

AVALIAÇÃO DA ADEQUAÇÃO TÉCNICA DE CRUZAMENTOS SEMAFORIZADOS EM UMA CIDADE DE PEQUENO PORTE

EVALUATION OF THE TECHNICAL SUITABILITY OF URBAN INTERSECTIONS WITH TRAFFIC LIGHTS IN A SMALL TOWN

THIAGO HIDEO URATANI¹, OTAVIO HENRIQUE DA SILVA^{2*}

1. Bacharel em Engenharia Civil pela Faculdade UMFG, Cianorte, PR; 2. Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

* Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília, Distrito Federal, Brasil. CEP: 70910-900. otavio.silva@unb.br

Recebido em 16/04/2024. Aceito para publicação em 25/04/2024

RESUMO

O uso de semáforos pode auxiliar no controle do tráfego em interseções urbanas, especialmente no caso de fluxos elevados. Contudo, é necessário avaliar cada cruzamento, de modo a identificar se essa é a forma mais adequada de controle, além de definir as características da operação semaforizada. Nesse contexto, este estudo objetivou avaliar a adequação técnica dos cruzamentos semaforizados da cidade de Terra Boa, Paraná. Para isso, foram conduzidos procedimentos para caracterizar o tráfego nos locais de estudo (cruzamentos 1 e 2) e, depois, avaliar a necessidade desse tipo de controle e o dimensionamento de tempos atual. O levantamento de tráfego indicou que os cruzamentos recebem fluxo superior a 1.200 v/h, havendo plano semaforico de dois estágios e duas fases, com conversões à esquerda proibidas. O método adotado indicou necessidade de semaforização nos dois cruzamentos. O redimensionamento de tempos resultou em ciclos semaforicos de 30 segundos (19 segundos a menos do que é praticado atualmente). Contudo, para a confirmação da eficácia dessa mudança, é importante que sejam realizadas mais análises de saturação e capacidade das interseções. Cabe a pesquisadores e profissionais da área de planejamento de transportes a condução de estudos em interseções urbanas brasileiras, o que permite promover maior segurança e eficiência ao trânsito.

PALAVRAS-CHAVE: Controle de tráfego; segurança viária; semáforos.

ABSTRACT

The use of traffic lights can help control traffic at urban intersections, especially in the case of high flows. However, it is necessary to evaluate each intersection to identify whether this is the most appropriate form of control, in addition to defining the characteristics of the traffic light operation. In this context, this study aimed to evaluate the technical adequacy of traffic lights in Terra Boa town, Paraná, Brazil. For this, procedures were carried out to characterize the traffic at the study sites (intersections 1 and 2) and, later, to evaluate the need for this type of control and the current signal timing. The traffic survey indicated that the intersections receive a flow greater than 1,200 v/h, with a two-stage and two-phase traffic light plan, with prohibited

left turns. The method adopted indicated the need for traffic lights at both intersections. Resizing times resulted in traffic light cycles of 30 seconds (19 seconds less than is currently practiced). However, to confirm the effectiveness of this change, it is important to carry out analyzes for the saturation and capacity of intersections. It is up to researchers and professionals in transport planning to carry out studies at Brazilian urban intersections, which allows for greater safety and efficiency in traffic.

KEYWORDS: Traffic control; road safety; traffic lights.

1. INTRODUÇÃO

Interseções urbanas compreendem pontos relevantes no sistema viário das cidades, visto que são locais onde ocorre o cruzamento de diferentes correntes de tráfego conflitantes. Devido a isso, tais locais constituem pontos com um grande potencial de ocorrência de acidentes. (Silva *et al.*, 2019)¹. Por isso é importante planejar formas de controles adequadas para garantir segurança e fluidez ao trânsito^{2,3}.

Dentro do planejamento do tráfego urbano, é necessário considerar diferentes características do fluxo viário local para, então, definir a viabilidade de uma determinada solução de controle^{4,5}. Para o controle do tráfego em cruzamentos, são adotadas diferentes soluções. Tais estratégias podem ser mais simples ou mais complexas, como quando são utilizados semáforos, inclusive dotados de sistemas de temporização, cada vez mais utilizados no Brasil⁶.

Porém, quando os semáforos não são realmente necessários, ou são instalados de forma inadequada, podem causar congestionamentos e até mesmo acidentes. Por isso, é necessário realizar a instalação destes equipamentos levando em conta critérios técnicos aplicáveis⁷.

Os semáforos normalmente são uma solução empregada em centros maiores, mas também pode ser aplicado em cidades pequenas, como ocorre na cidade de Terra Boa, Paraná. Para Eom & Kim (2020)⁸, de modo a averiguar a eficiência dessa estratégia de controle, é importante que sejam conduzidos trabalhos

de avaliação visando identificar pontos de melhoria, o que pode proporcionar maior segurança e eficiência ao tráfego urbano.

Dessa maneira, este estudo objetivou avaliar a adequação técnica dos cruzamentos semaforizados da cidade de Terra Boa, Paraná, de modo que seja possível verificar a necessidade desse tipo de controle e avaliar o dimensionamento de tempos atual.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo compreende uma pesquisa quantitativa do tipo estudo de caso. Para tanto, foram definidas etapas metodológicas para a (1) caracterização do local de estudo, a qual permitiu avaliar (2) a necessidade do emprego de semáforos nos cruzamentos selecionados e (3) a adequação técnica do dimensionamento semafórico praticado.

Procedimentos para a caracterização do local de estudo

Foram avaliados os dois cruzamentos semaforizados na cidade de Terra Boa, cidade localizada no noroeste do Paraná que possui população de aproximadamente 17,5 mil habitantes (IBGE, 2024)⁹. Segundo DETRAN/PR (2024)¹⁰, no município há 12.937 veículos licenciados.

Os cruzamentos em análise, denominados 1 e 2, encontram-se na Avenida Brasil, nas interseções com as Ruas Emílio Cândido Broetto e Pres. Dr. Tancredo de Almeida Neves, respectivamente. Entende-se que o controle de tráfego diferenciado nesses cruzamentos demonstra a relevância dessas interseções para o trânsito local. A Figura 1 mostra a localização das interseções urbanas em estudo na região central de Terra Boa.



Figura 1. Localização dos cruzamentos em estudo, na cidade de Terra Boa, Paraná. **Fonte:** Adaptado de Google (2024)¹²

Inicialmente, foi realizado um levantamento in loco da geometria dos cruzamentos. Também, foi averiguada a forma de operação das interseções, de modo que fosse possível identificar os tipos de movimentos realizados e conceber diagramas de estágios, fases e tempos. Com uso de cronômetro, foi possível identificar os tempos empregados.

Em seguida, foram realizados procedimentos de contagem de tráfego de veículos e de pedestres para diagnosticar o trânsito nos locais de estudo. Tais informações foram posteriormente utilizadas para avaliar a necessidade de semaforização dos

cruzamentos, bem como para calcular os tempos semafóricos adequados no local.

O procedimento de contagem utilizado foi manual, segundo preconiza o Manual 723 do DNIT (2006)¹¹. Para cada cruzamento, foi realizada contagem pelo período de meia hora, dentro do horário de pico de um dia típico de semana, exceto segunda e sexta-feira (visando assim evitar uma possível influência do final de semana). Para definir o fluxo horário nas aproximações das interseções, bastou dobrar os valores observados. O procedimento foi conduzido com o apoio de filmagem, o que permitiu levantar o tipo e os números de veículos que acessaram os cruzamentos, bem como o número de pedestres com maior segurança e precisão.

Procedimentos para avaliação da necessidade do emprego de semáforo nos cruzamentos selecionados

A partir dos resultados obtidos nas contagens, foi realizada a avaliação da necessidade da colocação dos semáforos segundo critério definidos por Ferraz *et al.* (1999)¹³. Considerando os dados obtidos, foram consideradas as Indicações 1, 2, 3 e 4 para a análise. As Tabelas 1, 2 e 3 mostram as três primeiras Indicações que podem ser utilizadas para embasar a instalação semafórica, as quais devem ser avaliadas em sequência. Observa-se que, se houver predominância de velocidades maiores que 65 km/h na via principal, ou o cruzamento se localiza numa cidade com população menor de 10 mil habitantes, os valores deverão ser reduzidos em 30%.

Tabela 1. Indicação 1 - Fluxo de veículo médio nas vias principal e secundária.

Número de Faixas		Volume total dos dois sentidos da via principal (v/h)	Volume do sentido de maior movimento da via secundária (v/h)
Via principal	Via Secundária		
1	1	500	150
2 ou +	1	600	150
2 ou +	2 ou +	600	200
1	2 ou +	500	200

Fonte: Ferraz *et al.* (1999)¹³

Tabela 2. Indicação 2 - Fluxo alto na via principal e pequeno na secundária.

Número de Faixas		Volume total dos dois sentidos da via principal (v/h)	Volume do sentido de maior movimento da via secundária (v/h)
Via principal	Via Secundária		
1	1	750	75
2 ou +	1	900	75
2 ou +	2 ou +	900	100
1	2 ou +	750	100

Fonte: Ferraz *et al.* (1999)¹³

Tabela 3. Indicação 3 - Fluxo alto de veículos e pedestres.

Canteiro Central	Volume total dos dois sentidos da via (v/h)	Volume total de pedestres cruzando a via (p/h)
Sem ou com largura insuficiente (<0,80 m)	600	150
Com largura suficiente (>0,80 m)	1000	150

Fonte: Ferraz *et al.* (1999)¹³

A quarta Indicação envolve a conjugação das Indicações 1, 2 e 3, tomando como referência 80% dos valores mencionados. A colocação de semáforos pode ocasionalmente ser justificada se, pelo menos, duas das Indicações 1, 2 e 3 forem satisfeitas. Observa-se que a Indicação 4 deve ser avaliada caso nenhuma das condições anteriores (1, 2 e 3), avaliadas em sequência, tenha sido atendida com seus valores usuais¹³.

Procedimentos para avaliação da adequação técnica do dimensionamento semafórico praticado

Com base nas informações obtidas relativas ao tráfego nos cruzamentos 1 e 2, foi conduzida avaliação da adequação dos tempos semafóricos atuais. Para isso, foram seguidas as recomendações de Ferraz *et al.* (1999)¹³. O sistema foi reprogramado considerando o tempo de ciclo ótimo definido por Webster (1958)¹⁴.

Primeiramente, foram definidos os fluxos de saturação (s_j) das faixas dos cruzamentos, conforme Equação (1). O valor de s_j indica o fluxo máximo de veículos, numa faixa de tráfego, que pode passar por uma interseção semaforizada quando a luz está verde. Esse é um parâmetro básico para a determinação dos tempos semafóricos e de todos os cálculos de desempenho de interseções semaforizadas.

$$s_j = 1900 \times f_{hv} \times f_{rt} \times f_{lt} \quad (1)$$

Em que:

- s_j = fluxo de saturação na faixa j ;
- f_{hv} = fator de ajuste para veículos pesados, dado pela expressão: $f_{hv}=1/(1+P_{hv})$, sendo P_{hv} a porcentagem de veículos pesados (caminhões, ônibus etc.);
- f_{rt} = fator de ajuste para as manobras de conversão à direita, dado pela expressão: $f_{rt}=0,90-0,135 \times P_{rt}$, sendo P_{rt} a porcentagem de veículos que fazem conversão à direita;
- f_{lt} = fator de ajuste para as manobras de conversão à esquerda em fase protegida, dado pelas expressões: $f_{lt}=0,90-0,135 \times P_{lt}$ (se a via for de mão única); $f_{lt}=0,95$ (se a via for de mão dupla e a faixa de conversão for exclusiva); ou $f_{lt}=1/1+0,05 \times P_{lt}$ (se a via for de mão dupla e a faixa de conversão também for utilizada pelos veículos que passam reto), sendo P_{lt} a porcentagem de veículos que fazem conversão à esquerda.

Depois, definiu-se as taxas de ocupação das faixas (y_j), utilizando a Equação (2).

$$y_j = \frac{q_j}{s_j} \quad (2)$$

Em que:

- y_j = taxa de ocupação da faixa j ;
- q_j = fluxo de tráfego da faixa j (veículo/h).

A partir dos valores de y_j , foi possível determinar as taxas de ocupação críticas das fases (y_c^i). Esse valor crítico corresponde ao maior valor de y_j , de cada fase i , como mostra a Equação (3).

$$y_c^i = \text{maior } y_j^i = \left(\frac{q_j}{s_j} \right)_c \quad (3)$$

Em que:

- y_c^i = taxa de ocupação crítica para a fase.

Com os valores de taxa de ocupação crítica de cada fase, é necessário encontrar o valor do parâmetro Y_s , que equivale ao somatório das taxas de ocupação críticas das fases/subfases veiculares, conforme Equação (4).

$$Y_s = \sum y_c^i \quad (4)$$

Em que:

- Y_s = somatório das taxas de ocupação críticas das fases.

Em seguida, foi determinado o tempo total perdido em cada fase (L_i) devido ao tempo de percepção e reação dos motoristas e o tempo de aceleração dos veículos. Isso permite calcular o tempo total perdido no ciclo (L), a partir da Equação (5).

$$L = \sum L_i \quad (5)$$

Em que:

- L = tempo total perdido no ciclo (s);
- L_i = tempo total perdido em cada fase (s).

Então, a partir dos dados obtidos, foi possível calcular o ciclo ótimo (C_0), consoante Equação (6) proposta por Webster (1958)¹⁴. Esse ciclo ótimo busca minimizar o atraso médio experimentado pelos veículos na interseção.

$$C_0 = \frac{1,5 \times L + 5}{1 - Y_s} \quad (6)$$

Em que:

- C_0 = ciclo ótimo (s).

Definido C_0 , foi calculado o tempo de verde efetivo total do ciclo (Ge), utilizando a Equação (7). Depois, aplicou-se a Equação (8) para realizar a repartição do verde efetivo para cada fase (Ge_i), e a Equação (9) para definir a duração dos verdes reais nas fases (Gi). Ferraz *et al.* (1999)¹³ sugerem que o tempo do verde real seja de ao menos 10 segundos para cada fase.

$$Ge = C_0 - L \quad (7)$$

Em que:

- Ge = tempo de verde efetivo total do ciclo (s).

$$Ge_i = \left(\frac{y_c^i}{Y_s} \right) \times Ge \quad (8)$$

Em que:

- Ge_i = tempo de verde efetivo para a fase (s).

$$Gi = Ge_i - li + Li \quad (9)$$

Em que:

- Gi = tempo de verde real para a fase (s);
- li = período de entreverdes (s), igual à soma dos tempos de amarelo (Y) e de Vermelho total (Rt).

Definidos os tempos de verde finais, foi elaborado o diagrama de tempos, com indicação dos tempos de Verde (G), Amarelo (Y), e Vermelho total (Rt).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do local de estudo

Após levantamento *in loco* nos cruzamentos em estudo (1 e 2), identificou-se que ambas as interseções possuem a mesma geometria (Figura 2). A via principal dos cruzamentos é a Av. Brasil, que possui duas faixas para cada sentido de tráfego, separadas por um canteiro central de 5,00 metros de largura. As vias secundárias que cruzam a avenida possuem uma faixa para cada sentido, separadas por sinalização horizontal.

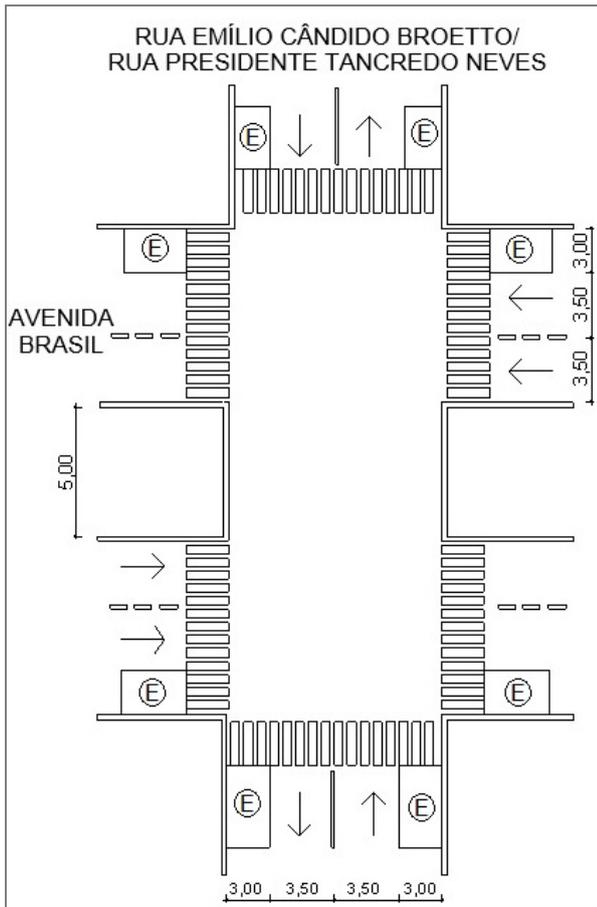


Figura 2. Geometria dos cruzamentos em estudo. Fonte: Elaborado pelos autores

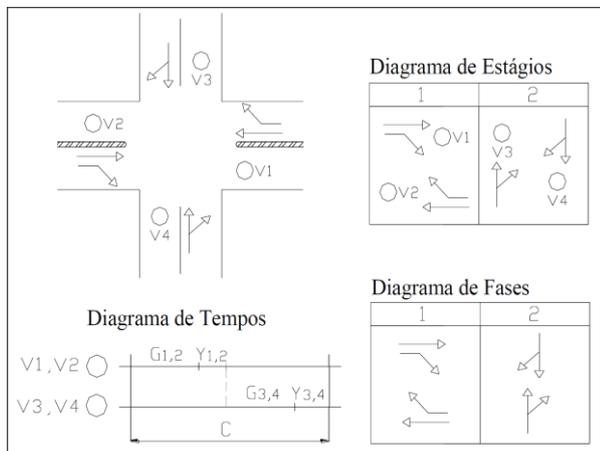


Figura 3. Esquema de operação dos cruzamentos em estudo. Fonte: Elaborado pelos autores

Nos dois cruzamentos são empregados mesmo tipo de controle semafórico, composto por dois estágios e duas fases. Os movimentos à esquerda são proibidos em todas as aproximações. A Figura 3 mostra os movimentos permitidos nos cruzamentos e os diagramas de estágios, fases e de tempos teórico.

Após conduzido procedimento de cronometragem no local, foi possível definir os tempos do diagrama para as fases 1 e 2, conforme indicado na Figura 4.

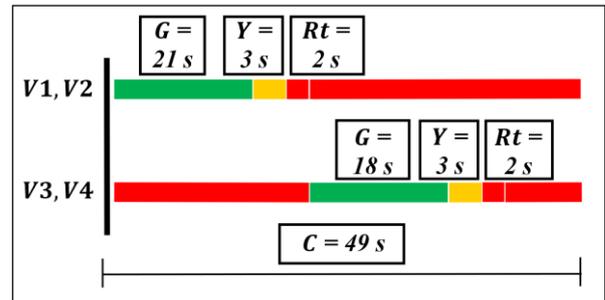


Figura 4. Diagrama de tempos praticado nos cruzamentos em estudo. Fonte: Elaborado pelos autores

Atualmente, o tempo de verde (G) é 3 segundos superior ao da fase 2 (21 ante 18 segundos). Foram identificados tempos de amarelo (Y) e de vermelho total (Rt) de 3 e 2 segundos, respectivamente. O ciclo semafórico é de 49 segundos no total. Não há fase exclusiva para pedestres, logo, a travessia compreende um movimento não protegido.

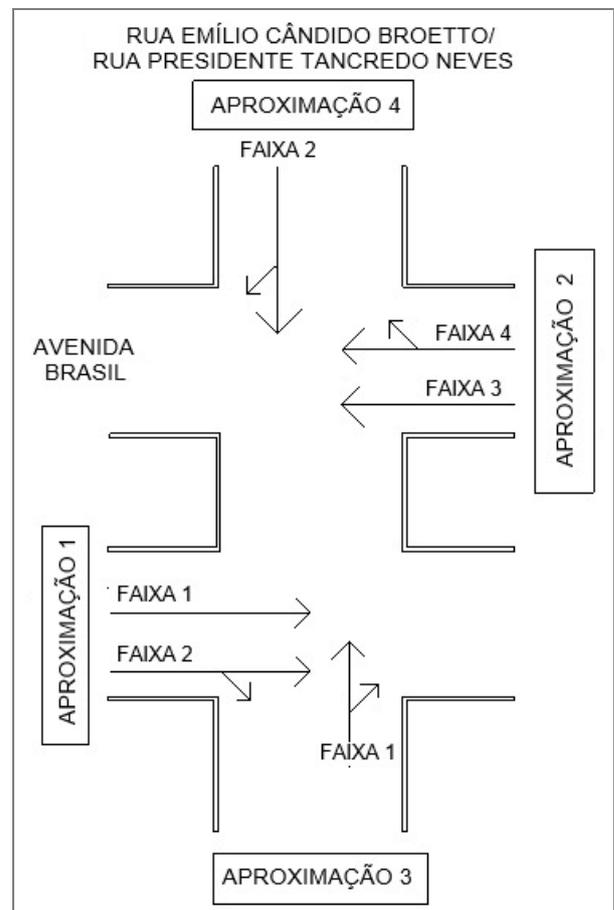


Figura 5. Movimentos considerados para a contagem de tráfego. Fonte: Elaborado pelos autores

Para possibilitar a contagem de veículos e de pedestres, foram realizadas filmagens dos cruzamentos, pelos pesquisadores. O posicionamento do equipamento de filmagem foi escolhido de modo que garantisse plena visão espacial do local. No cruzamento 1, foram realizados registros das 17h45 às 18h15 do dia 18 de outubro de 2022. A filmagem no Cruzamento 2 foi conduzida no dia seguinte, 19 de outubro de 2022, no mesmo horário.

A Figura 5 mostra os movimentos considerados na contagem em ambos os cruzamentos. A Tabela 4 indica os fluxos levantados em cada faixa das aproximações dos cruzamentos em estudo, com indicação do fluxo à direita, além do número de veículos pesados (caminhões e ônibus) e de pedestres cruzando as vias.

Com base no levantamento, foram constatados volumes horários de 1238 e 1446 v/h nos cruzamentos 1 e 2, respectivamente. Por ser uma área central, não foram identificados muitos veículos pesados. Como esperado, o volume de pedestres foi relativamente reduzido, já que se trata de uma cidade de pequeno porte populacional.

Tabela 4. Resultados do procedimento de contagem nos cruzamentos (1 e 2) em estudo

Cruzamento	Via	Aproximação	Faixa	Fluxo, veic/h (fluxo à direita)	N _{vp} , veic/h	N _p , pedest/h
1	Av. Brasil	1	1	292	4	16
			2	258 (88)		
		2	3	306	12	
			4	254 (32)		
	Rua Emílio Cândido Broetto	3	1	90 (60)	2	100
			2	38 (18)		
		4	1	323	10	68
			2	215 (64)		
2	Av. Brasil	1	3	348	8	
			4	232 (82)		
		2	1	150 (100)	2	88
			2	178 (62)		
	Rua Pres. Dr. Tancredo de Almeida Neves	3	150 (100)	2	88	
		4	178 (62)	0		

Em que: N_{vp} = Número de veículos pesados; N_p = Número de pedestres cruzando a via. **Fonte:** Elaborado pelos autores

Avaliação da necessidade do emprego de semáforo no cruzamento selecionado

Utilizando as informações de tráfego levantadas, com base nas Indicações fornecidas por Ferraz *et al.* (1999)¹³, foi analisada a necessidade de semaforização dos cruzamentos em estudo. Salienta-se que, como a cidade possui população superior a 10 mil habitantes e a via principal (Avenida Brasil) possui velocidade máxima regulamentada de 40 km/h (inferior a 65 km/h), os valores das indicações não foram ajustados, conforme prevê o método.

No caso do cruzamento 1, a via principal, que possui duas faixas em cada sentido, apresenta fluxo total de 1.108 v/h. Na via secundária (Rua Emílio Cândido Broetto), de uma faixa em cada sentido, o sentido de maior fluxo apresenta fluxo de 90 v/h. Com base na Indicação 1 (Quadro 1), embora o fluxo na via principal seja superior a 600 v/h, o sentido de maior movimento na via secundária é inferior a 150 v/h. Portanto, como não houve atendimento simultâneo às

duas condições, não haveria, segundo a indicação inicial (1), a necessidade de semaforização. Já considerando a Indicação 2 (Quadro 2), tem-se novamente, atendimento à primeira condição, já que o fluxo na via principal é superior a 900 v/h. Quanto à segunda condição, o maior fluxo observado em um dos sentidos da via secundária é superior a 75 v/h. Logo, com base na Indicação 2, atesta-se necessidade do controle semafórico, pois trata-se de cruzamento com fluxo alto na via principal e pequeno na secundária. Como houve atendimento à Indicação 2, não é necessário avaliar as demais indicações.

O cruzamento 2 foi avaliado de modo similar ao cruzamento 1, visto que as vias principal e secundária possuem o mesmo número de faixas. A via principal (Avenida Brasil) apresenta fluxo total de 1.118 v/h, e a secundária (Rua Pres. Dr. Tancredo de Almeida Neves) possui sentido de maior fluxo com 178 v/h. Nesse caso foi observado atendimento da primeira Indicação (Quadro 1), já que o fluxo na via principal é superior a 600 v/h, e na secundária o sentido de maior fluxo apresenta volume horário superior a 150 v/h. Caracteriza-se, portanto, a necessidade de semaforização em razão de haver fluxo médio nas duas

vias que se cruzam. Tal como na primeira análise, não é necessário considerar as demais indicações do método.

Avaliação da adequação técnica do dimensionamento semafórico praticado

Com base no levantamento realizado, foram recalculados os tempos semafóricos para os cruzamentos em estudo. Para a condução dos procedimentos de cálculo, adotou-se 3 segundos como tempo total perdido em cada fase (L_i), que corresponde ao valor médio da faixa de 2 a 4 segundos sugerida por Ferraz *et al.* (1999)¹³. Ainda, optou-se por manter os tempos de amarelo (3 s) e de vermelho total (2 s) já levantados, bem como o sistema de operação existente (dois estágios e duas fases com movimentos à esquerda proibidos). Assim, o dimensionamento foi realizado considerando que cada fase compreende duas aproximações na interseção. Embora os fluxos não sejam iguais nas aproximações, essa opção garante que o atendimento à aproximação de maior fluxo também atende à de menor fluxo.

Inicialmente, foram calculados os valores dos

fluxos de saturação das faixas dos cruzamentos 1 e 2 (s_j), conforme Equação (1). Destaca-se que não foi utilizado o fator de ajuste para as manobras de conversão à esquerda (f_i), já que o movimento em questão é proibido nos cruzamentos. Depois, conhecidos os fluxos de tráfego nas faixas (q_j), segundo Tabela 4, foram calculadas as taxas de ocupação das faixas (y_j), a partir da Equação (2). Finalmente, conhecidos os valores de y_j , foram definidas as taxas de ocupação crítica das fases (y_c^i), a partir da Equação (3). Os valores de s_j , y_j e y_c^i , são mostrados na Tabela 5.

Com os valores de y_c^i encontrados, foi possível obter o valor de Y_s , utilizando a Equação (4). Para os cruzamentos 1 e 2, foram obtidos valores de Y_s iguais a 0,221 e 0,293, respectivamente.

Considerando que o tempo perdido em cada fase adotado é de 3 segundos e que há duas fases no plano operacional, foi obtido o valor do tempo total perdido no ciclo (L) de 6 segundos, conforme Equação (5).

Então, foi possível calcular o ciclo ótimo (C_0) para cada cruzamento. Após aplicar a Equação (6), foram obtidos ciclos de 18 e 19,8 segundos para os cruzamentos 1 e 2, nessa ordem.

Tabela 5. Resultados Valores de s_j , y_j e y_c^i determinados para os cruzamentos em estudo

Cruzamento	Via	Aproximação	Faixa	s_j	$y_j(y_c^{i*})$
1	Av. Brasil	1	1	1900,0	0,153
			2	1597,7	0,162*
		2	3	1900,0	0,161
			4	1602,0	0,159
	Rua Emílio Cândido Broetto	3	1505,5	0,060*	
		4	1588,5	0,024	
2	Av. Brasil	1	1	1900,0	0,170
			2	1561,0	0,138
		2	3	1900,0	0,183*
			4	1565,4	0,148
	Rua Pres. Dr. Tancredo de Almeida Neves	3	1518,8	0,099	
		4	1620,7	0,110*	

Em que: s_j = Fluxo de saturação da faixa; y_j = Taxa de ocupação da faixa; y_c^i = Taxa de ocupação crítica para a fase (valor indicado por meio de *). **Fonte:** Elaborado pelos autores

Utilizando a Equação (7), foram calculados os tempos de verde efetivo total do ciclo (Ge) dos cruzamentos 1 e 2, que resultaram em 12,0 e 13,8 segundos. Na sequência, foram calculados os verdes efetivos (Ge_i) e reais (G_i) para as fases dos cruzamentos.

No cruzamento 1, aplicando a Equação (8), foram obtidos tempos de verde efetivo (Ge_i) para a primeira fase (Av. Brasil, aproximações 1 e 2) de 8,7 segundos e para a segunda fase (Rua Emílio Cândido Broetto, aproximações 3 e 4) de 1,2 segundos. Com esses valores, considerando o tempo de entreverdes nas fases de 5 segundos (soma das frações de amarelo e vermelho total), seriam obtidos tempos de verde real (G_i) de 6,7 e 1,2 segundos, após utilizar a Equação (9). Como os valores são inferiores a 10 segundos, seguindo a recomendação de Ferraz *et al.* (1999)¹³, foram corrigidos os tempos efetivos de verde para 12,0 segundos. Com isso, os verdes reais resultaram em 10,0 segundos, atendendo ao mínimo fixado.

No cruzamento 2 ocorreu situação similar. Após aplicar a Equação (8), foram obtidos tempos de verde efetivo (Ge_i) na primeira fase (Av. Brasil, aproximações 1 e 2) de 8,6 segundos e, na segunda fase (Rua Pres. Dr. Tancredo de Almeida Neves, aproximações 3 e 4), de 5,2 segundos. Nessas condições, após utilizar a Equação (9), seriam obtidos verdes reais (G_i) de 6,6 e 3,2 segundos, respectivamente. Assim, foram corrigidos os verdes reais para 12,0 segundos, de modo que os verdes reais resultassem em 10,0 segundos.

Desse modo, a partir desse redimensionamento baseado no ciclo ótimo (C_0) de Webster (1958)¹⁴ todas as fases dos cruzamentos possuiriam os mesmos tempos de verde. Como os tempos adotados de amarelo e vermelho total são iguais, o ciclo final (C) também é igual, que resultaria em 30 segundos. A Figura 6 mostra o novo diagrama de tempos calculado.

O novo dimensionamento resultou, portanto, em um ciclo 19 segundos inferior em relação ao ciclo praticado atualmente. Para corroborar a adequação dos novos tempos, é importante que sejam conduzidas análises considerando parâmetros de saturação e capacidade dos cruzamentos.

Também, pode-se averiguar alterações nos planos semaforicos, com a possível utilização de amarelo piscante (intermitente) em períodos de baixo volume de tráfego, e a possibilidade de sincronização.

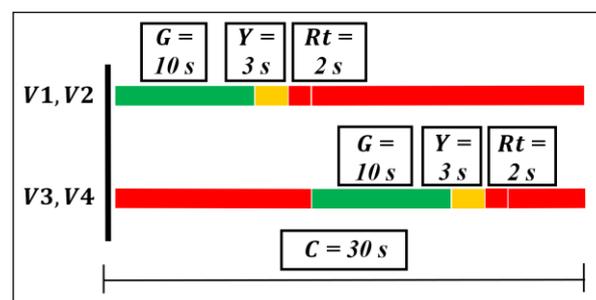


Figura 6. Diagrama de tempos definido pelo novo dimensionamento para os cruzamentos em estudo. **Fonte:** Elaborado pelos autores

4. CONCLUSÃO

A partir do estudo realizado, foi possível avaliar as duas interseções semaforizadas localizadas na cidade de Terra Boa, Paraná, quanto à adequação técnica.

O levantamento *in loco* forneceu informações

importantes em relação à dinâmica da operação semafórica e de tráfego nos dois cruzamentos estudados. Nos cruzamentos 1 e 2, foram diagnosticados volumes horários de 1238 e 1446 v/h, respectivamente.

Depois, dentro do processo de avaliação, foi possível identificar a necessidade de semaforização de ambas as interseções. Em um cruzamento foi identificado tráfego elevado na via principal e reduzido na secundária. No outro, foi observado tráfego médio nas duas vias. Depois, ao se realizar novo dimensionamento, considerando abordagem do ciclo ótimo proposta por Webster (1958)¹⁴, foi obtido ciclo de 30 segundos (19 segundos inferior ao atual).

Aponta-se que, para se corroborar a adequação dos novos tempos à demanda local, é importante que mais análises sejam conduzidas, em especial, em relação à saturação e à capacidade dos cruzamentos.

Considerando que esta pesquisa avaliou as interseções no horário de pico, também, é relevante que outros estudos avaliem a dinâmica de tráfego local em horários diversos. Assim, podem ser explorados planos semaforizados diferenciados, inclusive com a possibilidade de inclusão de fase exclusiva ao pedestre. Entende-se que é fundamental que trabalhos de avaliação sejam conduzidos por pesquisadores e profissionais da área de transportes nos centros urbanos brasileiros. Assim, é possível corroborar a promoção de um trânsito cada vez mais seguro e eficiente ao usuário.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Silva OH, Garcia C, Orioli MA, De Angelis BLD, De Angelis Neto G, Yshiba JK, Ildefonso JS. Análise de capacidade de fluxo de rotatória na cidade de Maringá, Paraná. *Revista Tecnológica*. 2019; 28(1):1-13.
- [2] Aleko DR, Djahel S. An efficient adaptive traffic light control system for urban road traffic congestion reduction in smart cities. *Information*. 2020; 11(2):1-20.
- [3] Wang H, Hu P, Wang H. A genetic timing scheduling model for urban traffic signal control. *Information Sciences*. 2021; 576:475-483.
- [4] Institute of Transportation Engineers - ITE. *Transportation and traffic engineering handbook*. 2ª ed. New Jersey: Prentice-Hall. 1982.
- [5] Transportation Research Board - TRB. *Highway Capacity Manual*. 6ª ed. Washington, DC: Transportation Research Board. 2016.
- [6] Spigolon LG, Bezerra BS, Bastos JT, Ferraz ACP, Battistelle RAG. Comparison between common traffic lights and three types of traffic lights with visual cycle – a safety and capacity analysis. *Journal of Transport Literature*. 2015; 9(4):5-9.
- [7] Eriskin E, Karahancer S, Terzi S, Saltan M. Optimization of traffic signal timing at oversaturated intersections using elimination pairing system. *Procedia Engineering*. 2017; 187:295-300.
- [8] Eom M, Kim B-I. The traffic signal control problem for intersections: a review. *European Transport Research Review*. 2020; 12(50):1-20.
- [9] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. *IBGE Cidades - Terra Boa - PR*. 2024. [acesso 15 abr. 2024]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/terra-boa/panorama>
- [10] Departamento de Trânsito do Paraná - DETRAN/PR. *Frota de veículos cadastrados no estado do Paraná – Fevereiro*. 2024. [acesso 15 abr. 2024]. Disponível em: https://www.detran.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2024-03/02_frota_fevereiro_de_2024.pdf
- [11] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. *Manual de Estudos de Tráfego*. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. 2006.
- [12] GOOGLE Earth Pro. Version 7.3: Google Inc, 2024.
- [13] Ferraz ACP, Fortes FQ, Simões FA. *Engenharia de Tráfego Urbano - Fundamentos Práticos*. São Carlos: EESC-USP. 1999.
- [14] Webster FV. *Traffic Signals Settings*. Road Research Technical Paper. 1958; 39.