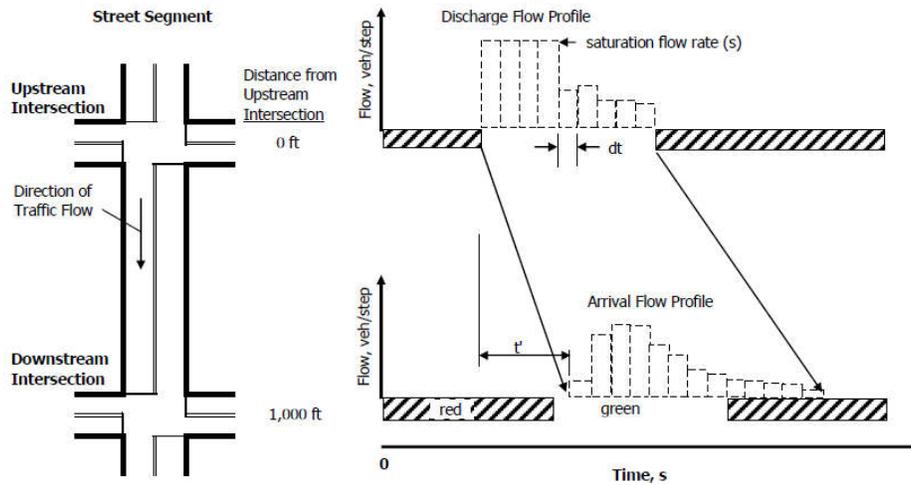
. recomenda determinar a proporção de tempo bloqueado  $p_b$  por simulação (construir perfis cíclicos de tráfego baseados no modelo de Robertson, com

$$\delta_t = 1s, t_{\min} = \bar{t}_R - \frac{1}{F} + 1,25, F = \frac{1}{1 + 0,138 \cdot \bar{t}_R + 0,315 / \delta_t}, q_p = \frac{N}{\alpha(t_c)}, \alpha(t_c) = \text{brechacrítica}$$

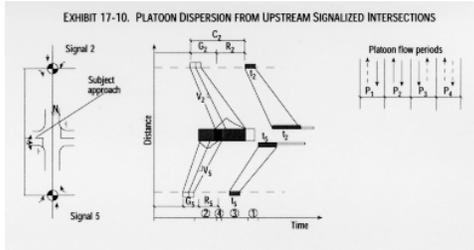
e  $q_i^B = F \cdot q_{i-t_{\min}}^A + (1-F) \cdot q_{i-1}^A$ ;  $q_i^A, q_i^B$ : fluxo de entrada e chegada final no link AB;  
 $\bar{t}_R$ : tempo médio de viagem, obtido da análise do corredor arterial)

. assume  $q_p = 1000 \cdot N_o, q_{on} = \frac{q_o - 1,5 \cdot q_{\min} \cdot p_b}{p_b}$  se  $q_o > 1,5 \cdot q_{\min} \cdot p_b$  (senão  $q_{on} = 0$ )

$$\text{então } C_{on} = \frac{e^{-q_{on} t_c / 3600}}{1 - e^{-q_{on} t_f / 3600}} q_{on} \text{ (ou } C_{on} = \frac{1}{t_f} \text{ se } q_{on} = 0) \text{ e } C_p = p_a \cdot C_{on}, p_a = (1 - p_b)$$



- efeito dos pelotões (alternativa analítica do HCM2000):



- progressão no fluxo principal i:

$$f_{pr,i} = \frac{q_{pr}}{q_u} \text{ (direto e/ou conversão esquerda em estágio exclusivo)}$$

- tempo de dissipação da fila (anterior):

$$g_s = \frac{q_u \cdot r}{S_u - q_u} \text{ (ou } g = g_{sr} + g_{sg} \text{)}$$

- fator de dispersão de pelotões:

$$F = \frac{1}{1 + \beta \cdot \gamma \cdot \bar{t}}, \beta = \frac{1}{1 + \gamma}, \bar{t} = \frac{L}{V_{pr}}$$

com  $\gamma$  da Tabela 17-13

- fluxo no pelotão (na interseção):

$$q_{max} = f_{pr} \cdot S_u \cdot (1 - (1 - F)^{g_s}) \text{ e}$$

$$q_{min} \geq \frac{N}{\alpha(t_c)} \approx 1000 \cdot N \text{ v/h}$$

- tempo bloqueado pelo pelotão:

se  $f_{pr} \cdot S_u \leq q_{min}$  ou  $q_{max} \leq q_{min}$ ,  $t_p = 0$

senão, se  $f_{pr} \cdot q_u \cdot R_p \geq q_{min}$ ,  $t_p = t_c \cdot \frac{q_{pr}}{q_{max}}$

senão  $t_p = g_s - \delta$ , com

$$\delta = \frac{\ln\left(\left(1 - \frac{q_u}{f_{pr} \cdot S_u}\right) \left(\frac{q_{max} - f_{pr} \cdot q_u \cdot R_p}{q_{min} - f_{pr} \cdot q_u \cdot R_p}\right)\right)}{\ln(1 - F)}$$

- proporção do tempo bloqueado i:

$$p_{bi} = \frac{t_{pT} + t_{pL}}{t_c} \text{ (direto e conversão)}$$

- capacidade ajustada por manobra m:

$$q_{0a} = \frac{q_0 - (1 - p_a) \cdot S_b}{p_a} \geq 0, C_a = p_a \cdot C[q_{0a}]$$

Tabela 17-13. Fator de Dispersão de Pelotão ( $\gamma$ )

tipo de Divisão	no.de faixas diretas		
	N=1	N=2	N=3
sem divisão	0,55	0,50	0,40
Canteiro	0,45	0,40	0,35
TWLTL(*)	0,40	0,35	0,30

\*TWLTL: faixa de conversão à esquerda nos 2 sentidos

Tabela 17-15. Proporção do Tempo por Regime

	normal*	Restringido
P <sub>1</sub>	$1 - (p_{dom} + p_{sub}/2)$	0
P <sub>2</sub>	$(p_{dom} - p_{sub}/2)$	$1 - p_{sub}$
P <sub>3</sub>	$p_{sub}/2$	$1 - p_{dom}$
P <sub>4</sub>	$p_{sub}/2$	$p_{dom} + p_{sub} - 1$

Tabela 17-16. Proporção bloqueada por manobra

	n o r m a l *	Restringido
pa <sub>1</sub>	$1 - p_5$	$1 - p_5$
pa <sub>4</sub>	$1 - p_2$	$1 - p_2$
pa <sub>7</sub>	$1 - (p_{dom} + p_{sub}/2)$	0
pa <sub>8</sub>	$1 - (p_{dom} + p_{sub}/2)$	0
pa <sub>9</sub>	$1 - p_2$	$1 - p_2$
pa <sub>10</sub>	$1 - (p_{dom} + p_{sub}/2)$	0
pa <sub>11</sub>	$1 - (p_{dom} + p_{sub}/2)$	0
pa <sub>12</sub>	$1 - p_5$	$1 - p_5$

\* operação normal se  $p_{dom} + p_{sub}/2 \leq 1$   
(caso contrário, operação restringida)

$$p_{dom} = \max\{p_2, p_5\}, p_{sub} = \min\{p_2, p_5\}$$

**Procedimento para Ciclistas em Interseções Não-Semaforizadas:**

- capacidade: recomenda fórmula poissoniana mas não fornece brechas críticas  
alguns valores (sumários) nos estudos referidos  
exemplo: brecha crítica de 3,2 seg. na travessia de 2 faixas, sentido único  
(menor que a observada para movimentos veiculares)
- atraso: recomenda usar as mesmas expressões adotadas para veículos
  - . adverte que ciclistas não formam fila nas aproximações;  
(fora de interseções, assume 1,2m como largura da faixa “efetiva”)
  - . recomenda desprezar atrasos nas conversões à direita;
  - . adverte sobre as manobras em entrelaçamento com veículos.
  - . recomenda usar critério de nível de serviço de interseção semaforizada.

**Procedimento para Travessias de Pedestres Não-Semaforizadas:**

- baseado no atraso médio por pedestre com chegadas uniformes:

$$d_{ped} = \frac{1}{q_o} \left( e^{q_o \cdot t_{ped}} - q_o \cdot t_{ped} - 1 \right) \text{ e } d_{pedp} = \frac{d_{ped}}{P_{pedp}}, P_{pedp} = 1 - \left( 1 - P_{bped} \right)^N$$

com brecha requerida baseada em tempo requerido (não comportamental)

$$t_{ped} = t_d + (N_p - 1)t_f, \text{ com } t_d = \frac{L_{ped}}{V_{ped}} + t_s \text{ para travessia, e } P_{bped} = 1 - e^{-q_o \cdot t_{ped}/N}$$

onde  $t_s$  é o tempo de início da partida e  $t_f$  é o tempo em pelotão (2seg.)

$$\text{com } N_{ped} = \frac{q_{ped} \cdot e^{q_{ped} \cdot t_d} + q_o \cdot e^{-q_o \cdot t_d}}{(q_{ped} + q_o) \cdot e^{(q_{ped} - q_o) \cdot t_d}} \text{ pedestres atravessando por brecha em}$$

$$N_p = \text{INT} \left[ \frac{N_{ped} - 1}{W_E / 2,44} \right] + 1 \text{ linhas de pedestres em pelotão (fila) na travessia}$$

onde normalmente são considerados os pedestres de ambos os sentidos (pressupõe fluxo oposto veicular  $q_o$  com chegadas poissoniadas)

(passou a adotar largura efetiva de 2,44m (8ft) por fila bidirecional de pedestres)

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

$$\text{Conceito de capacidade implícito: } C_{ped} = \frac{W_E}{2,44} \cdot \frac{e^{-q_o \cdot t_d}}{1 - e^{q_o \cdot t_f}} \cdot q_o \text{ (poissoniana)}$$

**Efeito da Cessão da Preferência nas Travessias de Pedestres:**

- HCM2010,2016: nos EUA os motoristas não obedecem a preferência dos pedestres !
- modelo básico assume travessia de pedestres nas brechas (manobra secundária)
- efeito de cessão de preferência nas travessias de pedestres: redução do atraso ...

. procedimento numérico de estimativa: passos  $n_h = \frac{d_{pedp}}{\delta_h}, \delta_h = \bar{h}_f = \frac{N}{q_t}$

$$d_{ped} = \sum_{i=1}^{n_h} \delta_h \cdot (i - 0,5) \cdot P[Y_i] + d_{pedp} \cdot P[nY], P[nY] = P_{pedp} - \sum_{i=0}^{n_h} P[Y_i]$$

$$P[Y_0] = 0, P[Y_{\geq i}] = \left( P_{pedp} - \sum_{j=0}^{i-1} P[Y_j] \right), P[Y_i] = P[Y_{\geq i}] \frac{P[G_i]}{P_{pedp}}$$

$$p/1fx : P[G_i] = P_{pedp} \cdot M_y, P[Y_i] = P[Y_{\geq i}] \frac{P[G_i]}{P_{pedp}} = P_{pedp} \cdot (1 - M_y)^{i-1} \cdot M_y,$$

$$p/2fxs : P[G_i] = 2 \cdot (1 - P_{bped}) \cdot (P_{bped} \cdot M_y) + (P_{bped} \cdot M_y)^2,$$

$$p/3fxs : P[G_i] = 3 \cdot (1 - P_{bped})^2 \cdot (P_{bped} \cdot M_y) + 3 \cdot (1 - P_{bped}) \cdot (P_{bped} \cdot M_y)^2 + (P_{bped} \cdot M_y)^3,$$

$$p/4fxs : P[G_i] = 4 \cdot (1 - P_{bped})^3 \cdot (P_{bped} \cdot M_y) + 6 \cdot (1 - P_{bped})^2 \cdot (P_{bped} \cdot M_y)^2 + 4 \cdot (1 - P_{bped}) \cdot (P_{bped} \cdot M_y)^3 + (P_{bped} \cdot M_y)^4, \dots$$

. taxa média de cessão de preferência aos pedestres:  $M_y$

(proporção dos motoristas que cedem preferência, função da sinalização)

Crossing Treatment	Staged Pedestrians		Unstaged Pedestrians	
	Number of Sites	Mean Yield Rate, %	Number of Sites	Mean Yield Rate, %
Overhead flashing beacon (push button activation)	3	47	4	49
Overhead flashing beacon (passive activation)	3	31	3	67
Pedestrian crossing flags	6	65	4	74
In-street crossing signs (25–30 mi/h)	3	87	3	90
High-visibility signs and markings (35 mi/h)	2	17	2	20
High-visibility signs and markings (25 mi/h)	1	61	1	91
Rectangular rapid-flash beacon	N/A	N/A	17	81

Source: Fitzpatrick et al. (NCHRP R562) and Shurbutt et al. (JTRB 2140).

Obs.:pedestres treinados (staged pedestrians); população geral (unstaged pedestrians)

## Comentários sobre o Procedimento do U.S.HCM6thEd (2016)

- ⇒ diferenças entre o HCM2016,2010 e o HCM/97-2000 são muito pequenas;
- ⇒ mantêm usa fórmula de capacidade poissoniana (mesma do HCM/97-2000);
- ⇒ movimentos conflitantes em fluxo ponderado (muito conservativo) do HCM/97-2000;
- ⇒ também desprezam restrições de visibilidade, raio de giro... (do HCM/85);
- ⇒ consideram interação das interferências (como no HCM/97-2000);  
mas adotam (mesmo) método revisado para interação na via principal
- ⇒ usam método preliminar para interferência de pedestres (do HCM/2000)  
(retirado do procedimento básico no HCM/2010; reintroduzido no HCM/2016);
- ⇒ usam métodos preliminares para manobras em etapas do HCM/97-2000;  
usam (mesmo) método preliminar para aproximações alargadas (revisado);
- ⇒ usam métodos preliminares para efeito de pelotões do HCM/97-2000;  
(mas recomendam, ambos, avaliar tempo bloqueado por simulação)
- ⇒ mantêm critério direto de nível de serviço do HCM/97-2000;
- ⇒ mantêm atraso de fila como atraso específico como no HCM/97-2000;
- ⇒ mantêm estimativa de filas máximas (percentil 95%) como no HCM/97-2000;
- ⇒ procedimentos preliminares (etapas, alargamento, pelotões) ainda não validados;
- ⇒ também desprezam relação entre brecha aceita e requerida (AASHTO/1984a1994);
- ⇒ procedimentos de avaliação da qualidade de serviço para pedestres e bicicletas;

**VER EXERCÍCIO HCM2010-NÃO SEMAFORIZADA**