

Nota Técnica

n° 258

Fevereiro de 2019

Conceituação de Entreverdes

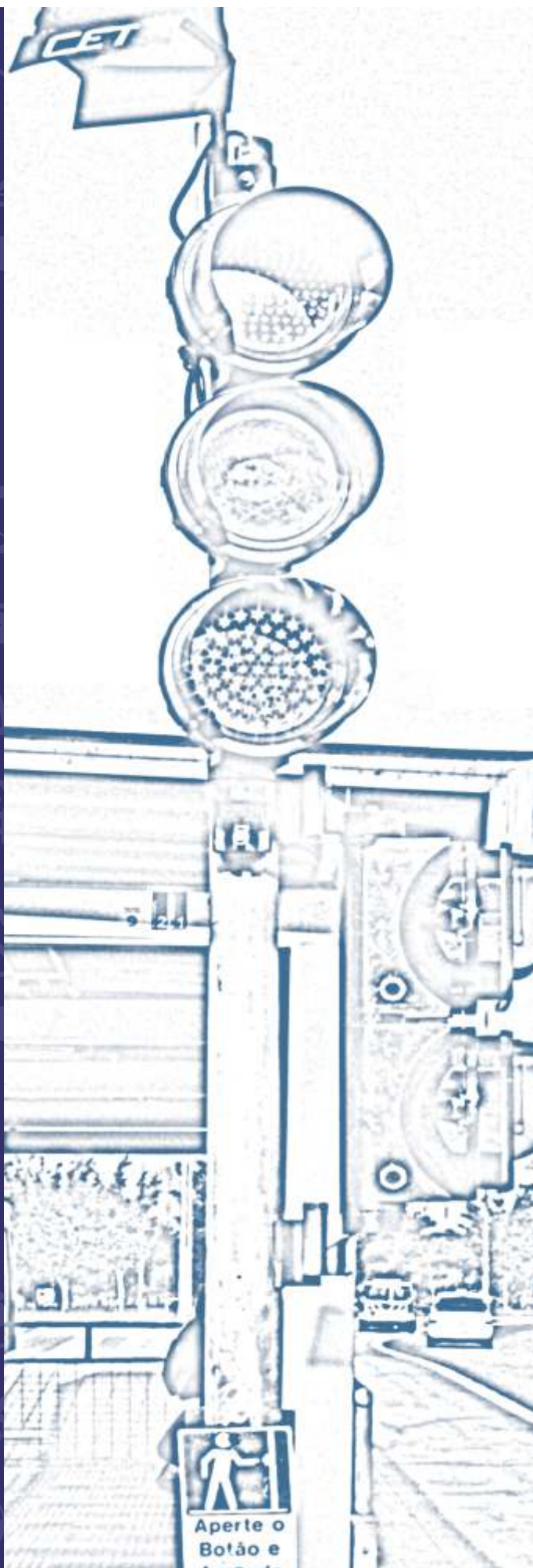
Sun Hsien Ming

UNICET

UNIVERSIDADE CORPORATIVA

CET

SÃO PAULO



1. Introdução

Conforme trabalho de Vilanova [1] em "Dimensionamento dos Tempos de Entreverdes para Veículos", publicado no sítio Sinal de Trânsito:

Os acidentes graves acontecem, principalmente, em cruzamentos semaforizados. Por exemplo, se considerarmos os 100 cruzamentos com maior índice de acidentes do tipo "colisão com vítima" na cidade de São Paulo, encontraremos 98 com semáforos instalados.

O Relatório do TRL (*Transport Research Laboratory*) "*Literature Review of Road Safety at Traffic Signals and Signalized Crossings*" [2] informa que:

Entre 2004 a 2006, 19% de todas as colisões ocorridas em Londres ocorreram em interseções semaforizadas.

De acordo com "*Stop, Go, Floor It: The Dilemma Zone*" [3], o órgão Americano FHWA (*Federal Highway Administration*) atribui que 20% das fatalidades em acidentes de trânsito nos Estados Unidos ocorrem em interseções semaforizadas.

Em "*Demystifying Driving's Dilemma Zone*" [4] é reportado que:

Em 2009, interseções semaforizadas foram o palco de 1,2 milhões de acidentes de trânsito, onde 372 mil pessoas foram mortas ou feridas, representando um quarto de todos os acidentes de trânsito com vítima.

Já em "*Experiments in the Dilemma Zone*" [5]¹ encontramos o seguinte texto:

O sinal amarelo do semáforo é um dos mais perigosos obstáculos que o motorista encontra na via. Quando o semáforo muda o sinal de verde para o amarelo, os motoristas têm que tomar uma rápida decisão. Estatísticas mostram que as decisões tomadas são frequentemente trágicas: em 2012, por exemplo, o FHWA estimou que 2,5 milhões de veículos estiveram envolvidos em acidentes em interseções semaforizadas, resultando em 859 mil vítimas.

Uma pesquisa feita pela indústria de seguros concluiu que cerca de 85% dos motoristas não puderam identificar a ação correta a ser tomada diante do surgimento do sinal amarelo numa aproximação semaforizada.

Pelo fato de os cruzamentos semaforizados serem justamente aqueles que concentram maior volume de tráfego, é de se esperar que parcela significativa dos acidentes de trânsito ocorra nesses cruzamentos.

Em particular nas interseções semaforizadas, o período de entreverdes é o período mais crítico em termos de possibilidade de ocorrências de acidentes de tráfego por ser um período de transição de direitos de passagem.

Os conflitos característicos que podem ocorrer (em decorrência de um mau dimensionamento do entreverdes e/ou de decisões inadequadas tomadas pelos condutores nesse período) são conflitos angulares e traseiros. As Figuras 1 e 2 mostram conflitos angulares que resultaram em colisões.



Figura 1



Figura 2

A Figura 3 mostra uma cena em que o conflito não resultou em acidente, mas foi necessária uma frenagem brusca e intensa para evita-lo.



Figura 3

¹ O texto não explicita a fonte dos dados de acidentes de trânsito citados. Mas, como o autor do artigo, Joel Shurkin, é um escritor freelance de Baltimore, supõe-se que os referidos dados são relativos a acidentes ocorridos nos Estados Unidos.

As fotos mostradas nas Figuras 1, 2 e 3 foram registradas por equipamentos de fiscalização de avanço de sinal vermelho, apelidados de "Caetanos", que começaram a operar na cidade de São Paulo a partir de agosto de 1995. Na época, as imagens eram registradas por equipamentos baseados em filmes de película. Esses equipamentos foram desativados a partir de 2014 e substituídos por sistemas digitais de fiscalização.

O entreverdes é um período em que ocorre a alternância do direito de passagem, o que é sempre um fator de risco de acidentes, em função das velocidades envolvidas e de decisões equivocadas de condutores, que normalmente tem que ser tomadas em frações de segundo. Daí a importância do correto dimensionamento do entreverdes para minimizar esse fator de risco. Um entreverdes mal dimensionado potencializa em muito esse risco. Entretanto, para um correto dimensionamento é necessário antes compreender a natureza, os conceitos e a dinâmica dos eventos e fenômenos envolvidos nesse período. Para um adequado dimensionamento, não é suficiente simplesmente aplicar fórmulas ou expressões matemáticas usuais, sem que se entendam efetivamente os conceitos envolvidos, implícita ou explicitamente.

2. Objetivo

Para melhor compreensão do presente texto, recomenda-se que o(a) leitor(a) tenha familiaridade com conceitos como grupo focal, grupo semaforico, intervalo luminoso, estágio, ciclo semaforico, verde de segurança, etc.

Não faz parte do escopo desse trabalho o dimensionamento do entreverdes propriamente dito, que poderá ser objeto de um próximo estudo sobre o assunto.

O objetivo do presente trabalho é tentar contribuir para um melhor entendimento desse período de transição, traçando um "raio X" dos conceitos e da lógica usualmente adotados, muitas vezes de forma implícita, lançando uma nova luz sobre o conceito de entreverdes.

Um dos principais propósitos deste trabalho é mostrar como a programação dos controladores baseados em estágio fica "engessada" quando há dois ou mais grupos semaforicos que "andam" no mesmo estágio. O trabalho pretende mostrar que esse "engessamento" é devido a não distinção entre períodos de transição entre grupos semaforicos e entre estágios.

A consequência da não distinção entre esses dois períodos de transição é que o verde de todos os grupos semaforicos que "andam" no mesmo estágio deve começar e terminar junto, provocando o engessamento da programação.

Outra consequência da não distinção entre transição de grupo semaforico e transição de estágio que o trabalho pretende evidenciar é a configuração de um único entreverdes para cada grupo semaforico.

Também é exposta a necessidade de se criar mecanismos como o amarelo antecipado e o atraso de grupo para quebrar esse engessamento, tornando a programação mais flexível e adequada para atender determinadas configurações operacionais. Entretanto, a aplicação desses mecanismos desvirtua o conceito original de entreverdes.

Finalmente, o trabalho apresenta uma conceituação de entreverdes baseada na distinção entre a transição de grupo semaforico e transição de estágio que evita todos os problemas de engessamento, sem precisar lançar mão de complicados mecanismos como o atraso de grupo. Como consequência dessa conceituação, deve-se configurar para cada grupo semaforico quantos entreverdes quantos forem os grupos semaforicos que "andam" no estágio subsequente.

Complementa o trabalho, a colocação de alguns itens correlatos como a relação entre estágio e entreverdes e a posição do entreverdes no estágio.

3. Terminologia: Vermelho Geral X Vermelho de Limpeza

O "Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Volume V - Sinalização Semaforica", aprovado pela Resolução nº 483, de 09 de abril de 2014 [6] do DENATRAN adotou a nomenclatura de "vermelho geral" para designar o conceito de limpeza da área de conflito antes de dar o direito de passagem para o movimento conflitante. Ora, o termo "geral" dá a ideia de "todos". Assim, "vermelho geral" induz à ideia de que todos os grupos focais comandados pelo controlador (ou todos os grupos focais da interseção) estão em vermelho, o que não é necessariamente verdade no conceito de limpeza da área de conflito (pois nesse período pode haver na interseção grupos semaforicos não conflitantes que estejam em verde).

Existe uma situação em que realmente todos os grupos focais comandados pelo controlador ficam em vermelho. Essa situação ocorre na sequência de partida do controlador, quando os grupos focais são energizados. O Manual do DENATRAN [6] não tratou do problema de sequência de partida do controlador.

Portanto, não foi definido o conceito correspondente no Manual. Logo, é provável que o problema de possível confusão entre esses dois conceitos (sequência de partida x limpeza da área de conflito) não tenha sido enfrentado durante o desenvolvimento desse Manual.

Para maior clareza, transcrevemos aqui um texto do sítio do Sinal de Trânsito [7] que versa sobre esse assunto:

Encontramos, na prática, as expressões vermelho total, vermelho integral, vermelho de limpeza, vermelho geral e vermelho de segurança, intentando transmitir significados muito próximos.

Na verdade, só precisamos cunhar dois termos, um que se refira à situação em que todos os grupos focais do controlador estão em vermelho e outro associado à ideia de criar um período de segurança no fim de certo movimento. Sugerimos adotar a expressão vermelho integral para atender à primeira necessidade. Tal situação costuma ocorrer quando da energização de um semáforo que estava apagado; por uma questão de segurança, costuma-se inserir um período de amarelo intermitente seguido por outro de vermelho em todos os grupos focais comandados pelo controlador antes de iniciar a operação normal.

A outra situação se refere ao caso em que um grupo focal, teoricamente, já poderia receber verde, pois seu movimento concorrente terminou de receber vermelho, mas, por razões de segurança, permanece fechado. Ao fazer isso, o objetivo é garantir o escoamento para fora da área de conflito de eventuais veículos que tenham passado no fim do estágio que está perdendo o direito de passagem antes de liberar o estágio que está iniciando. Propomos batizar este período em que movimentos incompatíveis são retidos juntos de vermelho de limpeza.

É importante ressaltar que, durante o período de vermelho de limpeza, podemos encontrar outros grupos focais do cruzamento em verde. Imaginemos, por exemplo, o cruzamento de uma avenida bastante larga de dupla pista com uma rua transversal. Assim que esta última receber vermelho, podemos abrir o verde para a pista da avenida que lhe é mais próxima enquanto a outra pista continua recebendo alguns segundos de vermelho, caracterizando o que estamos chamando de vermelho de limpeza.

Dessa forma, no presente trabalho, designaremos o período de limpeza da área de conflito por “vermelho de limpeza” e não por “vermelho geral”.

4. "Intergreen" X "Interstage»

Em "*Traffic Signal Design Terminology*" [8], deparamos com dois termos: "*intergreen*" e "*insterstage*".

Esses dois termos em inglês poderiam ser vertidos para português literalmente como "entre-verde" e "entre-estágio", respectivamente.

Entretanto, em português é utilizado apenas o termo "entreverdes".

Aqui, podem ser suscitadas as seguintes questões:

- "*Intergreen*" e "*insterstage*" significam a mesma coisa? Referem-se ao mesmo período de tempo dentro do ciclo semafórico? Qual é a distinção entre eles?
- A duração do período de "*intergreen*" e do "*insterstage*" é programável? Caso afirmativo, é programável por estágio? Ou é programável por grupo semafórico? Ou nenhum dos dois?
- O que é entreverdes? Entreverdes seria equivalente a "*intergreen*" ou a "*insterstage*"?

A análise a seguir tenta responder a essas indagações.

4.1 Significado de "*intergreen*" e do "*insterstage*"

Vejamos o que diz "*Traffic Signal Design Terminology*" [8] sobre os termos "*intergreen*" e "*insterstage*":

Período de "*intergreen*": É o intervalo de tempo entre o fim do direito de passagem de um grupo semafórico e o início do direito de passagem do próximo grupo semafórico que lhe é conflitante.

Período de "*insterstage*": É o intervalo de tempo entre o fim de um estágio e o início do próximo estágio.

Claramente, tem-se que "*intergreen*" se refere à transição de um grupo semafórico a outro e "*insterstage*" se refere à transição de um estágio a outro. Portanto, os dois termos têm significados distintos.

Agora, vamos retomar a questão anteriormente formulada:

"As duas transições (transição de um grupo semafórico para outro e transição de um estágio para outro) correspondem exatamente ao mesmo período de tempo dentro do ciclo semafórico? Isto é, as duas transições são a mesma coisa?"

Para responder a essa pergunta, é necessário antes entender do que é composto o "*intergreen*" e o "*insterstage*".

Estão mostradas no exemplo da Figura 4-a as transições de grupos semafóricos G1 → G2 e G2 → G1.

Na primeira transição, G1 perde o direito de passagem e G2 ganha o direito de passagem. O período de tempo entre esses dois eventos (perda de direito de passagem de G1 e ganho do direito de passagem de G2) é o "intergreen" de G1 para G2 (G1 → G2).

Na segunda transição, G2 perde o direito de passagem e G1 ganha o direito de passagem. O período de tempo entre esses dois eventos (perda de direito de passagem de G2 e ganho do direito de passagem de G1) é o "intergreen" de G2 para G1 (G2 → G1).

Verifica-se, então, que o "intergreen" pode ser um período composto por um intervalo de amarelo e um intervalo de vermelho de limpeza.

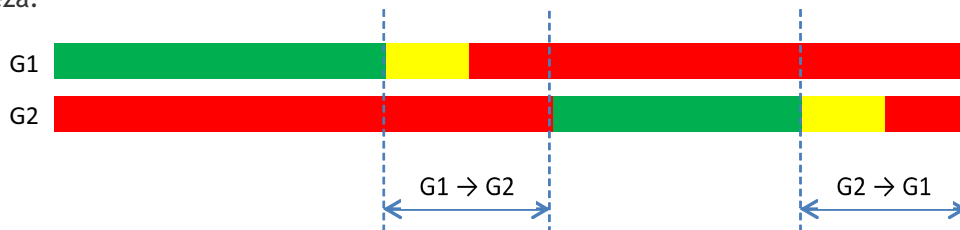


Figura 4-a

A Figura 4-b mostra a transição dos estágios ("interstage") de E1 para E2 (E1 → E2) e de E2 para E1 (E2 → E1).

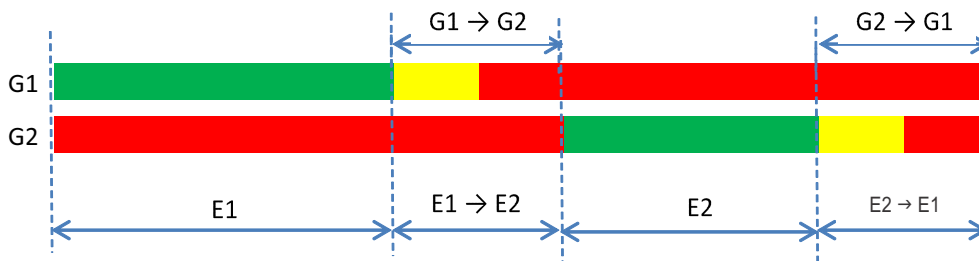


Figura 4-b

No caso de grupo semafórico de pedestres, o "intergreen" pode ser um período composto por um intervalo de vermelho intermitente seguido por um intervalo de vermelho de limpeza, como mostrado no exemplo da Figura 4-c, onde G2 é um grupo semafórico de pedestres.

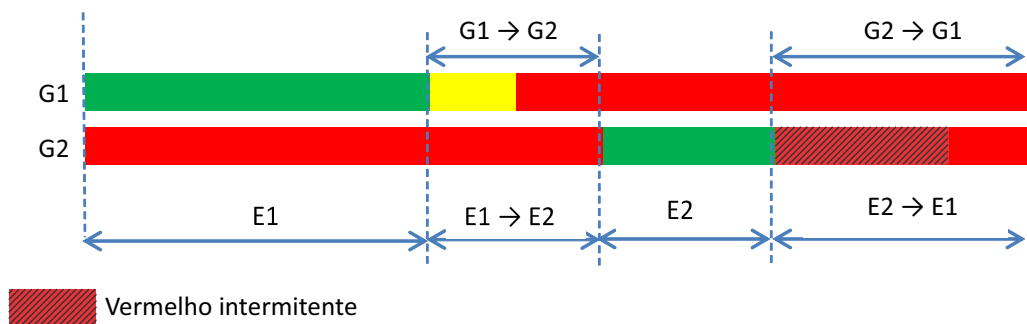


Figura 4-c

Pelas Figuras 4-a, 4-b e 4-c acima, conclui-se que, literalmente, o "intergreen" é o período compreendido entre o verde de dois grupos semafóricos conflitantes (período entre o final de verde de um grupo e o início de verde do outro grupo).

Em casos simples, os períodos de "intergreen" e "interstage" são coincidentes como nos exemplos das Figuras 4-b e 4-c.

Na Figura 4-b:

$$(G1 \rightarrow G2) \equiv (E1 \rightarrow E2)$$

$$(G2 \rightarrow G1) \equiv (E2 \rightarrow E1)$$

Na Figura 4-c:

$$(G1 \rightarrow G2) \equiv (E1 \rightarrow E2)$$

$$(G2 \rightarrow G1) \equiv (E2 \rightarrow E1)$$

Aqui, como os períodos de "intergreen" e "interstage" são coincidentes, então poder-se-ia pensar que são equivalentes e que o período de "interstage" também seria composto por um intervalo de amarelo seguido de um intervalo de vermelho de limpeza (ou vermelho intermitente seguido de vermelho de limpeza no caso de grupo semafórico de pedestres).

Entretanto, em casos mais complexos, os períodos de "intergreen" e "interstage" não são coincidentes e/ou não são compostos por intervalos com as mesmas indicações luminosas, como se mostrará adiante. Se não são coincidentes e/ou não são compostos por intervalos com as mesmas indicações luminosas, então, não se pode afirmar que sejam equivalentes e, muito menos, que o "interstage" seja composto por um intervalo de amarelo seguido de um intervalo de vermelho de limpeza (ou vermelho intermitente seguido de vermelho de limpeza no caso de grupo semafórico de pedestres).

Mas, antes de mostrar casos mais complexos onde o "intergreen" e o "interstage" não são coincidentes e/ou não são compostos por intervalos com as mesmas indicações luminosas, vamos primeiro definir quando começa e quando termina um estágio.

De acordo com "Traffic Advisory Leaflet 1/06 - General Principles of Traffic Control by Light Signals Part 2 of 4" [9]:

Um estágio começa no instante em que todos os grupos semafóricos com direito de passagem estão em verde e todos os outros estão em vermelho.

Um estágio termina no instante em que o primeiro grupo semafórico com direito de passagem perde o verde.

Considere o exemplo da Figura 5-a, onde há dois grupos semafóricos que "andam" no Estágio E1: G1 e G3. Esses dois grupos têm o início de verde no mesmo instante, mas o verde de G3 termina antes do verde de G1. Também há dois grupos semafóricos que "andam" no Estágio E2: G2 e G4, sendo que o verde desses dois grupos começa e termina junto.

Na Figura 5-a, o estágio E1 começa no instante em que G1 e G3 ficam em verde e termina quando termina o verde de G3.

O estágio E2 começa no instante em que G2 e G4 ficam em verde e termina quando termina o verde de G2 e G4.

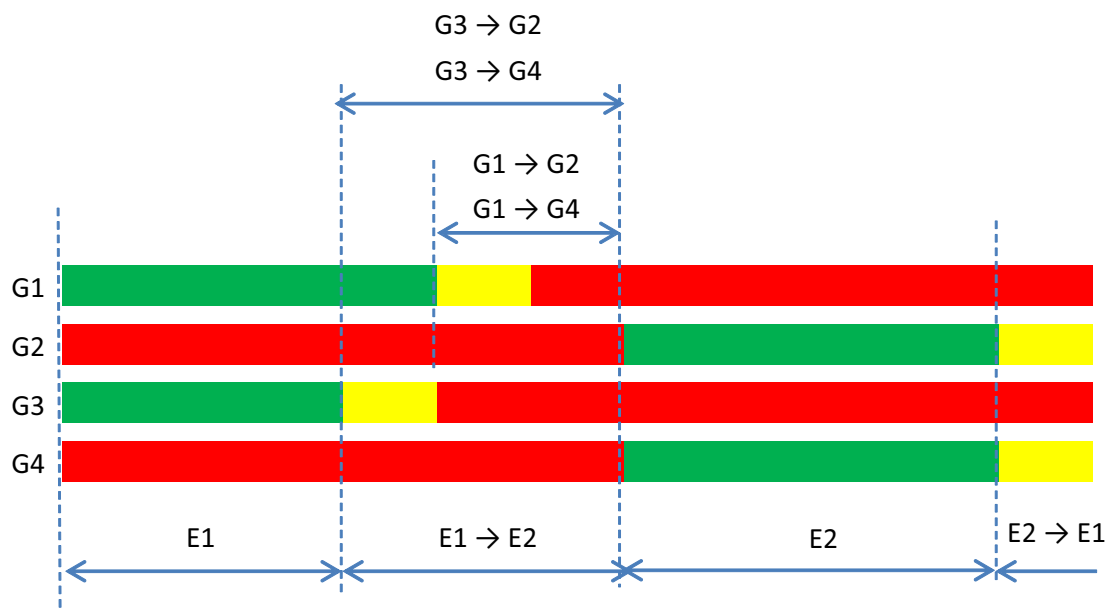


Figura 5-a

Verifica-se, no exemplo da Figura 5-a, que um grupo semafórico pode ter mais do que um "intergreen". No caso do grupo G1, como existem no estágio seguinte dois grupos que lhe são conflitantes (G2 e G4), então existem dois "intergreens" para G1: (G1 → G2) e (G1 → G4).

Pela Figura 5-a percebe-se que o "intergreen" é variável de grupo semafórico para grupo semafórico. Na transição de estágios E1 → E2, o "intergreen" de G1 para G2 (que é igual ao "intergreen" de G1 para G4) é diferente do "intergreen" de G3 para G2 (ou de G3 para G4). Isto é:

$$[(G1 \rightarrow G2) = (G1 \rightarrow G4)] \neq [(G3 \rightarrow G2) = (G3 \rightarrow G4)]$$

Os "intergreens" (G1 → G2) e (G1 → G4) não coincidem com o "interstage" (E1 → E2).

Pode-se notar ainda que os "intergreens" (G3 → G2) e (G3 → G4) coincidem com o "interstage" (E1 → E2) dentro do ciclo semafórico. Entretanto, embora os "intergreens" (G3 → G2) e (G3 → G4) são compostos apenas dos intervalos

com as indicações de amarelo e vermelho de limpeza, o "interstage" (E1 → E2) contém um intervalo de verde (do G1). Nesse exemplo, apesar de o período dos "intergreens" (G3 → G2) e (G3 → G4) e do "interstage" (E1 → E2) sejam coincidentes dentro do ciclo semaforico, eles não são compostos por intervalos com as mesmas indicações luminosas.

No exemplo da Figura 5-a, existem os seguintes "intergreens" nas transições de estágios E1 → E2 e E2 → E1:

E1 → E2	E2 → E1
(G1 → G2)	(G2 → G1)
(G1 → G4)	(G4 → G1)
(G3 → G2)	(G2 → G3)
(G3 → G4)	(G4 → G3)

Agora, a pergunta: <"Intergreen" e "interstage" significam a mesma coisa?> pode ser respondida. Na Figura 5-a, "intergreen" e "interstage" podem corresponder a períodos distintos dentro do ciclo semaforico.

Além disso, conforme já foi mencionado, o "interstage" pode abranger intervalos de verde (no exemplo da Figura 5-a, o "interstage" (E1 → E2) abrange um intervalo de verde de G1). É importante ressaltar aqui que o intervalo de verde contido no período de "interstage" não pertence ao estágio, isto é, o tempo de verde contido no "interstage" não faz parte do tempo de verde do estágio. Em outras palavras, o tempo de verde de um grupo semaforico pode ser maior que o tempo de verde do estágio correspondente. No exemplo da Figura 5-a:

$$\text{tempo de verde (G1)} > \text{tempo de verde (E1)}$$

A Figura 5-b mostra um exemplo em que há dois grupos semaforicos que "andam" no Estágio E1: G1 e G3, sendo que o verde desses dois grupos começa e termina junto. Também há dois grupos semaforicos que "andam" no Estágio E2: G2 e G4. O verde de G4 começa antes do verde do G2, mas o verde dos dois grupos termina junto.

Na Figura 5-b, o "interstage" (E1 → E2) coincide com os "intergreens" (G1 → G2) e (G1 → G3). Mas, apesar de o período de tempo dentro do ciclo semaforico ser o mesmo, a composição das indicações luminosas é diferente. Nos "intergreens" somente há intervalos com indicações de amarelo e vermelho de limpeza, enquanto que no "interstage" (E1 → E2) há um intervalo de verde (do G4).

Verifica-se que na transição de estágios E1 → E2:

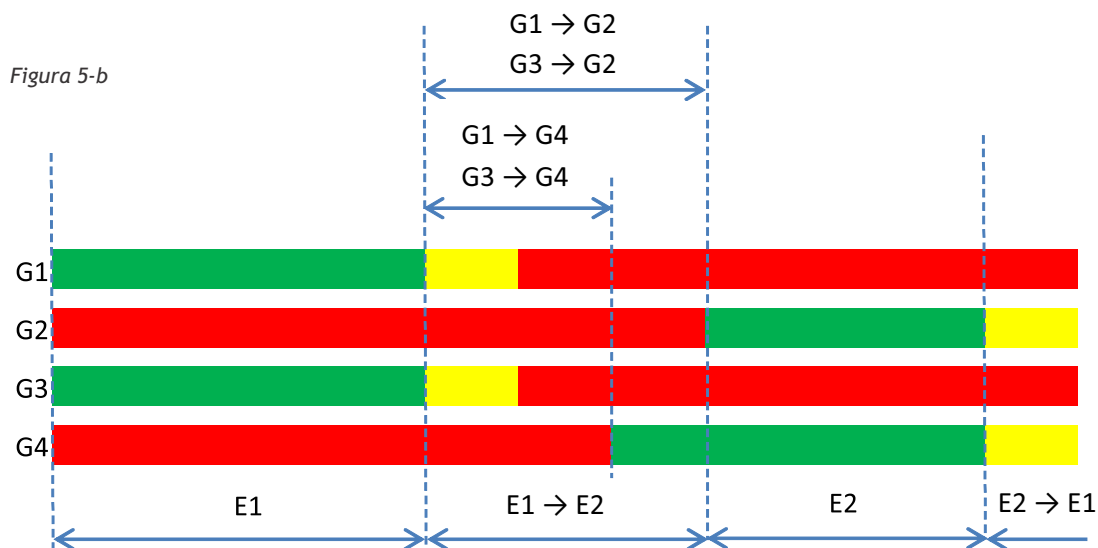
$$[(G1 \rightarrow G2) = (G3 \rightarrow G2)] \neq [(G1 \rightarrow G4) = (G3 \rightarrow G4)]$$

Tem-se também que:

$$\text{tempo de verde (G4)} > \text{tempo de verde (E2)}$$

Aqui pode-se verificar que um grupo semaforico pode ter "intergreens" diferentes dependendo da transição. No exemplo da Figura 5-b, o grupo G1 tem dois "intergreens" diferentes: (G1 → G2) e (G1 → G4).

Com base nas constatações feitas a partir do exemplo da Figura 5-b, conclui-se que o "intergreen" e, portanto, os intervalos de amarelo e vermelho de limpeza (vermelho intermitente e vermelho de limpeza para grupo semaforico de pedestres), devem ser programáveis por transição de grupo semaforico (e não por grupo semaforico ou por estágio).



No exemplo da Figura 5-b, existem os seguintes "intergreens" nas transições de estágios E1 → E2 e E2 → E1:

E1 → E2	E2 → E1
(G1 → G2)	(G2 → G1)
(G3 → G2)	(G2 → G3)
(G1 → G4)	(G4 → G1)
(G3 → G4)	(G4 → G3)

A Figura 5-c mostra um exemplo em que há dois grupos semafóricos que "andam" no Estágio E1: G1 e G3, sendo que o verde desses dois grupos começa junto, porém o verde do G1 termina antes do verde do G3. Também há dois grupos semafóricos que "andam" no Estágio E2: G2 e G4. O verde de G2 começa antes do verde do G4, mas o verde dos dois grupos termina junto.

Na Figura 5-c, o "interstage" (E1 → E2) coincide com o "intergreen" (G1 → G4). Mas, apesar de o período de tempo dentro do ciclo semafórico ser o mesmo, a composição das indicações luminosas é diferente. No "intergreen" somente há intervalos com as indicações de amarelo e vermelho de limpeza, enquanto que no "interstage" (E1 → E2) há um intervalo de verde (do G2).

Verifica-se que na transição de estágios E1 → E2:

$$(G1 \rightarrow G2) \neq (G1 \rightarrow G4) \neq (G3 \rightarrow G2) \neq (G3 \rightarrow G4)$$

Tem-se também que:

$$\text{tempo de verde (G3)} > \text{tempo de verde (E1)}$$

$$\text{tempo de verde (G2)} > \text{tempo de verde (E2)}$$

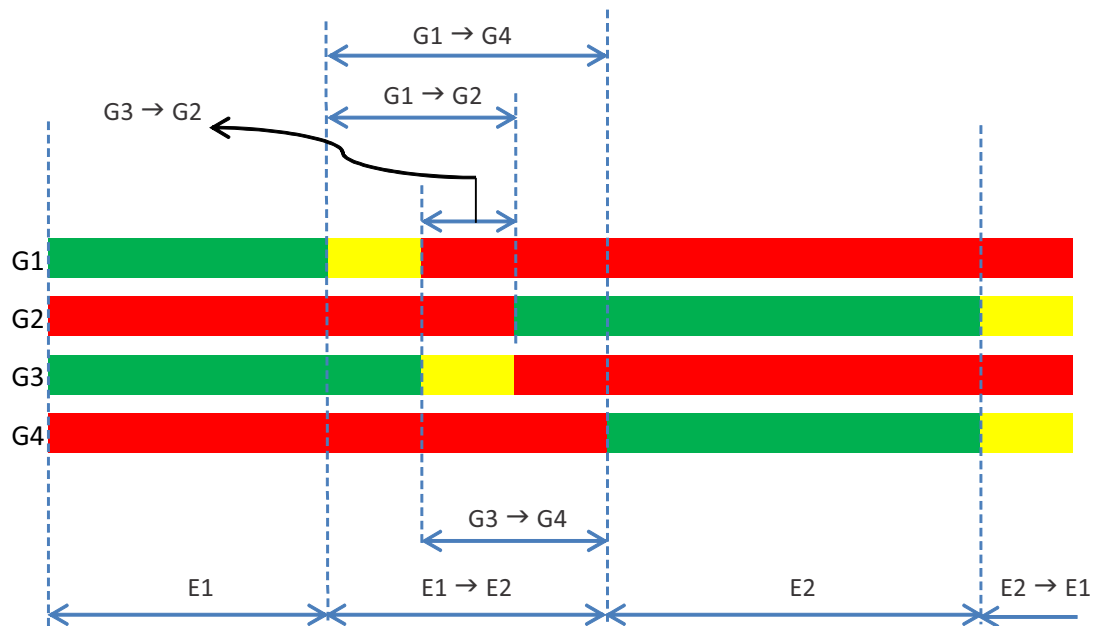


Figura 5-c

Ainda podem existir situações em que um grupo semafórico "ande" em dois estágios consecutivos. A Figura 6 mostra um exemplo com 3 estágios, onde o grupo G1 "anda" no estágio E1 e no estágio E2.

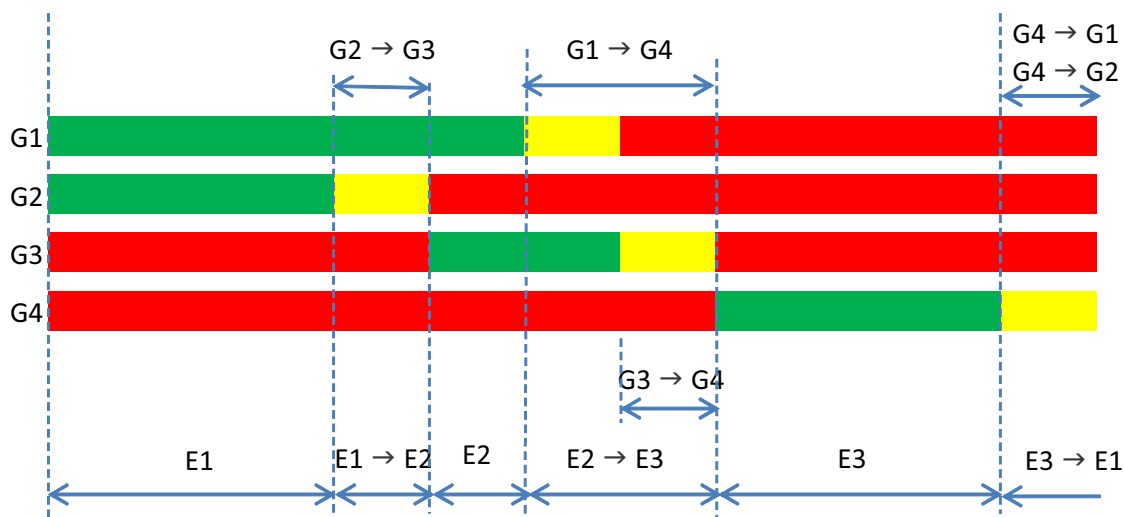


Figura 6

Na Figura 6, o "interstage" (E1 → E2) coincide com o "intergreen" (G2 → G3). O "intergreen" (G3 → G4) não coincide com o "interstage" (E2 → E3). Já os "intergreens" (G4 → G1) e (G4 → G2) coincidem com o "interstage" (E3 → E1). Nota-se que o "intergreen" (G1 → G4) coincide com o "interstage" (E2 → E3), mas, apesar de o período de tempo dentro do ciclo semafórico ser o mesmo, a composição das indicações luminosas é diferente. No "intergreen" (G1 → G4) somente há intervalos com as indicações de amarelo e vermelho de limpeza, enquanto que no "interstage" (E2 → E3) há um intervalo de verde (do G3).

Verifica-se que na transição de estágios E1 → E2:

$$(G2 \rightarrow G3) \equiv (E1 \rightarrow E2)$$

E na transição dos estágios E3 → E1:

$$[(G4 \rightarrow G1) = (G4 \rightarrow G2)] \equiv (E3 \rightarrow E1)$$

Com relação aos "intergreens", tem-se que:

$$(G4 \rightarrow G1) = (G4 \rightarrow G2)$$

$$(G1 \rightarrow G4) \neq (G3 \rightarrow G4)$$

Tem-se também que:

$$\text{tempo de verde (G3)} > \text{tempo de verde (E2)}$$

$$\text{tempo de verde (G1)} > [\text{tempo de verde (E1)} + \text{tempo de verde (E2)}]$$

No exemplo da Figura 6, existem os seguintes "intergreens" nas transições de estágios E1 → E2, E2 → E3 e E3 → E1:

E1 → E2	E2 → E3	E3 → E1
(G2 → G3)	(G1 → G4)	(G4 → G1)
	(G3 → G4)	(G4 → G2)

4.2 Programação de "intergreen" e "interstage»

A programação do "intergreen" se resume a programar a duração dos intervalos de amarelo e vermelho de limpeza (ou do vermelho intermitente e vermelho de limpeza no caso de grupos semafóricos de pedestres) para cada transição de grupo semafórico. Assim, o "intergreen" não é programável por estágio. Tampouco é programável por grupo semafórico, mas, sim, por transição de grupo semafórico. Conseqüentemente, os intervalos de amarelo e vermelho de limpeza (ou do vermelho intermitente e vermelho de limpeza no caso de grupos semafóricos de pedestres) são programáveis por transição de grupo semafórico. Isso significa que devem-se configurar, para cada grupo semafórico, tantos "intergreens" quantos forem os grupos semafóricos que "andam" juntos no estágio subsequente da correspondente transição de estágios.

E o "interstage", como é programado? A resposta é que o "interstage" não é programável, pois ele é uma consequência direta da estrutura dos estágios, dos "intergreen" dos grupos semafóricos e do início e término de verde de cada grupo semafórico. Uma vez definidos esses elementos, o "interstage" fica automaticamente definido.

4.3 Entreverdes

Retomando agora às perguntas: <o que é entreverdes?> e <entreverdes corresponde a “*intergreen*” ou a “*interstage*”?>, verifica-se que não é usado em português um termo que seja equivalente ao “*intergreen*” e outro termo distinto para designar “*interstage*”. Existe apenas um único termo: **entreverdes**.

Vejam os que diz o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito [6].

No Item 5.1 - Elementos Básicos, Letra “c”, Página 74:

c) Estágio

Denomina-se estágio o intervalo de tempo em que um ou mais grupos de movimentos recebem simultaneamente o direito de passagem. O estágio compreende o tempo de verde e o tempo de **entreverdes** que o segue.

E no Glossário do mesmo Manual - Página 310:

Estágio - intervalo de tempo em que um ou mais grupos de movimentos recebem simultaneamente o direito de passagem. O estágio compreende o tempo de verde e o tempo de **entreverdes** que o segue.

Na frase: “O estágio compreende o tempo de verde e o tempo de **entreverdes** que o segue.”, a palavra “**entreverdes**” significa “*intergreen*” ou “*interstage*”? Pelo contexto, pode-se concluir que a palavra “**entreverdes**” aqui corresponde a “*interstage*”: O estágio compreende o tempo de verde e o tempo de “*interstage*” que o segue.

Por outro lado, o mesmo Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito [6], no item 5.1 - Elementos Básicos, Letra “d”, Página 74, diz:

d) Entreverdes

É o intervalo de tempo compreendido entre o final do verde de um estágio e o início do verde do estágio subsequente.

Para semáforos veiculares, o **entreverdes** é composto de um tempo de amarelo, acrescido de um tempo de vermelho geral sempre que necessário.

Para semáforos de pedestres², o **entreverdes** corresponde ao tempo de vermelho intermitente seguido de um tempo de vermelho geral.

Na frase “**entreverdes** é o intervalo de tempo compreendido entre o final do verde de um estágio e o início do verde do estágio subsequente”, a palavra “**entreverdes**” deve ser entendida como “*interstage*”: O “*interstage*” é o intervalo de tempo compreendido entre o final do verde de um estágio e o início do verde do estágio subsequente.

Já na frase “o **entreverdes** é composto de um tempo de amarelo, acrescido de um tempo de vermelho geral”, a palavra “**entreverdes**” ganha o significado de “*intergreen*”: O “*intergreen*” é composto de um intervalo de amarelo, acrescido de um intervalo de vermelho de limpeza.

Assim, a palavra “**entreverdes**” é usada para designar, ora um significado, ora o outro. Em cada texto, o leitor deve saber discernir qual o significado pelo contexto da frase.

Vale ressaltar que, além do fato de o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito [6] usar a palavra “**entreverdes**”, ora no sentido de “*interstage*”, ora no sentido de “*intergreen*”, é feita alguma confusão entre esses dois conceitos, pois os usa na mesma definição, dando a ideia de que se trata de um único conceito (quando, na verdade, deveriam ser dadas duas definições, uma para cada conceito, embora ambos os conceitos sejam representados pelo mesmo termo).

² NOTA: O termo “semáforo” é utilizado no Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito [6] como sinônimo de grupo focal (ver item 3.2.2, Página 27, do referido Manual). Na definição de **entreverdes** apresentada pelo Manual, são utilizadas as expressões “semáforos veiculares” e “semáforos de pedestres”. Seria mais correto substituir “semáforos veiculares” e “semáforos de pedestres” por “grupos semafóricos veiculares” e “grupos semafóricos de pedestres”, pois o **entreverdes** (“*intergreen*”) é configurado para grupo semafórico (uma entidade lógica) e não para grupo focal (um elemento físico). Assim, o mais correto seria dizer: “Para grupos semafóricos veiculares, o **entreverdes** é composto de um tempo de amarelo, acrescido de ...”.

5. Abordagem usual

A abordagem usual para os períodos de transição de grupos semafóricos e de estágios não é a que foi até aqui exposta, de forma a fazer uma clara distinção entre “*intergreen*” e o “*interstage*”. A abordagem usual pressupõe, de forma implícita, que o verde de todos os grupos semafóricos que “andam” no mesmo estágio começa e termina junto, além de terem os mesmos “*intergreens*”, conforme mostrado na Figura 7.

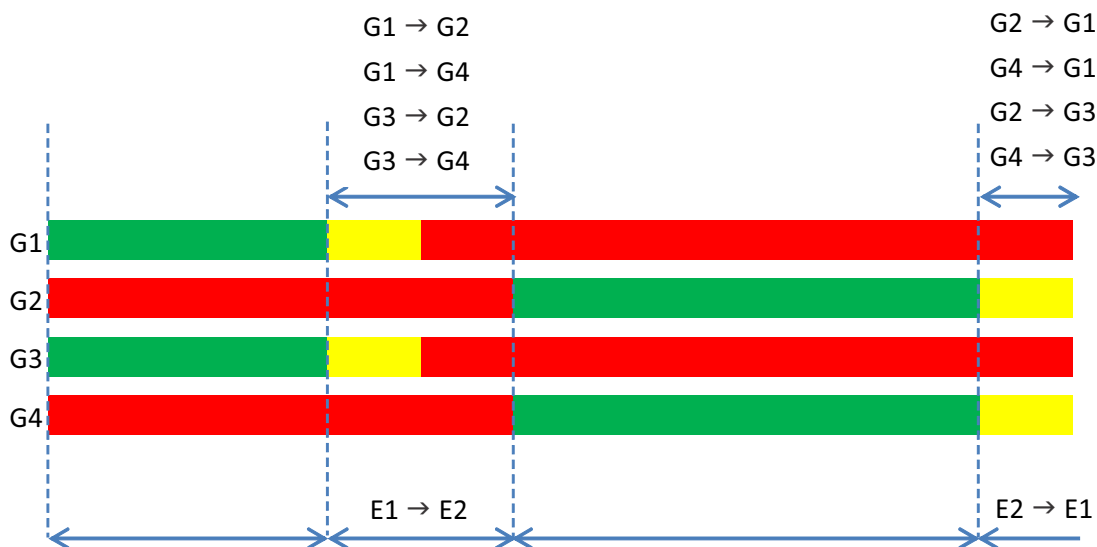


Figura 7

Na Figura 7, verifica-se que na transição de estágios de E1 para E2 ($E1 \rightarrow E2$):

$$[(G1 \rightarrow G2) = (G1 \rightarrow G4) = (G3 \rightarrow G2) = (G3 \rightarrow G4)] \equiv (E1 \rightarrow E2)$$

Todos esses “*intergreens*” coincidem com o “*interstage*” ($E1 \rightarrow E2$).

Dizemos que essa premissa é implícita, pois não foi possível localizar nenhum documento que mencionasse explicitamente a condição dada na premissa, isto é: o verde de todos os grupos semafóricos que “andam” no mesmo estágio deve começar e terminar junto.

Também não conseguimos localizar nenhuma fonte ou referência que explicasse a origem ou a razão de tal premissa.

A única ressalva é no que se refere às Especificações de controlador da CET-SP:

- Especificação de controlador de tempo real, versão 5 (22/02/2016), publicada no site da CET-SP (http://www.cetsp.com.br/media/452305/Espec_Tec_Crtl_TR_rev05_.pdf - Acessado em 10/01/2019), no seu item 1.3.2.3, diz:

«Na situação em que o intervalo de vermelho intermitente seja maior do que o intervalo de amarelo e que os dois intervalos transcorram parcialmente juntos, o início do intervalo do vermelho intermitente deverá ser anterior ao início do intervalo de amarelo; sendo que, excetuando casos especiais, o fim do entreverdes do grupo semafórico de pedestre deverá coincidir com o fim do entreverdes do grupo semafórico veicular.»
- O mesmo texto também aparece no item 3.3.2.4 da Especificação de controlador de tempo fixo, versão 4 (26/01/2015), publicada no site da CET-SP (http://www.cetsp.com.br/media/378721/especific_func_%20tec_crtl_tempofixo_rev4_300814_preliminar.pdf - Acessado em 10/01/2019).
- Na Especificação de controlador de tempo fixo para INFLUUNT³, v.8.1, publicada no GITHUB (https://github.com/influunt/influunt/blob/staging/influunt-doc/especificacao_cet.pdf), em seu item 4.5.2.8, há o seguinte texto:

“Na situação em que dois ou mais grupos semafóricos que “andam” juntos e que tenham diferentes durações de entreverdes, cujos intervalos transcorram parcialmente juntos, os entreverdes desses grupos deverão terminar no mesmo instante, com exceção para o grupo para o qual foi programado um atraso de grupo - “phase delay” (item 4.5.3).”

³ INFLUUNT é um software de sistema de semáforos de tempo fixo (abrangendo a Central, o controlador e a comunicação), desenvolvido pela CET-SP, que permite padronizar o protocolo de comunicação, as funções, a lógica e o formato de programação, de forma que controlador de qualquer fabricante ou marca possa ser conectado a uma única Central. O INFLUUNT adota a “premissa” e apresenta a funcionalidade do atraso de grupo (“phase delay”).

Se for seguida a premissa (implícita) de que o verde de todos os grupos semaforicos que "andam" no mesmo estágio começa e termina junto (além de terem os mesmos "intergreens"), então o "intergreen" e o "interstage" serão sempre equivalentes. Daí advém, talvez, a razão de termos apenas o termo "entreverdes" para designar os dois períodos de transição.

A equivalência entre "intergreen" e "interstage" é a principal consequência da premissa adotada na abordagem usual.

Entretanto, essa premissa torna a programação semaforica bastante restritiva e engessada, não dando a flexibilidade necessária para otimizar e adequar a temporização semaforica a diversas situações operacionais.

Para simplificar o texto, doravante designaremos a premissa de que o verde de todos os grupos semaforicos que "andam" no mesmo estágio começa e termina junto simplesmente como "premissa".

Da mesma forma, para maior clareza do texto, será evitado, a partir deste ponto, sempre que possível, o uso do termo "entreverdes", substituindo-o pelo termo "intergreen" ou "interstage", conforme o caso.

A seguir, é feita uma análise das principais restrições de programação semaforica impostas pela premissa e os mecanismos criados para contornar essas dificuldades.

5.1 "Intergreen" de pedestres: "amarelo antecipado"

Numa situação em que há um grupo semaforico de pedestres que "anda" junto com um grupo semaforico veicular no mesmo estágio, fica obrigatório que o "intergreen" desses dois grupos seja exatamente o mesmo, conforme mostrado na Figura 8.

Na Figura 8, G1 é um grupo semaforico veicular que "anda" junto com o grupo semaforico de pedestres G2 no Estágio E1. G3 é um grupo semaforico veicular que "anda" no estágio E2.

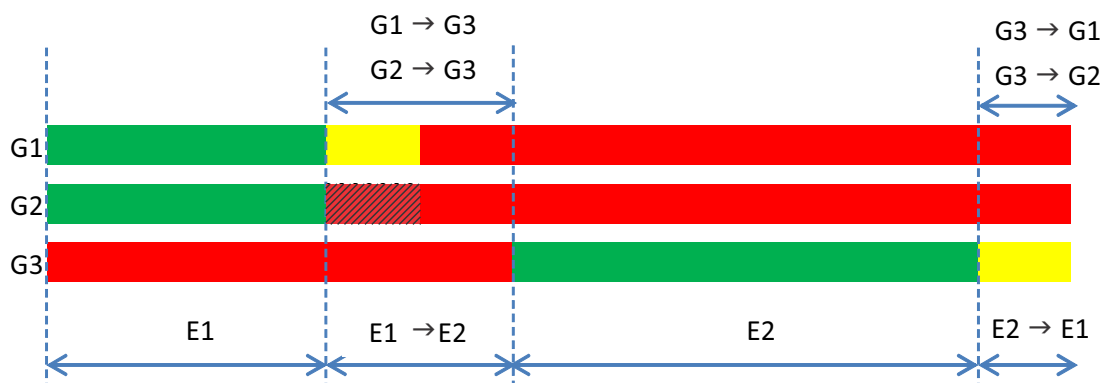


Figura 8

Na Figura 8, percebe-se que:

$$(G1 \rightarrow G3) = (G2 \rightarrow G3) \equiv (E1 \rightarrow E2)$$

$$[(G3 \rightarrow G1) = (G3 \rightarrow G2)] \equiv (E2 \rightarrow E1)$$

Além disso, o intervalo de vermelho intermitente de G2 é exatamente igual ao intervalo de amarelo de G1.

O documento "Parâmetros Básicos de Programação Semaforica" [10] menciona a dificuldade de alguns controladores de permitir tempos distintos do vermelho intermitente e do amarelo veicular, conforme o trecho transcrito abaixo, onde TVmP é o tempo de vermelho intermitente e TV é o tempo de verde do pedestre:

O TVmP deverá ser metade do TV, dentro da faixa de 4 a 10s (inclusive), ou seja:

$$TVmP = \frac{1}{2} TV, \text{ sendo os valores extremos de TVmP: } 4s \leq TVmP \leq 10s.$$

Vale lembrar que alguns equipamentos não permitem a variação do tempo de piscante em relação ao amarelo paralelo veicular. Nesse caso, deve-se garantir que o TVmP seja de, pelo menos, 4s.

Essa dificuldade tornou-se patente com o advento do Programa PPP (Programa de Proteção ao Pedestre) em 2012, quando a CET-SP alterou a forma de configuração dos tempos de pedestres. O tempo de verde de pedestres não seria mais o tempo suficiente para a conclusão da travessia, sendo apenas a indicação de que se pode iniciar a travessia. O tempo de vermelho intermitente passaria a ser o tempo suficiente para a realização da travessia (e não mais a indicação de que o tempo de travessia estaria acabando como anteriormente). Essa configuração seria consolidada pelo Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Volume V - Sinalização Semaforica, 2014, aprovado pela Resolução nº 483, de 09 de abril de 2014 [6].

Com esse novo entendimento, o tempo de vermelho intermitente passou a ser muito maior que o tempo do amarelo veicular.

Para permitir a programação de tempos distintos de vermelho intermitente de pedestre e do amarelo veicular, criou-se em alguns controladores o expediente de “amarelo antecipado”, conforme mostrado no exemplo da Figura 9.



Figura 9

Assim, o vermelho intermitente seria equivalente ao amarelo veicular, apenas tem o seu início antecipado (em relação ao amarelo veicular). Pela premissa, o verde de G2 deveria terminar junto com o verde de G1. Entretanto, como consequência da antecipação, o verde de G2 termina antes do verde de G1.

5.2 Caixas intermediárias: "estágio de limpeza" e "atraso de grupo"

Quando há caixas intermediárias (quando há duas linhas de retenção próximas numa mesma via na mesma interseção), muitas vezes é necessário:

- a) iniciar o verde do grupo semafórico da primeira linha de retenção em relação ao grupo semafórico da segunda linha de retenção, visando diminuir a fila da caixa antes do início do verde na segunda linha de retenção;
- b) retardar o fim do verde do grupo semafórico da primeira linha de retenção em relação ao grupo semafórico da segunda linha de retenção, visando "limpar" a caixa antes da abertura do próximo estágio.

De forma geral, pode haver situações em que se requer que o verde de dois grupos semafóricos que "andam" juntos no mesmo estágio, iniciem e/ou terminem em instantes distintos.

Para essas situações, a premissa inviabiliza uma programação semafórica que seja adequada. Para contornar essa dificuldade, foi criado o expediente de programação de um "estágio de limpeza", que seria um estágio intermediário de curta duração (geralmente de alguns segundos). Mas esse expediente cria um sério problema em alguns modelos de controlador em relação ao verde de segurança, pois, em geral, a duração do estágio de limpeza é menor que o tempo de verde de segurança (quando o verde de segurança é associado ao estágio e não ao grupo semafórico). Mesmo quando o verde de segurança é associado a grupo semafórico, podem ocorrer problemas operacionais, por exemplo, na troca de planos.

Para sanar essa dificuldade, alguns modelos de controladores possuem o recurso de "atraso de grupo" ("phase delay").

O atraso de grupo pode ser de dois tipos:

- a) Atraso da perda do direito de passagem (retardamento do fim do verde - prolongamento do verde)
- b) Atraso do ganho do direito de passagem (retardamento do início do verde)

A Figura 10-a mostra um exemplo de atraso da perda do direito de passagem. Nesse exemplo, G1 e G3 "andam" no estágio E1, enquanto que G2 e G4 "andam" no estágio E2. O verde de G1, pela premissa, deveria terminar junto o verde de G3. Mas, por conta do atraso ou o retardamento da perda do direito de passagem de G1, o verde de G1 termina depois do verde de G3.

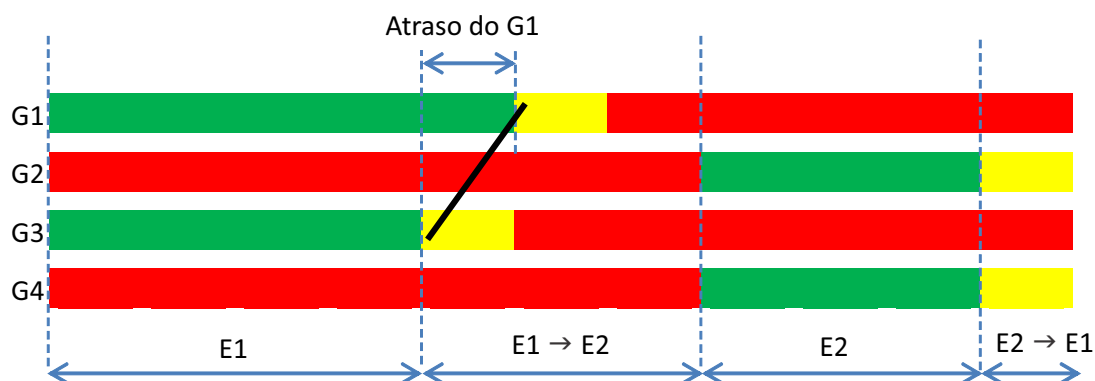


Figura 10-a

A Figura 10-b mostra um exemplo de atraso do ganho do direito de passagem. Nesse exemplo, G1 e G3 "andam" no estágio E1, enquanto que G2 e G4 "andam" no estágio E2. O verde de G2, pela premissa, deveria começar junto o verde de G4. Mas, por conta do atraso ou o retardamento do ganho do direito de passagem de G2, o verde de G2 começa depois do verde de G4.

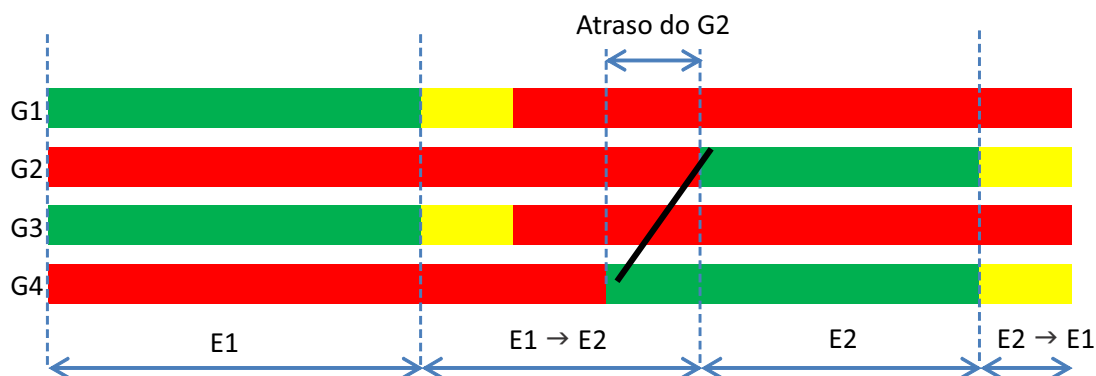


Figura 10-b

5.3 Amarelo antecipado como atraso de grupo

O amarelo antecipado, exemplificado na Figura 9, pode ser considerado como um caso particular de atraso de grupo. No exemplo da Figura 9, o grupo G1 tem um atraso de perda de direito de passagem em relação ao grupo G2.

Em geral, qualquer diferença de "intergreens" de grupos semafóricos que "andam" no mesmo estágio pode ser resolvida usando-se o recurso de atraso de grupo.

5.4 Considerações sobre a abordagem usual

Conforme o exposto, verifica-se que a premissa implícita na abordagem usual impõe sérias restrições na programação semafórica. Para contornar esse "engessamento" da programação semafórica, foi necessário criar mecanismos como o amarelo antecipado e o atraso de grupo, que têm como único objetivo "quebrar" ou "burlar" a regra imposta pela premissa.

É importante destacar aqui que, conforme já mencionado anteriormente, a principal implicação da premissa da abordagem usual é a equivalência entre o "intergreen" e o "interstage". Entretanto, com os mecanismos de "amarelo antecipado" e atraso de grupo essa equivalência deixa de existir.

A abordagem adotada na parte inicial deste trabalho, qual seja, a de permitir a configuração de "intergreens" distintos para o mesmo grupo semafórico, em função da transição desse grupo para cada grupo conflitante do estágio seguinte, é totalmente flexível para atender qualquer interseção, sem precisar lançar mão de mecanismos ou expedientes como amarelo antecipado, "estágio de limpeza" ou atraso de grupo.

Um projeto de software do controlador baseado nessa abordagem permite uma estrutura e uma configuração lógica de programação muito mais flexível e amigável, sem as complicações do amarelo antecipado, "estágio de limpeza" e atraso de grupo.

6. "Interstage" e estágio

A questão que aqui se coloca é se o período de "interstage" faz parte do estágio. Em princípio, pela própria definição de "interstage" de ser um período de transição entre dois estágios consecutivos, a resposta óbvia é que o "interstage" não faz parte do estágio anterior e nem do posterior. É um período "entre-estágios".

Entretanto, vale observar que o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito [6] afirma que o entreverdes faz parte do estágio: "O estágio compreende o tempo de verde e o tempo de entreverdes que o segue". Ora, se o entreverdes, no contexto dessa frase, significa "interstage", como pode fazer parte do estágio se, por definição, "interstage" é o período que fica entre dois estágios consecutivos?

Talvez a resposta esteja na necessidade de sistemas de controle semafórico considerar o "interstage" como parte do próprio estágio.

De fato:

- No documento "SCOOT Traffic Handbook, SCOOT 0494, Glossary of Traffic Terms" [11], no seu item 2.17.11 pode-se ler:

Um estágio SCOOT consiste de um "intergreen" seguido por um período de verde.

b) No artigo "LRT Priority within the SCATS Environment in Dublin - A Traffic Flow Simulation Study" [12], pode-se ler:

A duração do estágio no SCATS também inclui o período de "interstage".

7. Posição do "interstage" no estágio

Uma vez definido que o "interstage" faz parte do próprio estágio, resta a questão: <o "interstage" fica no início do estágio ou no final do estágio?>

Em princípio, a resposta mais natural seria no final do estágio. Por exemplo, parece ser mais natural e intuitivo que o "interstage" E1 → E2 seja integrado ao estágio E1 (do que ao estágio E2).

Tanto que o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito [6] quando afirma: "O estágio compreende o tempo de verde e o tempo de entreverdes **que o segue**" está postulando que o "interstage" está definido no final do estágio.

De qualquer forma, trata-se apenas de uma convenção. O "interstage" pode ser tanto definido no início como no final do estágio. Tudo depende da conveniência, necessidade e praticidade. Entretanto, para determinados protocolos de comunicação entre o controlador e a Central, é necessário que o "interstage" esteja posicionado no início do estágio.

De fato, o sistema de controle semafórico em tempo real SCOOT (*Split Cycle Offset Optimization Technique*), que usa o protocolo *UTMC (Urban Traffic Management Control)*, adota o período de "interstage" no início do estágio, conforme o item 2.17.11 do documento "SCOOT Traffic Handbook, SCOOT 0494, Glossary of Traffic Terms" [11]:

2.17.11 Estágio

Um estágio SCOOT consiste de um "intergreen" **seguido** por um período de verde.

8. Estratégia de controle

O "engessamento" da programação semafórica decorrente da premissa adotada na abordagem usual só ocorre quando o controlador é baseado na estratégia de controle por estágio.

Os controladores que são baseados na estratégia de controle por intervalo luminoso e que permitem a configuração da estrutura e da duração de cada intervalo luminoso não sofrem o problema de restrição de programação aqui abordado, pois não seguem a premissa da abordagem usual.

9. Conclusões

Diante do exposto, pode-se concluir que:

- "Intergreen" e "interstage" podem corresponder a períodos distintos dentro do ciclo semafórico e/ou a intervalos com composição distinta de indicações luminosas.
- O "intergreen" e, portanto, os períodos de amarelo, vermelho intermitente e vermelho de limpeza, devem ser programáveis por transição de grupo semafórico (e não por grupo semafórico ou por estágio).
- O "interstage" pode abranger intervalos de verde.
- O tempo de verde contido no "interstage" não faz parte do tempo de verde do estágio, isto é, o tempo de verde de um grupo semafórico pode ser maior que o tempo de verde do estágio correspondente.
- O "interstage" é uma consequência direta da estrutura dos estágios, dos "intergreens" das transições dos grupos semafóricos e do início e término de verde de cada grupo semafórico, não sendo um elemento programável.
- A palavra "entreverdes" é usada tanto para designar "intergreen" como para "interstage", dependendo do contexto de cada frase.

⁴ Observação: Não há menção a "interstage" no *SCOOT Traffic Handbook* [11]. O SCOOT é um sistema que adota a premissa da abordagem usual. Por isso, o "interstage" e o "intergreen" são considerados coincidentes e equivalentes. Nos casos em que é necessário "quebrar" a regra da premissa é usado o recurso de atraso de grupo.

No documento "*Glossary of Terms Used in Association with UTC Systems*" [13], no seu item 2.55 diz: "I/G - Duração de tempo entre períodos de verde sucessivos ("intergreen"). **Isso se aplica tanto para estágio como para grupo semafórico**". O texto em negrito comprova a premissa da equivalência entre "intergreen" e "interstage" adotada no sistema SCOOT.

- A abordagem usual normalmente adotada na programação dos controladores e em sistemas de controle semafórico não é aquela baseada na distinção entre "intergreen" e "interstage", mas adota a premissa implícita de que o verde de todos os grupos semafóricos que "andam" no mesmo estágio começa e termina junto, resultando que o "intergreen" e "interstage" sempre serão coincidentes e equivalentes. Daí, talvez seja a razão de haver apenas o termo "entreverdes" para designar tanto o "intergreen" como o "interstage", uma vez que ambos seriam sempre equivalentes.
- A premissa implícita adotada na abordagem usual "engessa" a programação semafórica, obrigando a necessidade da criação de recursos especiais como "amarelo antecipado" e atraso de grupo com o objetivo de "quebrar" a regra da premissa.
- Um projeto de software de controlador que adotasse a abordagem de considerar "intergreen" e "interstage" como períodos distintos, em decorrência da possibilidade de programar "intergreens" diferentes para cada transição de grupos semafóricos (em vez da abordagem usual) permitiria uma estrutura lógica de programação muito mais flexível e amigável, sem a necessidade de recursos especiais como o "amarelo antecipado" e o atraso de grupo.
- O problema de "engessamento" da programação semafórica devido à premissa da abordagem usual ocorre em controladores baseados na estratégia de controle por estágio. Os controladores baseados na estratégia de controle por intervalo luminoso e que permitem a configuração da estrutura e da duração de cada intervalo luminoso não sofrem o problema de restrição de programação mencionado, pois não seguem a premissa da abordagem usual.

10. Referências

- [1] "Dimensionamento dos tempos de entreverdes para veículos" - Luis M. Vilanova - <http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/dimensionamento.pdf> - Baixado em 03/09/2018.
- [2] "Literature review of road safety at traffic signals and signalized crossings" - Published Project Report PPR 436: <http://content.tfl.gov.uk/literature-review-of-road-safety-at-traffic-signals-and-signalised-crossings.pdf> - Baixado em 30/08/2018.
- [3] "Stop, Go, Floor It: The Dilemma Zone". <https://www.foxbusiness.com/features/stop-go-floor-it-the-dilemma-zone> Mark Vallet - Published January 29, 2013. Acesso em 01/10/2018.
- [4] "Demystifying Driving's Dilemma Zone" <https://www.insidescience.org/news/demystifying-drivings-dilemma-zone> April 10, 2014 - Acesso: 01/10/2018.
- [5] "Experiments in the Dilemma Zone", Alexandra Michel. <https://www.psychologicalscience.org/observer/experiments-in-the-dilemma-zone>. Published October 31, 2014. Acesso: 01/10/2018.
- [6] "Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Volume V - Sinalização Semafórica", 2014, Resolução Nº 483, de 09 de Abril de 2014: <https://www.denatran.gov.br/resolucoes> - Baixado em 25/08/2018.
- [7] "Sinal de Trânsito": <http://www.sinaldetransito.com.br/glossario.php?ID=783> - Acesso em 25/08/2018.
- [8] "Traffic Signal Design Terminology": http://www.traffic-signal-design.com/terminology_main.htm - Acesso em 30/08/2018.
- [9] "Traffic Advisory Leaflet 1/06 - General Principles of Traffic Control by Light Signals Part 2 of 4": http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20120607043213/http://assets.dft.gov.uk/publications/tal-1-06/1-06_2.pdf - Baixado em 30/08/2018.
- [10] "Parâmetros básicos de programação Semafórica" www.viasseguras.com/.../parametros%20semaforicos%20CET%20SP%201999.pdf em agosto de 1.995 - atualizou o texto em maio de 2.000
- [11] "SCOOT Traffic Handbook, SCOOT 0494, Glossary of Traffic Terms»
- [12] "LRT Priority within the SCATS Environment in Dublin - a Traffic Flow Simulation Study" - Martin Fellendorf & Conall Mac Aongusa & Manual Pierre. <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/UT97/UT97006FU.pdf>. Baixado em 27/09/2018.
- [13] "Glossary of Terms Used in Association with UTC Systems" - 666/KE/16066/000: https://www.siemens.co.uk/traffic/pool/downloads/handbooks/utc/666_ke_16066_000.pdf - Baixado em 26/11/2018.

Agradecimentos

Este trabalho é fruto das profícuas discussões técnicas travadas com o colega Alexandre Francisco dos Santos.

Também teve a revisão do Alexandre e do colega Virgílio dos Santos, cujas sugestões contribuíram em muito para melhorar o texto. Aos dois colegas, meus sinceros agradecimentos.

10/01/2019
Sun Hsien Ming