

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

- ⇒ análise das interseções em interconexões (ligação com vias expressas/rodovias, introduzida no HCM/2000) e agora também interseções alternativas ...
- ⇒ HCM/2016 adota um critério de desempenho operacional teoricamente adequado ...
 - tempo (extra) de viagem experimentado (O/D): $t_{xv} = \sum_i d_{ci} + \sum_i \left(\frac{L_{xi}}{V_{xi}} + \varepsilon_{ai} \right) \dots$
 - atraso (de controle): d_{ci} (fórmulas usuais para atraso em interseções ...)
 - distância (extra) de viagem experimentada: L_{xi} (em adição ao trajeto reto) (trajeto reto pelo prolongamento das aproximações de chegada e saída ...)
 - atraso adicional (desaceleração e aceleração intermediárias): ε_{ai} ($\varepsilon_{ai} \sim \delta_{ba} \dots$)

novο critério de nível de serviço, no percurso completo, com tempo extra de viagem experimentado (semáforos/rotatórias), razão Q/C (demanda) e z/L (filas) ...
- ⇒ HCM/2016 define interseções distribuídas (que são as interseções compostas) e trata interseções em interconexões como um caso particular, analisando configurações usuais em terminais de rampas/ramais de interconexões
- ⇒ HCM/2016 detalha casos usuais com interseções componentes semaforizadas, com sinalização de prioridade ou rotatórias nas interseções principais
- ⇒ primeira versão consistente do procedimento inicial introduzido no HCM/2000 ... (destaca deficiências da análise de interseções tradicional no HCM)
- ⇒ destaca peculiaridades de configurações usuais (interseções, em geral duas adjacentes, nos trechos finais de rampas/ramais de ligação entre uma via principal, expressa ou rodovia, e uma via secundária, em geral urbana) e outros casos de interseções (compostas) com configurações especiais ...
 - discute configurações alternativas e suas implicações para as interseções;
 - discute peculiaridades da operação de interseções adjacentes (próximas);
 - discute peculiaridades do controle semafórico de interseções adjacentes;
 - discute peculiaridades específicas de interseções em interconexões ...
- ⇒ propõe procedimentos para terminais com semáforo ou rotatória (R1/R2, ...) além de um método genérico para selecionar configurações ...
 - o método proposto para terminais com semáforos tem adições relevantes:
 - fatores adicionais que afetam o fluxo de saturação e o uso desigual das faixas;
 - tempos perdidos adicionais por bloqueio adiante e para períodos de fluxo vazio; (deveriam ser incorporados aos métodos usuais de interseções semaforizadas)
 - (retirou os critérios do HCM/2000 para determinar a defasagem entre semáforos)

Características Básicas de Interseções Distribuídas e Interconexões

⇒ **Interseções Distribuídas:** conjunto (*cluster*) de interseções que operam de forma integrada pelo espaçamento reduzido e interdependência dos movimentos (conceito introduzido no HCM/2016, corresponde ao conceito de interseção composta ...)

- interseções em interconexões: o contexto de aplicação clássico até HCM/2010 ... na interligação entre vias expressas, expressas e arteriais, entre arteriais ...

- interseções alternativas: o novo contexto descrito pela existência de manobras desviadas ou movimento deslocado para interseções secundárias adjacentes ...

- interseção composta (conceito alternativo): área de conflito entre fluxos controlada por sinais de preferência ou semáforos em que algumas manobra ocorrem em etapas pela utilização de retenções intermediárias próximas (internas à interseção)

⇒ **Tipos de Interconexões:** variedade muito grande de configurações ...

problemas mais importantes nas configurações em diamante (entradas/saídas na via secundária, em geral urbana, feita nas interseções componentes)

problemas ocorrem também em trevos incompletos (PARCLO=*partial cloverleaf*) e outras configurações (em geral não ocorrem em trevos completos) ...

HCM/2016: análise estendida a configurações alternativas de interseções urbanas

- . configurações tradicionais em que conversões à esquerda usam vias secundárias; principal caso: Conversão à Esquerda Deslocada (DLT-*Displaced Left Turns*) (variações: Interseção de Fluxo Contínuo=CFI-*Continuous Flow Intersection*)
- . configurações tradicionais em que conversões à esquerda usam retornos na via; principal caso: Retorno nos Canteiros (MUT-*Median U Turns*) (variações: Retorno nas Vias Laterais ou em Rotatórias Laterais=*Bowties*)
- . configurações alternativas que inovam o tratamento das conversões à esquerda ... principal caso: Retorno em Via Restrita (RCUT-*Restricted Crossing U Turns*) (variações: Alça Oblíqua=*JugHandle* ... RCUT=*SuperStreet* ...)

(a menos da terminologia peculiar dos EUA, os tratamentos tem poucas novidades)

peculiaridade fundamental é a existência de interseções bastante próximas e interdependentes (decorrentes de conversões e filas significativas)

estas são as peculiaridades de interseções compostas, de forma geral ...
(interseções em interconexões são apenas um contexto específico)

efeitos peculiares em interseções compostas: bloqueios nas filas internas, períodos de fluxo vazio adiante, mudanças internas de faixa ou fila, uso desigual das faixas e/ou filas segregadas ... interação interna ... não comenta padrões de pelotões típicos de semáforos próximos ...

⇒ **Peculiaridades de interseções em interconexões: ...**

efeitos peculiares de interseções em interconexões: em cada sentido, dois pelotões na via secundária (fluxo direto e conversões de entrada), duas conversões à esquerda fortes e adjacentes (conversões de saída), ...

em sistemas expressos com pistas auxiliares, problemas operacionais nos trechos de terminação das interconexões tem efeitos locais mas, sem pistas auxiliares, os problemas operacionais afetam as vias expressas

⇒ **Peculiaridades de interseções alternativas: ...**

peculiaridades (comuns) das configurações alternativas de interseções urbanas:

- . movimentos (origem/destino na interseção) podem ter de usar diversas retenções;
- . sequência de rota e distância reduzida gera interações relevantes na interseção ...
- . configurações alteram fluxos nas aproximações ou seus movimentos (altera rota);
- . pode aumentar (retornos, loops, ...) ou reduzir (saídas antecipadas) fluxo total ...

⇒ **Nível de Serviço:** atraso no trajeto O/D, razão Q/C (demanda) e razão z/L (filas) introduz o conceito de tempo (extra) de viagem experimentado ($t_{vx} = ETT$) agregando atraso de controle e atraso na distância extra contra rota perpendicular

$$t_{xv} = \sum_i \delta_{vi} \cdot d_{ci} + \sum_x \delta_{vi} \cdot d_{xi}, d_{xi} = \frac{L_{xi}}{V_{xi}} + \epsilon_{ai}, \text{ com a velocidade normal } V_{xi} \text{ do trecho } i$$

(V_{xi} de percurso, sem os atrasos de controle, relativo à rota perpendicular OD ...)

δ_{vi} : indica se aproximação i é percorrida pelo movimento v (1, senão 0);

d_{ci} : atraso de controle na aproximação de interseção (fórmulas usuais);

ϵ_{ai} : atraso adicional, 5seg p/ramais em loop (desaceleração/aceleração de curva);

L_{xi} : distância (extra, em relação ao percurso reto) de percurso no trecho i;

V_{xi} : velocidade de percurso normal na distância percorrida L_{xi} ...

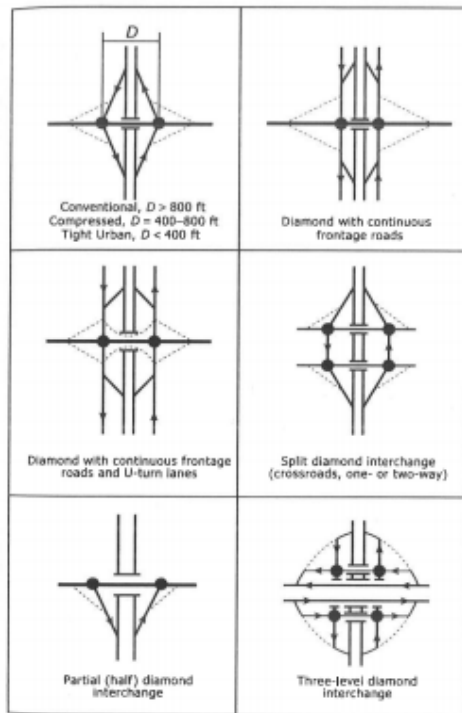
($V_{xi} \cong V_{FLi}$ se observado; projeto: $V_{xi} \cong V_{projeto,curvai} - 5\text{mph} = V_{projeto,curvai} - 8\text{km/h}$).

TABELA 23-10,14,13. Níveis de Serviço para Vias de Interconexões - HCM/6thEd (2016)

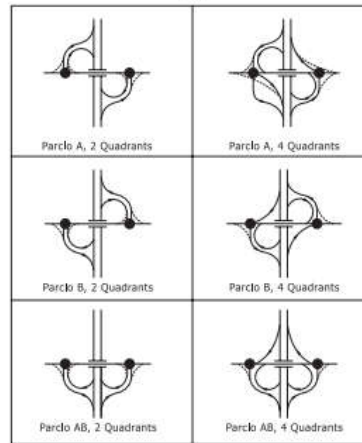
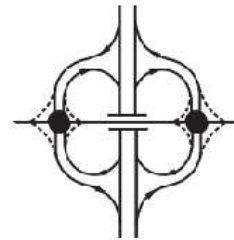
Tempo (Extra) de Viagem Experimentado (seg)			Nível de Serviço		
Interconexões com Semáforo	Interconexões com Rotatória	Interseções Alternativas	Se Q/C<1 e z/L<1 (todo local)	Razão Q/C>1 (qualquer local)	Razão z/L>1 (qualquer local)
≤15	≤15	≤10	A	F	F
>15-30	>15-25	>10-20	B	F	F
>30-55	>25-35	>20-35	C	F	F
>55-85	>35-50	>35-55	D	F	F
>85-120	>55-75	>55-80	E	F	F
>120	>75	>80	F	F	F

Nota: Critério para Interseções Alternativas é o mesmo de Interseções Semaforizadas; o critério de Interconexões com Semáforos é 33% maior e o critério de Interconexões com Rotatórias é intermediário. Casos não considerados (e.g. Sinalização de Preferência) são avaliados usando seus critérios específicos, ao invés do tempo (extra) de viagem experimentado por origem/destino.

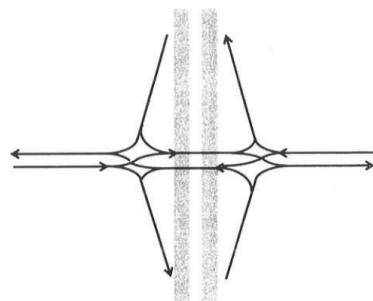
tempo (extra) de viagem experimentado (t_{vx}) é uma medida aproximada do atraso com circuitação no trajeto (com modelos usuais para interseções semaforizadas)



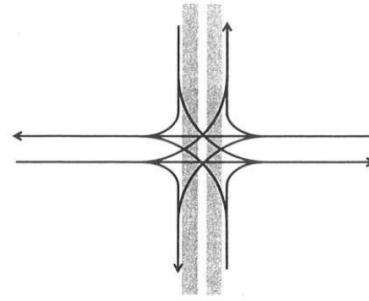
Note: - - - Possible alternative configuration of signal bypasses operating as unsignalized movements; these are movements that are not using the ramp terminals.



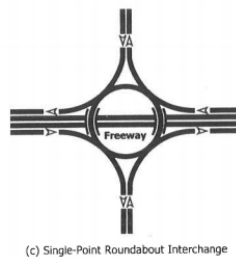
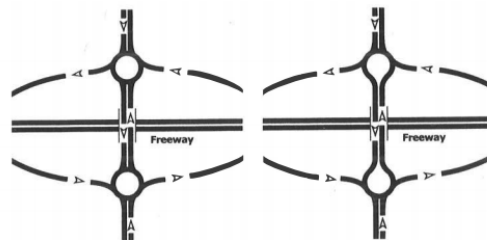
Note: - - - Possible alternative configuration of signal bypasses operating as unsignalized movements; these are movements that are not using the ramp terminals.



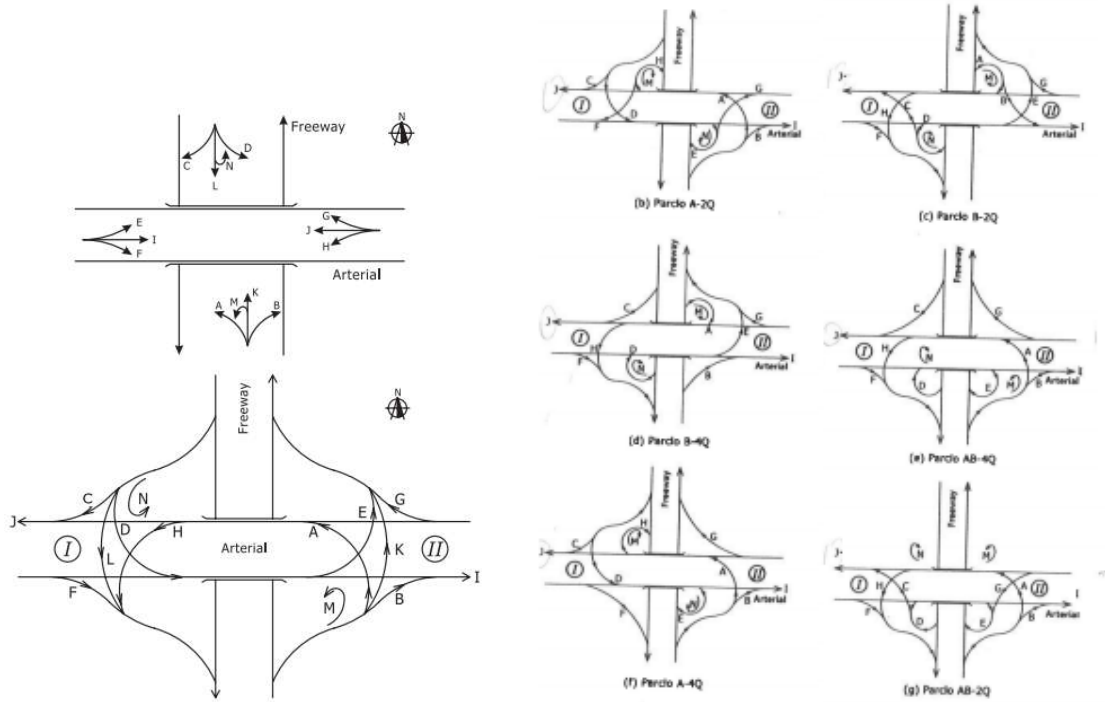
DDI



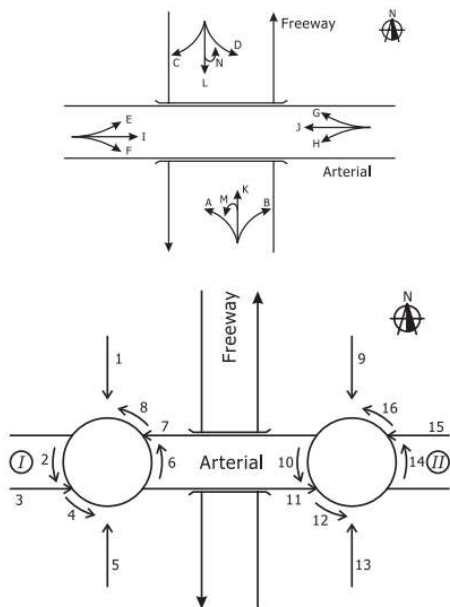
SPUI



análise por Origem/Destino na interconexão: percurso total O/D ...



identificação dos fluxos em configurações com rotatórias:



Movement	Diamond	Parcilo A-2Q	Parcilo B-2Q	Parcilo B-4Q
1	C, D, L, N	C, D, N	--	C
2	D, H, L, M, N	D, N	H, M, N	H, M
3	E, F, I	E, F	E, F, I	E, F, I
4	D, E, F, H, I, L, M, N	D, E, F, I, N	E, F, H, I, M	E, F, H, I, M
5	--	--	C	D, N
6	--	F	--	--
7	A, H, J, M	A, H, J, M	A, H, J, M	A, H, J, M
8	J, M	A, F, H, J, M	A, C, H, J, M	A, H, J, M
9	--	--	A, B, M	A, M
10	--	G	B	--
11	D, E, I, N	D, E, I, N	D, E, I, N	D, E, I, N
12	D, E, I, N	D, E, G, I, N	B, D, E	D, E, I, N
13	A, B, K, M	A, B, M	--	B
14	A, E, K, M, N	A, M	E, N	E, N
15	G, H, J	G, H, J	G, H, J	G, H, J
16	A, E, G, H, J, K, M, N	A, G, H, J, M	E, G, H, J, N	E, G, H, J, N
Movement	SPUI	Parcilo AB-4Q	Parcilo A-4Q	Parcilo AB-2Q
1	C, D, L, N	C	C, D, N	--
2	D, H, L, M, N	H, M	D, N	H, M
3	E, F, I	E, F, I	E, F, I	E, F, I
4	D, E, I, N	E, F, H, I, M	D, E, F, I, N	E, F, H, I, M
5	A, B, K, M	D, N	--	C, D, N
6	A, E, K, M, N	--	--	C
7	G, H, J	A, H, J, M	A, H, J, M	A, H, J, M
8	A, H, J, M	A, H, J, M	A, H, J, M	A, C, H, J, M
9	--	--	--	--
10	--	--	G	--
11	--	D, E, I, N	D, E, I, N	D, E, I, N
12	--	D, E, I, N	D, E, I, N	D, E, G, I, N
13	--	A, B, M	A, B, M	A, B, M
14	--	A, M	A, M	A, M
15	--	G, H, J	G, H, J	G, H, J
16	--	A, G, H, J, M	A, G, H, J, M	A, G, H, J, M

Note: -- indicates movements that do not exist for a given interchange form.

Procedimentos para Semaforização das Interseções Componentes:

em princípio, valem critérios e métodos gerais para interseções semaforizadas mas há condicionantes importantes para interseções em interconexões

o fluxo de saturação é $S = N_f \cdot \tilde{s}_f \cdot f_L \cdot f_{VP} \cdot f_i \cdot f_{est} \cdot f_{bus} \cdot f_A \cdot f_{cd} \cdot f_{ce} \cdot f_{dpb} \cdot f_{epb} \cdot f_{LU} \cdot f_Q$, onde

- o fator de utilização desigual das faixas para as faixas externas da via arterial

é avaliado de forma específica como $f_{LU} = \frac{1}{N_f \cdot p_{QLmax}}$, onde p_{QLmax} é a

proporção do tráfego na faixa com máxima utilização (modelos empíricos)

- o fator de pressão da demanda de tráfego é $f_Q = \frac{1}{1,07 - 0,00672 \cdot N_{Qi}}$ para

conversões à esquerda e $f_Q = \frac{1}{1,07 - 0,00486 \cdot N_{Qi}}$ para demais manobras

onde $N_{Qi} = \frac{Q_i \cdot t_c}{N_f}$ (em veículos por ciclo por faixa, $N_{Qi} \leq 30$) da manobra

todos os fatores são obtidos da forma usual:

- $\tilde{s}_f (s_0)$: fluxo básico de saturação por faixa ($\tilde{s}_f = 1900 \text{veq/h/fx}$);
- $f_L (f_w)$: fator de largura das faixas ($0,96p/2,4a < 3\text{m}; 1,0p/3a < 3,9\text{m}; 1,04p > 3,9\text{m}$);
- $f_{VP} (f_{HV})$: fator de composição de tráfego ($e_{VP} = 2,0$ para veículos pesados);
- $f_i (f_g)$: fator de declividade ($f_i = 1 - \frac{\%i}{200}$, $\%i$ é active, >0 , ou declive, <0);
- $f_{est} (f_p)$: fator de estacionamento ($f_{est} = 1 - \frac{0,1 + N_e \cdot t_c}{N_f}$, $t_c \cong 18\text{s}$, manobras N_e);
- $f_{bus} (f_{bb})$: fator de pontos de ônibus ($f_{bus} = 1 - \frac{N_b \cdot t_b}{N_f}$, $t_b \cong 14,4\text{s}$, manobras N_b);
- $f_A (f_a)$: fator de tipo de área (área central/CBD: $f_A = 0,9$; demais áreas: $f_A = 1$);
- $f_{cd} (f_{RT})$: fator conversões à direita ($e_{cd} = 1,18$ ou análise suplementar);
- $f_{ce} (f_{LT})$: fator conversões à esquerda ($e_{ce} = 1,05$ ou análise suplementar);
- $f_{dpb} (f_{Rpb})$: fator pedestres/ciclistas à direita (análise suplementar);
- $f_{epb} (f_{Lpb})$: fator pedestres/ciclistas à esquerda (análise suplementar);

(o método também adiciona o fator de curva $f_R = \frac{1}{1 + 5,61/R[\text{ft}]} = \frac{1}{1 + 1,71/R[\text{m}]}$

no fator equivalente das conversões à direita e à esquerda, ponderando a

%fluxo com raios distintos e $e_{cd} = \frac{1}{f_{Rd}}$, $e_{ce} = \frac{1}{f_{Re}}$, exceto para conversões

permitidas, não protegidas, em que se aplica somente a análise suplementar).

- $f_{DDI} (f_{DDI})$: fator adicional específico para DDIs, introduzido no HCM/2016 ...

TABELA 23-23. Correção p/Pressão do Tráfego em Vias de Interconexões-HCM/6thEd (2016)

Demanda por Ciclo* (v/ciclo/faixa)	Tipo de Movimento (*)		
	direita	adiante	Esquerda
3	0,947	0,947	0,953
6	0,961	0,961	0,971
9	0,974	0,974	0,991
12	0,988	0,988	1,011
15	1,003	1,003	1,032
18	1,018	1,018	1,054
21	1,033	1,033	1,077
24	1,049	1,049	1,100

* usar fator médio ponderado em faixas compartilhadas (sempre usar $N_{Qi} \leq 30$ por movimento).

TABELA 23-27. Correção para Raios de Curva em Vias de Interconexões - HCM/6thEd (2016)

Raio de Curva (*)	Tipo de Movimento		
	direita	adiante	Esquerda
25ft (7,5m)	0,817	1,00	0,817
50ft (15m)	0,899	1,00	0,899
100ft (30m)	0,947	1,00	0,947
150ft (45m)	0,964	1,00	0,964
200ft (60m)	0,973	1,00	0,973
250ft (75m)	0,978	1,00	0,978
300ft (90m)	0,982	1,00	0,982
350ft (105m)	0,984	1,00	0,984

* raio de curva da trajetória da manobra de conversão em faixa exclusiva ou compartilhada.

Procedimentos para Interseções Componentes Secundárias:

em princípio, valem critérios e métodos gerais para interseções secundárias
(em interconexões, normalmente com R2-Dê Preferência: *Yield-Controlled*)
(alguns movimentos podem receber faixas de entrada livre: *Free-Flowing*)

peculiaridade da análise é a simplificação pela distância reduzida aos semáforos ...

. período com operação bloqueada pelos pelotões dos semáforos: $p_{bx} = \frac{t_{bx}}{t_c}$

avaliar simulando o perfil cíclico de tráfego: t_{bx} enquanto $q_0 \geq S$...

aproximação: $p_{bx} = \frac{t_{sx} + t_{cx}}{t_c}$, $t_{sx} = \frac{(1 - P_g)q \cdot t_c}{S - q \cdot P_g / u}$, $u = \frac{g}{t_c}$, $t_{cx} = \frac{x_{clear}}{V}$, $V = V_{FL}$

($P_g = R_p \cdot u$, taxa de pelotão R_p : análise do semáforo/dado de campo)
(discute casos particulares que não precisam ser distinguidos ...)

. período com operação secundária com brechas no fluxo oposto: $p_{gx} = \frac{t_{gx}}{t_c}$...

em $t_{gx} = g - t_{sx} - t_{cx}$ tem-se manobras em brechas: $C_g = \frac{1}{\beta} \cdot e^{-q \cdot (\alpha - \frac{\beta}{2})}$...

. período sem fluxo oposto: $p_{fx} = 1 - p_{bx} - p_{gx}$ (faixa de entrada livre: $p_{fx} = 1$)

em $t_{fx} = t_c - t_{bx} - t_{gx}$ tem-se $C_{fx} = S = \frac{1}{\beta}$... então $\bar{C} = p_{gx} \cdot C_{gx} + p_{fx} \cdot C_{fx}$

(pode-se considerar o efeito de interferência/bloqueio pelos pedestres/ciclistas) ...

Tabela 23-36. Valores Básicos p/Parâmetros de Conversões-HCM/6thEd (2016)

Parâmetro para DDIs (*)	Conversões à Direita	Conversões à Esquerda
Brecha crítica α (t_c)	1,8seg	3,9seg
Intervalo de seguimento β (t_f)	2,4seg **	2,6seg
Intercepto da capacidade (S)	1481v/h	1399v/h
Coefficiente da capacidade (τ)	-000016h	-0,00073h

* Potencialmente aplicáveis para outras conversões para a faixa adjacente. Sem fluxo oposto $C = S$.

** Valor inconsistente ($\beta > \alpha$); Fórmula de Sieglöch: $C = S \cdot e^{-q \cdot \tau}$, $S = 1/\beta$, $\tau = (\alpha - \beta/2)/3600$

Procedimentos para Efeito de Interseções Semaforizadas Próximas:

contexto usual onde há pista auxiliares (*frontage roads*) com fluxo significativo...
contexto também usual nas interseções alternativas com semáforos auxiliares ...

deve ser integrada ao procedimento usual de análise de interseções semaforizadas deveria tratar de forma genérica da previsão da ocorrências de dois fenômenos:

- a ocorrência de verde bloqueado (vermelho de fato), em decorrência de problemas de capacidade ou sincronismo deficientes adiante ...
- a ocorrência de verde vazio (demanda frustrada), em decorrência de problemas de escoamento dos fluxos de alimentação da aproximação ...

(além de problemas decorrentes da utilização desigual das faixas de tráfego ...)

- sobre a utilização desigual das faixas, a recomendação é simplificada:
reduzir os fatores de utilização de faixas em 0,05 se há semáforos próximos

- sobre a ocorrência de verde bloqueado, adota a recomendação geral (ver adiante) (a mesma adotada nas interseções de interconexões desde o HCM/2010 ...)

. estimar o tempo morto bloqueado ℓ_{Ui} e corrigir verde efetivo $g'_{efi} = g_{efi} - \ell_{Ui}$

onde $\ell_{Ui} = G_{Ui} - 0,106.D_{Qi}[\text{ft}] - 5,39 \frac{G_{CD}}{t_c} = G_{Ui} - 0,348.D_{Qi}[\text{m}] - 5,39 \frac{G_{CD}}{t_c} \geq 0$

$$D_{Qi} = D_i - z_{Di,t} \text{ e } z_{Di,t} = \ell_v \cdot \left(0,0107 \cdot \frac{q_o}{N_o} - 7,96 \cdot \frac{G_D}{t_c} - 0,082 \cdot G_{CD} + 7,96 \cdot \frac{G_o}{t_c} \right)$$

G_{Ui}, G_D : duração do tempo de verde no semáforo a montante, jusante (seg)

G_{CD} : verde comum do semáforo a montante com semáforo a jusante (seg)

D_{Qi} : distância até o fim da fila no início do verde do semáforo adiante

q_o : fluxo dos outros fluxos, exceto i, que alimentam o semáforo a jusante

G_o : duração do verde dos demais estágios no semáforo a jusante ...

(método apresentado no NCHRP W12, 1997 ... ?capacidade/defasagem adiante ...)

- sobre a ocorrência de verde vazio, nem adota a recomendação geral (ver adiante)
recomenda usar outros métodos de análise (como modelos de simulação)

Procedimentos para Interconexões Usuais (Diamantes e *Parclos*):

- modelos para previsão do uso das faixas (revisados): 1=mais à esquerda
N=mais à direita ...

$$p_{QLi} = \frac{1}{N_i} + a_1 \cdot \frac{q_R}{q_{TT}} + a_2 \cdot \frac{q_L}{q_{TT}} + a_3 \cdot \frac{L \cdot q_L}{1000 \cdot L_0} \quad \text{com } q_{TT} = q_R + q_t + q_L, L_0 = 1000\text{ft} = 305\text{m}$$

p_{QLi} (% V_{Li}): proporção do tráfego na faixa i (1=mais à esquerda; N=mais à direita)

parâmetros da **Tabela 23-24**; usar dados de campo se disponíveis ...

L [m](= 0,30.D[ft]): distância entre as interseções I e II

(modelos calibrados para $L \leq 240\text{m}$ ($D \leq 800\text{ft}$... senão usar f_{LU} usual ...)

q_i (v_i): demanda (v/h) do movimento $i=R,L,t$; q_{TT} : fluxo total em II (v/h)

R se adiante em I e direita em II (se há faixa exclusiva, assumir $q_i = 0$)

L se adiante em I e esquerda em II (t se adiante em I e em II)

Tabela 23-24. Parâmetros Modelos Gerais de Uso das Faixas - HCM/6thEd (2016)

Tipo de Interconexão	No.de faixas no Grupo	Faixa 1 (mais à esquerda)			Faixa N (mais à direita)		
		a_1	a_2	a_3	a_1	a_2	a_3
Diamante	2	-0,154	0,187	-0,181	-	-	-
	3	-0,254	0,465	0	0,609	-0,326	0
	4	-0,328	0,684	0	0,640	-0,233	0
Parclo A-2Q	2	0	-0,527	0	-	-	-
	3	0	-0,363	0	0	0,605	0
	4	0	-0,257	0	0	0,747	0
Parclo B-2Q, B-4Q, AB-4Q (WB)	2	0,387	-0,344	0	-	-	-
	3	0,559	-0,218	0	-0,429	0,695	0
	4	0,643	-0,103	0	-0,59	0,794	0
Parclo A-4Q, AB-2Q (EB), AB-4Q (EB)	2	-0,306	-0,484	0	-	-	-
	3	-0,333	-0,289	0	0,579	0,428	0
	4	-0,233	-0,237	0	0,703	0,641	0
Parclo AB-2Q (WB)	2	0,468	0	0	-	-	-
	3	0,735	0	0	-0,308	0	0
	4	0,768	0	0	-0,202	0	0

Notas: se há faixa exclusiva na conversão à direita da aproximação externa (F e G), assumir $q_R = 0$;
fator de utilização das demais faixas obtido por subtração; obter f_{LU} com maior fluxo (!?).

- para vias com faixas de conversão à esquerda dupla, usar N-1 para obter as conversões à esquerda e assumir 51,5% das conversões à esquerda na faixa de conversão mais utilizada...
- para condições saturadas, a observação de campo em geral sugere igual utilização das faixas;
- em casos não analisados, usar os fatores de utilização usuais em interseções semaforizadas.

- tempo morto adicional devido ao efeito de bloqueio adiante: do HCM/2010 separadamente para o fluxo da via arterial e para o fluxo do ramal de ligação, a partir do tempo de verde comum com a interseção adiante na interconexão

. para o fluxo adiante da via arterial, o efeito de bloqueio por fila é

$$\ell_{DA} = G_A - 0,106.D_{QA} [ft] - 5,39 \frac{G_{UD}}{t_c} = G_A - 0,348.D_{QA} [m] - 5,39 \frac{G_{UD}}{t_c} \geq$$

. para a conversão à esquerda do ramal, o efeito de bloqueio é

$$\ell_{DR} = G_R - 0,106.D_{QR} [ft] - 5,39 \frac{G_{RD}}{t_c} = G_R - 0,348.D_{QR} [m] - 5,39 \frac{G_{RD}}{t_c} \geq$$

Intersection I Phasing Scheme	Intersection II Phasing Scheme	Common Green Time (WaitTime)
		G_{UD}
		G_{UD}

onde G_A, G_R : duração do tempo de verde da via arterial ou ramal (seg)

G_{UD}, G_{RD} : verde comum com semáforo adiante na arterial ou ramal (seg)

D_{QA}, D_{QR} : distância até o fim da fila no início do verde da arterial ou ramal

$$D_{QA} = D - z_{D,tA} \text{ e } z_{D,tA} = \ell_v \cdot \left(0,0107 \cdot \frac{q_R}{N_R} - 7,96 \cdot \frac{G_D}{t_c} - 0,082 \cdot G_{UD} + 7,96 \cdot \frac{G_R}{t_c} \right)$$

$$D_{QR} = D - z_{D,tR} \text{ e } z_{D,tR} = \ell_v \cdot \left(0,0107 \cdot \frac{q_A}{N_A} - 7,96 \cdot \frac{G_D}{t_c} - 0,082 \cdot G_{RD} + 7,96 \cdot \frac{G_A}{t_c} \right)$$

$z_{D,t} [0; D]$: extensão da fila interna no início do verde da arterial ou ramal

q_A, q_R : fluxo de tráfego (v/h) da arterial ou ramal (em N_A, N_R faixas)

(t_c : tempo de ciclo; G_D : verde adiante; ℓ_v : espaçamento/veículo na fila)

- tempo morto adicional devido ao efeito de fluxo vazio adiante: calculado como o tempo sem fila e sem fluxo no semáforo (DS=demanda vazia/frustrada) adiante (sem distinguir a linha de retenção da via arterial ou da conversão à esquerda)

. tempo morto por fluxo vazio adiante: $\ell_{DS} = G_{DS} - n_{ini} \cdot h_s \geq 0$, onde

G_{DS} : verde comum com potencial demanda não manifesta

h_s : intervalo de saturação (seg/veículo) na dissipação da fila

n_{ini} : no.de veículos na fila interna (adiante) no início de G_{DS}

com $n_{ini} = \frac{q_{Re} \cdot t_c}{N_{Re}} - \frac{g_{RD}}{h_s} + \frac{q_{AA} \cdot t_c}{N_{AA}} - \frac{g_{UD}}{h_s}$, $g_{RD} = G_{RD} - \ell_{RD}$, $g_{UD} = G_{UD} - \ell_{UD} \geq 0$

q_{Re} : fluxo de conversão à esquerda no ramal de entrada (em N_{Re} faixas)

q_{AA} : fluxo da via arterial que segue adiante na própria via(em N_{AA} faixas)

ℓ_{UD}, ℓ_{RD} : tempo morto (pretensamente durante o verde comum G_{UD}, G_{RD}) (assume chegadas/partidas uniformes e todo fluxo escoar em cada ciclo)

Intersection I Phasing Scheme	Intersection II Phasing Scheme	Potential Demand (WaitTime)
		G_{UD}

- ajustes do verde efetivo: de forma geral $\ell'_i = \ell_i + \delta \ell_i$ e $g_{eff} = G_i + I_{ai} - \ell'_i$,

interseção de entrada: arterial: $\delta \ell_{UA} = \ell_{DA}$, ramal: $\delta \ell_{UR} = \ell_{DR}$ (esquerda),

interseção adiante: $\delta \ell_D = \ell_{DS}$ (adiante, sem distinguir saída à esquerda)

Procedimento Especial para Interconexões em Diamante Divergente:

- fator geral de redução $f_{DDI}=0,913$ (8,7% menor) para fluxo de saturação ...
(médio observado em 11 DDIs, com desvio padrão de 0,55 ?!)
- modelos específicos para previsão da utilização das faixas (ver adiante)
- tempo morto adicional devido ao efeito de bloqueio adiante: específico ...
defasagem interna tem de favorecer fluxo arterial ou entrada à esquerda ...
efeito de bloqueio seria avaliado para o movimento não priorizado (? ...):
 - . estimar fila e extensão máxima da fila interna adiante z_I (métodos usuais)
 - . admite velocidade da onda de progressão com $w_{start} = V_{FL}$ (*starting wave*)
 - . avalia velocidade da onda de parada com $w_{stop} = \frac{K_I}{K_J} \cdot V_{FL}$ (*stopping wave*)
onde $K_J = 1/\ell_v$ e $K_I = ?$ no trecho cruzado ($K_I = q_I/V_I$, $V_I \sim V_{FL}/2$)
 - . tempo bloqueado seria $t_{bl} = (D - z_I)/w_{start} - z_I/w_{stop}$? tendo-se $\ell_{DI} = t_{bl}$? ...
(estimativa mais adequada: $t_{bl} = \theta + z_I/w_{stop} - (D - z_I)/w_{start}$ c/defasagem θ)
- tempo morto adicional pelo estágio de transição com a entrada à esquerda ...
conflito no entreverdes pode ser compensado por um estágio de transição ...
sem estágio de transição: s=saída do fluxo cruzado; e=entrada à esquerda
vermelho de segurança necessário: $I_{vI} = (z_s + \ell_v)/v_s - z_e/v_e + \delta_{seg}$
 - . admite $\ell_{OL} = \frac{W + \ell_v - D}{V}$ com $V = V_{FL}$ (como vermelho de segurança ...)
onde W : distância do fluxo direto que vai cruzar ao ponto de conflito
 D : distância da entrada à esquerda ao ponto de conflito ...
(distâncias medidas da linha de retenção de cada fluxo veicular ...)
(se há um estágio de transição, o vermelho de segurança pode ser reduzido)
- tempo morto adicional devido ao efeito de fluxo vazio adiante: desprezado ...
(pode-se ver que os critérios atuais são preliminares e confusos ... vale ajustar ...)

- modelos para previsão do uso das faixas para DDIs: 1=mais à esquerda
N=mais à direita ...

$$p_{QLi} = a_1 \cdot R_{LRTx} + a_2 \text{ com } R_{LRTx} = \frac{q_{Lx}}{q_{TTx}}, q_{TTx} = q_{Rx} + q_{tx} + q_{Lx} \text{ na faixa cruzada externa}$$

$p_{QLi} (\%V_{Li})$: proporção do tráfego na faixa i (1=mais à esquerda; N=mais à direita)
parâmetros da **Tabela 23-26**; usar dados de campo se disponíveis ...

$q_i (v_i)$: demanda (v/h) do movimento i=R,L,t; q_{TT} : fluxo total em II (v/h)

R se adiante em I e direita em II (se há faixa exclusiva, assumir $q_i = 0$)

L se adiante em I e esquerda em II (t se adiante em I e em II) R_{LRTx}

Figura 23-25. Configurações de Faixas em DDIs - HCM/6thEd (2016)

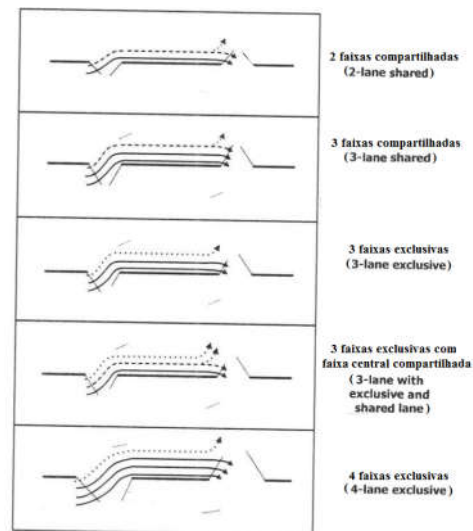


Tabela 23-26. Parâmetros Modelos de Uso das Faixas de DDIs - HCM/6thEd (2016)

Configuração de Faixas	Regime	Faixa	a_1	a_2
2 faixas compartilhadas	$R_{LRTx} \leq 0,35$ (I)	esquerda	0,2129	0,5250
	$R_{LRTx} > 0,35$ (II)	esquerda	0,5386	0,4110
3 faixas compartilhadas	$R_{LRTx} \leq 0,13$ (I.1)	central	-0,1831	0,3863
	$0,13 < R_{LRTx} \leq 0,43$ (I.2)	esquerda	0,2245	0,3336
	$R_{LRTx} > 0,43$ (II)	esquerda	0,6460	0,1523
3 faixas exclusivas	$R_{LRTx} \leq 0,33$ (I)	central	-0,5983	0,5237
	$R_{LRTx} > 0,33$ (II)	esquerda	0,9695	0,0096
3 faixas exclusivas com faixa central compartilhada	$R_{LRTx} \leq 0,50$ (I)	central	-0,2884	0,5626
	$R_{LRTx} > 0,50$ (II)	esquerda	0,4903	0,1761
4 faixa exclusivas	$R_{LRTx} \leq 0,35$ (I)	central	-0,5432	0,5095
	$R_{LRTx} > 0,35$ (II)	esquerda	0,9286	-0,0071

Notas: R_{LRTx} é a razão de demanda à esquerda na faixa cruzada externa;
fator de utilização das demais faixas obtido por subtração; obter f_{LU} com maior fluxo (!?).

Procedimentos Complementares para Interconexões:

recomendações para interconexões com interseções com rotatórias ou com sinalização de prioridade (R1/R2) são sumárias e genéricas ...
(em geral aplicam-se os métodos da discussão específica no HCM/6thEd, 2016)

análise para seleção do tipo de interconexão: mesma introduzida no HCM/2010

- compara 8 tipos de configuração em diamante (SPUI, TUDI, CUDI, CDI) ou com trevos incompletos (PA-4Q, PA-2Q, PB-4Q, Pb-2Q) ...
- baseado em método desenvolvido pelo TTI (FHWA-TX-04-0-4538-1,2,3) que também analisa o tratamento das interseções em interconexões ...
- utiliza uma análise simplificada para identificar a configuração que obtém o menor atraso total nas interseções na interconexão ... considerando esquemas de controle e espaçamento entre interseções número de faixas nas aproximações, baías de conversão, ...
- não discute outros aspectos envolvidos na seleção da configuração (impacto na via expressa/rodovia, restrições físicas, risco de acidentes, custo de construção e operação, impactos no ambiente e uso do solo)

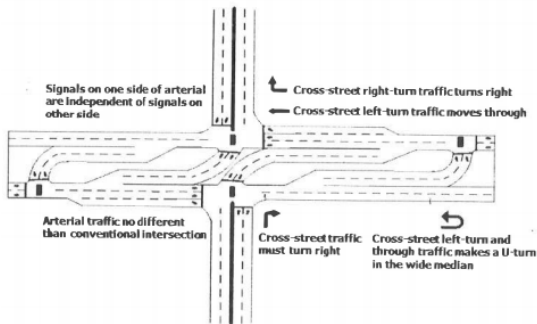
análise das rotas das manobras: mesma introduzida no HCM/2010 (trivial)

Procedimentos para Interseções Alternativas Usuais:

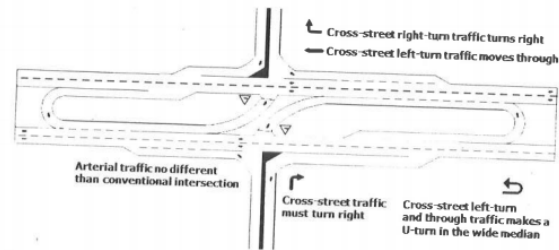
discute 3 configurações usuais de forma mais extensa: na ordem de aplicabilidade

- . Conversão à Esquerda Deslocada (DLT-Displaced Left Turns)
- . Retorno nos Canteiros (MUT-Median U Turns)
- . Retorno em Via Restrita (RCUT-Restricted Crossing U Turns)

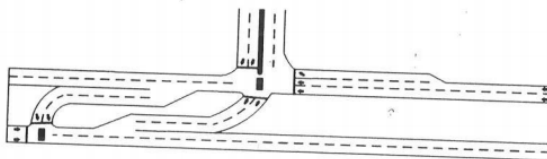
(na ordem inversa ... o que sugere outra ordem de aplicabilidade nos EUA ...)



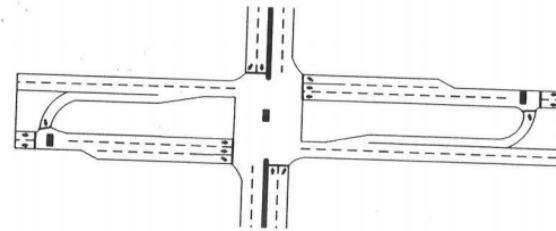
Source: Hummer et al. (6).



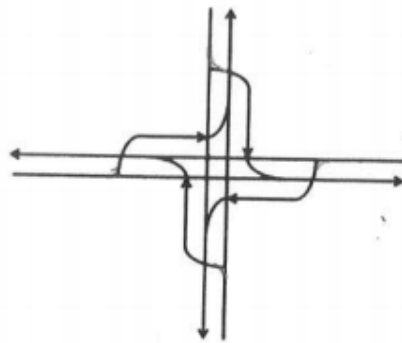
Source: Hummer et al. (6).



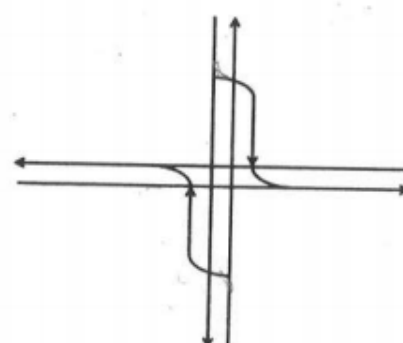
Source: Hummer et al. (6).



Source: Hummer et al. (6).



(a) Full DLT



(b) Partial DLT

diversos outros casos mencionados como variações dos casos básicos ...

⇒ **Nível de Serviço:** atraso no trajeto O/D, razão Q/C (demanda) e razão z/L (filas) introduz o conceito de tempo (extra) de viagem experimentado ($t_{vx} = ETT$) agregando atraso de controle e atraso na distância extra contra rota perpendicular

$$t_{vx} = \sum_i \delta_{vi} \cdot d_{ci} + \sum_x \delta_{vi} \cdot d_{xi} \cdot d_{xi} = \frac{L_{xi}}{V_{xi}} + \varepsilon_{ai}, \text{ com a velocidade normal } V_{xi} \text{ do trecho } i$$

(V_{xi} de percurso, sem os atrasos de controle, relativo à rota perpendicular OD ...)

δ_{vi} : indica se aproximação i é percorrida pelo movimento v (1, senão 0);

d_{ci} : atraso de controle na aproximação de interseção (fórmulas usuais);

ε_{ai} : atraso adicional, 10seg p/v.secundária esquerda, 15seg p/v.secundária direita) (dados específicos devem ser obtidos onde os entrelaçamentos geram atrasos);

L_{xi} : distância (extra, em relação ao percurso reto) de percurso no trecho i ;

V_{xi} : velocidade de percurso normal (V_{FL}) na distância percorrida L_{xi} ...

- diversas recomendações esparsas, sem conteúdo interessante/generalizável ...
 - . recomenda dados de campo para fatores de utilização (ou os usuais ...) ... (ou critérios simples baseados no destino da rota adiante da interseção ...)
 - . **Tabela 23-51**, critérios para padrões usuais de chegadas (pouco generalizável)
 - . retornos com PARE: um estudo sobre brechas críticas e intervalos de seguimento brecha crítica: 4,4seg; intervalo de seguimento: 2,6seg (local c/3fxs e VL=55mi/h)
 - . retorno com semáforos: **Tabela 23-52**, fator de correção do fluxo de saturação
 - . dados de 1 estudo sobre brechas críticas e intervalos de seguimento em retornos: brecha crítica: 4,4seg; intervalo de seguimento: 2,6seg (local c/3fxs e VL=55mi/h)
 - . uma única discussão sobre defasagens: para conversões à esquerda deslocadas que devem operar nos mesmos estágios e ter o mesmo tempo semafórico ...

Tabela 23-51. Valores Básicos para Padrões de Chegadas em Aproximações Adjacentes de Interseções Alternativas - HCM/6thEd (2016)

Tipo de Interseção Alternativa	Movimento	Padrão Básico de Chegadas		
		2º.Semáforo	3º.Semáforo	4º.Semáforo
Restrição de Cruzamento com 4 aproximações	via principal à esquerda	3	Nenhum	Nenhum
	via principal adiante	5	Nenhum	Nenhum
	via principal à direita	5	Nenhum	Nenhum
	v.secundária à esquerda	3	5	Nenhum
	via secundária adiante	3	5	Nenhum
Restrição de Cruzamento com 3 aproximações	via principal à esquerda	3	Nenhum	Nenhum
	v.secundária à esquerda	3	Nenhum	Nenhum
Retorno com Semáforo no Canteiro com 4 aproximações	via principal à esquerda	5	2	5
	via principal adiante	5	Nenhum	Nenhum
	via principal à direita	5	Nenhum	Nenhum
	v.secundária à esquerda	3	5	Nenhum
Retorno com PAREno Canteiro com 4 aproximações	via principal à esquerda	3	Nenhum	Nenhum
	v.secundária à esquerda	3	Nenhum	Nenhum

Notas: recomendado apenas para interseções com retornos no canteiro (MUT) e com restrição de cruzamento (RCUT), para o caso em que não pode ser aplicado o método baseado na simulação do padrão cíclico de tráfego; pode ser aplicável a outras configurações mas ignora fatores importantes como defasagens e distâncias (!?).

Tabela 23-52. Fatores de Correção para Fluxo de Saturação em Retornos Semaforizados - HCM/6thEd (2016)

Largura do Canteiro Central	Fator de Correção
Estreito, <35ft (10,5m)	0,80
Típico, 35a80ft (10,5a24m)	0,85
Muito Largo, >80ft (24m)	0,95

Fonte: Hummer (2014)

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

- versão aprimorada (bastante melhorada) da proposta no HCM/2000;
- discute problemas relevantes para interseções em interconexões
- complemento interessante para a análise de sistemas expressos (e sua integração com a análise de redes urbanas e vias arteriais)
- propõe conceitos relevantes para interseções compostas em geral (critérios e dados incipientes; para a análise geral de interseções semaforizadas)
- menciona fenômenos de bloqueio e fluxo vazio mas análise é insuficiente (avalia efeito de bloqueios por fila e fluxo vazio com base em modelos empíricos mas elimina discussão sobre controle e coordenação dos semáforos adjacentes e deixa de considerar muitas alternativas de configuração também usuais ...) (discussão e método mais geral cabem melhor com interseções semaforizadas)
- deve-se esperar a evolução futura do método de análise ...

VER EXERCÍCIO INTERCONEXÃO-HCM/2016