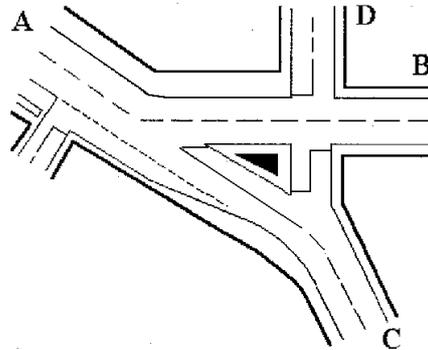
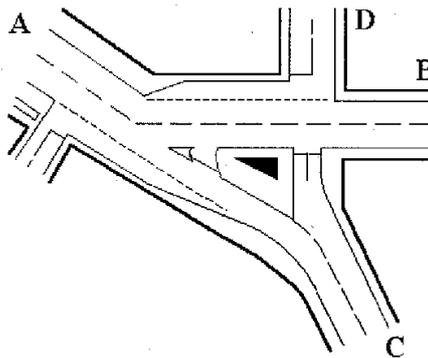


EXERCÍCIO: INTERSEÇÃO CANALIZADA

Entrada da cidade: rodovia AB; acesso ao centro C; acesso ao bairro D.
reclamações de atrasos excessivos para usuários de C e D;
conflitos e acidentes de tráfego, em C especialmente.



Existe uma proposta para melhoria da operação na situação atual, que é a seguinte:



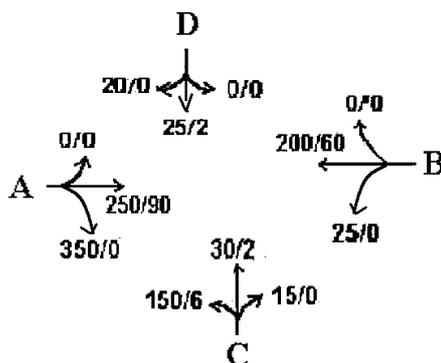
Demanda atual:	A	B	C	D	
A	-	250	350	-	hora de pico da manhã (FHP=0,90)
B	200	-	25	-	volumes: autos
C	150	15	-	30	caminhões
D	20	-	25	-	velocidade: 65±10 km/h
	-	-	2	-	DC/BC na faixa auxiliar

- Pede-se:
- analisar a situação atual e as formas de melhoria da operação;
 - analisar a proposta de melhoria para a situação atual;
 - avaliar qualitativamente o desempenho no pico da tarde;
 - avaliar opção de uma rotatória no futuro (com duplicação dos fluxos).

SOLUÇÃO DO EXERCÍCIO:

(a) Como os fluxos de veículos pesados são significativos em alguns movimentos, os volumes serão transformados em fluxos equivalentes utilizando o fator de equivalência de 1,5 veq/vp recomendado pelo HCM/85 para declividade nula (neste caso, o fator de equivalência dos autos é 1,0 veq/va) e adotando o fator de hora-pico igual a 0,90 fornecido. Note que ambos serão utilizados para os fluxos secundários apenas (não para os fluxos opostos).

Os fluxos do pico da manhã podem ser sintetizados no esquema a seguir:



A configuração atual pode ser vista como a junção de três interseções:

- ⇒ o cruzamento e convergência de C-D com a via A-B;
- ⇒ o cruzamento e convergência de A-C com a via A-B;
- ⇒ o cruzamento e convergência de C-D com a via A-C.

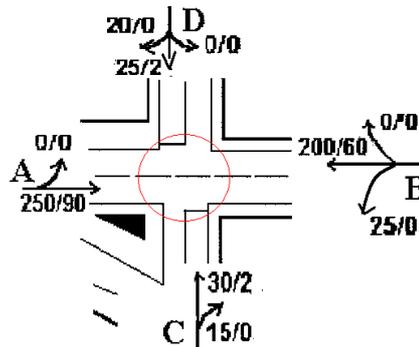
Estas três interseções serão analisadas separadamente com a hipótese de operação independente.

Note que os movimentos de e para a via C podem ocorrer nas duas interseções com a via A-B (com C-D e com A-C). Em certos casos, a sinalização de trânsito pode proibir alguns movimentos e tornar a situação regulamentada bem definida.

Quando existem formas alternativas para realizar um movimento, os usuários da via normalmente optam por realizá-lo no local mais favorável em termos de atraso e/ou segurança. Eventualmente, a demanda reparte-se entre as alternativas até atingir um estado de equilíbrio (em que a facilidade da manobra é similar em ambas).

A seguir, a análise admitirá um comportamento básico, selecionado por ser a alternativa mais favorável. A avaliação feita a seguir permitirá verificar este julgamento.

Na primeira interseção, o esquema dos volumes de tráfego observados para a hora pico da manhã é o seguinte:



Portanto, a conversão à esquerda na via principal (vinda de B para C) ocorrerá neste local (e ainda terá de realizar uma segunda manobra secundária antes de seguir para o centro). Na via secundária, apenas os movimentos de e para D e a conversão à direita de C para B ocorrem no local.

Existem três posições diferentes com manobras secundárias: a via principal (onde ocorre a conversão à esquerda de B para C, sem baía de conversão, o que faz com que cada veículo parado esperando uma brecha bloqueie a faixa de tráfego de B-A); a aproximação secundária vinda de C (onde há o cruzamento para D e a conversão à direita de C-B) e a aproximação secundária vinda de D (onde há o cruzamento para C, a conversão à direita D-A e a conversão à esquerda D-B).

As manobras secundárias tem demandas pequenas e não devem existir problemas de capacidade na situação atual. Isto pode atrair parte do tráfego de C para A, se esta manobra for difícil na posição originalmente alocada para acomodá-la. Alguma consideração desta natureza pode ser feita com base nos resultados obtidos a seguir.

Analisando a manobra secundária na via principal tem-se:

⇒ a conversão à esquerda de B para C é um cruzamento com fluxo oposto em 1 faixa, que requer uma brecha de 6 segundos para velocidade acima de 65 km/h na via principal (curva C); sendo o fluxo oposto de $250+90=340$ v/h (desprezando o efeito da saída à direita na interseção anterior, em função da distância existente), tem-se uma capacidade de cerca de 750 veq/h (extrapolando a curva C); a demanda para conversão à esquerda é de 25 veq/h, que corresponde a um fluxo de $25/0,90=28$ veq/h e, portanto, a taxa de utilização da capacidade é de 3,7% para a conversão à esquerda; esta seria também a estimativa da interferência em manobras secundárias de hierarquia inferior utilizada por outros métodos (como os do HCM).

Não há, portanto, problemas de capacidade (o critério do DENATRAN/87 seria uma taxa de utilização de até 85%) e a situação poderia ser admitida se não houver problemas de segurança. Dada a velocidade praticada (V_{85} de 75 km/h), isto significa pelo menos uma distância de visibilidade mínima superior a 100 ou 125 metros (e, preferencialmente, 220 metros), para terreno em nível, e uma intervisibilidade de cerca de 75 metros com o fluxo oposto na via A-B, segundo critérios como os da AASHTO.

Analisando a aproximação vinda de C tem-se:

⇒ a conversão à direita de C para B é uma convergência da via secundária com fluxo oposto em 1 faixa, que requer uma brecha de 6 segundos para velocidade acima de 65 km/h na via principal (curva C); sendo o fluxo oposto de $250+90=340$ v/h (sem interferência da conversão à esquerda da via principal e também desprezando o efeito da saída à direita na interseção anterior), tem-se uma capacidade de cerca de 750 veq/h (extrapolando a curva C); a demanda para conversão à direita é de 15 veq/h, que corresponde a um fluxo de $15/0,90=18$ veq/h e, portanto, a taxa de utilização da capacidade é de 2,2% para a conversão à direita (esta manobra compartilha a faixa única existente com o cruzamento vindo de C).

⇒ o cruzamento vindo de C para D é um cruzamento de 2 faixas vindo da via secundária com fluxo oposto também em 2 faixas, que requer uma brecha de 8 segundos para velocidade acima de 65 km/h na via principal (curva D); sendo o fluxo oposto de $250+90+200+60+1,67.25=642,75$ v/h (com interferência da conversão à esquerda da via principal e novamente desprezando o efeito da saída à direita na interseção anterior), tem-se uma capacidade de cerca de 320 veq/h (na curva D); a demanda para cruzamento é de $30+1,5.2=33$ veq/h, que corresponde a um fluxo de $33/0,90=37$ veq/h e, portanto, a taxa de utilização da capacidade é de 11,6% para o cruzamento (esta manobra compartilha a faixa única existente com a conversão C a A).

Portanto, a faixa única na aproximação vinda de C tem taxa de utilização X de $2,2+11,6=13,8\%$ que também não indica problemas de capacidade. Segundo os critérios usuais de projeto viário, a velocidade praticada no local exigiria uma intervisibilidade entre os fluxos das vias interceptantes de cerca de 230 metros (especialmente para as conversões). Estes valores consideram apenas os movimentos veiculares e são adequados quando as distâncias de travessia de pedestres são reduzidas (mas não quando há travessias longas).

Note que o efeito de interferência da conversão à esquerda na via principal avaliado segundo o DENATRAN/87 não é adequado (não considera a dificuldade da manobra, por exemplo). Normalmente, as recomendações alternativas do HCM seriam empregadas (que avaliam melhor o efeito de interferência).

Analisando a aproximação vinda de D tem-se:

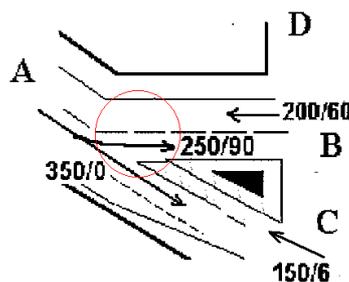
⇒ a conversão à direita de D para B é uma convergência da via secundária com fluxo oposto em 1 faixa, que requer uma brecha de 6 segundos para velocidade acima de 65 km/h na via principal (curva C); sendo o fluxo oposto de $200+60=260$ v/h, tem-se uma capacidade de cerca de 1000 veq/h (extrapolando a curva C); a demanda para conversão à direita é de 20 veq/h, que corresponde a um fluxo de $20/0,90=22$ veq/h e, portanto, a taxa de utilização da capacidade é de 2,2% para a conversão à direita (esta manobra compartilha a faixa única existente com o cruzamento e a conversão à esquerda vindos de D).

⇒ o cruzamento vindo de D para C é um cruzamento de 2 faixas vindo da via secundária com fluxo oposto também em 2 faixas, que requer uma brecha de 8 segundos para velocidade acima de 65 km/h na via principal (curva D); sendo o fluxo oposto de $200+60+250+90+1,67.25=642,75$ v/h (com interferência da conversão à esquerda da via principal e desprezando o efeito da saída à direita na interseção posterior, ambos no sentido oposto da via A-B), tem-se uma capacidade de cerca de 320 veq/h (na curva D); a demanda para cruzamento é de $25+1,5.2=28$ veq/h, que corresponde a um fluxo de $28/0,90=31$ veq/h e, portanto, a taxa de utilização da capacidade é de 9,7% para o cruzamento (esta manobra compartilha a faixa única existente com as conversões de D).

⇒ a conversão à esquerda de D para A é um cruzamento e convergência para via de mão dupla com fluxo oposto em 2 faixas, que requer uma brecha de 10 segundos para velocidade acima de 65 km/h na via principal (curva F); sendo o fluxo oposto de $200+60+250+90+1,67.25+32+15=689,75$ v/h (com os fluxos opostos da via secundária, usando a recomendação do HCM, com interferência da conversão à esquerda da via principal e desprezando o efeito da saída à direita na interseção posterior, ambos no sentido oposto da via A-B), tem-se uma capacidade de cerca de 170 veq/h (na curva F); a demanda para conversão à esquerda é nula (no pico da manhã) e não contribui para a taxa de utilização da capacidade da faixa única compartilhada existente na aproximação vinda de D.

Portanto, a faixa única na aproximação vinda de D tem taxa de utilização X de $2,2+9,7=11,9\%$ que novamente não indica problemas de capacidade. Os comentários sobre a intervisibilidade necessária para a aproximação vinda de C aplicam-se também para a aproximação vinda de D.

Na segunda interseção, o esquema dos volumes de tráfego observados para a hora pico da manhã é o seguinte:



Este é o local onde ocorre a conversão à esquerda de C para A, um dos movimentos secundários mais importantes. Este é a única manobra secundária neste local. A configuração geométrica não é favorável pois os movimentos em ângulo oblíquo podem ter problemas de visibilidade. Especialmente em cruzamento e em convergências sem faixa de aceleração podem ocorrer problemas de segurança. No caso, a configuração não é tão desfavorável porque o cruzamento oblíquo é visto de frente (a convergência com o fluxo vindo de B é problemática) mas velocidades elevadas poderiam tornar o local bastante perigoso.

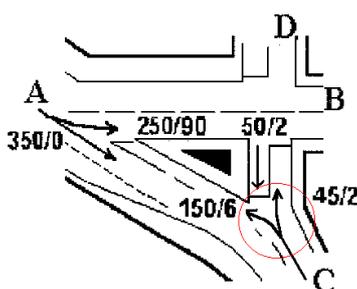
A análise feita a seguir considerará apenas os aspectos de capacidade. Neste campo, o raio de curvatura mais aberto é favorável e pode permitir realizar a manobra com menores brechas do que se ocorresse na primeira interseção. A demanda é, entretanto, maior e os fluxos conflitantes são significativos.

Analisando esta única posição com manobras secundárias tem-se:

⇒ a manobra realiza uma conversão à esquerda de C para A sendo um cruzamento e convergência para via de mão dupla com fluxo oposto em 2 faixas, que requer uma brecha de 10 segundos para velocidade acima de 65 km/h na via principal (curva F); sendo o fluxo oposto de $250+90+200+60+350/2=775$ v/h (com metade do fluxo de conversão à direita, usando a recomendação do HCM, e desprezando o efeito dos fluxos nas interseção posteriores), tem-se uma capacidade de cerca de 125 veq/h (na curva F); a demanda para conversão à esquerda é de $150+1,5.6=159$ veq/h, que corresponde a um fluxo de $159/0,90=177$ veq/h e, portanto, há saturação da capacidade (a taxa de utilização da capacidade corresponderia a 141,33%) para a manobra analisada como conversão à esquerda em via de mão dupla.

Como anteriormente observado, esta é a manobra poderia ter brechas menores que as usuais (em função do raio de curvatura aberto). Utilizando a curva D (que supõe uma brecha crítica de 8 segundos), a capacidade seria de cerca de 240 veq/h e a taxa de utilização seria de 73,6% (abaixo do valor limite de 85% recomendado pelo DENATRAN/87). A geometria desfavorável em termos de intervisibilidade é menos ruim que no cruzamento anterior mas é prejudicada pela obliquidade das trajetórias. No entanto, a dificuldade em encontrar brechas e a maior velocidade permitida pelo maior raio de curvatura parecem mais importantes para gerar problemas de segurança (como os conflitos e acidentes de tráfego mencionados).

Na terceira interseção, o esquema dos volumes de tráfego observados para a hora pico da manhã é o seguinte:



Neste local ocorre apenas o cruzamento para C vindo de D. Em vista da presença de um importante fluxo de conversão à direita vinda de A para C, a manobra é similar a uma conversão à esquerda e as condições para sua realização são semelhantes às observadas para a interseção anterior (inclusive em termos de segurança). A demanda é menor mas os fluxos opostos são também significativos.

Analisando esta também única posição com manobras secundárias tem-se:

⇒ a manobra realiza uma conversão à esquerda da segunda etapa de D para C sendo um cruzamento e convergência para via de mão dupla com fluxo oposto em 2 faixas, que requer uma brecha de 10 segundos para velocidade acima de 65 km/h na via principal (curva F); sendo o fluxo oposto de $150+6+350+47/2=529,5$ v/h (com metade do fluxo de conversão à direita, usando a recomendação do HCM, e desprezando o efeito dos fluxos nas interseção posteriores), tem-se uma capacidade de cerca de 300 veq/h (na curva F); a demanda para conversão à esquerda é de $25+25+1,5.2=53$ veq/h, que corresponderia a um fluxo de $53/0,90=59$ veq/h e, portanto, a taxa de utilização da capacidade é de 19,6%) para a manobra.

Portanto, a análise não indica problemas de capacidade e situação em termos de segurança também parece menos crítica que nas demais interseções do local.

Note que a análise de capacidade confirma a conjectura de que parte da demanda que busca a manobra de C a A pode utilizar o cruzamento para D (menos saturado) que o cruzamento direto para A (a única posição que pode apresentar problemas de capacidade e a interseção onde os problemas de segurança parecem maiores).

A análise pode ser refeita com uma repartição da demanda de C a A entre as duas posições consideradas para a manobra até atingir uma situação de equilíbrio (em que o nível de serviço é igual nas duas posições).

Deve-se observar que, se o problema de capacidade limita-se aos horários de pico, o hábito dos usuários pode fazer com que a situação de equilíbrio não seja a melhor previsão de repartição da demanda (uma situação intermediária seria mais realista).

Portanto, apenas a manobra de C a A poderia apresentar problemas de capacidade nesta configuração. Esta também é a manobra com piores condições de segurança, mesmo na ausência de problemas de visibilidade. Intervisibilidade restrita pode exigir ajustes geométricos ou controle da velocidade. A redução de velocidade também aumentaria a capacidade para as manobras secundárias mas este é um recurso último para proporcionar segurança e capacidade viária (porque traz prejuízo aos usuários ao aumentar seu tempo de viagem e sua frustração).

(b) A configuração alternativa proposta utiliza duas faixas da aproximação vinda de C para D direcionadas para a rodovia, de forma aumentar a capacidade da manobra crítica da configuração existente (de C para A). Tanto a manobra de B para C quanto a manobra de D para C devem utilizar uma faixa auxiliar (que serve de faixa de desaceleração e de armazenamento de fila).

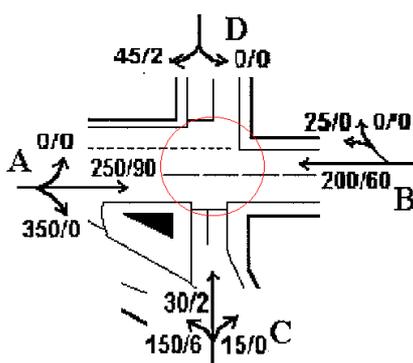
Se a posição junto à divisão de fluxos de A a B e de A a C permitir acomodar veículos da faixa auxiliar para C, as manobras vindas de D devem ter um grau de dificuldade semelhante ao da configuração anterior (caso contrário seu fluxo oposto será maior). A situação das manobras de B para C será, entretanto, sempre pior (agora ambos os sentidos de fluxo da rodovia serão conflitantes). Deve-se observar que o fluxo vindo de D tem alguns veículos pesados cruzando a via, que exigiriam maior espaço na posição junto à divisão de fluxos (cerca 15 metros, contra cerca de 7 metros para veículos leves) e tornaria sua situação pior. Sem uma posição intermediária, a complexidade da manobra é também maior se a capacidade não for suficientemente maior que a demanda para garantir conforto e segurança para os usuários.

A configuração proposta pode ser vista como a junção de três interseções:

- ⇒ o cruzamento e convergência vindos de C-D com a via A-B;
- ⇒ o cruzamento e convergência na faixa auxiliar com a via A-B;
- ⇒ a convergência com o fluxo de A-C, na 2ª. etapa da via auxiliar.

Estas três interseções serão analisadas separadamente com a hipótese de operação independente.

Na primeira interseção, o esquema dos volumes de tráfego observados para a hora pico da manhã é o seguinte:



Este cruzamento será analisado considerando que os fluxos que convergem à esquerda vindos de D (pouco significativo) utilizam a faixa auxiliar, dando prioridade aos fluxos que também a utilizam vindos de B (a conversão à esquerda para C, também pouco significativa). Para a via vinda de D, todos os fluxos convergem para a faixa auxiliar, onde apenas existe a conversão à esquerda vinda de B como fluxo

principal. Estas hipóteses não são críticas, dada a magnitude dos fluxos, e poderiam ser verificados em campo para o caso de uma interseção existente.

No caso dos fluxos vindos de B o movimento de conversão à esquerda da via principal deixa de ser uma manobra secundária neste local (visto que o movimento é principal na entrada para a via auxiliar e secundário no cruzamento a partir da via auxiliar, adiante). A situação da conversão à esquerda da vindo de C também melhora visto que não serão conflitantes os fluxos vindos da via secundária do sentido oposto (de D), que seriam prioritários na ausência da faixa auxiliar.

Portanto, com a eliminação da conversão à esquerda da via principal como manobra secundária, há duas posições a analisar: as aproximações vindas de C e de D.

Na aproximação C, há os três movimentos na linha de retenção da aproximação vindo de C junto à rodovia (com uma faixa apenas ou com duas faixas), tendo-se:

⇒ a conversão à direita vindo de C é uma convergência da via secundária para 1 faixa, que requer uma brecha de 6 segundos para velocidade acima de 65 km/h na via principal (curva C); sendo o fluxo oposto de $250+90=340$ v/h, tem-se uma capacidade de cerca de 750 veq/h (extrapolando a curva C); a demanda para conversão à direita é de 15 veq/h, que corresponde a um fluxo de $15/0,90=17$ veq/h e, portanto, a taxa de utilização da capacidade é de 2,2% para a conversão à direita;

⇒ o cruzamento da rodovia vindo de C é um cruzamento de 2 faixas vindo da via secundária, que requer uma brecha de 8 segundos para velocidade acima de 65 km/h na via principal (curva D); sendo o fluxo oposto de $250+90+200+60+25=625$ v/h, tem-se uma capacidade de cerca de 340 veq/h (na curva D); note que, apesar da existência da via auxiliar, a situação corresponde a um cruzamento de duas faixas na área de conflito desta manobra (caso contrário, a brecha poderia ter de ser ajustada para refletir a maior distância a vencer); a demanda para cruzamento é de $30+1,5.2=33$ veq/h, que corresponde a um fluxo de $33/0,90=37$ veq/h e, portanto, a taxa de utilização da capacidade é de 10,8% para o cruzamento;

⇒ a conversão à esquerda vindo de C é uma manobra com cruzamento e convergência com fluxo oposto em 2 faixas, que requer uma brecha de 10 segundos para velocidade acima de 65 km/h na via principal (curva F); sendo o fluxo oposto de $250+90+200+60+25=625$ v/h (incluindo o fluxo que busca a faixa auxiliar), tem-se uma capacidade de cerca de 220 veq/h (curva F); a demanda para conversão à esquerda é de $150+1,5.6=159$ veq/h, que corresponde a um fluxo de $159/0,90=177$ veq/h e, portanto, a taxa de utilização da capacidade é de 80,3% para a conversão à esquerda;

Considerando a existência de apenas uma faixa com o uso compartilhado pelos três movimentos, ter-se-ia uma taxa de utilização da capacidade X igual a $2,2+10,8+80,3=93,3\%$. Como a demanda total é de $17+37+177=231$ veq/h, esta taxa de utilização corresponderia a uma capacidade de $231/0,933=247,6$ veq/h (ou $0,90.247,6=222,8$ veq/h em volume de tráfego). Pelo critério do DENATRAN/87 (taxa de utilização da capacidade menor que 85%), a situação não seria admissível mas estaria próximo do limite. Uma estimativa do atraso experimentado pelos veículos vindos desta aproximação forneceria uma avaliação mais adequada da qualidade da

sua operação e teria de considerar a duração do período de pico (usualmente tomado como 15 minutos, na ausência de sobre-demanda);

As alternativas para melhorar a operação desta aproximação não seriam complexas e o alargamento da via na linha de retenção para duplicação do número de faixas seria uma opção adequada. A redução da velocidade na via principal também seria eficaz, do ponto de vista da via secundária, mas traria atrasos para os fluxos principais (portanto, somente seria uma opção defensável se também recomendada por critérios de segurança).

Portanto, é recomendável alocar duas faixas às manobras vindas de C, o que levaria a aproximadamente o dobro da capacidade (e metade da taxa de utilização da capacidade). Esta avaliação poderia ser refinada incluindo algum efeito de redução por interferência na visibilidade nas faixas laterais. Além disso, como a conversão à esquerda deve distribuir-se pelas duas faixas e ambas convergiram para a faixa única da rodovia para A, o fluxo da faixa direita poderia ser incluído como oposto da conversão realizada na faixa da esquerda. Normalmente, a observação de campo (da situação existente ou de casos similares) é essencial para decidir ajustes.

Note que não foi necessário tratar o efeito de interferência da conversão esquerda na via principal, em vista de terem sido eliminados os fluxos interferentes, através da utilização da faixa auxiliar. De qualquer maneira, a forma de avaliação do DENATRAN/87 não seria usualmente empregada, utilizando-se as recomendações alternativas do HCM (que avaliam melhor o efeito de interferência).

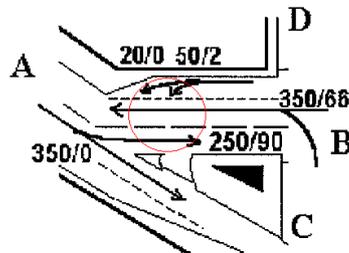
Na aproximação D, a convergência para a faixa auxiliar corresponde a uma situação próxima a da operação em uma faixa livre para conversão à direita (dado o baixo fluxo conflitante), tendo-se:

⇒ a conversão corresponde a uma convergência da via secundária para 1 faixa, que requer uma brecha de 6 segundos para velocidade acima de 65 km/h na via principal (curva C)- sendo o fluxo oposto de 25 v/h, tem-se uma capacidade de cerca de 11 50 veq/h, tomando como referência que a brecha crítica de 6 segundos corresponde a um intervalo de seguimento da ordem de $614 + 1,5 = 3$ segundos (que equivale a um fluxo máximo de 1200 v/h); esta caracterização poderia ser revisada notando que a velocidade de acesso à faixa auxiliar seria normalmente menor que a velocidade média no fluxo principal; a demanda para conversão à direita é de $45 + 1,5 \cdot 2 = 48$ veq/h, que corresponde a um fluxo de $4810,90 = 53$ veq/h e, portanto, a taxa de utilização da capacidade é de 4,6% para o movimento único existente (o que indica uma operação adequada, admitindo os critérios do DENATRAN/87).

No caso dos fluxos vindos de D, que se admitiu convergirem para a faixa auxiliar contra o fluxo de conversão à esquerda da via principal, não existe interferência do movimento de conversão à esquerda vindo de A (cuja demanda é nula). A demanda para o movimento de conversão à esquerda para a rodovia (sentido B), que sofreria a interferência do fluxo de cruzamento vindo de C existente, também tem demanda nula. Esta características simplificam a operação e a análise correspondente.

Note que admitiu-se que estes movimentos não sofrerão interferência da etapa seguinte de manobra realizada a partir da faixa auxiliar (que somente ocorreria se a fila acumulada na faixa auxiliar atingisse a aproximação de D).

Na segunda interseção, o esquema dos volumes de tráfego observados para a hora pico da manhã é o seguinte:



Este cruzamento será analisado considerando que o cruzamento em direção ao centro pode ser realizada em duas etapas, usando a vaga junto à divisão dos fluxos de A, e admitindo que a segunda etapa não restringe a primeira etapa da operação (isto é, que a fila e atraso na terceira interseção são pequenos).

Neste caso, há dois movimentos na faixa auxiliar (que, em princípio, também compartilham uma única faixa), tendo-se:

⇒ a conversão à direita para incorporação à rodovia (sentido A) é uma convergência da via secundária para 1 faixa, que requer uma brecha de 6 segundos para velocidade acima de 65 km/h na via principal (curva C); sendo o fluxo oposto de $350+66=416$ v/h, tem-se uma capacidade de cerca de 600 veq/h (extrapolando a curva C); note que o raio de curvatura favorável poderia levar a revisar o valor de brecha recomendado (a faixa auxiliar não deveria, entretanto, ser considerada uma faixa de aceleração efetiva, em vista da interferência da manobra de cruzamento, que bloqueia o movimento de incorporação); a demanda para conversão à direita é de 20 veq/h, que corresponde a um fluxo de $20/0,90=22$ veq/h e, portanto, a taxa de utilização da capacidade é de 3,7% para a conversão à direita;

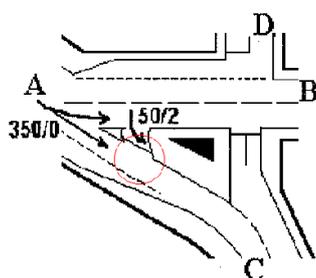
⇒ o cruzamento da rodovia é um cruzamento de 2 faixas vindo da via secundária, que requer uma brecha de 8 segundos para velocidade acima de 65 km/h na via principal (curva D); sendo o fluxo oposto de $250+90+350+66=756$ v/h, tem-se uma capacidade de cerca de 260 veq/h (na curva D); note que a ilha de canalização existente elimina apenas o conflito com a conversão à direita vinda de A (volume que, por este detalhe, foi totalmente eliminado do fluxo conflitante); a demanda para cruzamento é de $50+1,5.2=53$ veq/h, que corresponde a um fluxo de $53/0,90=58$ veq/h e, portanto, a taxa de utilização da capacidade é de 22,6% para o cruzamento;

Considerando a existência de apenas uma faixa com o uso compartilhado pelos dois movimentos, tem-se uma taxa de utilização da capacidade X igual a $3,7+22,6=26,3\%$; como a demanda total é de $22+58=80$ veq/h, esta taxa de utilização corresponde a uma capacidade de $80/0,263=304,2$ veq/h (ou $0,90.304,2=273,8$ veq/h em volume de tráfego). Pelo critério do DENATRAN/87 (taxa de utilização da capacidade menor que

85%), a situação seria admissível com razoável reserva de capacidade. Esta é uma situação em que o critério do DENATRAN/87 é inadequado. Pela baixa capacidade as filas e atrasos seriam normalmente significativos.

Note que a previsão seria totalmente distinta na ausência da ilha de canalização para decomposição do cruzamento em etapas (eliminando o conflito com o fluxo de conversão à direita vindo de A, de 350 v/h, na primeira etapa). Sem esta ilha de canalização, o fluxo oposto do cruzamento seria de 1006 v/h, o que reduziria sua capacidade para 140 veq/h, mesmo sem considerar um aumento do valor da brecha requerido (decorrente da maior extensão da área de conflito) e um efeito de interferência da segunda etapa na capacidade da manobra.

Na terceira interseção, o esquema dos volumes de tráfego observados para a hora pico da manhã é o seguinte:



Este cruzamento é o mais simples de ser analisado e contém a segunda etapa da travessia em direção ao centro, adotando-se a hipótese que a primeira etapa não representa um gargalo para a realização da segunda etapa (isto é, não limita o fluxo que busca realizar esta manobra).

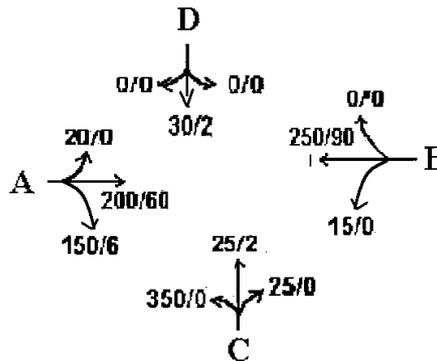
Neste caso, há apenas uma manobra secundária utilizando a posição delimitada pela ilha de canalização, tendo-se:

⇒ a conversão à esquerda é uma convergência via secundária para 1 faixa, que requer uma brecha de 6 segundos para velocidade acima de 65 km/h na via principal (curva C); sendo o fluxo oposto de 350 v/h, tem-se uma capacidade de cerca de 750 veq/h (extrapolando a curva C); a demanda para conversão à esquerda é de 53veq/h, que corresponde a um fluxo de $53/0,90=58$ veq/h e, portanto, a taxa de utilização da capacidade é de 7,7% para o movimento único existente (o que indica uma operação adequada, admitindo os critérios do DENATRAN/87).

Note que esta avaliação apoia as hipóteses adotadas na análise da interação com a primeira etapa (não há gargalo e a interferência é pequena). Uma estimativa da interferência, no espírito das recomendações do HCM, poderia ser feita reduzindo a capacidade da primeira etapa em 7,7% (a parcela do tempo bloqueado por um veículo parado na posição de espera para realizar a segunda etapa, se esta posição armazena apenas um veículo). A capacidade física de armazenamento é, neste caso, importante.

(c) Para a análise qualitativa da situação que ocorreria no pico da tarde, a matriz de fluxos origem/destino pode ser invertida (como uma suposição preliminar) para verificar os aspectos de operação mais críticos e eventualmente recomendar uma coleta de dados adicional. Esta suposição preliminar pode ser alterada investigando as rotas existentes para cada manobra e alocando os fluxos às melhores opções (esta análise pode trazer, também, novos fluxos que usavam outras rotas no período analisado).

Neste caso, o esquema dos volumes de tráfego aproximados na hora pico da tarde seria o seguinte:



Pode-se verificar que o movimento mais problemático (a conversão à esquerda de C para A) tem sua demanda aumentada no pico da tarde. Considerando a inexistência de veículos pesados e o fator de hora-pico de 0,90, o volume de tráfego observado corresponderia a um fluxo de $350/0,90=389$ veq/h. Como o fluxo oposto é da mesma magnitude ($200+60+250+90+15=615$ v/h), pode-se ver que a duplicação do número de faixas na aproximação de C seria suficiente mas chegaria ao limite para atender mesmo esta parcela da demanda somada à demanda para conversão à direita de C para B e à demanda de cruzamento de C para D.

Portanto, poderia de ser utilizada alguma medida complementar como a instalação de um redutor de velocidade na via principal (que seria a medida menos radical, no sentido de alterar a configuração atual, mas prejudicaria a velocidade de tráfego na via principal).

Alternativas mais radicais seriam a decomposição da manobra com acomodação dos fluxos no canteiro central ou eventual implantação de uma rotatória.

Intervenções desta natureza, embora mais custosas, teriam uma vida útil bastante maior em face do crescimento futuro do tráfego.

A instalação de um semáforo ou a eventual proibição do movimento de conversão no local também são opções para eliminar o problema (menos desejáveis, em princípio, do ponto de vista da fluidez do tráfego).

(d) A alternativa a analisar é a implantação de uma rotatória (selecionado uma definição de prioridade de circulação e uma configuração geométrica adequada), para um cenário com a duplicação dos fluxos.

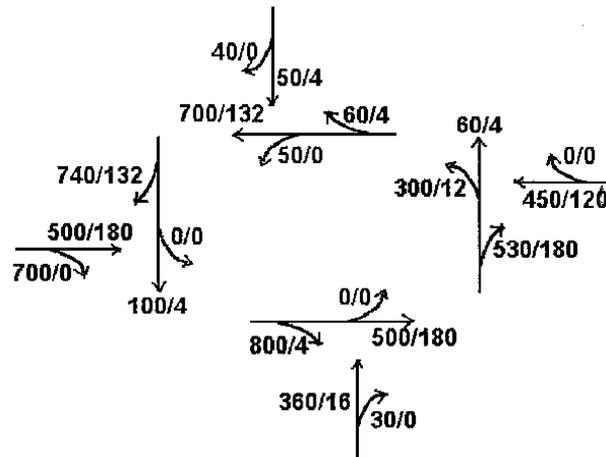
A análise da operação em rotatórias é razoavelmente complexa, sendo às vezes realizada utilizando métodos específicos, especialmente para o caso das rotatórias convencionais, em que é dada a prioridade de circulação para o fluxo circulante em todas as aproximações e em que a interseção é simples (no sentido que todos os fluxos param apenas em uma linha de retenção). Na rotatória convencional, em princípio todos os fluxos buscam a incorporação na faixa externa de circulação e a situação é bem definida.

No entanto, existe uma alternativa mais flexível e genérica que corresponde a analisar a rotatória como um conjunto de interseções próximas, usualmente consideradas independentes, o que tem a vantagem de permitir tratar definições de prioridade não convencionais e especiais. Especialmente quando as distâncias entre entradas e saídas são pequenas, este método é preferível mesmo para rotatórias convencionais, visto que muitas manobras buscam acessar uma faixa interna da rotatória (para evitar o conflito com os fluxos que saem adiante). Mesmo a interdependência entre as interseções componentes pode ser considerada de forma preliminar neste tipo de análise.

Adotando esta segunda opção, os métodos de análise de interseções com prioridade são o ponto de partida também para a análise das rotatórias. Neste caso, a primeira questão é a referente a escolha de um modelo de análise operacional para representar o funcionamento da rotatória, aspecto que está fundamentalmente relacionado com a distância entre entradas e saídas.

Existem diversos modelos de operação alternativos que podem ser assumidos para uma rotatória com sinalização de prioridade, devendo-se selecionar aquele que caracteriza melhor a operação efetiva em função dos fluxos e das dimensões da rotatória, que determina a possibilidade ou não de separar as manobras de incorporação e separação no entrelaçamento dos fluxos que compartilham as faixas internas.

A forma mais imediata, que corresponde mais diretamente ao esquema de fluxos apresentado, admite que a rotatória pode ser representada por um conjunto de cruzamentos simples entre fluxo de circulação e de entrada. Neste caso intermediário, o esquema de fluxos utilizado para analisar a operação da rotatória é o seguinte:



Uma forma mais complexa corresponde a manter uma representação por cruzamentos envolvendo cada par de entradas adjacentes, distinguindo entre fluxos que saem, cruzam e permanecem na rotatória tanto na circulação quanto nas entradas. Este é um esquema necessário para análise dos casos em que as distâncias são reduzidas e há interação entre as entradas adjacentes.

As formas alternativas mais simples aplicam-se para os casos em que as distâncias entre entradas e saídas são maiores e pode-se admitir que os fluxos buscam a incorporação à faixa externa da rotatória (negociando as mudanças de faixa complementares ao longo do trajeto). Para a situação que corresponde à análise específica das rotatórias convencionais, em que também a definição de prioridade para o fluxo circulante é mantida, este é muitas vezes um esquema adequado mesmo para níveis de fluxo mais elevados. Neste caso, os procedimentos específicos para rotatórias tem a vantagem de incorporar a influência de parâmetros de projeto como diâmetro da rotatória, ângulo de deflexão e largura na linha de retenção (ver o DENATRAN/87).

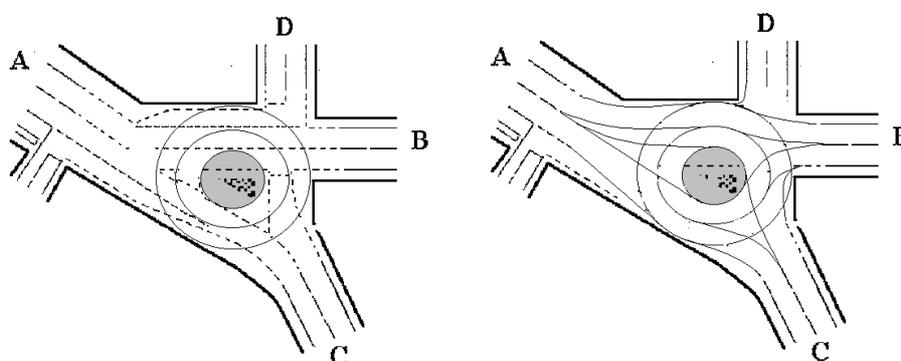
Entretanto, com todos os modelos operacionais, a associação da rotatória com um conjunto de interseções adjacentes permite a possibilidade de analisar os casos em que o fluxo que entra é prioritário em alguma das aproximações e calcular filas e atrasos de fluxos internos (além dos referentes às aproximações externas, como seria o caso nos procedimentos específicos). Estes esquemas e as suas alternativas, correspondentes às definições de prioridade alternativas, podem ser utilizados de forma combinada com a verificação destas variáveis operacionais (em vista da hipótese de que a operação das interseções são independentes, que exigiria a capacidade de acomodar as filas internas).

Evitando um procedimento iterativo, a seleção das definições de prioridade teria de ser feita com base na hierarquia e no fluxo das vias interceptantes (ponderando a preferência pela prioridade convencional). No entanto, mesmo com esta definição, pode ser necessário iterar o procedimento a partir da constatação da necessidade de alterar a prioridade ou a geometria adotadas.

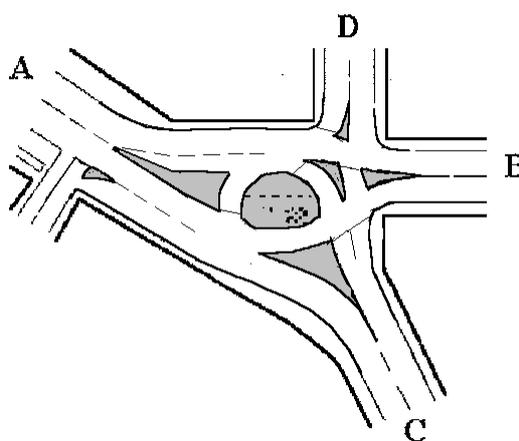
Por exemplo, para o caso em análise, seria natural manter a prioridade para os fluxos vindos da rodovia (A-B) e admitir a utilização de uma faixa na circulação e nas entradas. A exceção seria a aproximação de C, que deveria ter duas faixas com

facilidades para a manobra de C a A, que exigiria uma faixa de entrada livre, uma posição interna com maior armazenamento de fila ou uma saída para incorporação com faixa de aceleração. Esta configuração deve ser inicialmente buscada, considerando as restrições físicas e o atendimento à demanda de tráfego do local.

Uma rotatória urbana, onde não haverá operação em fluxo contínuo, pode ter dimensões mais reduzidas. Naturalmente, os raios de curva devem harmonizar-se com a velocidade dos movimentos principais (as manobras secundárias podem ocorrer com raios mínimos). Existem ainda muitas opções de configuração que variam na alocação e no posicionamento das faixas alocadas a cada movimento. Os esquemas abaixo representam a verificação da área física para implantar a rotatória e as trajetórias das manobras correspondentes aos critérios anteriormente discutidos, com a rodovia preferencial usando a faixa externa no sentido B-A (a faixa interna é utilizada pelo fluxo de C a A) e a faixa interna no sentido A-B (a faixa externa servirá para a divergência para C). O trecho de C a D deve manter as duas faixas mas o trecho de D a C pode ser implantado com apenas uma faixa (visto que atende demandas pequenas).



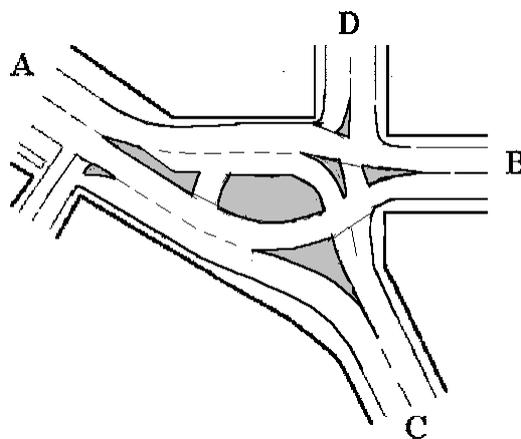
Neste caso, o projeto funcional de uma configuração inicial (que deve verificar o atendimento a todas as restrições físicas e de geometria, como raios de curvatura e áreas de armazenamento de fila) seria a apresentada a seguir:



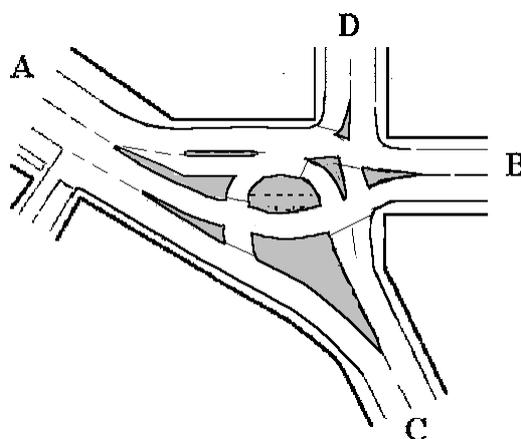
Note que o movimento de C a A não recebe uma faixa de entrada livre e é secundário em relação aos fluxos de B a C (e mesmo de D a C, na sua segunda etapa). No entanto, face à reduzida demanda destes movimentos, a manobra de C a A não tem problemas de capacidade. A obliquidade das trajetórias de B-C e C-A deve ser reduzida para evitar problemas de segurança. Note também que a saída A-C é

secundária em relação ao fluxo da entrada E (anterior ao cruzamento), o que novamente não é crítico em função dos volumes de tráfego da entrada E.

Diversas outras opções podem ser concebidas e avaliadas. Atendidas as restrições geométricas e de capacidade, que devem proporcionar também a segurança básica da operação, as alternativas devem ser comparadas em função do entendimento e familiaridade dos usuários com o esquema adotado e com a flexibilidade na acomodação de situações especiais (fluxos excepcionais, bloqueios para obras, ...). É possível também optar por proibir localmente certos movimentos (e conceber alternativas em que estas manobras sejam desencorajadas), desde que existam outras rotas ou locais que permitam atender estas demandas nas imediações. Por exemplo, a geometria pode desfavorecer as manobras de retorno na rodovia, como a seguir:



A avaliação deve incluir o atendimento às necessidades de pedestres (em todo os contextos mas especialmente em áreas urbanas). As rotatórias podem tornar a situação mais confusa para os pedestres e criar trajetos mais longos. Entretanto, a rotatória é normalmente uma forma favorável de acomodar travessias mais seguras por prover refúgios naturais aos pedestres (para atravessar um fluxo de cada vez). Se factível fisicamente, esta estratégia pode ser aplicada reiteradamente, como a seguir:



De forma geral, as dimensões mínimas das ilhas de canalização devem ser maiores quando for necessário acomodar pedestres (em função dos fluxos e esperas).