

SP 01/12/91

NT 139/91

Ciclo Ótimo de um Conjunto de Semáforos**Núcleo de Estudos de Tráfego (NET)**

A equação que dá o ciclo ótimo para um semáforo isolado é:

Fórmula 1

$$T_{cot} = \frac{TA + Ts}{1 - y}$$

Fórmula 2

Segundo Muller: $Ts = 2,2 \sqrt{\frac{TA}{SM}}$

Fórmula 3

Onde, $SM = \frac{S1 + S2}{2}$

Fórmula 4

Segundo Webster: $Ts = 0,5 TA + 5$

A fórmula de Muller pode ser derivada a partir da expressão simplificada da fila:

Fórmula 5

$$F_i = \frac{TR_i^2 \cdot V_i}{2TC(1 - y_i)} + \frac{X_i^2}{2(1 - X_i)}$$

que após a simplificação vale, aproximadamente, para um semáforo simples de duas fases:

Fórmula 6

$$F = F1 + F2 = \frac{TC \cdot y}{4,8} \frac{(S1 + S2)}{2} + \frac{TC \cdot y}{TC(1 - y) - TA} + TA \cdot y$$

que derivando em relação a TC dá:

Fórmula 7

$$\frac{\delta F}{\delta TC} = \frac{y \cdot SM}{4,8} - \frac{TA \cdot y}{(TC(1-y) - TA)^2}$$

De onde se obtém igualando a zero:

Fórmula 8

$$TC = \frac{TA + 2,2 \sqrt{TA}}{1 - y} \cdot \frac{SM}{SM}$$

onde,

Tcot = ciclo ótimo

TC = tempo de ciclo

TA = tempo morto

Ts = tempo de reserva (tempo de sobra)

y = soma das taxas de ocupação de todos os estágios ($\sum y_i$)

SM = fluxo de saturação média dos movimentos de cada estágio

Fi = fila da aproximação i

Tri = tempo de vermelho (TC - Tvi) na aproximação i

Vi = volume da aproximação i

Xi = grau de saturação na aproximação i

$$Xi = \frac{TC \cdot Vi}{Tvi \cdot Si}$$

Si = fluxo de saturação na aproximação i

Quando houver vários semáforos a serem coordenados, a mesma fórmula aplicada aos diversos semáforos levaria a uma equação muito complexa para a resolução exata.

Um método aproximado para obter o ciclo ótimo é:

- 1) Calcular o ciclo ótimo de cada semáforo (sem se importar com o verde mínimo).
- 2) Escolher o semáforo de maior ciclo e designá-lo por 1*.

Calcular novo ciclo ótimo do conjunto por:

Fórmula 9

$$Tcot 1 = \frac{TA1 + Ts1 \cdot K}{1 - y 1}$$

onde,

Fórmula 10

4

$$K = \frac{\sqrt{\sum (V_i \cdot R_i)}}{\sum V_i} \quad \text{onde, } R_i = \left(\frac{TC_i}{TC1} \right)$$

Exemplo:

Semáforo	V1	S1	V2	S2	TA	(veículo/seg.)			Cot
						SM	TS	y	
1	2000	3600	500	1500	6	0,708	6,4	0,888	111,6
2	2000	5400	1000	3600	8	1,25	5,56	0,648	38,5
3	2000	7200	500	2000	10	1,27	6,17	0,528	34,2

(*) Se a diferença entre maior e menor ciclo for de menos de 30% do maior, usar o ciclo médio pela fórmula:

Fórmula 11

$$T_{cot 1} = \frac{\sqrt{\sum (V_i \cdot TC_i^3)}}{\sum (V_i \cdot TC_i)}$$

Semáforo	V _i	R _i	V _i . R _i
1	2500	1	2500
2	3000	0,014	42
3	<u>2500</u>	0,009	<u>15</u>
	8000		2557

$$K = \frac{2557}{8000} = 0,56 \quad TC_{cot} = \frac{6 + 6,4 \cdot 0,56}{1 - 0,888} = 86$$

obtido o ciclo ótimo, calcular os verdes de cada estágio pela distribuição proporcional.

Os semáforos nos quais algum estágio resultar menor que o verde mínimo, devem ser retirados do conjunto, com este recalculado só com os semáforos que restarem, repetindo-se o cálculo até que todos os semáforos (do grupo) estejam com seus tempos de verde superiores ao mínimo.

Os demais semáforos (excluídos) devem ter seu ciclo calculado pela fórmula:

Fórmula 12

$$TCot2 = \frac{(Tvmi2 + Tai)^2 \left(\sum_j \frac{Vilj}{1 - yilj} \right)}{\sqrt{\frac{\sum_j Vi2j}{\sum_i \frac{Vi2j}{1 - yi2j}}}}$$

onde,

- Tvmi2 = Tempo de verde mínimo do estágio fraco (2) do semáforo i
- TAi = Tempo de amarelo total (tempo morto) do semáforo i
- V = Volumes
- Vilj = Volume j que corre no estágio 1 (forte) do semáforo i
- yilj = y da aproximação 1 do semáforo i
- Vi2j = Volume j que corre no estágio 2 (fraco) do semáforo i
- yi2j = y da aproximação 2 do semáforo i

Uma vez obtidos os dois ciclos ótimos:

TCot1 dos semáforos com verde superior ao mínimo e TCot dos semáforos com verde inferior ao mínimo,

Calcula-se TCot.

1º Caso: TCot 1 > TCot2

Fórmula 13

$$TCot = \frac{TA1 + Tsl \cdot K \cdot K'}{1 - y1}$$

onde os valores de TA1, Tsl, K e y1 são os mesmos de antes e:

Fórmula 14

$$K' = \sqrt{\frac{VT1 + VT2 \cdot R}{VT1 + VT2}}$$

Onde:

VT1 = Volume total do semáforo do grupo 1

VT2 = Volume total do semáforo do grupo 2

$$R = \left(\frac{TCot2}{TCot1} \right)^4$$

2º caso: TCot 2 > TCot 1

Fórmula 15

$$TCot = \frac{C + \sqrt{C^2 + E \cdot A}}{E}$$

Onde,

$$C = \frac{TCot1 \cdot VT1}{4,8}$$

$$E = \frac{VT1}{2,4} + B$$

A = numerador da expressão (fórmula 12)

B = denominador da expressão (fórmula 12)

Para $VT1 = 0$ obtemos

$$TCot = TCot 2 = \sqrt{\frac{A}{B}} \text{ (expressão 12)}$$

Eng.º Pedro Szasz

Núcleo de Estudos de Tráfego (NET)