

SP 05/93

NT 163/93

Uma proposta para critérios de implantação de semáforos de pedestres

Eng^o Sun Hsien Ming (NET)

1. Objetivo

O presente trabalho tem por objetivo apresentar uma proposta para critério de implantação de semáforo de pedestres. O critério apresentado não é completo e nem engloba todos os aspectos envolvidos na questão, como, por exemplo, os custos, sociais e operacionais, decorrentes da implantação do semáforo. Assim, a decisão de implantar ou não o semáforo não pode ser tomada considerando-se unicamente o critério aqui proposto.

Entretanto, apesar desta limitação, acreditamos que o método apresentado pode representar uma medida bastante razoável sobre o grau de dificuldade dos pedestres em efetuar a travessia e deve dar uma indicação bastante próxima sobre a necessidade ou não de semáforo.

2. Critério

O critério está baseado no tempo médio de espera de cada pedestre, sem semáforo e com semáforo.

A nosso ver, o tempo de espera é o parâmetro chave para medir o grau de dificuldade da travessia.

Todos os demais parâmetros envolvidos na dinâmica do problema acabam direta ou indiretamente recaindo no tempo de espera. Senão vejamos. Quanto maior o fluxo veicular, menos brechas ou “gaps” se apresentam para o pedestre, acarretando maior tempo de espera. Assim, todos os parâmetros acabam de alguma forma se refletindo no resultado final, que é o tempo de espera: fluxo veicular, velocidade dos veículos, “gaps”, largura da travessia, etc. Dessa forma, ao invés de trabalharmos com diversos parâmetros apresentados no problema, é muito mais fácil, eficaz e direto

trabalharmos com um único parâmetro que possa traduzir o efeito final de todos os demais.

O critério se baseia na seguinte metodologia:

Mede-se em campo o tempo médio de espera T_p de cada pedestre na situação atual (sem semáforo).

Calcula-se, a seguir, o tempo médio de espera T_s de cada pedestre na situação proposta (com semáforo).

Define-se então o quociente:

$$R = \frac{T_s}{T_p} \quad (1)$$

O valor R dá uma indicação da necessidade ou não do semáforo. Por exemplo:

- a) Se $R = 1$, significa que o tempo de espera não se altera com a colocação do semáforo, podendo-se concluir, então, que o semáforo é totalmente inútil para o pedestre, não havendo, portanto, nenhum benefício.
- b) Se $R = 0,5$, significa que o semáforo reduz o tempo de espera do pedestre em 50%, portanto, com ganhos significativos.

Nota-se que R deve ser menor ou igual a 1, pois $R > 1$ significa que o semáforo acarreta um atraso maior para o pedestre do que a situação sem o semáforo.

3. Obtenção do valor de T_p

O valor de T_p deve ser obtido através de pesquisa que consiste em contar o número de pedestres que ficam aguardando uma chance de atravessar a via. Essa contagem deve ser feita de 5 em 5 segundos, como se fosse um histograma. A contagem deve ser realizada em horário de maior demanda de pedestres, no mínimo por uma hora, portanto, constando de 720 intervalos de 5 segundos.

Recomenda-se, quando possível, efetuar a pesquisa em vários dias (sempre no mesmo horário) para obtenção de uma hora média que seja representativa do comportamento local, uma vez que a simples contagem de uma hora em um único dia

pode não representar o comportamento típico do local pesquisado devido a fatores circunstanciais.

A pesquisa de tempo de espera deve ser realizada por 4 pesquisadores por travessia, dois em cada lado.

Assim, T_p é obtido pela expressão:

$$T_p = \frac{5N}{P} \quad (2)$$

N = total de pedestres contados nos 720 intervalos da pesquisa de tempo de espera.

P = volume de pedestres em pedestres/h.

O valor de P deve ser obtido em contagem separada da pesquisa do tempo de espera, mas realizada simultaneamente com a mesma.

4. Hipóteses adotadas

Para o cálculo de T_s foram consideradas as seguintes premissas:

- a) O pedestre só aguarda o sinal verde para atravessar a via se não houver brechas no tráfego que possibilite a travessia.

Reciprocamente, se houver brechas suficientes no tráfego, o pedestre não irá aguardar o sinal verde para atravessar a via.

Isso significa que durante o tempo de vermelho de pedestre, o comportamento do pedestre é exatamente igual à situação do semáforo.

Acreditamos que essa premissa é bastante razoável e traduz bem o comportamento real observado.

- b) Outra hipótese adotada é a de que, na abertura do semáforo para os veículos, durante o tempo T_f de desmanche da fila formada no tempo de vermelho veicular não há brechas para a travessia do pedestre. Assim, supõe-se que os pedestres têm que aguardar pelo menos a passagem desse período para começar a ter chances de atravessar a rua.

- c) Adotou-se também como hipótese a chegada de veículos e de pedestres a taxas uniformes, F e V_p , respectivamente. Embora na realidade a chegada de veículos e de pedestres seja aleatória, foi adotada essa hipótese tendo em vista a simplificação no tratamento matemático. Acreditamos que é possível melhorar os cálculos supondo um modelo mais adequado para a distribuição da chegada de veículos e de pedestres.

Desta forma, convém salientar que, em virtude da hipótese de taxas uniformes na chegada dos pedestres, o método fica prejudicado nos locais onde os pedestres chegam em grupos e/ou em intervalos mais ou menos regulares, como, por exemplo, em locais próximos a estações de trens, onde a chegada dos pedestres é regulada pela chegada dos trens.

5. Cálculo de T_s e de R

A seguir, descrevemos o método de cálculo de T_s . Considerando a Figura 1, seja:

F = fluxo veicular (veic/s)

F_s = fluxo de saturação (veic/s)

y = taxa de ocupação

V_p = volume de pedestres (ped/s)

P = Volume de pedestres (ped/h)

T_p = tempo médio de espera de cada pedestre sem semáforo (s)

T_s = tempo médio de espera de cada pedestre com semáforo (s)

T_{st} = tempo médio de espera total com semáforo em um ciclo (s)

T_v = tempo de verde veicular (s)

T_{vm} = tempo de vermelho veicular (s)

T_a = tempo de amarelo veicular (s)

T_c = tempo de ciclo (s)

T_f = tempo de desmanche de fila de carro (s)

Temos que:

$$y = \frac{F}{F_s} \quad (3)$$

$$P = 3600V_p \quad (4)$$

$$T_f = \frac{FT_{vm}}{F_s} \quad (5)$$

$$T_s = \frac{T_{st}}{V_P T_c} \tag{6}$$

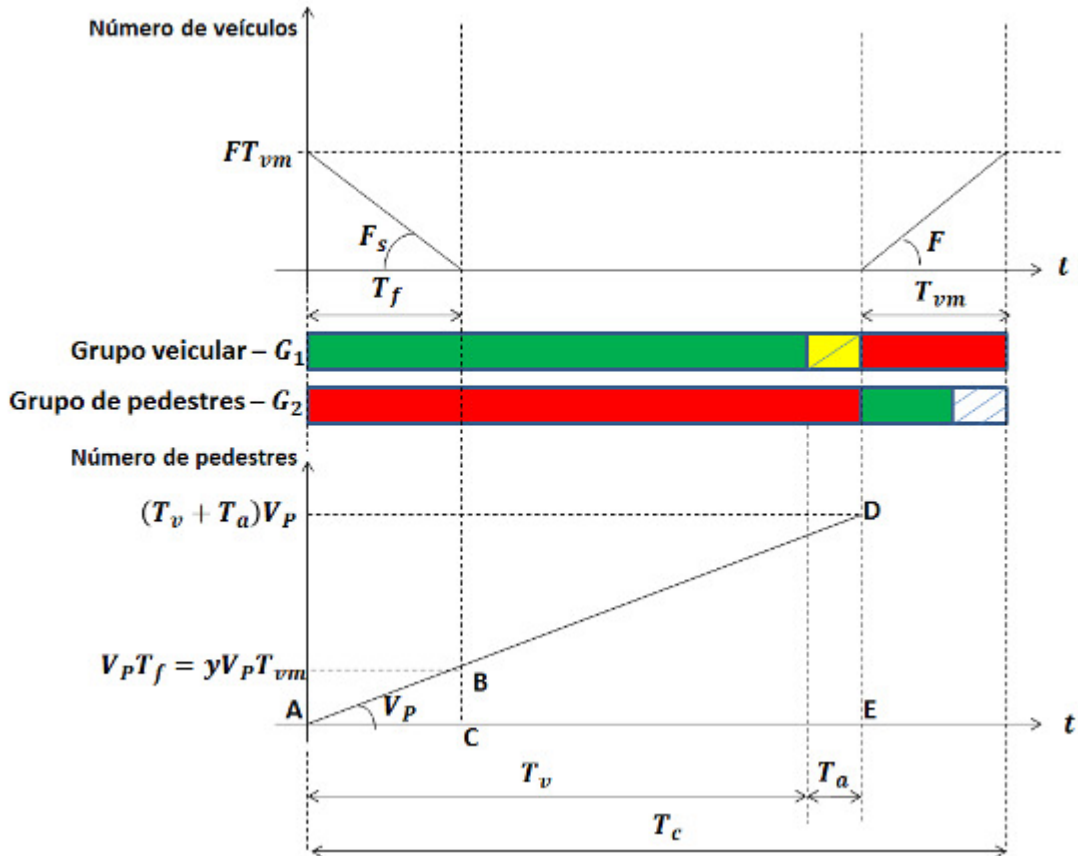


Figura 1

Na Figura 1, a área do ΔADE representa a espera total de pedestres no ciclo se todos os pedestres “obedecessem” ao sinal vermelho de pedestres. Entretanto, considerou-se a “obediência” total apenas durante o tempo de desmanche da fila T_f . Assim, no intervalo T_f , a espera é igual à área do ΔABC .

$$\text{Área do } \Delta ABC = \frac{y^2 V_P T_{vm}^3}{2}$$

No restante do tempo de vermelho de pedestres ($T_v + T_a - T_f$), o comportamento do pedestre passa a ser igual à situação sem semáforo. Assim, o tempo de espera nesse período é o número de pedestres que chegam durante este intervalo multiplicado pelo tempo médio de espera T_p de cada pedestre na situação sem semáforo, ou seja:

$$(T_v + T_a - T_f)V_P T_P$$

Fazendo-se as devidas substituições, tem-se que:

$$T_{st} = \frac{V_P [y^2 T_{vm}^2 + 2T_P (T_v + T_a - yT_{vm})]}{2}$$

Fazendo:

$$p = \frac{T_v}{T_c}, \quad q = \frac{T_a}{T_c}, \quad r = \frac{T_{vm}}{T_c}$$

onde

$$p + q + r = 1$$

vem:

$$T_s = \frac{T_c y^2 r^2 + 2T_P (p + q + yr)}{2}$$

ou

$$T_s = \frac{T_c y^2 r^2 + 2T_P (1 - r - yr)}{2}$$

Então, a expressão (1) fica:

$$R = \frac{T_c y^2 r^2 + 2T_P (1 - r - yr)}{2T_P} \quad (7)$$

6. Condições Limites

a) Como $0 < R \leq 1$, efetuando-se os cálculos necessários temos:

$$\frac{T_P}{T_c} \geq \frac{y^2 r}{2(1+y)} \quad (8)$$

- b) Por outro lado, o tempo de espera total no intervalo $(T_v + T_a - T_f)$ não pode ser maior do que a área do trapézio BCDE da Figura 1, pois a área desse trapézio representa a espera total no intervalo $(T_v + T_a - T_f)$ se todos os pedestres obedecessem ao sinal vermelho de pedestres.

Assim, tem-se:

$$(T_v + T_a - T_f)V_P T_P \leq \frac{[V_P(T_v + T_a) + V_P T_f(T_v + T_a - T_f)]}{2}$$

o que é equivalente a:

$$\frac{T_P}{T_C} \leq \frac{1-r(1-y)}{2} \quad (9)$$

- c) Finalmente, outra condição limite é a de que o tempo de desmanche da fila T_f não pode ser maior do que o tempo de verde veicular T_v , isto é:

$$T_f \leq T_v$$

ou

$$\frac{p}{r} \geq y \quad (10)$$

7. Observações Finais

- a) Como se pode observar, o método independe do volume de pedestres P . Por isso, deve ser empregado combinado com outros critérios. Caso contrário, poderiam ocorrer casos em que se justificaria a instalação do semáforo só para um pedestre.
- b) É possível que o método apresentado tenha pouca serventia para vias de tráfego muito intenso, onde não haja brechas para a travessia de pedestres, pois a aplicação do critério deverá apontar quase sempre como resultado a implantação do semáforo, fato esse que pode ser facilmente deduzido a partir de observações visuais do local.
- c) Entretanto, acreditamos que o método pode ter particular valor nos casos de vias com relativa abundância de brechas, onde a necessidade ou não do semáforo não é tão patente apenas com vistorias e observações visuais.
- d) A diferença fundamental entre o método proposto e o tradicionalmente utilizado, baseado em volumes mínimos de pedestres e de veículos, é que o

primeiro depende da programação semaforica e o segundo independe da temporização.

Acreditamos que um critério que considere os tempos semaforicos é mais representativo. De fato, de que adianta chegarmos à conclusão de que é necessária a implantação de um semáforo de pedestres com um tempo de ciclo longo e reduzido tempo de pedestres? É praticamente como se não houvesse semáforo para pedestres, uma vez que a quase totalidade do tempo estaria destinada aos veículos.

Assim, o critério proposto leva em conta que se o tempo de ciclo tem que ser muito longo e o tempo de verde de pedestres muito curto, então pode não se justificar o semáforo. Entretanto, para o mesmo local e para as mesmas condições de volumes de pedestres e de veículos, se mudarmos a programação semaforica em favor dos pedestres, então pode-se justificar a implantação do semáforo.

Em outras palavras, só se justifica a implantação do semáforo de pedestres se houver uma temporização semaforica condizente com os benefícios requeridos para o pedestre.

Por último, confirmando o que foi dito, pode-se observar matematicamente pela expressão (7) que R aumenta quando se aumenta o valor de T_c e que, até um determinado valor de r , R diminui quando se aumenta o valor de r .

Engº Sun Hsien Ming (NET)
