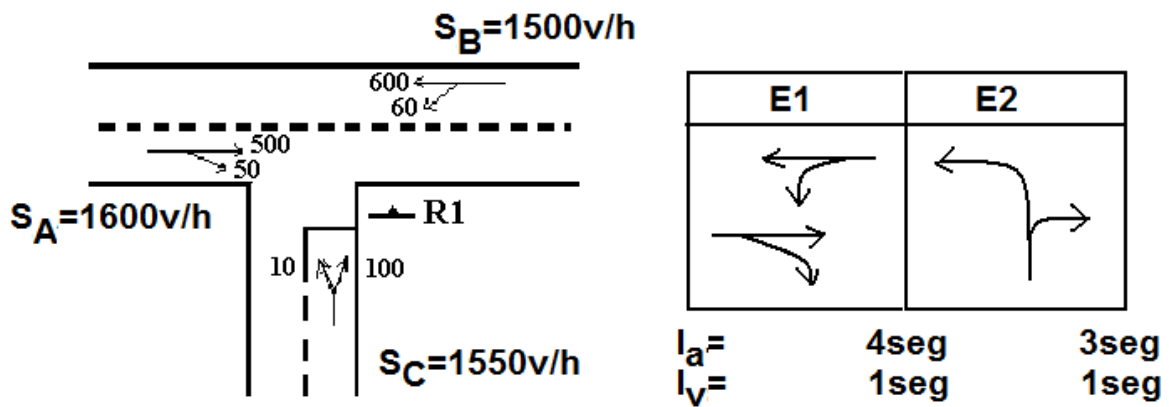


EXERCÍCIO: SEMAFORIZO ATUADO OU SEMI-ATUADO



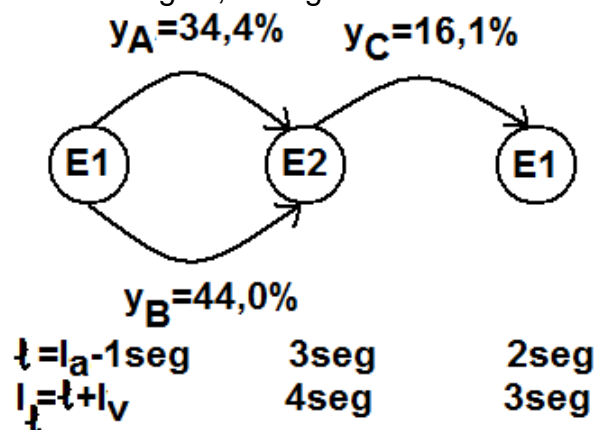
- 1) Semáforo para $q_{ce} = 150 \text{ v/h}$ com tempos fixos.
- 2) Semáforo para $q_{ce} = 150 \text{ v/h}$ com atuação total.
- 3) Semáforo para $q_{ce} = 150 \text{ v/h}$ com semi-atuação.

SOLUÇÃO DO EXERCÍCIO:

1) com os fluxos de saturação fornecidos, tem-se:

$$y_A = \frac{550}{1600} = 0,3438, \quad y_B = \frac{660}{1500} = 0,4400, \quad y_C = \frac{250}{1550} = 0,1613$$

Com o plano simples de dois estágios, o diagrama de movimento é



$$Y = 44,0 + 16,1 = 60,1\%, \quad t_p = 4 + 3 = 7\text{seg}, \quad t_c = \frac{1,5 \cdot 7 + 5}{1 - 0,601} = 39\text{seg}$$

$$G_{ef} = 39 - 7 = 32\text{seg}, \quad g_{ef}^{E1} = \frac{0,440}{0,601} \cdot 32 = 23\text{seg} \Rightarrow g_{E1} = 32 + 3 - 4 = 22\text{seg}$$

$$g_{ef}^{E2} = \frac{0,161}{0,601} \cdot 32 = 9\text{seg} \Rightarrow g_{E1} = 9 + 3 - 4 = 8\text{seg}$$

Avaliando capacidades e graus de saturação:

$$C_A = \frac{23}{39} \cdot 1600 = 943,6\text{v/h}, \quad X_A = \frac{550}{943,6} = 0,5829(58,3\%)$$

$$C_B = \frac{23}{39} \cdot 1500 = 884,6\text{v/h}, \quad X_B = \frac{660}{884,6} = 0,7461(74,6\%)$$

$$C_C = \frac{9}{39} \cdot 1550 = 357,7\text{v/h}, \quad X_C = \frac{250}{357,7} = 0,6989(69,9\%)$$

2) Com atuação total, ambos os estágios serão parametrizados com:

- intervalos de corte dimensionados para $p=5\%$ de falha
- verde mínimo para atendimento aos pedestres ($L=10m$);
- verde máximo com majoração de 50% do verde de tempos fixos

(seria melhor majorar a demanda em 50% e redimensionar para os verdes máximos).

Para E1: B é crítico, portanto:

- intervalo de corte ($S_B = 1500v/h$): $IC_{E1} = 3 \cdot \bar{h}_B = 3 \cdot \frac{3600}{1500} = 7,2seg$;

- verde mínimo ($L_{ped} = 12m$): $g_{mínE1} = \delta_{ped} + \frac{L_{ped}}{V_{ped}} - I_a = 3 + \frac{10}{1,2} - 4 = 7seg$;

- verde máximo ($g_{E1}^{Tfixo} = 22seg$): $g_{máxE1} = 1,5 \cdot g_{E1}^{Tfixo} = 1,5 \cdot 22 = 33seg$.

Para E2: C é crítico ($S_C = 1550v/h$), portanto:

- intervalo de corte ($S_C = 1550v/h$): $IC_{E2} = 3 \cdot \bar{h}_C = 3 \cdot \frac{3600}{1550} = 7,0seg$;

- verde mínimo ($L_{ped} = 12m$): $g_{mínE2} = \delta_{ped} + \frac{L_{ped}}{V_{ped}} - I_a = 3 + \frac{10}{1,2} - 3 = 8seg$;

- verde máximo ($g_{E2}^{Tfixo} = 22seg$): $g_{máxE2} = 1,5 \cdot g_{E2}^{Tfixo} = 1,5 \cdot 8 = 12seg$;

Portanto, os ciclos vão variar de 24seg (com tempos mínimos) a 54 seg (com tempos máximos), em função da demanda manifesta e de incidentes operacionais (não somente o ciclo é automaticamente ajustado mas também a repartição nos estágios).

Note-se que os intervalos de corte normalmente são considerados como brechas de corte (apesar de manterem a denominação tradicional de intervalo de corte). Neste caso, assumindo detectores usuais com $\ell_d = 1,8m$, comprimento efetivo dos veículos $\ell_c = 4,0m$ (para autos) e dissipação de filas com $V_s = 40km/h$ (11,11m/s), deve-se

parametrizar $BC_{E1} = 7,2 - \frac{1,8 + 4,0}{11,11} = 6,7seg$ e $BC_{E2} = 7,0 - \frac{1,8 + 4,0}{11,11} = 6,5seg$ (como

intervalo de corte), reduzida do tempo de ocupância dos detectores. Em alguns controladores, o verde mínimo é eventualmente melhor parametrizado como verde inicial $g_{ini} = g_{mín} - IC$ porque os intervalos de corte são monitorados após sua duração.

Além disso, para o posicionamento usual dos detectores (em geral junto à linha de retenção, a cerca de 6m), não é necessário verificar a extensão de verde (o intervalo de corte será mais que suficiente para escoar o último veículo; pelo contrário, gera uma eventual ociosidade ao final de cada estágio). Em alguns casos, a operação pode ser melhorada (menor ociosidade) com um detector (adicional) afastado ($d < V_s \cdot IC$ ou mesmo $d < V_s \cdot (IC + I_a)$) para aproveitar o intervalo de corte na linha de retenção), dentro

da extensão ocupada pelas filas ($d < q_r \cdot r \cdot \ell_v$ ou $d < 0,9 \cdot \frac{q_r \cdot r \cdot \ell_v}{1 - \frac{q}{m} \cdot \frac{\ell_v}{V}}$).

3) Com semi-atuação, somente C no estágio secundário (E2) terá detectores e pode ter a mesma parametrização anterior (usada para E2 na atuação total: $BC_{E2} = 6,5\text{seg}$, $g_{\text{mín}E2} = 8\text{seg}$, $g_{\text{máx}E1} = 12\text{seg}$). O estágio E1 será protegido pelo verde mínimo de E1.

Para E1: B é crítico ($y_{E1} = 0,44$), portanto:

$$g_{\text{mín}E1} = \frac{y_{\text{prin}}}{1 - y_{\text{prin}}} \cdot (\sum g_{\text{máx}}^{\text{sec}} + \sum I) = \frac{0,44}{1 - 0,44} \cdot (12 + 5 + 4) = 17\text{seg} \text{ (maior que na atuação total).}$$

Portanto, os ciclos vão variar de 34seg (com tempos mínimos) a 38seg (com tempo mínimo em E1 e tempo máximo em E2) quando a via secundária tem demanda significativa. No entanto, quando a via secundária tem demanda reduzida, o ciclo semafórico pode ser superior a esse valor máximo pela ausência do estágio E2 (todo o tempo adicional é dado ao estágio E1, enquanto não há atuação em E2). Este cenário com demanda reduzida na via secundária torna o controle semi-atuado interessante.

Outro cenário em que o controle semi-atuado pode ser preferido ocorre quando é necessário garantir coordenação semafórica adequada (uma restrição mais difícil de garantir com atuação total). Por exemplo, considere a necessidade de manter um ciclo semafórico de 100seg (em função de outros cruzamentos críticos) e uma defasagem de 15seg em relação ao semáforo mestre do sistema coordenado. A coordenação semafórica com controle semi-atuado irá automaticamente impedir a execução do estágio E2 a partir do instante 3, visto que não seria possível cumprir o verde mínimo de 8seg e o entreverdes de 4seg antes de voltar ao estágio E1 no instante 15. Após o instante 15, o controle semi-atuado vai executar o verde mínimo do estágio E1 e então poderá executar o estágio E2 se tiver sido atuado durante o período iniciado em 3 (ou adiante, até retornar novamente ao instante 3).

O critério de determinação do verde mínimo em E1 é distinto, entretanto, no caso com coordenação (e ciclo fixo). Em geral, impõe-se uma condição de grau de saturação X_{prat} para os grupos de tráfego em E1 (preferencialmente, algo entre 0,80 a 0,95). Por exemplo, com o ciclo semafórico de 100seg e um grau de saturação de 0,90, o verde

mínimo de E1 seria $g_{\text{mín}E1} = \frac{y_{\text{prin}}}{X_{\text{prat}}} \cdot t_c = \frac{0,44}{0,90} \cdot 100 = 49\text{seg}$ (a semi-atuação passa a ser

efetiva somente entre os instantes 64 e 3 de cada ciclo semafórico coordenado).

Note que a necessidade de coordenação introduz um instante forçado e um instante liberado para E1 que limitam a semi-atuação (solicitada por E2). Em estratégias de atuação mais flexíveis, a coordenação pode ser utilizada com atuação total pela definição de parâmetros correspondentes para todos os estágios (no padrão NEMA, considerado no HCM, correspondem ao *force-off point* e *yield point* dos estágios).

O problema de selecionar a melhor estratégia de controle do semáforo normalmente tem de considerar todos os períodos de operação (não apenas os picos) e aspectos relacionados com a ocorrência de incidentes e flutuações nas condições normais de operação (incluindo a dinâmica das mudanças da tendência normal da operação).

O controle atuado deve produzir ganhos significativos em relação à operação em tempos fixos quando estes diversos cenários são considerados, de forma a justificar o maior custo de implantação e de manutenção decorrentes da sua utilização no local. Além disso, é preciso certificar-se de que os ganhos previstos para a utilização do controle atuado serão efetivos, visto que diversos aspectos podem prejudicar sua eficácia em campo (desde aspectos relacionados com o comportamento de condutores e pedestres até restrições decorrentes da necessidade de manter a sincronização semaforizada ou da existência de bloqueios decorrentes de gargalos de capacidade existentes).

Em geral, o controle atuado deve produzir resultados superiores mesmos em circunstâncias particulares mas pode ser necessário um ajuste fino na parametrização ou a restrição dos parâmetros de atuação e sincronização para obter bons resultados. Muitas vezes, a falta de um bom ajuste fino ou as restrições impostas podem comprometer os ganhos e tornar injustificáveis os custos adicionais do controle atuado.

Existem técnicas de previsão de desempenho com confiabilidade relativa. Um procedimento simples foi introduzido pelo HCM/2000 (o HCM/2010 recomenda um procedimento mais detalhado e potencialmente melhor) que podem ser usados.