

SP 01/12/91

NT 140/91

## Dimensionamento de Semáforos de Pedestres

### Núcleo de Estudos de Tráfego (NET)

O presente trabalho foi resultado de uma consulta da GET 3 ao eng.º Pedro Szasz, em maio/87, para o cálculo do ciclo de semáforos de pedestres. Até então não havia um critério para a determinação do ciclo, dependendo o mesmo mais da característica e a forma própria de cada técnico, do que propriamente da realidade e das condições de cada local.

Assim, os itens 1,2,3,4,5 e 6 são propostas de padronização adotados pela GET 3 naquela ocasião, enquanto que os itens 3, 7, 8 e 9 foram desenvolvidos pelo eng.º Pedro Szasz.

A aplicação dos critérios para o caso real da Av. Amador Bueno da Veiga próximo à R. Omachá, foi feita pelo eng.º João Gilberto Césare da GET 3.

#### 1. Tempo de Vermelho Piscante (T1)

##### Fórmula 1

$$T1 = \frac{L_0}{2 \times V_p}$$

$L_0$  = largura da via (descontando o canteiro central, se houver)

$V_p$  = velocidade de pedestres (adotar  $V_p = 1,2$  m/s)

#### 2. Tempo de Verde para Pedestres (T2)

##### Fórmula 2

$$T2 = T_c - T1 + K$$

$$T_t = \frac{L}{V_p} \text{ (adotar } V_p = 1,0 \text{ m/s)}$$

$K$  = fator de segurança para a desobediência dos veículos no início do verde de pedestres (adotar  $K = 3$ s);

$L$  = largura da via, inclusive canteiro central, se houver.

#### 3. Tempo de Ciclo

3.a) Semáforos de pedestres em modo automático

##### Fórmula 3

$$CN = \frac{TM}{TS} + K_o \left( TS + \sqrt{T^2 S + TS \cdot TM} \right)$$

$$1 - Y$$

CN = ciclo necessário para não congestionar o tráfego

TM = tempo morto para veículos (amarelo + vermelho)

$$TS = \frac{Y}{(1 - Y) \cdot \frac{S}{3600}}$$

$$Y = \frac{V}{S}$$

V = volume equivalente da aproximação com a ponderação normal (B)

S = fluxo de saturação da aproximação

Ko = coeficiente de desvio padrão (adotar Ko = 2)

Observação:

Se a rua for de mão dupla, calcular TS para os dois movimentos e adotar o maior valor.

Fórmula 4

$$Co = \sqrt{T^2 M \sum \frac{V_{xi}}{1 - Y_i}} + (T2 - K)^2$$

p

Co = ciclo "ótimo"

Vxi = volume equivalente de veículos da aproximação i com a ponderação dada em (A)

Yi = taxa de ocupação da aproximação i

( Yi =  $\frac{Vi}{Si}$  onde Vi é o volume equivalente de veículos da aproximação i

com a ponderação normal (B) e Si é o fluxo de saturação da aproximação i)

p = volume de pedestres

Observação:

A somatória se refere à soma dos dois sentidos quando a via for de mão dupla.

Ciclo a adotar: adotar como ciclo programado o maior dos valores entre Co e CN, adotando-se o limite mínimo de 35s.

Ponderação dos volumes equivalentes

A) Ponderação em passageiros

- Caminhão = 3
- Ônibus = 10
- Carro = 1

B) Ponderação normal

- Caminhão = 3
- Ônibus = 2
- Carro = 1

3.b) Semáforos de pedestres em modo atuado (botoeira)

Fórmula 5

$$Co = \sqrt{\frac{T^2 M \sum \frac{V_{xi}}{1 - Y_i}}{p}} + (T_2 - K)^2 - \frac{2}{\left(\frac{p}{3600}\right)^2}$$

Observação: Caso a expressão no radical seja negativa, adotar  $Co = 0$

Ciclo a adotar como ciclo programado o maior dos valores entre  $Co$  e  $CN$  (expressão 3), tomando-se como limite mínimo 35s.

4. Instante do amarelo veicular (em semáforos de botoeira). Dar o início do amarelo veicular, 3 segundos, após a atuação da botoeira pelo pedestre.

5. Tempo de vermelho piscante de pedestres em semáforos veiculares com focos para pedestres. Deve-se adotar o valor de  $T1$ , conforme a expressão (1).

6. Tempo de vermelho geral para pedestres em semáforos veiculares com focos de pedestres

Fórmula 6

$$TVM = \frac{L}{VP}$$

$L$  = largura da via mais larga, com focos de pedestres, onde o tempo de pedestres (verde + piscante) é igual ao tempo de vermelho geral.

Adotar  $Vp = 1,2$  m/s.

7. Dimensionamento do ciclo para regime variável

7. a) Se houver possibilidade de escolher o ciclo conforme o horário, o cálculo pode ser feito conforme o item (3) e a programação acertada de acordo com cada situação.

7. b) Caso só se disponha de uma programação (plano único), calcular os ciclos  $CN_j$  e  $Co_j$  para cada situação típica  $j$  conhecida.

Cálculo do ciclo ótimo -  $Co$

Fórmula 7

$$Co = \frac{\sum P_j T_j C_{pj}}{\sum P_j T_j}$$

$P_j$  = volume de pedestres no horário  $j$

$T_j$  = a duração do horário  $j$

$C_{pj}$  = máxima entre  $C_{Nj}$  e  $C_{oj}$

Cálculo do ciclo necessário - CN

Fórmula 8

$CN = \max(C_{Nj})$

Ciclo a adotar: adotar como ciclo programado o maior dos valores de  $C_o$  e  $CN$ .

8. Notas

8.a) O ciclo necessário CN foi calculado para garantir que 95% dos casos já tenha acabado a fila de carros ao fim do verde. Se por outro fator qualquer for conveniente encurtar este valor, pode-se adotar  $K_o = 1$ , sem prejuízo considerável ao tráfego.

8.b) O ciclo ótimo é o ponto onde a soma dos atrasos dos veículos e pedestres é mínima, mas não sendo inferior a CN pode-se variar o ciclo de -35% a +50%, sem que o atraso aumente mais de 10% em relação ao valor mínimo.

Assim, se for necessário encurtar o ciclo para aumentar a obediência dos pedestres, ou alongar para sincronizar com outros semáforos próximos, dentro dos limites acima, não há prejuízo sensível ao tráfego.

8.c) Método para se obter o fluxo de saturação

Histograma

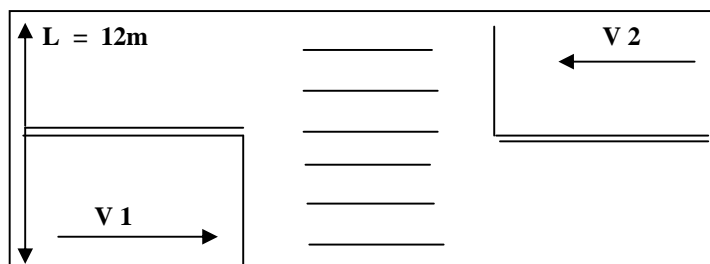
Pela expressão:  $S = 525 L$ ,  
 a largura da via deve ser constante ao longo do trecho;  
 $5,5 < L < 18,0$ ;  
 não haver declividade significativa;  
 não haver problemas de pavimento; e  
 não haver estacionamento de veículos.

8.d) Se no ciclo resultar um tempo de verde para os veículos inferiores ao mínimo aceitável aumentar-se o ciclo do valor necessário.

9. Exemplo:

semáforo com botoeira

Figura 1



	Horário	06 - 08	17 - 20	08 - 17	20 - 06
V1	Automóvel	800	1200	500	200
	Ônibus	50	60	30	10
	Caminhão	10	10	10	---
V2	Automóvel	1200	800	500	200
	Ônibus	60	50	30	10
	Caminhão	10	10	10	---
Pedestre		50	250	120	20

$$T1 = \frac{12}{2 \times 1,2} = 5s$$

$$Tt = \frac{12}{1,0} = 12s$$

$$T2 = 12 - 5 + 3 = 10s$$

$$TM = 18s \text{ (3s de amarelo veicular)}$$

Para a situação no horário das 17h00 às 20h00.

$$V1 = 1200 + 60 \times 2 + 10 \times 3 = 1350$$

$$V2 = 800 + 50 \times 2 + 10 \times 3 = 930$$

$$Vx1 = 1200 + 60 \times 10 + 10 \times 3 = 1830$$

$$Vx2 = 800 + 50 \times 10 + 10 \times 3 = 1330$$

$$S1 = S2 = 2 \times 1800 = 3600 \text{ veic./h ou } 1 \text{ veic./s}$$

Obtemos:

$$Y1 = \frac{1350}{3600} = 0,375$$

$$y2 = \frac{930}{3600} = 0,258$$

$$TS1 = \frac{y1}{(1 - y1) S1} = 0,6s$$

$$TS2 = \frac{y2}{(1 - y2) S2} = 0,6s$$

$$CN1 = \frac{18 + 2(0,6 + \sqrt{0,6 \times 0,6 + 0,6 \times 18})}{1 - 0,375}$$

$$CN1 \cong 42s$$

CN2 é menor que CN1 já que y2 é menor que y1

Supondo botoeira

$$Co = \sqrt{18^2 \left( \frac{1830}{1 - 0,375} + \frac{1330}{1 - 0,258} \right) + 7^2 - \frac{2}{(250)^2}} \cdot 3600$$

$$Co = \sqrt{6246 + 49} - 414$$

$$Co = 77$$

Neste horário adotaríamos ciclo de 77 segundos.

Nos demais horários aplicando as mesmas fórmulas, obteríamos:

Horário	06 - 08	17 - 20	08 - 17	20 - 06	Σ
Tj	2	3	9	10	
Cpj	145	77	60	20	
Pj	50	250	120	20	
Pj . Tj	100	750	1080	200	2130
Pj . Tj . Cpj	14500	57750	64800	400	141050

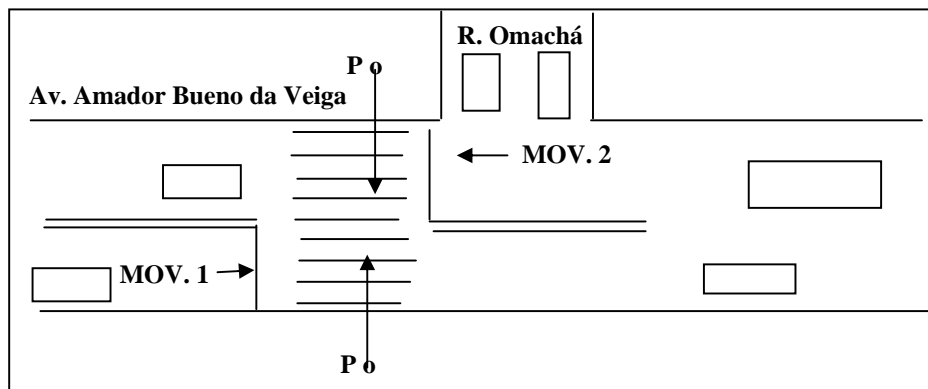
$$Co = \frac{141050}{2130} = 66$$

$$CN = 42$$

$$Cp = 66$$

Sendo limites razoáveis desde 43 até 99, ciclos mais longos penalizam o pedestre e favorecem os veículos e vice-versa para ciclos mais curtos.

Cálculo de tempo de ciclo na Av. Amador Bueno da Veiga próximo a R. Omachá.



Pico da Manhã

Movimento 1    Ponderação A - em passageiros    Ponderação B - normal

Ônibus = 158	158 x 10 = 1580	158 x 2 = 316
Carro = 440	440 x 1 = 440	440 x 1 = 440
Caminhão = 18	18 x 3 = 54	18 x 3 = 54
	2074	810

Movimento 2 Ponderação A - em passageiros Ponderação B - normal

Ônibus = 240	240 x 10 = 2400	240 x 2 = 480
Carro = 330	330 x 1 = 330	330 x 1 = 330
Caminhão = 17	17 x 3 = <u>51</u>	17 x 3 = <u>51</u>
	2781	861

Volume de pedestres 440 pessoas/h  
Pico da Tarde

Movimento 1 Ponderação A - em passageiros Ponderação B - normal

Ônibus = 192	192 x 10 = 1920	192 x 2 = 384
Carro = 661	661 x 1 = 661	661 x 1 = 661
Caminhão = 14	14 x 3 = <u>42</u>	14 x 3 = <u>42</u>
	2623	1087

Movimento 2 Ponderação A - em passageiros Ponderação B - normal

Ônibus = 139	139 x 10 = 1390	139 x 2 = 278
Carro = 339	339 x 1 = 339	339 x 1 = 339
Caminhão = 15	15 x 3 = <u>45</u>	15 x 3 = <u>45</u>
	1774	662

Volume de pedestres = 440 pessoas/hora

Fluxo de Saturação 1 → S1 = 2500 veic./h

Fluxo de Saturação 2 → S2 = 1700 veic./h

1. Tempo de Vermelho Piscante (T1)

$$T1 = \frac{L_o}{2 \times V_p} = \frac{11}{2 \times 1,2} = 4,58s \quad \therefore T1 = 4,58s$$

2. Tempo de Verde para Pedestres (T2)

$$T2 = T_t - T1 + K$$

$$T_t = \frac{L}{V_p} = \frac{11}{1,0} = 11$$

$$T2 = 11 - 4,58 + 3 = 9,42s \quad \therefore T2 = 9,42s$$

3. Tempo de Ciclo

3.a) Pico da Manhã

$$Y1 = \frac{V1}{S1} = \frac{810}{2500} = 0,324$$

$$Y2 = \frac{V2}{S2} = \frac{861}{1700} = 0,506$$

$$TS1 = \frac{\frac{Y1}{(1 - Y1) - \frac{S1}{3600}}}{\frac{0,324}{(1 - 0,324) \cdot \frac{2500}{3600}}} = 0,69 \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \therefore TS = 2,17$$

$$TS2 = \frac{\frac{Y2}{(1 - Y2) \frac{S2}{3600}}}{\frac{0,506}{(1 - 0,506) \frac{1700}{3600}}} = 2,17 \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\}$$

$$CN = \frac{TM + K_o (TS + \sqrt{TS^2 + TS \cdot TM})}{1 - Y}$$

TM = tempo morto para veículos (amarelo + vermelho)

$$TM = 3 + 9,42 + 4,58$$

$$TM = 17s$$

$$CN = \frac{17 + 2 (2,17 + \sqrt{(2,17)^2 + 2,17 \cdot 17})}{1 - 0,506} \cong 69s$$

Co para semáforo de pedestre em modo atuado (botoeira)

$$Co = \frac{TM^2 \sum \frac{V \times i}{p(1 - Y_i)}}{(T2 - K)^2 - \frac{2}{3600}}$$

$$Co = \sqrt{17^2 \cdot \left( \frac{2074}{1 - 0,324} + \frac{2781}{1 - 0,506} \right) + (9,42 - 3)^2 - \frac{2}{3600}} \quad \left( \frac{440}{3600} \right)^2$$

$$Co = \sqrt{5712,71 + 41,21 - 133,88} = \sqrt{5620} \therefore Co \cong 75s$$

\(\therefore\) Ciclo para o Pico da Manhã é de 75s

3.b) Pico da Tarde

$$Y1 = \frac{V1}{S1} = \frac{1087}{2500} = 0,435$$

$$Y2 = \frac{V2}{S2} = \frac{662}{1700} = 0,389$$



$$TS1 = \frac{Y1}{(1-Y1) \frac{S1}{3600}} = \frac{0,435}{(1 - 0,435) \frac{2500}{3600}} = 1,11 \quad \left. \vphantom{\frac{Y1}{(1-Y1) \frac{S1}{3600}}} \right\} \therefore TS = 1,35$$

$$TS2 = \frac{Y2}{(1 - Y2) \frac{S2}{3600}} = \frac{0,389}{(1 - 0,389) \cdot \frac{1700}{3600}} = 1,35 \quad \left. \vphantom{\frac{Y2}{(1 - Y2) \frac{S2}{3600}}} \right\}$$

$$CN = \frac{17 + 2 ( 1,35 + \sqrt{ (1,35)^2 + 1,35 \cdot 17 } )}{1 - 0,389} \cong 49s$$

$$Co = \sqrt{17^2 \left( \frac{2623}{1 - 0,435} + \frac{1774}{1 - 0,389} \right) + (6,42)^2 - \frac{2}{440}} \quad \left( \frac{440}{3600} \right)^2$$

$$Co = 69s$$

Ciclo para o pico da tarde é de 69s.

-----  
 Eng.º Pedro Zsasz (NET)  
 Eng.º Sun Hsien Ming (NET)  
 Eng.º João Gilberto Césare (GET 3)