

Procedimento do U.S.HCM2010

- ⇒ **Recomendações:** entrelaçamento de vias expressas e rodovias de múltiplas faixas também pistas coletoras-distribuidoras (C-D), se não há influência de semáforos

- ⇒ **Tipos de configuração:** nova classificação dos tipos de entrelaçamento
 - entrelaçamento com ramais (*ramp weave*) ou entre vias principais (*major weave*) de vias adjacentes (*one-sided*) ou opostas (*two-sided*) (**Figura 12-3,4**)
 - verificar a distância máxima com entrelaçamento (**Tabela 12-9**)
 - se distância for maior que a máxima, não analisar como entrelaçamento separação e incorporação independentes, área de influência é 450m (1500ft), ...

- ⇒ **Caracterização:** como entrelaçamento da via principal (F) e ramal de ligação (R)
 - no.de faixas na via principal: N_F ; no.de faixas na via secundária/ramal: N_R ; extensão básica (L_B) e extensão reduzida (L_S)=linha seccionada (**Figura 12-1,2**) (não entrelaçantes: AC=FF, BD=RR; entrelaçantes: AD=FR, BC=RF)
 - nº mínimo de mudanças de faixa para entrelaçar: LC_{RF} para BC e LC_{FR} para AD identifica: fluxos diretos ou não (com 1 e com 2ou+ mudanças de faixa)
 - nº de faixas p/entrelaçar com mínimo ou até 1 mudança faixa: N_{WL} (**Figura 12-5**)
 - no.de faixas total no entrelaçamento: $N_T=N_F+N_R=N_{WL}+N_O$ (outras faixas)
 - todos são parâmetros físicos e caracterizam cada tipo de entrelaçamento
 - variável ambiental: densidade de interconexões (não de ramais, entrada/saída)
 - caso especial: entrelaçamento entre vias opostas (usar $N_{WL}=0$ e $LC_{RR}=\sim N_{FF}+1$) pela primeira vez, uma recomendação explícita (inconsistente com LC !)

- ⇒ **Tipos de operação:** implícita na previsão da demanda por mudança de faixas (equações empíricas de previsão)
 - (abandonado conceito de operação restringida e operação não restringida)

- ⇒ **Medida de eficácia:** densidade básica (\tilde{K}) de operação: (**Tabela 12-10**) (média do fluxo entrelaçante e do fluxo não entrelaçante)
 - critérios distintos para entrelaçamentos de vias expressas e entrelaçamentos de rodovias de múltiplas faixas e pistas auxiliares.

- ⇒ **Capacidade com entrelaçamento:** capacidade total: $\tilde{K} < 43 \text{veq/mi/fx} (27 \text{veq/km/fx})$ e capacidade de entrelaçamento não excedida ! (capacidade nas N_T faixas, não alocada a N_F, N_R)

⇒ **Procedimentos de análise:**

fluxos: $\tilde{q} = \frac{VH}{FPH \cdot f_{VP} \cdot f_p}$ (fatores do segmento básico correspondente)

razão de fluxo entrelaçante: $VR = \frac{\tilde{q}_w}{\tilde{q}_T}$ (w: entrelaçante, T:total)

1) entrelaçamento de configuração usual: $\tilde{q}_w = \tilde{q}_{RF} + \tilde{q}_{FR}$ e $\tilde{q}_{nw} = \tilde{q}_{FF} + \tilde{q}_{RR}$;

2) entrelaçamento entre vias opostas: $\tilde{q}_w = \tilde{q}_{RR}$ e $\tilde{q}_{nw} = \tilde{q}_{FF} + \tilde{q}_{RF} + \tilde{q}_{FR}$

capacidade: $\tilde{C} = \min\{\tilde{C}_K, \tilde{C}_W\}$ em veq/h, $C = \tilde{C} \cdot f_{VP} \cdot f_p$ em v/h

$\tilde{C}_K = N_T \cdot \tilde{C}_{IWL}$, $\tilde{C}_{IWL} = \tilde{C}_{IFL} - \tilde{\Delta}_{IWL}$, \tilde{C}_{IFL} função de \tilde{V}_{FL} do segmento básico

$\tilde{\Delta}_{IWL} = 438,2 \cdot (1 + VR)^{1,6} - 0,251 \cdot L_S - 119,8 \cdot N_{WL}$ (efeito entrelaçamento)

$L_{MAX} = 1746 \cdot (1 + VR)^{1,6} - 477 \cdot N_{WL}$ ($\tilde{\Delta}_{IWL} = 0$: L máxima de influência)

$\tilde{C}_W = \frac{\tilde{C}_{WL}}{VR}$ ($\tilde{C}_{WL} = 2400$ veq/h se $N_{WL} = 2$, 3500 veq/h se $N_{WL} = 3$; ignorar se 0)

mudanças de faixa: $LC_T = LC_w + LC_{nw} = LC_{\min} + LC_{op}$ (obrigatória mais opcional)

obrigatória (mínima): 1) $LC_{\min} = \tilde{q}_{RF} \cdot LC_{RF} + \tilde{q}_{FR} \cdot LC_{FR}$; 2) $LC_{\min} = \tilde{q}_{RR} \cdot LC_{RR}$

opcional (adicional): $LC_{op} = LC_{ow} + LC_{onw}$ (equações empíricas; impor ≥ 0)

$LC_{ow} = 0,39 \cdot (3,28 \cdot L_S - 300)^{0,5} \cdot N_T^2 \cdot (1 + 1,6 \cdot DIK)^{0,8}$ ($LC_{ow} = 0$ se $L_S \leq 92m(300ft)$)

ID: densidade de interconexões $\pm 3mi$ do ponto médio (DIK por km, $\pm 4,8km$)

$LC_{onw} = LC_{nw1} = 0,206 \cdot \tilde{q}_{nw} + 1,78 \cdot L_S - 192,6 \cdot N_T \geq 0$, se $I_{nw} \leq 1300$;

$LC_{onw} = LC_{nw2} = 2135 + 0,223 \cdot (\tilde{q}_{nw} - 2000) \geq 0$, se $I_{nw} \geq 1950$

senão $LC_{onw} = LC_{nw1} + \frac{I_{nw} - 1300}{1950 - 1300} \cdot (LC_{nw2} - LC_{nw1})$, sendo $I_{nw} = \frac{3,28 \cdot L_S \cdot 1,6 \cdot DIK \cdot \tilde{q}_{nw}}{10000}$

operação: calcular $\tilde{V}_w = \tilde{V}_{\min} + \frac{\tilde{V}_{\max} - \tilde{V}_{\min}}{1 + I_w}$, com $I_w = 0,226 \cdot \left(\frac{I_{LC}}{3,28}\right)^{0,789}$, $I_{LC} = \frac{LC_T}{L_S}$,

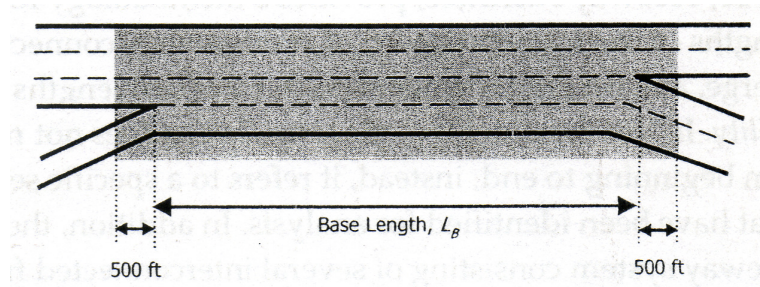
e $\tilde{V}_{nw} = \tilde{V}_{FL} - \beta_{LC} \cdot LC_{\min} - \beta_{qf} \cdot \frac{\tilde{q}_T}{N_T}$, $\beta_{LC} = 0,0072, \beta_{qf} = 0,0048, mi/h$
 $\beta_{LC} = 0,0115, \beta_{qf} = 0,0077, km/h$

($\tilde{V}_{\min} = 24km/h(15mi/h)$, $\tilde{V}_{\max} = \tilde{V}_{FL}$ do segmento básico, sem entrelaçamento)

velocidade média $\tilde{V} = \frac{\tilde{q}_w + \tilde{q}_{nw}}{\frac{\tilde{q}_w}{\tilde{V}_w} + \frac{\tilde{q}_{nw}}{\tilde{V}_{nw}}}$ ⇒ densidade média $\tilde{K} = \frac{\tilde{q}_T / N}{\tilde{V}}$

\tilde{K} ⇒ nível de serviço para fluxo entrelaçante e não entrelaçante

⇒ entrelaçamentos múltiplos: decomposição com incorporação e/ou separação.



Obs.: Ver extensão máxima da área de influência segundo a Tabela 12-9 (senão, incorporação e separação independentes).

FIGURA 12-1. Segmento de Entrelaçamento – HCM/2010

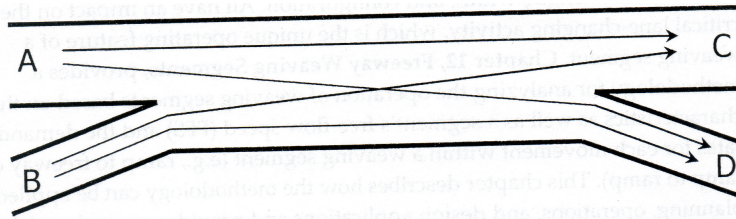
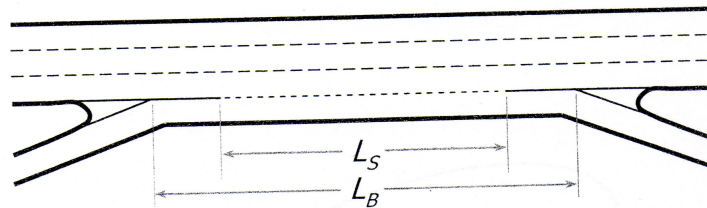


FIGURA 12-2. Extensão do Segmento de Entrelaçamento – HCM/2010



Obs.: Na ausência de informação, pode-se assumir $L_S=0,77.L_B$ (condições médias).

FIGURA 12-3. Segmento de Entrelaçamento com Vias Adjacentes – HCM/2010

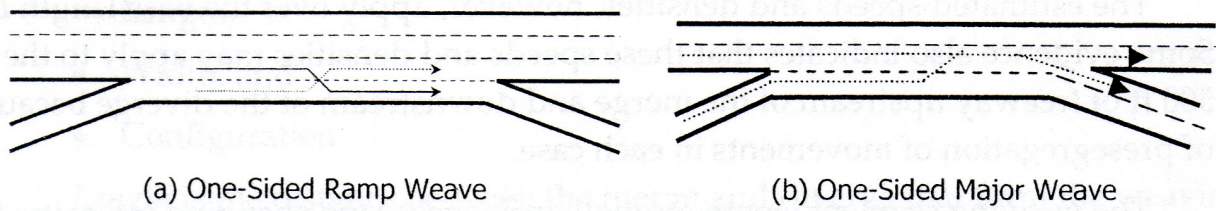
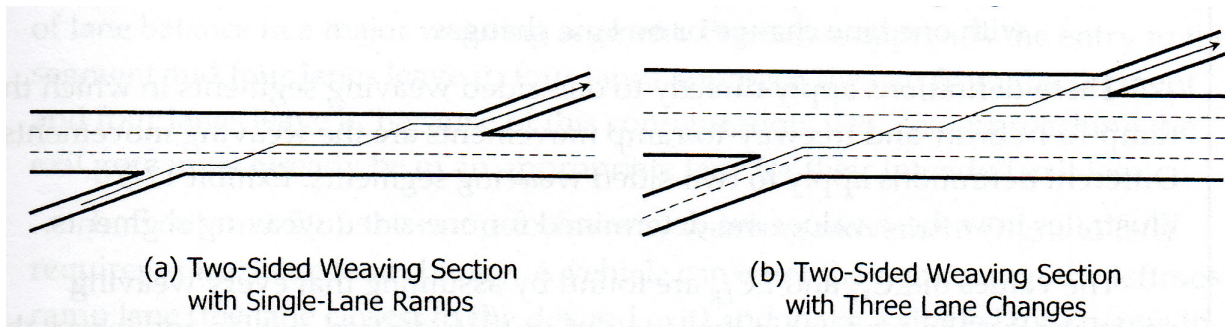
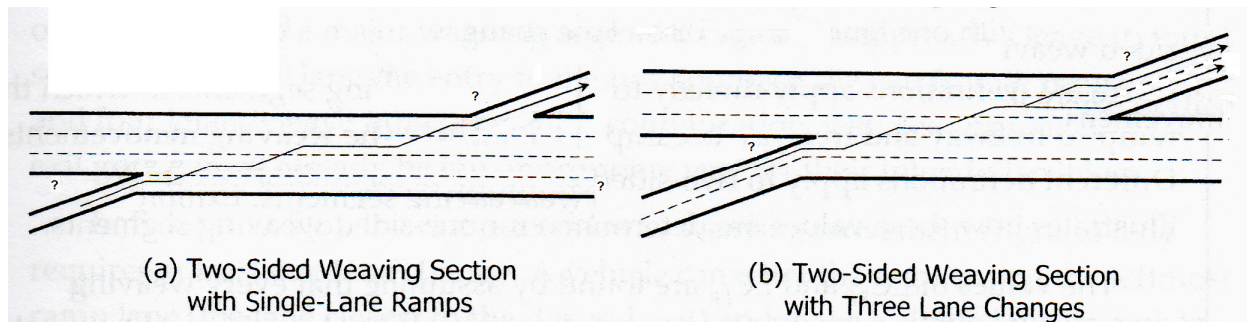


FIGURA 12-4. Segmento de Entrelaçamento com Vias Opostas – HCM/2010



Obs.: exemplos da Figura 12-4 não correspondem a entrelaçamentos (mas sim ramais opostos e adjacentes) ou são configurações pouco usuais (e pouco recomendadas). Ver alterações:



Obs.: Alterações (?) nos esquemas originais introduzidas para configurar entrelaçamentos (não ramais) e exemplos de configurações usuais (as alterações nas configurações de entrada seriam essenciais para caracterizar um entrelaçamento; as alterações de saída são ilustrativas).

($N_{FF}=3$ e $LC_{RR}=N_{FF}$ no primeiro exemplo, mas $N_{FF}=1$ e $LC_{RR}=N_{FF}+1$ no segundo exemplo)

FIGURA 12-5. Ilustração dos Parâmetros dos Segmentos de Entrelaçamento – HCM/2010

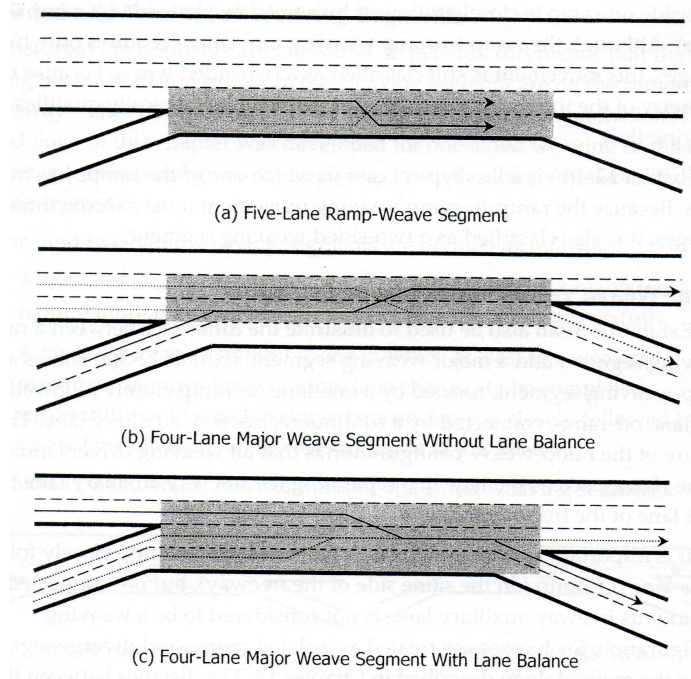


FIGURA 12-7. Variáveis para Segmentos de Entrelaçamento com Ligações Laterais – HCM/2010

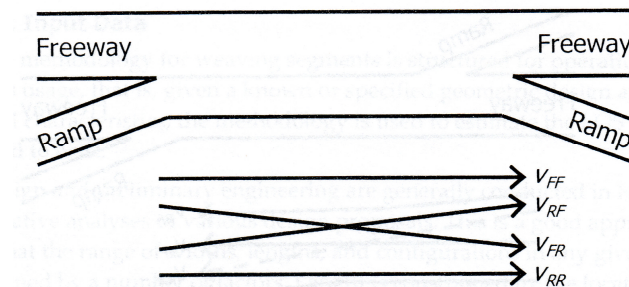


FIGURA 12-8. Variáveis para Segmentos de Entrelaçamento com Ligações Opostas – HCM/2010

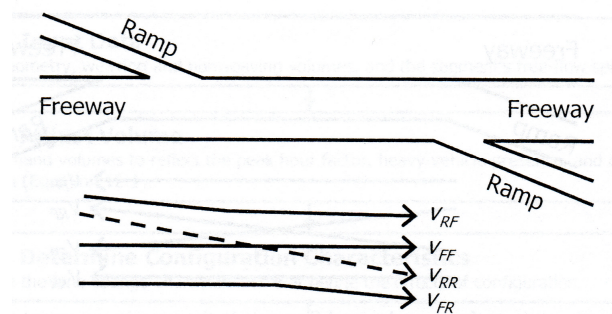


TABELA 12-10. Nível de Serviço para Seções de Entrelaçamento - HCM/2010

| NS | Máxima Densidade Média em Vias Expressas | Máxima Densidade Média em Rodovias e Pistas Auxiliares* |
|----|---|---|
| A | $\leq 10 \text{ veq/mi/ fx}$ (6 veq/km/ fx) | $\leq 12 \text{ veq/mi/ fx}$ (8 veq/km/ fx) |
| B | $>10 \text{ a } 20 \text{ veq/mi/ fx}$ ($6 - 12 \text{ veq/km/ fx}$) | $>12 \text{ a } 24 \text{ veq/mi/ fx}$ ($8 - 15 \text{ veq/km/ fx}$) |
| C | $>20 \text{ a } 28 \text{ veq/mi/ fx}$ ($12 - 17 \text{ veq/km/ fx}$) | $>24 \text{ a } 32 \text{ veq/mi/ fx}$ ($15 - 20 \text{ veq/km/ fx}$) |
| D | $>28 \text{ a } 35 \text{ veq/mi/ fx}$ ($17 - 22 \text{ veq/km/ fx}$) | $>32 \text{ a } 36 \text{ veq/mi/ fx}$ ($20 - 23 \text{ veq/km/ fx}$) |
| E | $>35 \text{ veq/mi/ fx}$ ($22 - 27 \text{ veq/km/ fx}$) | $>36 \text{ veq/mi/ fx}$ ($23 - 25 \text{ veq/km/ fx}$) |
| F | Demanda > Capacidade | Demanda > Capacidade |

* Pistas auxiliares são as coletoras/distribuidoras de vias expressas e rodovias (não recomendado para entrelaçamento em vias arteriais).

TABELA 12-9. Máxima Extensão de Influência de Entrelaçamentos - HCM/2010

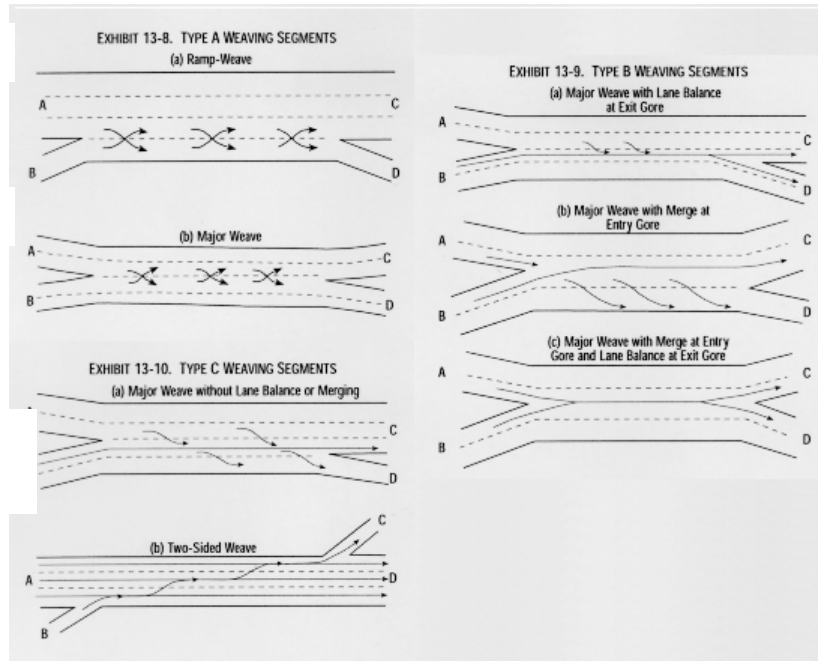
| VR | NWL=2 | NWL=3 |
|-----|-----------------|----------------|
| 0,1 | 3540ft (1079m) | 1974ft (602m) |
| 0,2 | 4536ft (1383m) | 2970ft (905m) |
| 0,3 | 5584ft (1702m) | 4018ft (1225m) |
| 0,4 | 6681ft (2036m) | 5115ft (1559m) |
| 0,5 | 7826ft (2385m) | 6260ft (1908m) |
| 0,6 | 9019ft (2749m) | 7453ft (2272m) |
| 0,7 | 10256ft (3126m) | 8690ft (2649m) |
| 0,8 | 11538ft (3517m) | 9972ft (3039m) |

⇒ **Tipos de configuração:** não explicitados no HCM2010 (implícito em LC_{FR} e LC_{RF} !)

HCM/85,97,2000=>

$LC_{FR}=1, LC_{RF}=1$

$LC_{FR}=0, LC_{RF}=2$
 $LC_{FR}=2, LC_{RF}=0$



$LC_{FR}=0, LC_{RF}=1$
 $LC_{FR}=1, LC_{RF}=0$

⇒ **Tipos de operação:** conceito empírico (abandonado no HCM2010) que caracteriza a operação segregada (ou não) no entrelaçamento (representaria efeito de C_w !)

HCM/85,97,2000=>

implícito nas equações empíricas de cada tipo de configuração (A,B,C):

$$\tilde{C}_{WL} = VR_L \cdot \tilde{q}_T, VR_L = f[N_{WL}, \dots]:$$

- A: $N_{WL} = 1,4$ (2 no HCM2010)

$$VR_L = 0,7162 \left(\frac{N_w}{N} \right)^{1,75} \cdot \tilde{v}_w^{0,767} \cdot L_B^{-0,41} \quad (L_B \text{ em m})$$

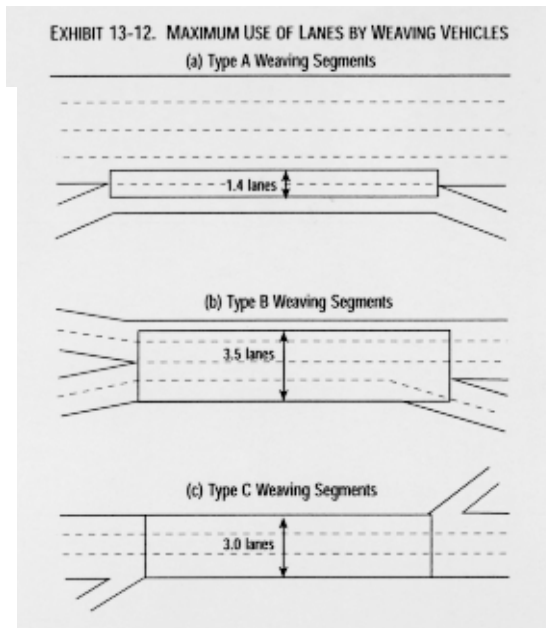
- B: $N_{WL} = 3,5$ (3 no HCM2010)

$$VR_L = 1,4225 \cdot \frac{N_w}{N} - 0,121 + 0,0159(\tilde{v}_{nw} - \tilde{v}_w) - \frac{101,8}{L_B}$$

- C: $N_{WL} = 3,0$ (3 no HCM2010)

$$VR_L = 21,277 \cdot \frac{N_w}{N} - 16,19 + 0,066(\tilde{v}_{nw} - \tilde{v}_w) + 0,0077 \cdot L_B$$

($\tilde{Q}_w > \tilde{C}_{WL}$ operação segregada).



no HCM/2010, equivaleria a:

- $\tilde{C} = \tilde{C}_K \dots = \tilde{C}_F + \tilde{C}_R$;

- se $\tilde{Q}_w \leq \tilde{C}_{WL}$ tem-se operação não restringida;

- se $\tilde{Q}_w > \tilde{C}_{WL}$ tem-se operação restringida, então pode-se reavaliar velocidades com

$$I'_w = \frac{35}{15}, \frac{15}{8}, \frac{14}{8} \cdot I_w(A, B, C)$$

$$\beta'_{LC} = \frac{20}{35}, \frac{10}{20}, \frac{10}{20} \cdot \beta_{LC}(A, B, C)$$

$$\beta'_{qf} = \frac{20}{35}, \frac{10}{20}, \frac{10}{20} \cdot \beta_{qf}(A, B, C)$$

(com operação segregada).

⇒ **Método distinto:**

velocidade de fluxo livre no segmento basico correspondente (antes: média dos segmentos básicos anteriores: F e R

$$\tilde{v}_{FL} = \frac{\tilde{q}_F \cdot \tilde{v}_{FLF} + \tilde{q}_R \cdot \tilde{v}_{FLR}}{\tilde{q}_F + \tilde{q}_R} \text{ no entrelaçamento)}$$

análise específica da perda de capacidade no entrelaçamento (mas ainda grosseiro para capacidade de entrelaçamento ... e sem obter a capacidade por via no entrelaçamento)

extensão (básica, total) tradicionalmente limitada a 750m ...

Comentários sobre o Procedimento do U.S.HCM2010

- ⇒ mantém principais características dos procedimentos anteriores do HCM 85 a 2000:
 - . reconhece o efeito das variáveis principais e do tipo de configuração;
 - . permite estimar variáveis de operação (velocidade e densidade);
 - . transforma demandas em fluxos básicos equivalentes (pico de 15 minutos).
- ⇒ deficiência comuns aos procedimentos anteriores do HCM:
 - . analisa operação para fluxos básicos equivalentes apenas
 - . utiliza equações empíricas sem justificativa teórica clara
 - . não explicita distribuição dos fluxos por faixa e brechas assumidas.
- ⇒ considerável simplificação dos procedimentos anteriores do HCM 85 a 2000:
 - . avalia efeito de geometria e fluxo na densidade e velocidade (turbulência) mas elimina equações por de tipo de configuração (implícito nos parâmetros); elimina distinção de regimes de operação (restringido e não restringido);
 - . permite avaliar o efeito da turbulência sobre a capacidade:
capacidade=limite de densidade e de entrelaçamento ...
mas não há consistência com análise da operação (ex.: Tabela 2-10)
 - . velocidade de fluxo livre baseada no segmento básico correspondente (no HCM 85 a 2000 era baseada nos segmentos básicos anteriores) inadequado quando os segmentos anteriores são restritivos (comum nos entrelaçamentos gerados por enlaces de interconexões)
- ⇒ discute mais detalhadamente os entrelaçamentos entre vias opostas ...
- ⇒ ainda há necessidade de validação dos procedimentos (em especial no Brasil) !