



A INFLUÊNCIA DA TEMPORIZAÇÃO SEMAFÓRICA NO COMPORTAMENTO DOS MOTORISTAS

Thiago Soares Figueira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador: Paulo Cezar Martins Ribeiro

Rio de Janeiro
Março de 2012

A INFLUÊNCIA DA TEMPORIZAÇÃO SEMAFÓRICA NO COMPORTAMENTO
DOS MOTORISTAS

Thiago Soares Figueira

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Examinada por:

Prof. Paulo Cezar Martins Ribeiro, PhD.

Prof. Licínio da Silva Portugal, D. Sc.

Prof. Maria Alice Prudêncio Jacques, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2012

Figueira, Thiago Soares

A Influência da Temporização Semafórica no Comportamento dos Motoristas/ Thiago Soares Figueira. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.

XI, 89 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Paulo Cezar Martins Ribeiro

Dissertação (Mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2012.

Referências Bibliográficas: p. 85-87.

1. Temporizador. 2. Semáforo. 3. Motorista. I. Ribeiro, Paulo Cezar Martins. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Paula e Reinaldo, que me ensinaram o quanto estudar é essencial e que o conhecimento ninguém nos tira. Foram meus maiores exemplos, além de sempre exaltarem, orgulhosos, a minha jornada durante o mestrado. Deram apoio incondicional, mesmo à distância e não mediram esforços para que eu pudesse concluir mais essa etapa.

À minha irmã Ana Carolina, tio Renato e Carol, que mais próximos, foram importantíssimos nos últimos anos ajudando a suportar os momentos difíceis.

Aos vários amigos e parentes que estão distantes, mas sempre demonstrando apoio, amizade, carinho e compreensão devido a minha ausência em diversos momentos de suas vidas.

Aos professores Licínio Portugal, que tive o prazer de assistir às suas aulas durante o curso, e Maria Alice por participarem da banca examinadora desse trabalho.

A todos aqueles que conheci no PET entre amigos, colegas de sala, professores e funcionários, que de alguma forma contribuíram para a conclusão do mestrado.

Os últimos agradecimentos e definitivamente não menos importantes, são para dois professores:

- Ao Sérgio Magalhães que me ensinou a gostar de Engenharia de Transportes. Foi fundamental durante a minha graduação, ajudou e incentivou muito no meu ingresso ao mestrado.
- Ao Paulo Cezar, que foi professor, orientador, conselheiro e chefe. Teve muita paciência e compreensão durante a realização e correção dessa dissertação de mestrado. Além de ter contribuído com sua vasta experiência, conhecimento técnico e acadêmico.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

A INFLUÊNCIA DA TEMPORIZAÇÃO SEMAFÓRICA NO COMPORTAMENTO DOS MOTORISTAS

Thiago Soares Figueira

Março/2012

Orientador: Paulo Cezar Martins Ribeiro

Programa: Engenharia de Transportes

Este trabalho tem como objetivo avaliar o impacto do temporizador semafórico no comportamento dos motoristas, em uma aproximação onde existe detecção de avanço ao sinal vermelho com sistema de fiscalização eletrônica. A pesquisa se faz necessária, pois os temporizadores estão sendo instalados na cidade do Rio de Janeiro, em locais onde existe sistema de fiscalização eletrônica. Dessa forma, foram coletados dados em uma interseção antes e depois da instalação de um temporizador. O resultado da análise dos dados apontou para uma redução no número de infrações ao sinal vermelho, além disso, indicou que um elevado número de veículos está freando no final do tempo de verde.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

THE INFLUENCE OF SIGNAL COUNTDOWN ON DRIVERS' BEHAVIOR

Thiago Soares Figueira

March/2012

Advisor: Paulo Cezar Martins Ribeiro

Department: Transportation Engineering

This work aims to evaluate the impact of the signal countdown display on driver behavior, in a link approach that has red-running detection with penalty system. The research turned necessary, because several green signal countdown display devices have been installed in Rio de Janeiro, at intersections with red-running control. This way, data was collected at an intersection, before-and-after a countdown display installation. The results of the data analysis pointed to a reduction of the red-running, also indicated that a high number of vehicles are breaking during the last seconds of green time.

Sumário

Capítulo 1 Introdução	1
1.1 Objetivo	2
1.2 Principais questionamentos que justificam a realização deste trabalho.....	3
1.3 O temporizador semafórico no Brasil	3
1.3.1 Código de Trânsito Brasileiro.....	3
1.3.2 Brasil.....	4
1.3.3 Rio de Janeiro	5
1.4 Estrutura da dissertação	6
Capítulo 2 Conceituação teórica.....	7
2.1 Fluxo de saturação	11
2.2 Capacidade.....	13
2.3 Semáforos	15
2.4 Temporizador semafórico	18
2.5 A Zona de Dilema.....	21
2.6 Red-running e Red-stopping	24
2.7 Conclusões do capítulo	26
Capítulo 3 O temporizador semafórico	27
3.1 Impacto na segurança.....	28
3.2 Impacto na velocidade	36
3.3 Múltiplos impactos.....	39
3.4 Métodos de análise do comportamento do motorista	52
3.4.1 Métodos de avaliação comparativos.....	53
3.4.2 Coleta e armazenamento de dados.....	54
3.5 Conclusões do capítulo	56
Capítulo 4 Obtenção e análise dos dados	60
4.1 Escolha do local de estudo	61

4.2	Escolha do método de coleta de dados	63
4.3	Método de armazenamento de dados desenvolvido.....	64
4.4	Cálculo do tamanho da amostra.....	68
4.5	Resultados obtidos	69
4.5.1	Antes da instalação do temporizador.....	69
4.5.2	Depois da instalação do temporizador.....	73
4.6	Comparação entre os cenários antes e depois do temporizador.....	76
4.7	Conclusões do capítulo	79
	Capítulo 5 Conclusões e recomendações	81
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
	ANEXOS	88

Lista de Figuras

Figura 2.1: Aproximações de uma interseção	8
Figura 2.2: Diagrama espaço/tempo para interseções semaforizadas	11
Figura 2.3: Variação da taxa de descarga de uma fila em um período de verde saturado	12
Figura 2.4: Retângulo equivalente para o cálculo do fluxo de saturação	14
Figura 2.5: Disposição da sequência luminosa do semáforo.....	15
Figura 2.6: Movimentos (1, 2, 3 e 4) em uma interseção	16
Figura 2.7: Diagrama de estágios	17
Figura 2.8: Diagrama de tempos.....	18
Figura 2.9: Temporizador com display eletrônico de <i>LED</i>	19
Figura 2.10: Temporizador com luzes regressivas grandes.....	20
Figura 2.11: Temporizador com luzes regressivas pequenas	20
Figura 2.12: Temporizador com micro luzes <i>LED</i> regressivas	20
Figura 2.13: Temporizador com vermelho regressivo.....	21
Figura 2.14: Variáveis necessárias para o cálculo da zona de dilema em uma interseção	22
Figura 2.15: Zona de dilema.....	23
Figura 3.1: Ciclo dividido em subgrupos	37
Figura 3.2: Distribuição da média de velocidade durante os períodos de transição.....	38
Figura 3.3: Número agregado de veículos entrando após o tempo de verde.....	42
Figura 3.4: Impacto dos temporizadores em cada período.....	49
Figura 4.1: Posicionamento do local de estudo em relação à cidade do Rio de Janeiro	62
Figura 4.2: Imagem de satélite da região do local de estudo.....	62
Figura 4.3: Aproximação da Rua Goiás	63
Figura 4.4: Interface do Microsoft Expression Encoder 4.....	64
Figura 4.5: Planilha Matriz na Interface do Excel.....	66

Figura 4.6: Planilha Fluxo	67
Figura 4.7: Planilha Estatística	67
Figura 4.8: Frota de veículos discriminada por categoria	70
Figura 4.9: Histograma da média de fluxo de veículos a cada 5 segundos (sem temporizador)	71
Figura 4.10: Número de veículos parando nestes instantes durante uma hora.....	72
Figura 4.11: Utilização do tempo de amarelo e dos primeiros segundos de vermelho durante uma hora	72
Figura 4.12: Frota de veículos discriminada pela categoria	74
Figura 4.13: Histograma da média de fluxo de veículos a cada 5 segundos (com temporizador)	74
Figura 4.14: Número de veículos parando nestes instantes durante uma hora.....	75
Figura 4.15: Utilização do tempo de amarelo e dos primeiros segundos de vermelho durante uma hora	75
Figura 4.16: Ângulo de filmagem para captação do instante de frenagem	76
Figura 4.17: Diagrama espaço/tempo para o cálculo do atraso.....	77

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Fator de equivalência para diversos tipos de veículos.....	9
Tabela 2.2: Fator de equivalência para diversos tipos de veículos.....	10
Tabela 3.1: Violação média de sinal vermelho nos quatro dias pesquisados para cada mil veículos.....	34
Tabela 3.2: Incidência média de <i>red-stopping</i> a cada mil veículos para cada faixa estudada	34
Tabela 3.3: Velocidade média em diferentes pontos da via	41
Tabela 3.4: Possível efeito dos temporizadores nos variados períodos do ciclo.....	46
Tabela 3.5: Valores para as principais variáveis de tráfego, com e sem temporizador..	48
Tabela 3.6: Valores para as variáveis estatísticas, com e sem temporizador	48
Tabela 3.7: Valores para as variáveis de violação.....	48
Tabela 3.8: Resultados obtidos em três cidades	52
Tabela 3.9: Resumo dos trabalhos da revisão bibliográfica	59
Tabela 4.1: Plano semafórico antes do temporizador.....	69
Tabela 4.2: Quantidade de veículos para cada tipo na interseção	70
Tabela 4.3: Plano semafórico depois do temporizador.....	73
Tabela 4.4: Quantidade de veículos para cada tipo na interseção	73
Tabela 4.5: Diferença numérica e em porcentagem do n° de veículos	78
Tabela 4.6: Diferença numérica e em porcentagem das variáveis	78
Tabela 4.7: Proporção de incidência do <i>red-stopping</i>	79
Tabela 4.8: Proporção de veículos e diferença em porcentagem para o fluxo em cada parte do ciclo	79

Capítulo 1

Introdução

As interseções têm um importante papel na eficiência do funcionamento de uma malha viária. Naquelas controladas por semáforos, os veículos vêm de diversas direções e compartilham o mesmo espaço em intervalos de tempo diferentes. Para que haja uma harmonia entre os fluxos e a sua dispersão seja eficiente, cada vez mais a sincronização semafórica e o controle de tráfego por área são estudados e aperfeiçoados.

Entretanto os congestionamentos ainda perduram não só nas grandes cidades, mas também nas de pequeno e médio porte. Com o objetivo de diminuir filas, atrasos e eliminar a zona de dilema nas interseções e conseqüentemente, o número de acidentes, algumas cidades brasileiras adotaram o uso de temporizadores semafóricos, funcionando no sistema de contagem regressiva, seja ela no verde, no vermelho, ou ambos, dependendo do objetivo desejado.

Ao se deparar com o amarelo na aproximação os motoristas devem decidir se atravessam a interseção ou param. O fenômeno acontece individualmente em cada motorista mediante condições específicas de velocidade e distância da linha de retenção. Havendo zona de dilema, não será possível atravessar a tempo e nem parar. Dessa forma, quando dois motoristas consecutivos tomam decisões distintas durante o amarelo, uma colisão traseira pode acontecer.

O Código de Trânsito Brasileiro não prevê semáforos com temporizador. No entanto, em 1996, uma decisão do Conselho Nacional de Trânsito autorizou em todo território nacional a instalação de semáforos com informação auxiliar de tempo.

Com a autorização, diversas cidades implantaram os temporizadores semafóricos. No Rio de Janeiro, foi promulgada a Lei Estadual nº 5.818 (2010) que determina a instalação de temporizadores em sinais que possuem fiscalização de avanço ao sinal vermelho. Dessa forma a Companhia de Engenharia de Tráfego do Rio de Janeiro (CET-Rio) implantou temporizadores semafóricos em alguns bairros da cidade como, Barra da Tijuca, Engenho de Dentro e Campo Grande.

1.1 Objetivo

O principal objetivo deste trabalho é avaliar se o temporizador semafórico influencia o comportamento dos motoristas. Para a realização deste estudo, foi feita uma análise de variação dos dados coletados “antes e depois” da instalação do temporizador em uma aproximação.

A aproximação possuía um grupo focal convencional, que posteriormente foi substituído por um grupo focal com informador auxiliar de tempo (temporizador), indicando os 10 últimos segundos do tempo de verde. Cabe ressaltar que esta interseção possui sistema detector de avanço ao sinal vermelho.

1.2 Principais questionamentos que justificam a realização deste trabalho

Apesar de a concepção do temporizador ser antiga, o primeiro foi implantando em uma via pública por volta de 1920 (LUM e HALIM, 2006), esse equipamento vem sendo estudado apenas recentemente no Brasil e no mundo. Consequentemente poucos trabalhos surgiram para esclarecer algumas incertezas:

- A implantação do temporizador contribui para o aumento de capacidade?
- Foi realizado algum estudo “antes e depois” da instalação de temporizador em local com detector de avanço do sinal vermelho?
- A implantação do temporizador reduz o número de acidentes?
- O temporizador auxilia na transição do verde para o amarelo/vermelho evitando que motoristas passem sem intenção com o sinal vermelho?

1.3 O temporizador semafórico no Brasil

1.3.1 Código de Trânsito Brasileiro

No Código de Trânsito Brasileiro (CTB, 2008) com as resoluções complementares do CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito) não existe qualquer menção a nenhum tipo de temporizador.

O Parágrafo 2º do Artigo 80, do CTB (2008), estabelece que “O CONTRAN poderá autorizar, em caráter experimental e por período prefixado, a utilização de sinalização não prevista neste Código”.

Em junho de 1996, respondendo à solicitação de uma empresa, o CONTRAN decidiu aprovar a instalação do “Semáforo Convencional com Informação Auxiliar de Tempo” em todo território nacional, a critério e sob a responsabilidade dos respectivos órgãos de trânsito com circunscrição sobre as vias (Anexo II).

1.3.2 Brasil

De acordo com SPIGOLON (2010), as prefeituras de Vila Velha (ES) e Serra (ES) alegam que os temporizadores contribuíram para a redução de filas e tempo de espera dos motoristas nas interseções. A prefeitura de Vitória (ES) retirou os temporizadores, alegando que os equipamentos contribuem para aumentar o índice de acidentes (SPIGOLON, 2010). Em Fortaleza (CE), os temporizadores não contribuíram para redução de acidentes e geraram dúvidas de interpretação entre os motoristas. Na cidade de Curitiba (PR) foram instalados temporizadores em 13 semáforos e, após 18 meses, houve um aumento de 64,3% no número de acidentes, de 46,27% no número de vítimas e crescimento em 150% de mortos no local.

Em Sergipe, a prefeitura de Aracaju implantou em 2008 (nos semáforos equipados com fiscalização eletrônica do avanço ao sinal vermelho) grupos focais de *LED* equipados com temporizador de contagem regressiva no tempo de verde e de vermelho. O temporizador funciona através do apagar de pequenas luzes no lado direito da sequência de focos luminosos (Prefeitura de Aracaju, 2008a). A prefeitura registrou na época queda de 30% nas multas de trânsito.

Em 2006, na cidade de Rondonópolis (MT), o DETRAN disponibilizou 15 semáforos com temporizador a serem distribuídos entre duas importantes avenidas que cortam o centro da cidade. Na época, em matéria publicada pela Secretaria Municipal de Transporte, Trânsito e Desenvolvimento Urbano (SETRAT, 2006), o então Secretário de Trânsito e Transportes Alexandre Torres, afirmou que os equipamentos eram os mais modernos do Estado e que a nova sinalização “acaba com a insegurança no trânsito tanto para os condutores de veículos quanto para os pedestres”.

Segundo matéria publicada pelo Jornal da Tarde, em São Paulo doze semáforos que indicam quanto tempo ficam abertos e fechados foram testados pela Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET-SP) em abril de 2011. O objetivo da Prefeitura foi verificar se os aparelhos ajudam a reduzir o número de acidentes de trânsito na capital (JT, 2011). Além das três lâmpadas tradicionais, eles possuem cinco luzes vermelhas e cinco verdes de tamanho menor nas laterais. As lâmpadas verdes vão apagando, uma a uma, à medida que o semáforo se aproxima do momento da troca para o amarelo. A CET-SP informou que os 12 cruzamentos foram escolhidos pela “incidência de acidentes”. Além do temporizador, foram instalados radares de invasão

de faixa de pedestres e de passagem no semáforo vermelho (JT, 2011). Não foram divulgados pelo jornal os resultados do estudo.

Segundo a Perkons, empresa de tecnologia de trânsito que vende e pesquisa esse tipo de tecnologia, o tráfego deve ser o principal motivo para a instalação do equipamento. O emprego do temporizador deve ser analisado caso a caso, pois quando apresentado ao motorista um display com números decrescentes há mais uma informação para ser processada e isso pode implicar num déficit de atenção aos outros componentes do trânsito (JT, 2011).

Semáforos com contagem regressiva são usados há cerca de dez anos em Diadema, na Grande São Paulo, onde existem 50 temporizadores e na vizinha São Caetano do Sul, que possui 52 destes, há seis anos (JT, 2011). Nenhum estudo ou levantamento foi feito após a instalação dos temporizadores em Diadema. Em São Caetano do Sul, os temporizadores foram estudados por SPIGOLON (2010) e os resultados serão apresentados no Capítulo 3.

1.3.3 Rio de Janeiro

Em setembro de 2010, foi posta em vigor a Lei Estadual nº 5.818 (Anexo I) que havia sido vetada pelo governador Sérgio Cabral, que teve seu veto derrubado pela Assembléia Legislativa. A lei determina que os semáforos que têm equipamentos capazes de multar o avanço ao sinal vermelho agora devem funcionar juntamente com um temporizador digital. Atualmente 108 semáforos possuem detecção de avanço ao sinal vermelho (O GLOBO, 2011b). Ainda segundo a publicação, a Procuradoria Geral do Município elaborou parecer contra a lei em 2010, sem sucesso.

A somatória das infrações de avanço de sinal flagradas pelos radares e agentes de trânsito resultou em 236.934 multas (18,65% do total de infrações) no período de janeiro a julho de 2011, sendo os agentes de trânsito da Guarda Municipal responsáveis por apenas 12.202 multas. Levando em consideração todas as multas aplicadas no município do Rio de Janeiro neste período, o avanço de sinal perde em quantidade apenas para os veículos flagrados trafegando em velocidade acima do permitido, quase 600 mil multas (O GLOBO, 2011b).

A CET-Rio começou a implantar, em fevereiro de 2011, o temporizador em alguns sinais da cidade como na Barra da Tijuca, Marechal Hermes, Campinho e, em maio, na

Rua Goiás, no Méier, entre outros. Mas em bairros como Copacabana, Botafogo e Ipanema, que possuem semáforo com fiscalização eletrônica de avanço ao sinal vermelho, o temporizador semafórico não foi implantado (O GLOBO, 2011a). Os temporizadores que já estão em funcionamento ativam a contagem regressiva apenas nos últimos 10 segundos do tempo de verde.

1.4 Estrutura da dissertação

Este trabalho conta com cinco capítulos, descritos a seguir:

O Capítulo 1 trata da introdução, objetivos, justificativa, situação atual do temporizador no Brasil e a estrutura da dissertação.

No Capítulo 2, é apresentada a conceituação teórica, abordando alguns conceitos para um melhor entendimento do trabalho, tais como fluxo de saturação, capacidade, tipos de temporizador, *red-running* e *red-stopping*.

O Capítulo 3 descreve diversos estudos sobre os impactos do temporizador, as metodologias utilizadas em outras pesquisas, as variáveis utilizadas para o estudo dos temporizadores e os resultados encontrados pelos autores.

No Capítulo 4, consta a metodologia de avaliação do temporizador semafórico utilizada, a análise dos resultados obtidos e o cálculo da amostra.

Por fim, no Capítulo 5, são feitas as conclusões e recomendações.

Capítulo 2

Conceituação teórica

Neste capítulo serão descritos alguns conceitos, principalmente de engenharia de tráfego, que são essenciais para o entendimento do trabalho.

- Fluxo: volume de veículos passando por um determinado ponto da via na mesma direção em uma quantidade de tempo (WEBSTER e COBBE, 1966).
- Ciclo: sequência completa de indicações luminosas do semáforo.
- Verde efetivo: a soma dos períodos de verde e amarelo, menos o tempo perdido (WEBSTER e COBBE, 1966).
- *Headway*: o tempo (em segundos) entre dois veículos sucessivos, tomando o mesmo ponto de referência na via e no veículo.
- Linha de retenção ou parada: linha de cor branca pintada no pavimento anteriormente à faixa de pedestre, que serve como uma referência para que os veículos aguardem o término da travessia de pedestres, ficando a uma distância mínima e segura dos pedestres que atravessam na faixa. De acordo com o CONTRAN (2007) a distância mínima entre a linha de retenção e a faixa de pedestres é de 1,60 metros. Ultrapassar a linha de retenção durante o tempo de verde dos pedestres é considerado uma infração ao Código de Trânsito Brasileiro.
- Aproximação: os trechos de uma via que convergem para uma determinada interseção são denominados de “aproximações” do cruzamento (DENATRAN, 1984), a Figura 2.1 ilustra as aproximações de duas vias de mão única (com um movimento cada).

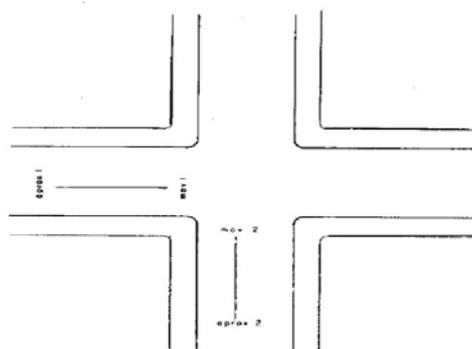


Figura 2.1: Aproximações de uma interseção

FONTE: DENATRAN (1984)

- UCP: Unidade de Carros de Passeio, ou carros de passeio equivalentes, é um conceito baseado em observações das condições de tráfego de vias e rodovias onde a presença de veículos pesados como ônibus, caminhões e reboques, entre outros, degradam as condições de tráfego da via. A degradação inclui filas e *gaps* maiores entre os veículos pesados (HCM, 2000). A ocupação e a velocidade de outros veículos mais rápidos em faixas adjacentes podem ficar comprometidas com a presença de veículos pesados que são maiores e se movem mais lentamente. Em interseções semaforizadas, o tempo perdido no início do verde geralmente é maior dentre esses veículos.

Além disso, o espaço físico utilizado pelos veículos pesados é muito maior, usualmente de duas a três vezes maiores do que o que um carro de passeio ocupa. Dessa forma para permitir uma análise mais precisa do tráfego em determinada via, nos casos em que a quantidade de veículos pesados é relevante, é necessário que os veículos pesados sejam convertidos em UCP (HCM, 2000).

A conversão resulta em um valor único para cada tipo de veículo e o valor de UCP representa o impacto causado pelo fluxo de uma quantidade X de carros de passeio na via. Existem métodos variados de cálculo de UCP e também alguns que pré estabelecem o valor de UCP para cada tipo de veículo, que varia muito entre os métodos. Ao contrário dos veículos pesados, os veículos mais leves como as motos e bicicletas causam menos impacto no tráfego em relação a um carro de passeio, como pode ser visto na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Fator de equivalência para diversos tipos de veículos

Tipo de veículo	Fator de equivalência
Caminhão médio ou pesado	1,75
Ônibus	2,25
Caminhão pequeno e compacto ou van	1,0
Motocicleta	0,33
Bicicleta	0,2

FONTE: WEBSTER e COBBE (1966)

A Tabela 2.2 apresenta a equivalência adotada pelo DNIT (2006).

Tabela 2.2: Fator de equivalência para diversos tipos de veículos

Tipo de veículo	Fator de equivalência
Carro de passeio	1,0
Ônibus e caminhões convencionais	1,5
Ônibus e caminhões articulados	2,0
Motocicleta	1,0
Bicicleta	0,5

FONTE: DNIT (2006)

- Atraso: para o cálculo do atraso dos veículos em uma determinada via, WEBSTER (1957) desenvolveu um método de simulação através de computação para interseções semaforizadas com tempo de ciclo fixo.

O método foi desenvolvido sob algumas considerações como:

- Uma interseção semaforizada com tempo fixo pode ser estudada separadamente;
- O tráfego de veículos se aproxima da interseção de forma aleatória;
- Os veículos têm uma taxa de descarga constante, com um fluxo de saturação também constante, sendo que durante o tempo de vermelho nenhum fluxo passa pela interseção; e
- O atraso é definido mais claramente na Figura 2.2, na qual a posição de um veículo ao longo da via é plotada em relação ao tempo.

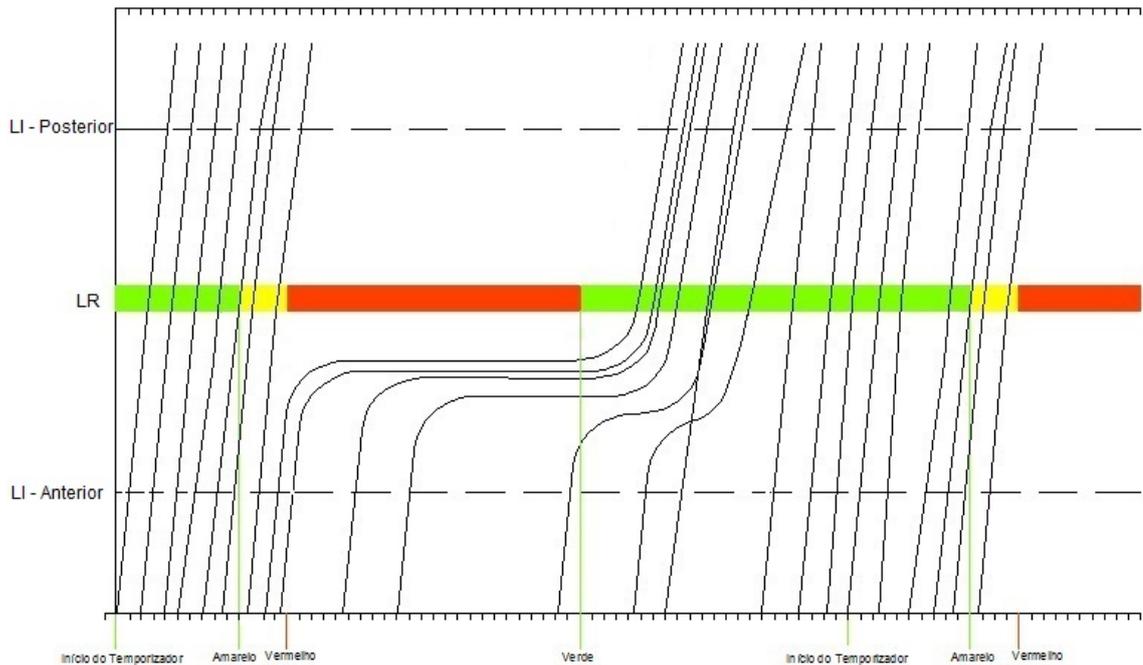


Figura 2.2: Diagrama espaço/tempo para interseções semaforizadas

FONTE: WEBSTER (1957)

A linha imaginária definida como “LI - Anterior”, da Figura 2.2, é o ponto imediatamente anterior à área de influência da interseção e a linha definida como “LI - Posterior” é a distância que um veículo, após cruzar a interseção, leva para atingir uma velocidade regular (WEBSTER, 1957), ou seja, uma determinada velocidade praticada pelos veículos em regime de fluxo de saturação nas condições normais de tráfego. “LR” (Figura 2.2) é a simplificação de Linha de Retenção.

Dessa forma o atraso é definido através da diferença entre: (a) o tempo gasto por um veículo para trafegar desde o “LI - Anterior” até logo após o “LI - Posterior”, cruzando completamente a interseção e (b) o tempo que hipoteticamente seria necessário para que a mesma distância fosse percorrida, caso a interseção não existisse, na velocidade padrão da via (WEBSTER, 1957).

2.1 Fluxo de saturação

Quando o tempo de verde começa, os veículos levam um tempo para partir e acelerar até atingir uma velocidade normal, mas após alguns segundos a fila tem uma taxa de descarga mais constante, que é o fluxo de saturação (Figura 2.3). O fluxo de saturação é o fluxo que poderia ser obtido se houvesse uma chegada contínua de veículos e se fosse

dado a eles 100% de tempo de verde. Pode ser representado em veículos por hora de tempo de verde (WEBSTER e COBBE, 1966).

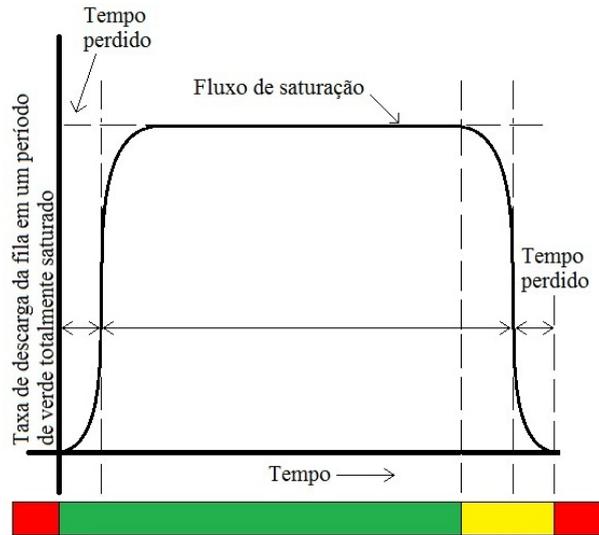


Figura 2.3: Variação da taxa de descarga de uma fila em um período de verde saturado
 FONTE: WEBSTER (1957)

Como pode ser visto na Figura 2.3, a taxa de fluxo média é menor durante os primeiros segundos do verde (enquanto os veículos ainda aceleram para atingir velocidade) e em todo o amarelo (veículos optando por parar ou passar). Dessa forma é mais conveniente denominar o período que é aproveitado no verde e no amarelo por verde efetivo, quando o fluxo se torna taxa de saturação. Já o tempo perdido é o tempo em que nenhum fluxo ocorreria.

Portanto o somatório do período de verde (g) e amarelo (a) pode ser substituído pelo somatório do verde efetivo (g_{ef}) mais o tempo perdido (l). Assim o produto do verde efetivo pelo fluxo de saturação (s) é igual ao fluxo de veículos descarregados a partir de uma determinada fila (b), em média, em um período saturado de verde, ou seja, um período em que a fila nunca acaba (WEBSTER, 1957). As equações a seguir exemplificam o cálculo do fluxo de saturação.

$$g + a = g_{ef} + l \quad (2.1)$$

$$b = g_{ef} \cdot s \quad (2.2)$$

em que

g : tempo de verde (s);

a : tempo de amarelo (s);

g_{ef} : verde efetivo (s);

l : tempo perdido (s);

b : fluxo de veículos descarregados de uma fila (veículos); e

s : fluxo de saturação (veículos/segundo de verde efetivo).

2.2 Capacidade

Segundo o HCM (2000), a capacidade é a taxa máxima de veículos ou pessoas que podem passar por um determinado ponto ou segmento uniforme de uma faixa ou rodovia, durante determinado período de tempo. A capacidade de uma via depende principalmente dos seguintes fatores: geometria, tráfego, ambiente e controle. Geralmente é expressa em veículos por hora, carros de passeio por hora ou pessoas por hora.

O HCM (2000) apresenta um conceito de condições fundamentais para que a capacidade da aproximação de uma interseção atinja seu valor máximo. Se uma interseção não possuir pelo menos essas características sua capacidade será reduzida.

Condições fundamentais:

- Boas condições climáticas;
- Pavimento de qualidade;
- Usuários familiarizados com o local;
- Faixas com largura de 3,66 metros;
- Pista em nível;
- Estacionamento proibido ao longo do meio fio próximo as aproximações;
- Apenas carros de passeio trafegando;
- Nenhum ponto de parada de ônibus nas faixas de tráfego;
- A interseção não deve estar localizada em uma área central/de negócios; e
- Sem a presença de pedestres.

Em uma interseção ou aproximação semaforizada, a capacidade depende do tempo de verde disponível para o tráfego e que passe pela linha de retenção a maior quantidade de veículos possível. A Equação 2.3 define a capacidade segundo WEBSTER e COBBE (1966).

$$\text{capacidade} = \frac{g_{\text{ef}} \cdot s}{c} \quad (2.3)$$

em que capacidade: veículos por hora na aproximação (veíc/h);

g_{ef} : verde efetivo (s);

s : fluxo de saturação (veíc/h); e

c : tempo de ciclo (s).

Segundo WEBSTER e COBBE (1966), a capacidade é diretamente proporcional ao verde efetivo. Em termos gráficos significa que a curva da Figura 2.3 pode ser substituída por um retângulo (Figura 2.4) ou uma área equivalente, na qual a altura do retângulo é igual ao fluxo de saturação médio e a base do retângulo é o verde efetivo. O tempo perdido é dado pela diferença entre o verde efetivo e a somatória do tempo de verde e de amarelo, sendo assim possível calcular o fluxo de saturação a partir do retângulo aproximado da Figura 2.4.

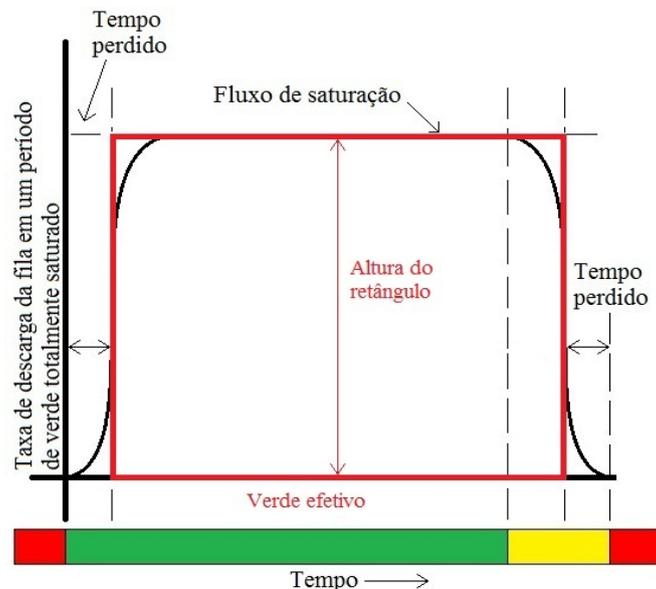


Figura 2.4: Retângulo equivalente para o cálculo do fluxo de saturação

FONTE: WEBSTER e COBBE (1966)

Como a capacidade não se limita apenas ao espaço físico de uma via, mas também ao tempo disponível para os movimentos (HCM, 2000), a capacidade em uma interseção como um todo depende também de um controle de tráfego harmonioso, de maneira que a capacidade de nenhuma das aproximações fique comprometida.

2.3 Semáforos

O semáforo é um dispositivo de controle de tráfego que, através de indicações luminosas transmitidas para motoristas e pedestres, alterna o direito de passagem de veículos e/ou pedestres em interseções de duas ou mais vias. Os focos luminosos são redondos e no Brasil as cores sequencialmente utilizadas são o verde, amarelo e vermelho (DENATRAN, 1984).

O verde indica permissão de passagem, o vermelho indica proibição de passagem e o amarelo é uma situação intermediária entre movimento e parada, quando os motoristas são alertados sobre a proximidade do vermelho (DENATRAN, 1984) e devem julgar se é mais coerente cruzar a interseção ou parar.

No Capítulo 4 do Anexo II do CTB (2008) encontram-se todas as disposições quanto à sinalização semafórica, algumas descritas a seguir.

O semáforo destinado aos veículos deve ter o foco circular com lentes de dimensão variando entre 200 e 300 milímetros. O acendimento das indicações luminosas deve ser na sequência verde, amarelo, vermelho, retornando ao verde. Por segurança recomenda-se o uso de dois conjuntos de grupos focais por aproximação. Os focos luminosos devem estar dispostos como na Figura 2.5 (CTB, 2008). Existe ainda a direção controlada, faixa reversível, direção livre, semáforo de pedestres, sinalização semafórica de advertência e sinalização de obras entre outras.



Figura 2.5: Disposição da sequência luminosa do semáforo

FONTE: CTB (2008)

Em relação ao controle e operação, dois tipos de semáforos são mais comuns, com tempo fixo e os sinais atuados (inteligentes) que variam a duração de uma fase ou ciclo conforme o comportamento do tráfego em tempo real. No Brasil, os sinais com tempo fixo são maioria, os tempos de verde e do ciclo devem ser predeterminados. É um equipamento relativamente mais simples e barato, mas como são menos flexíveis em relação ao tempo de ciclo, é necessário cuidado na sua regulação (WEBSTER e COBBE, 1966).

Os semáforos comuns ou convencionais podem ser equipados com equipamentos que trocam o ciclo conforme o horário, apenas com o objetivo de cobrir variações no fluxo de veículos, ou até mesmo garantir a segurança durante a noite quando o movimento é menor com a utilização do amarelo intermitente (WEBSTER e COBBE, 1966).

A sequência de indicação luminosa de um semáforo (verde, amarelo, vermelho e novamente verde), aplicada a uma ou mais correntes de tráfego ou movimento (Figura 2.6), é denominada fase (DENATRAN, 1984).

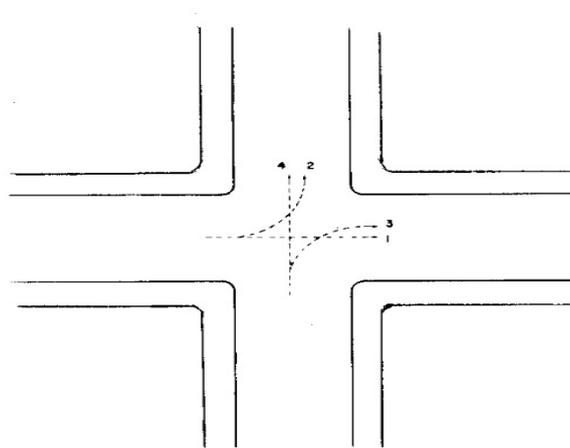


Figura 2.6: Movimentos (1, 2, 3 e 4) em uma interseção

FONTE: DENATRAN (1984)

Denomina-se estágio o intervalo de tempo em que uma ou mais correntes de tráfego e/ou pedestres têm simultaneamente o direito de passagem. Durante esse período, as indicações luminosas do cruzamento como um todo não mudam de aspecto (DENATRAN, 1984). O estágio compreende o tempo de verde e de entreverdes que o segue.

Para o cálculo de um determinado plano semafórico, o manual de semáforos do DENATRAN (1984) recomenda a utilização de um diagrama de estágios e o diagrama de tempos.

O diagrama de estágios (Figura 2.7) é uma representação esquemática da sequência de movimentos permitidos e proibidos para cada intervalo do ciclo. No mesmo estágio não podem existir movimentos conflitantes. Para a aproximação anterior da Figura 2.6, o diagrama de estágios padrão é:

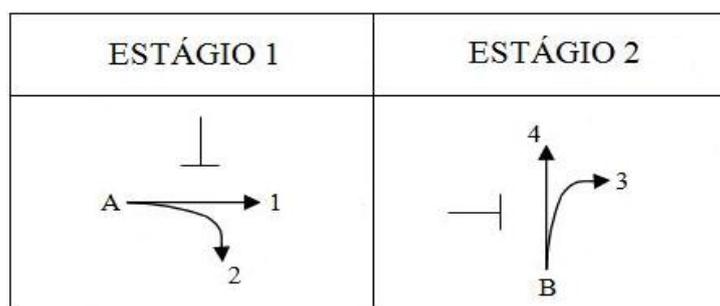


Figura 2.7: Diagrama de estágios

FONTE: DENATRAN (1984)

O tempo de entreverdes decorre entre o final do verde de um determinado estágio, que está perdendo o direito de passagem, e o início do verde do próximo estágio, que está ganhando. No Brasil, normalmente, o entreverdes é igual geralmente no tempo de amarelo mais o vermelho geral. Já o vermelho geral (total) é o intervalo de tempo entre o final do amarelo de um estágio e o início do verde do próximo estágio. O vermelho geral é utilizado para garantir uma maior segurança na limpeza dos veículos no cruzamento e/ou criar um tempo especial para travessia de pedestres (DENATRAN, 1984).

O diagrama de tempos associa os instantes de mudança dos estágios com a sequência de cores e duração das fases. Aplicando-se a definição de estágio no diagrama de tempos (Figura 2.8) para a aproximação anterior como exemplo, percebe-se que existem quatro intervalos de tempo, em que uma dada situação semafórica permanece inalterada. Durante o intervalo 1, os focos do grupo 1 indicam luz verde e os do grupo 2 luz vermelha, os intervalos 2 e 4 representam a situação de entreverdes, dessa forma a interseção exemplificada possui duas fases e dois estágios (DENATRAN, 1984).

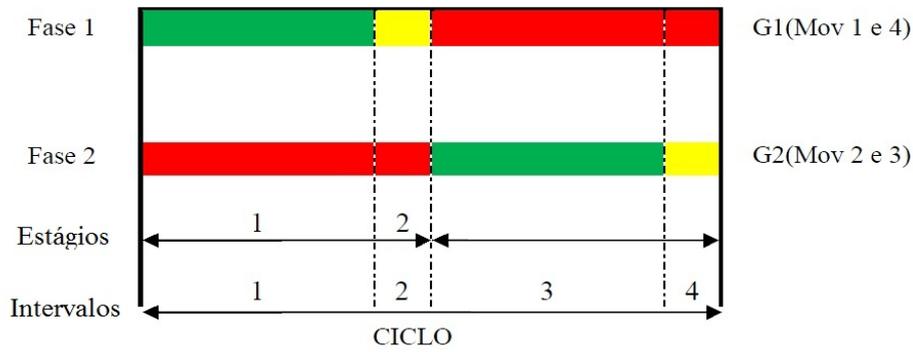


Figura 2.8: Diagrama de tempos

Depois de definido o diagrama de estágios e o diagrama de tempos, é possível calcular o ciclo mínimo de uma interseção semaforizada. Para exemplificar o processo de determinação do tempo de ciclo é apresentada a Equação 2.4:

$$C_{\min} = \frac{T_p}{1-Y} \quad (2.4)$$

em que

C_{\min} : ciclo mínimo (s);

T_p : tempo perdido total (s); e

Y : somatória das taxas de ocupação críticas de cada fase do cruzamento (y_i).

A taxa de ocupação crítica (y_i) de cada aproximação é dada através da divisão do fluxo horário de cada aproximação pelo fluxo de saturação da via ($y_i = \text{fluxo horário}/\text{fluxo de saturação}$). O verde efetivo de cada aproximação ou fase é obtido através da multiplicação da taxa de ocupação crítica (y_i) pelo ciclo obtido ($g_{ef} = y_i \cdot C$), (DENATRAN, 1984).

Com todas estas variáveis apresentadas neste item é possível calcular o plano semaforico de uma interseção isolada. No caso de interseções mais complexas ou de sincronização semaforica é necessário um esforço muito maior por parte do programador.

2.4 Temporizador semaforico

O temporizador é um equipamento que funciona integrado com o semáforo e tem a função de informar, por meio de contagem regressiva, o tempo restante de determinada etapa do ciclo.

Inicialmente o temporizador surgiu como uma alternativa para alertar os motoristas sobre as mudanças do sinal e evitar que fossem pegos de surpresa com as rápidas modificações de direito de passagem. O seu princípio leva em consideração a dedução lógica de que, se um motorista tem uma informação avançada, as suas tomadas de decisão serão mais fáceis (LUM e HALIM, 2006).

Segundo NEWTON *et al.* (1997), a idéia de alerta aos motoristas não é nova. Ao longo do tempo diversos pesquisadores experimentaram diferentes tipos de dispositivos e alternativas para o problema, como, por exemplo, o verde piscante, verde e amarelo, vermelho piscante, vermelho e amarelo, entre outros.

Por volta de 1920, já era utilizado um dispositivo em que cinco lâmpadas se apagavam sucessivamente conforme passasse o tempo de verde do semáforo e posteriormente também foi utilizado um temporizador que simulava o formato de um relógio. Todos esses dispositivos foram testados em diversos países, mas em sua maioria posteriormente abandonados à medida que ficava provado serem ineficazes no aumento da segurança nas interseções (LUM e HALIM, 2006). Entretanto algumas cidades ainda insistem na sua utilização.

Na maioria dos modelos de temporizador atualmente utilizados, a contagem regressiva é feita através de um display eletrônico de *LED* (*Light Emitting Diode*), no qual a cor deve corresponder com a que é exibida pelo grupo focal semafórico. A contagem também pode ser realizada através do apagar de outras luzes. Alguns exemplos de temporizadores podem ser visualizados a seguir (Figura 2.9, Figura 2.10, Figura 2.11, Figura 2.12 e Figura 2.13).



Figura 2.9: Temporizador com display eletrônico de *LED*



Figura 2.10: Temporizador com luzes regressivas grandes
FONTE: SPIGOLON (2010)



Figura 2.11: Temporizador com luzes regressivas pequenas
FONTE: UOL (2011)

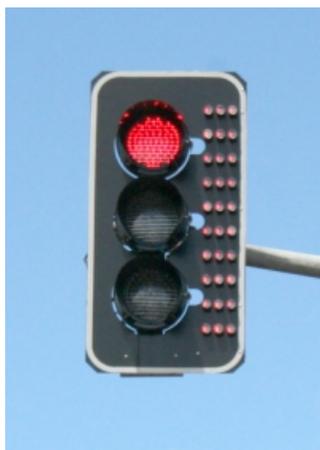


Figura 2.12: Temporizador com micro luzes *LED* regressivas
FONTE: Prefeitura de Aracaju (2008b)



Figura 2.13: Temporizador com vermelho regressivo

FONTE: Google Imagens (2011)

No Brasil, o semáforo equipado com temporizador também é conhecido como semáforo inteligente, semáforo com informador de tempo restante, semáforo regressivo, semáforo com *timer*, entre outros termos. Na literatura internacional, o temporizador é discriminado de acordo com o período do ciclo em que ele é empregado. Quando utilizado durante o verde é chamado de **“Green Signal Countdown Display” (GSCD)** ou *“Display de Temporizador no Tempo de Verde”*. E quando utilizado durante o vermelho é chamado de **“Red Signal Countdown Display” (RSCD)** ou *“Display de Temporizador no Tempo de Vermelho”*.

O temporizador sempre tem a função de informar o tempo restante em determinado período de tempo, seja no verde ou no vermelho. Porém em cada um destes períodos, quando utilizado, ele afeta o motorista de diferentes formas. No tempo de verde o temporizador afeta o motorista na transição do estado móvel para o imóvel, enquanto no tempo de vermelho a situação se inverte, o temporizador afeta na transição do estado imóvel para o móvel. Consequentemente, os motoristas encaram as duas diferentes situações, dessa forma cada período deve ser analisado separadamente (CHIOU e CHANG, 2010)

Neste trabalho ainda será tratada a relação do motorista com o temporizador e a possível influência que o equipamento causa.

2.5 A Zona de Dilema

O fenômeno *‘yellow interval dilemma’*, também conhecido como *‘Zona de Dilema’*, acontece quando, depois de iniciado o tempo de amarelo, um determinado motorista não conseguirá parar com segurança nem cruzar a interseção antes que o tempo de amarelo

(ou amarelo mais o vermelho geral) acabe. A zona de dilema é um claro exemplo da incompatibilidade das regras criadas pelo homem com a física, atrelada ao comportamento humano (LIU *et al.*, 1996).

Em certas circunstâncias, os motoristas poderiam evitar a zona de dilema acelerando o veículo até o limite máximo permitido ou acima deste, porém seria muito perigoso transformar o tempo de amarelo em um período que devem “acelerar com atenção” (LIU *et al.*, 1996). Dessa forma o trabalho apresentado pelos autores determina um método de cálculo do tempo de amarelo a fim de eliminar a zona de dilema. Para exemplificar e apresentar equações que ajudam a entender a zona de dilema, a Figura 2.14 apresenta algumas das variáveis adotadas.

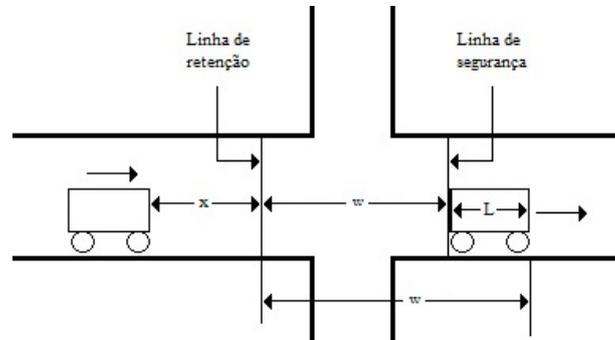


Figura 2.14: Variáveis necessárias para o cálculo da zona de dilema em uma interseção

FONTE: LIU *et al.* (1996)

Considerando que um motorista que se move em velocidade constante v_0 a uma distância x da linha de retenção e com aceleração constante a_+ (caso o motorista avance o cruzamento) ou desaceleração ‘ a ’ caso decida frear (Equação 2.5). Os tempos de reação para aceleração e desaceleração são δ_+ e δ , respectivamente. A largura da interseção é representada por ‘ w ’ e o comprimento do veículo por ‘ L ’, o tempo de amarelo é τ (LIU *et al.*, 1996).

$$x - v_0 \delta \geq \frac{v_0^2}{2a} \quad (2.5)$$

A Equação 2.5 retrata a situação de parada, o lado esquerdo é a distância para parada disponível e o lado esquerdo é a distância real de frenagem para uma determinada desaceleração. Caso seja possível para o motorista cruzar a interseção antes do vermelho, então o cálculo se dá pela Equação 2.6.

$$x + w + L - v_0 \delta_+ \leq v_0 (\tau - \delta_+) + \frac{1}{2} a_+ (\tau - \delta_+)^2 \quad (2.6)$$

O lado esquerdo é a distância a ser percorrida para cruzar a interseção e o lado direito é a distância real que deve ser percorrida sob certas circunstâncias. Para definir uma distância crítica de parada (frenagem) x_c foi assumida uma desaceleração máxima aceitável 'a' que geralmente é adotada igual a 10pés/s^2 ou $3,05\text{m/s}^2$. Os autores ressaltaram que x_c é independente do tempo de amarelo. Admitindo que um veículo cruze a interseção em uma velocidade constante, ele vai conseguir atingir a linha de segurança se:

$$v_0 \tau \geq x_0 + W \quad (2.7)$$

Na Equação 2.7, x_0 é a distância máxima que um veículo pode estar da linha de retenção no começo do amarelo e ainda assim pode cruzar a interseção e $W = w + L$. Se $x_0 \geq x_c$, o motorista pode parar seu veículo com segurança. Entretanto se $x_0 \leq x_c$ e o veículo se encontrar na situação em que $x_0 < x_c$, o motorista não conseguirá nem parar antes da linha de retenção nem cruzar a interseção antes do término do amarelo. Este poderia até acelerar, mas possivelmente violará o limite de velocidade. Assim o intervalo $x_0 < x < x_c$ é a zona de dilema, que pode ser visualizado na Figura 2.15.

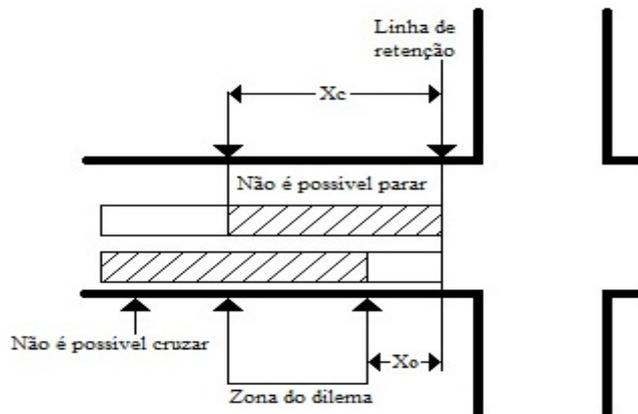


Figura 2.15: Zona de dilema

FONTE: LIU *et al.* (1996)

O comprimento da zona de dilema (D) é dado pela Equação 2.8.

$$D = x_c - x_0 = v_0(\delta - \tau) + \frac{v_0^2}{2a} + W \quad (2.8)$$

Isolando o τ e simplificando, os autores chegaram à Equação 2.9, que calcula o tempo mínimo de entreverdes, que inclui o tempo de amarelo e vermelho geral, para que veículos que não estejam em aceleração não enfrentem a zona de dilema.

$$\tau_{\min} = \delta + \frac{v_0}{2a} + \frac{W}{v_0} \quad (2.9)$$

É possível notar que o τ_{\min} , tempo mínimo de entreverdes, depende de v_0 do veículo e que se $\tau < (\delta + \sqrt{2W/a})$ existe zona de dilema para todos os veículos que se movem em direção à interseção, mas se $\tau > \delta + \sqrt{(2W/a)}$ (LIU *et al.*, 1996).

Segundo PAPACOSTAS e KASAMOTO (1992) apud LIU *et al.* (1996), não importa o quão grande for o tempo de amarelo, um veículo que se aproxima em baixa velocidade na interseção vai estar sempre na zona de dilema. Em tese essa afirmação é verdadeira, mas somente em situações incomuns o motorista irá cruzar a interseção com uma velocidade tão pequena a ponto de estar na zona de dilema.

Os autores concluíram que, para um tempo de amarelo dimensionado pela Equação 2.9, se empregada uma aceleração proposta na pesquisa é possível eliminar a zona de dilema mesmo que com velocidades menores que v_0 . Entretanto eliminar a zona de dilema implica em uma necessidade de aceleração por parte de motoristas em determinadas situações.

A existência ou não da zona de dilema depende fundamentalmente da velocidade, a primeira solução dada para eliminá-la é utilizar a função de distribuição da velocidade, tirando as caudas da curva de distribuição, o maior descarte deve ser o tempo de amarelo. A outra solução é utilizar diferentes parâmetros de velocidade, e a partir de observações, obter a aceleração dos veículos, em resposta ao tempo de amarelo e selecionar o maior valor como tempo de amarelo. Em todo o caso, é aconselhável modificar o limite de velocidade próximo a uma interseção, com o objetivo de diminuir o tempo mínimo de amarelo obtido pela Equação 2.9 (LIU *et al.*, 1996).

Portanto é possível eliminar a zona de dilema, calculando o tempo mínimo de entreverdes, através da Equação 2.9, onde o amarelo é igual a " $v_0/2a$ " e o vermelho geral " W/v_0 ".

2.6 Red-running e Red-stopping

O *red-running* nada mais é do que a somatória de todos os veículos que ultrapassam a linha de retenção depois do início do tempo de vermelho, ou seja, são os veículos que avançam o sinal vermelho. Pode ser apresentada em porcentagem de veículos por hora ou até mesmo uma taxa de incidência a cada cem ou mil veículos.

O avanço ao sinal vermelho pode acontecer por diversas causas, mas geralmente ocorre devido à imprudência de motoristas que, quando ainda estão a certa distância da linha de retenção durante o tempo de amarelo, optam por acelerar e cruzar a interseção ao invés de reduzir a velocidade e frear. Motoristas que passam muito lentos ou optam por cruzar a interseção com retenções no tráfego à montante poderão estar na zona de dilema, onde o motorista ou avança o sinal vermelho ou para o veículo de forma abrupta.

O *red-stopping* é a somatória de todos os veículos que param antes da linha de retenção até logo depois do início do tempo de vermelho, geralmente não mais do que três segundos após. Em outras palavras o *red-stopping* contabiliza todos os veículos que optam pela parada ao invés de cruzar a interseção no chamado tempo crítico, que se dá desde o final do tempo de verde até os três primeiros segundos do vermelho.

Em um sinal convencional, o *red-stopping* acontece quando o tempo de amarelo começa e o motorista opta por parar. No sinal com temporizador este fenômeno é mais frequente, justamente devido à presença do Green Signal Countdown Display (GSCD), pois nesse período o motorista tem a informação de quanto tempo resta para a travessia (LUM e HALIM, 2006) e percebendo o final do verde, muitas vezes opta por reduzir a velocidade e parar ao invés de cruzar a interseção, mesmo que próximo à aproximação ou que tenha de realizar uma freada brusca.

Se a configuração física da interseção permitir, e o motorista estiver atento à sinalização semafórica de pedestres da aproximação conflitante, ele pode optar por parar caso perceba o fim do vermelho piscante dos pedestres (o término da travessia de pedestre da aproximação conflitante, seguida do início do verde dos veículos, indica o fim do verde da aproximação em que está esse motorista). Cabe ressaltar que nem sempre isso será possível, pois em algumas interseções é utilizado o vermelho geral, atrasando o início do verde alguns segundos após o vermelho piscante da aproximação conflitante.

O *red-stopping* também acontece com motoristas mais distantes da aproximação, que ao perceberem a eminência do final do tempo de verde, diminuem drasticamente a velocidade a fim de parar e aguardar o próximo tempo de verde. Esse fenômeno é considerado por muitos autores como um negativo, pois limita o uso do tempo de verde e torna-se perigoso quando motoristas mais agressivos optam por cruzar a via no final

do tempo de verde enquanto os mais conservadores optam por parar. Esse conflito de atitudes e iniciativas pode causar acidentes principalmente com colisões traseiras.

Da mesma forma que o *red-running*, a taxa do *red-stopping* pode ser apresentada em forma de porcentagem de veículos por hora ou até mesmo uma taxa de incidência a cada cem ou mil veículos.

2.7 Conclusões do capítulo

Foram apresentados primeiramente vários conceitos da engenharia de tráfego e relacionados aos temporizadores.

O temporizador surgiu com o objetivo de alertar o motorista sobre as mudanças na fase do semáforo, através da divulgação do tempo restante em cada período do ciclo.

A zona de dilema existe quando, depois de iniciado o tempo de amarelo, um determinado motorista não conseguirá parar com segurança nem cruzar a interseção antes que o tempo de amarelo (ou entreverdes) acabe.

A existência ou não da zona de dilema e o seu comprimento depende das seguintes variáveis:

- Velocidade, aceleração e desaceleração do veículo;
- Distância que o veículo se encontra da linha de retenção e a distância necessária a ser percorrida para que o motorista cruze a interseção com segurança;
- Tempo de reação do motorista para aceleração e desaceleração do veículo;
- Largura da interseção e comprimento do veículo; e
- Tempo de amarelo.

Capítulo 3

O temporizador semafórico

Neste capítulo serão detalhados importantes estudos sobre temporizadores no Brasil e no mundo. Para a realização de cada estudo foram utilizadas diversas metodologias de avaliação do impacto do temporizador semafórico. A escolha da metodologia depende sempre do objetivo do estudo, dessa forma os estudos foram separados em três grupos. No primeiro são apresentadas pesquisas sobre impacto na segurança das vias, no segundo o impacto na velocidade dos veículos e, por último, estudos que avaliam múltiplos impactos.

3.1 Impacto na segurança

CHIOU e CHANG (2010) analisaram os efeitos tanto da contagem regressiva no tempo de verde (GSCD) quanto no tempo de vermelho (RSCD) no comportamento dos motoristas e ainda na segurança e eficiência de uma interseção. Tanto o GSCD quanto RSCD proporcionam a contagem regressiva para os motoristas, porém cada qual afeta o comportamento de forma diferente, o GSCD na transição do estado de movimentação para o estático e o RSCD no sentido oposto. Consequentemente os motoristas encaram as duas funções do equipamento em situações completamente diferentes, que podem ser analisadas separadamente.

As variáveis avaliadas na análise do GSCD foram principalmente o avanço ao sinal vermelho, a zona de dilema e a decisão de cruzar a interseção (é definida como a probabilidade de os motoristas atravessarem a interseção sob diversas condições de velocidade de aproximação, distância da linha de retenção e tempo restante de verde).

No RSCD foi avaliado o *early-start ratio*, que é porcentagem dos primeiros veículos da fila cruzando a linha de retenção antes de o sinal indicar o início do tempo de verde. Assim como o tempo perdido no início e o *headway* de descarga.

Duas abordagens analíticas podem ser utilizadas para investigar como determinado equipamento influencia o comportamento humano: análises “antes e depois” e “com e sem”.

Uma pesquisa realizada pelo Instituto de Transportes de Taiwan, em 2007, recomendou que não fosse instalado equipamento com GSCD, quando o critério para a instalação fosse baseado em comparações de taxa de acidentes com vítimas fatais e feridas, antes e depois da instalação do temporizador. Consequentemente as pesquisas acerca do GSCD em Taiwan cessaram desde então.

Devido ao reduzido número de pesquisas sobre o assunto, CHIOU e CHANG (2010) optaram por avaliar novamente o GSCD, realizando um estudo “com e sem GSCD”. Para isso foram selecionadas duas interseções consecutivas em uma via. Vale ressaltar que os pesquisadores consideraram GSCD, como tempo de verde mais o tempo de amarelo, pois o amarelo também tem contagem regressiva. Dessa forma, o motorista saiba exatamente qual o tempo total restante para a travessia, sendo que depois do amarelo ainda são empregados quatro segundos de vermelho total. Se o tempo de amarelo não tivesse contagem regressiva, o verde efetivo e a eficiência da interseção seriam reduzidos. Além disso, uma vez que os motoristas se familiarizam com o GSCD, eles vão cruzar a interseção mesmo quando o contador do tempo de verde atingir zero, aproveitado assim o amarelo (CHIOU e CHANG, 2010).

A coleta de dados foi feita através de filmagens nas aproximações, usando câmeras de vídeo sincronizadas, e outros dados foram coletados manualmente. Foram filmadas duas horas no horário de pico e duas fora do horário de pico para cada caso. Para a avaliação do GSCD foram utilizadas duas interseções consecutivas na mesma via, uma com GSCD e outra sem. Na avaliação do RSCD foi utilizado o método antes e depois da instalação do equipamento.

A quantidade de veículos avançando o sinal vermelho (*late stop ratio ou red-running*) foi maior na interseção com temporizador, provavelmente porque motoristas mais agressivos se aproveitaram da contagem regressiva para acelerar e buscar cruzar a interseção ao invés de parar mesmo que o tempo não fosse hábil para tal.

De acordo com ZEGEER (1977) apud CHIOU e CHANG (2010), a extensão da zona de dilema é à distância da interseção até o ponto onde começa a se tornar difícil, para os motoristas, decidirem se devem parar ou cruzar. Sugeri então que a sua extensão fosse mensurada através do intervalo entre dois pontos em que, 10% e 90% dos veículos que se aproximam de uma interseção decidem parar, respectivamente.

Assim o intervalo entre 17m e 75m distantes da linha de retenção compreendeu a extensão da zona de dilema na interseção semaforizada com GSCD, totalizando 58 metros de extensão. Na interseção sem GSCD, a extensão da zona de dilema foi de 30 metros, correspondente ao intervalo entre 32m e 62 metros da linha de retenção. Portanto o GSCD causa uma significativa variação nas decisões dos motoristas. Baseando-se nessa informação, os motoristas mais conservadores decidem parar antes

da linha de retenção, em contraste com os mais agressivos, que decidem parar mais próximos à linha de retenção (CHIOU e CHANG, 2010). Essa inconsistência nas decisões dos motoristas junto a uma aproximação de interseção sinalizada indica que o GSCD tem um impacto negativo na segurança da interseção.

Durante a pesquisa foi feita uma avaliação em relação à influência do GSCD na decisão de cruzar a interseção. Os autores concluíram que motoristas que se deparam com um tempo disponível para travessia considerável, divulgado pelo GSCD, e a velocidade média do veículo é alta tendem a cruzar a interseção, enquanto o motorista que se encontra mais distante da aproximação tende a parar. Portanto o GSCD influencia o aumento do *red-stopping* (CHIOU e CHANG, 2010).

Para exemplificar a mudança de comportamento, um motorista que se encontra a 50 metros da interseção a uma velocidade de 50 km/h tem 78,3% de chance de fazer a travessia quando presente o GSCD e 99,2% de chance de cruzar na ausência do GSCD.

Portanto o GSCD causa um aumento de 28 metros na zona de dilema, aumentando as chances de colisões traseiras e diminuindo a quantidade de veículos que cruzam a interseção durante a contagem regressiva. Por outro lado, o RSCD diminui o *headway* de saturação e o tempo perdido no início do verde, fazendo com que o RSCD seja bem menos controverso e mais benéfico que o GSCD (CHIOU e CHANG, 2010).

LUM e HALIM (2006) estudaram a utilização de dispositivos que alertam o motorista sobre o final do verde, baseando-se na dedução lógica que se o motorista tem uma informação avançada, ele vai ter condição de tomar melhores decisões ao volante, ou seja, se estiver muito distante da linha de retenção pode tomar a decisão de parar e se estiver próximo pode cruzar a interseção. Os motoristas podem evitar ficarem reféns da zona de dilema acelerando, dependendo do tempo restante.

O estudo avaliou dois tipos de recurso que auxiliam o motorista na transição de períodos do semáforo. Cada um leva em consideração um tipo de referência:

- Referências de distância: são marcadores posicionados de forma que os motoristas saibam a sua situação perante o restante de tempo e qual a melhor iniciativa. Um teste feito através de faixas transversais no pavimento como referência revelou uma melhora ínfima. Como esperado, a eficiência deste

método depende muito da velocidade utilizada como base para o posicionamento das faixas.

- Referência de tempo: permite que os motoristas que se aproximam estimem o tempo restante para travessia. Podem ser utilizados também como referência o término do tempo de travessia dos pedestres e a dispersão do pelotão de veículos da outra via. Os motoristas que costumam trafegar por uma determinada via possivelmente terão familiaridade com o plano semaforico das interseções dessa via, podendo assim utilizá-la como referência.

Vários tipos de GSCD já foram empregados ao longo do tempo. Na década de 20, por exemplo, cinco lâmpadas apagavam conforme o tempo passava. Outro equipamento era um indicador de tempo em formato de relógio circular. Porém cada um desses dispositivos era abandonado quando provada a sua ineficácia no aumento da segurança da interseção, pois os motoristas os utilizavam para acelerar contra o tempo restante.

Temporizadores com *display* digital atualmente estão sendo utilizados na China, mas sua operação e eficácia ainda têm de ser provada. Alguns sistemas com sinalização simultânea foram também utilizados, como em Pittsburgh (EUA) nos anos 60, quando durante 3 segundos a luz verde e a amarela ficavam acesas ao mesmo tempo para alertar o término do verde e após apenas dois segundos de amarelo (LUM e HALIM, 2006).

O verde piscante é utilizado em Israel desde 1960 e funciona durante os últimos 3 segundos de verde. Uma avaliação do método indicou um aumento de indecisão por parte dos motoristas e do número de colisões traseiras. As colisões laterais mudaram muito pouco, assim o número total de acidentes aumentou bastante. Os efeitos deletérios do verde piscante são notados facilmente em aproximações com velocidades mais baixas (LUM e HALIM, 2006).

BEHRENDT (1970) apud LUM e HALIM (2006) testou vários tipos de alerta para término de verde na Alemanha: verde piscante, amarelo estável junto com o verde piscante e amarelo piscante alternado com o verde piscante. Em nenhum dos casos a fase amarela deixou de existir, apenas a precederam. O autor da pesquisa ainda concluiu que nenhuma dessas experiências reduziu significativamente o número de acidentes.

Em Viena, KNOFLACHER (1973) apud LUM e HALIM (2006) avaliou a desaceleração e o número de acidentes em interseções com verde piscante e comparou

com os resultados obtidos nas interseções convencionais. Através dessa pesquisa, KNOFLACHER (1973) descobriu um aumento na desaceleração dos veículos e colisões traseiras nas interseções que utilizavam o verde piscante. Outra constatação importante é que apesar da implantação do verde piscante diminuir as colisões laterais, um aumento no tempo de amarelo poderia proporcionar melhores resultados.

LUM e HALIM (2006) citam na sua revisão bibliográfica algumas pesquisas que concluíram, através de simulação, que o amarelo piscante em conjunto com o verde estável é mais eficaz que apenas o verde piscante, pois este proporciona momentos em que nenhuma sinalização está visível. A simulação indicou ainda uma redução no número de avanços ao sinal vermelho e menores variações na aceleração dos veículos nesse período. Porém a zona de dilema (ou de indecisão) aumentou, contribuindo para colisões traseiras.

Existe ainda outra categoria de sinalização, a qual é instalada aviso de que uma interseção semaforizada se aproxima, deve ser utilizada como precaução em locais onde a visibilidade da interseção não é boa.

LUM e HALIM (2006) conduziram seu estudo de avaliação do impacto perceptível do GSCD em interseções de Singapura. A pesquisa apontou que a maioria dos entrevistados percebeu uma ajuda do equipamento para evitar a zona de dilema. Entretanto, depois de algumas pesquisas, descobriu-se que o GSCD de alguma forma encoraja os motoristas a acelerar para evitar o término do tempo de travessia. Assim foi sugerido pelos autores que fosse utilizado algum tipo de alerta para o término do tempo, mas não divulgar quanto tempo de verde resta precisamente.

A metodologia adotada na pesquisa focou em um estudo antes e depois, que comparou as características de *red-running* e *red-stopping* obtidas antes da instalação do GSCD com os resultados de vários períodos posteriores à instalação: 1,5 meses, 4,5 meses e 7,5 meses. Para o banco de dados foram gravados quatro dias contínuos em cada período (de domingo à quarta-feira), depois organizados e montados para o estudo comparativo (LUM e HALIM, 2006).

A interseção selecionada para o estudo está localizada no encontro de duas vias arteriais urbanas de mão única. O temporizador foi instalado na via principal que tem um limite de velocidade de 50 km/h, composta por quatro faixas de fluxo direto e uma exclusiva

para giro à esquerda. Praticamente todo o fluxo que passa pelo local de estudo provém de uma via expressa e é gerenciado e monitorado por sistemas coordenados de tráfego (LUM e HALIM, 2006).

O GSCD foi instalado em janeiro de 2003 no local, com uma contagem regressiva de 9 segundos. Ainda, os veículos que se aproximam da interseção conseguem visualizar o temporizador a partir de uma distância de 200 metros, tendo distância e tempo hábeis para reagir (LUM e HALIM, 2006).

Para a coleta de dados, foram utilizados sensores instalados sob o pavimento de duas faixas de tráfego e também um computador conectado ao sistema, sendo dois sensores para cada faixa, um antes e outro depois da linha de retenção.

O primeiro sensor (antes da linha de retenção) tem a função de detectar o veículo e coletar informações que indiquem as oportunidades do veículo, ou seja, se ele teve oportunidade de atravessar a interseção, mas optou por parar.

O segundo sensor estava localizado dois metros após a linha de retenção para coletar detalhes da travessia durante o amarelo e o vermelho. Com dois sensores em sequência é possível obter volumes de tráfego, a velocidade dos veículos e o momento exato quando estes passam pela linha de retenção e também é possível checar e eliminar dados de veículos que tenham passado apenas por um sensor (LUM e HALIM, 2006).

A análise do volume de tráfego concluiu que não ocorreram mudanças significativas em nenhum dos períodos pesquisados posteriormente à instalação do temporizador. Os avanços ao sinal vermelho diminuíram drasticamente nos períodos mais recentes após a instalação do temporizador (1,5 meses e 4,5 meses). Com 7,5 meses de instalação, as violações praticamente voltaram à quantidade encontrada antes do temporizador. Os dados de domingo da faixa de tráfego nº 4 resultaram em números discrepantes aos demais, fazendo com que a média de infrações ficasse praticamente estável após 7,5 meses (LUM e HALIM, 2006).

Para todas as situações foram realizados testes estatísticos da proporção de violações, em que praticamente todas as amostras se encontraram no nível de 95% de confiança. Os principais resultados encontrados para esta análise estão na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Violação média de sinal vermelho nos quatro dias pesquisados para cada mil veículos

Faixa	Antes	1,5 meses depois	4,5 meses depois	7,5 meses depois
3	2,981	0,582	0,661	1,844
4	1,852	0,831	0,710	1,760

FONTE: LUM e HALIM (2006)

A variação no número de infrações de acordo com a hora do dia não foi consistente. Nenhum horário apresentou características específicas, mas quando os dados são interpretados em relação à intensidade do tráfego, descobre-se que o GSCD é mais efetivo quando a via está menos carregada.

Na pesquisa de LUM e HALIM (2006), foi determinado como parâmetro máximo do *red-stopping* a parada antes da linha de retenção até dois segundos depois de iniciado o vermelho. Dessa forma foi possível identificar os motoristas que optaram por parar ao invés passar pela interseção naquele momento crítico. Segundo os autores, dois segundos é um bom parâmetro para que sejam feitas estatísticas dos motoristas que se encontram na zona de opção e também na zona de dilema.

Quando as duas opções são possíveis (parar ou atravessar a interseção), não é anormal que a maioria dos motoristas vá encontrar dificuldades em tomar uma decisão. Os dois segundos de vermelho vão fornecer uma grande quantidade de velocidades, tempo de reação de motoristas e desaceleração diferentes (Tabela 3.2).

Tabela 3.2: Incidência média de *red-stopping* a cada mil veículos para cada faixa estudada

Média dos dias da semana	<i>Red-stopping</i> a cada mil veículos			
	Antes	1,5 meses depois	4,5 meses depois	7,5 meses depois
Faixa 3	0,980	5,089	5,033	4,772
Faixa 4	0,659	3,944	4,808	3,304

FONTE: LUM e HALIM (2006)

Os resultados indicaram um aumento significativo e sustentável ao longo do tempo no que diz respeito ao *red-stopping*, com destaque para a faixa 3, que apresentou índices

mais elevados que a faixa 4 em todos os casos. O aumento específico em determinados dias da semana e períodos de estudo variou de 2,43 vezes até 18 vezes mais veículos parando até 2 segundos depois do início do vermelho (LUM e HALIM, 2006).

Quanto à análise com discriminação de acordo com o horário, não foi possível tirar nenhuma conclusão, pois nenhuma tendência foi identificada nos resultados obtidos. Houve também uma queda substancial no número de *red-running* depois de 1,5 meses da instalação do temporizador (LUM e HALIM, 2006).

Entretanto ao longo do tempo, o impacto do temporizador foi dissipado e os índices voltaram praticamente aos níveis anteriores aos da sua instalação. Outras análises sugeriram que o GSCD pode continuar de alguma forma efetivo ao longo do tempo quando o volume de tráfego é baixo.

Em contrapartida, a incidência de *red-stopping* aumentou consideravelmente depois de 1,5 meses da instalação do temporizador, sendo o aumento médio de 6,2 vezes mais. Esse número se manteve estável ao longo do tempo. Em todos os casos os resultados foram estatisticamente significativos para um nível de confiança de 95% (LUM e HALIM, 2006).

O temporizador foi efetivo em encorajar motoristas a parar sob circunstâncias de tráfego pesado. Apesar do parâmetro utilizado para contabilizar o *red-stopping* ser de 2 segundos depois de iniciado o vermelho, os resultados ainda são aplicáveis quando 3 segundos são utilizados, já que nenhum aumento significativo nos índices foi notado em todos os casos (LUM e HALIM, 2006).

Apesar de as conclusões terem se baseado nos resultados após 7,5 meses da instalação do temporizador, o efeito em longo prazo pode ser medido já que o estudo foi estruturado com o objetivo de medir o impacto do GSCD a cada período de tempo (1,5; 4,5 e 7,5 meses), ao invés de apenas um estudo antes e depois. Além disso, com o GSCD instalado em uma via arterial principal, por onde passam cerca de 10 mil veículos em cada faixa por dia, pode se esperar que a maioria dos motoristas acabe familiarizando com o equipamento em um curto período de tempo. Os resultados foram obtidos em apenas uma interseção, então foi recomendado que novos estudos acerca do GSCD focassem em outras interseções com diferentes características, seja de tráfego, operação semafórica ou infraestrutura.

3.2 Impacto na velocidade

Na pesquisa de WEI *et al.* (2009) foi estudado o comportamento do motorista em Taiwan, onde o GSCD divide a opinião dos especialistas, alguns são favoráveis e outros desfavoráveis. Os favoráveis alegam que o GSCD pode reduzir drasticamente os avanços ao sinal vermelho e ainda podem reduzir as colisões laterais. Em contrapartida, os desfavoráveis alegam que o GSCD pode aumentar as colisões traseiras entre motoristas tomando diferentes decisões durante a transição do verde para o vermelho. Com o objetivo de adquirir total conhecimento das reações e interações do motorista nos cenários com e sem GSCD, foi feito um estudo aprofundado sobre o assunto.

Como existem diversos fatores influenciando o comportamento dos motoristas durante a transição dos tempos semaforicos, uma análise experimental em campo com diferentes cenários pode proporcionar evidências mais convincentes do que simulações em computadores (WEI *et al.*, 2009).

O local de estudo escolhido foi uma interseção semaforizada em formato T (três ramos) em uma via arterial suburbana na cidade de Kaohsiung, em Taiwan. O semáforo da interseção é de tempo fixo e possui duas programações, que variam conforme o horário. A interseção é praticamente isolada, pois as duas outras interseções à montante e à jusante se encontram a mais de 300 metros de distância. A aproximação é composta por três faixas de tráfego. O volume médio diário atinge 11500 veículos e o tráfego é considerado pesado pelos autores; apenas a faixa central foi considerada no estudo. Os motoristas podem visualizar o temporizador a uma distância de 250 metros devido às condições de relevo da via (WEI *et al.*, 2009).

Para a coleta de dados foi desenvolvido um sistema de armazenamento de dados de alta precisão, que computou simultaneamente o instante em que cada veículo cruzou a interseção e seu instante em relação ao plano semaforico. Foram avaliados cinco cenários no local:

Cenário A: sinal operado sem GSCD – os dados fornecidos aqui servirão como parâmetro para comparação com outros cenários.

Cenário B: Sinal operado com GSCD durante todo o tempo de verde, ou seja, menos no amarelo e vermelho.

Cenário C: sinal operado parcialmente com GSCD – a contagem regressiva começa apenas nos últimos 6 segundos de verde. Esse intervalo foi escolhido para incluir todos os veículos da zona de dilema.

Cenário D: sinal operado parcialmente com GSCD – a contagem regressiva começa apenas nos últimos 9 segundos de verde. Esse cenário foi criado para ser comparado com o Cenário C.

Cenário E: sinal operado com GSCD – menos nos últimos 6 segundos de verde.

Em cada cenário a análise dividiu o ciclo em sete subgrupos, para que o comportamento dos veículos fosse avaliado durante as transições nos tempos semaforicos, essa pode ser visualizada na Figura 3.1.

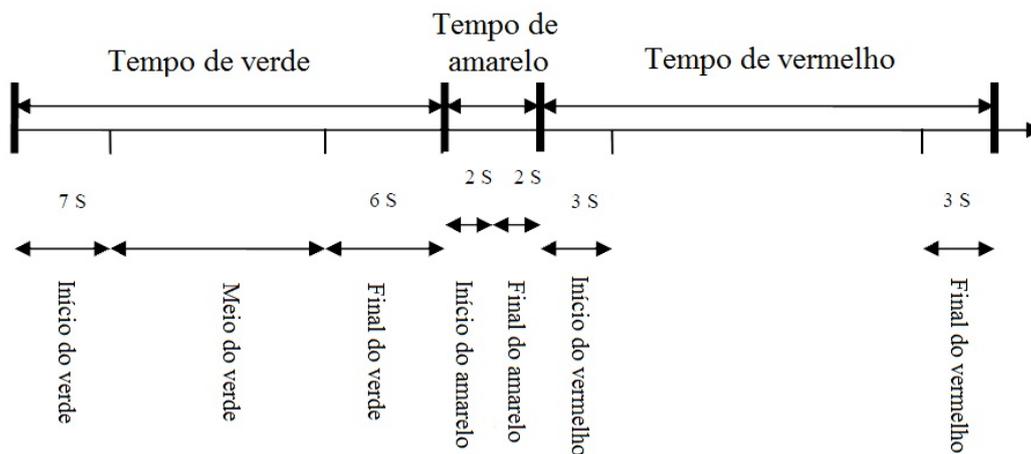


Figura 3.1: Ciclo dividido em subgrupos

FONTE: WEI *et al.* (2009)

Os autores apresentaram no trabalho a íntegra dos resultados de velocidade obtidos em todos os cenários e subgrupos, além de um gráfico com o resumo destes resultados, no qual é possível visualizar melhor a diferença na velocidade média conforme em cada cenário (Figura 3.2).

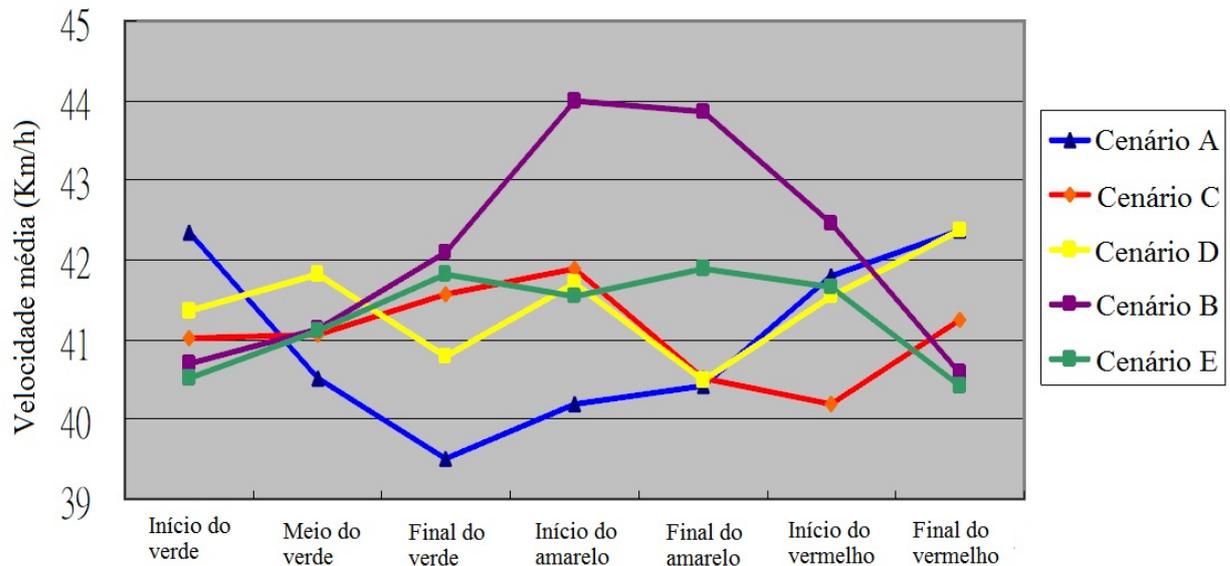


Figura 3.2: Distribuição da média de velocidade durante os períodos de transição

FONTE: WEI *et al.* (2009)

Através da análise dos dados e da Figura 3.2, os autores concluíram que dentre todos os cenários, a velocidade média no Cenário B (com temporizador durante todo tempo de verde) teve seus maiores valores, o que é condizente com estudos já realizados. Com a contagem regressiva ao longo do verde, os motoristas têm a informação do tempo restante para travessia. Isso faz com que tenham mais confiança nas suas decisões ao volante. Como os motoristas podem utilizar efetivamente o final do verde, a passagem pela interseção tende a ser feita com maior velocidade de forma inconsciente (WEI *et al.*, 2009).

Quando comparados com o Cenário A, motoristas sob condições parciais de GSCD (Cenário E) mantiveram velocidade média de passagem mais estável durante as transições de períodos do verde. A contagem regressiva fornecida no Cenário E ao motorista, não só pode melhorar a decisão de parada e cruzamento, como pode reduzir a possibilidade de acelerar o veículo durante algum período de transição, reduzindo o avanço ao sinal vermelho. Como as colisões são proporcionais às infrações ao sinal, a análise do Cenário E em especial, dá aos especialistas na área motivo suficiente para repensar os reais benefícios do GSCD (WEI *et al.*, 2009).

Não existem diferenças comportamentais significativas entre os Cenários C e D, apesar de um leve aumento na velocidade no Cenário D durante o verde. Como no Cenário D os motoristas têm um maior tempo de GSCD, é razoável que a média de velocidade seja

maior, pois engloba mais motoristas que aceleram sabendo o tempo restante para travessia (WEI *et al.*, 2009).

Os autores ressaltaram que no Cenário B, em que o GSCD funciona durante todo o tempo de verde, os motoristas tendem a praticar uma velocidade média maior durante o estágio final do período de transição, ou seja, o Cenário B talvez não seja uma alternativa adequada e segura para auxiliar decisões dos motoristas (WEI *et al.*, 2009). Entretanto aprovaram a utilização do GSCD, exceto durante os últimos 6 segundos (Cenário E), quando as mudanças de velocidades são mais suaves.

3.3 Múltiplos impactos

Com o intuito de estudar um método de auxílio ao motorista que deseja evitar a zona de dilema, a pesquisa de MA *et al.* (2010) aprofundou no GSCD, partindo do princípio que a sua utilização é baseada na dedução lógica de que os motoristas podem tirar vantagem da contagem regressiva para acelerar e cruzar a interseção ou reduzir a velocidade e parar. Devido ao custo relativamente baixo, o GSCD tem se tornado popular em várias cidades da China, como Xangai e Pequim.

Foi feito um levantamento das pesquisas mais relevantes já realizadas sobre o assunto e os autores concluíram que, ao longo do tempo, os efeitos positivos do GSCD tendem a desaparecer.

Mesmo com algumas pesquisas já realizadas acerca dos temporizadores, para os autores muitas questões não foram suficientemente elucidadas. Por exemplo, alguns estudos investigaram o impacto da instalação do GSCD no que diz respeito às violações ao sinal vermelho, veículos parando ou passando no amarelo. Entretanto, o impacto em relação a parâmetros comportamentais, como mudança da velocidade e distribuição da zona de dilema não foram avaliados de forma sistemática (MA *et al.*, 2010).

Na China, a maioria dos estudos sobre temporizadores tem focado somente no comportamento do pedestre, enquanto pouca atenção tem sido dada aos motoristas. Além disso, não existe qualquer regulamentação ou padronização na implantação desse sistema nos sinais de trânsito, mesmo com os temporizadores sendo implantados em várias cidades (MA *et al.*, 2010).

Devido à diferença significativa do comportamento do motorista chinês em relação ao de países mais desenvolvidos, existia a necessidade de que fossem conduzidos estudos

nas zonas urbanas, que possam ser utilizados pelas autoridades para avaliar o impacto do GSCD em termos operacionais e de segurança. Além da elaboração de regulamentações que guiem uma correta implantação do equipamento no país, por parte dos órgãos de transporte competentes (MA *et al.*, 2010).

Para resolver as questões descritas acima, os esforços da pesquisa foram dedicados aos seguintes aspectos:

- Coletar informações detalhadas das características dos motoristas, condições médias do fluxo de tráfego e dinâmica dos veículos em interseções com e sem GSCD (através de filmagens);
- Obter um perfil do padrão de comportamento do motorista e analisar os impactos do GSCD sobre vários aspectos da interseção, de segurança ou eficiência; e
- Oferecer as primeiras orientações às autoridades para melhor regulamentar a operação e instalação dos temporizadores.

Foram realizadas observações de campo em duas interseções sinalizadas na mesma via em Xangai, uma com GSCD e outra sem (NGSCD). Para capturar os impactos críticos do equipamento, foram selecionadas duas interseções com características similares em relação à geometria, fluxo de tráfego e plano semafórico (MA *et al.*, 2010).

Para garantir que o comportamento dos motoristas fosse captado com precisão, foi utilizado um sistema com câmeras de vídeo, instaladas 64 metros à montante da linha de retenção. Na análise dos vídeos, em computador, foram utilizadas linhas virtuais sobrepostas às imagens como referência. Em seguida, o momento exato que cada veículo atinge cada linha virtual foi contabilizado, as observações foram realizadas ao longo de quatro dias de uma semana em maio de 2009 (MA *et al.*, 2010).

O estudo coletou um total de 1695 amostras individuais de motoristas. A análise consistiu basicamente em quatro etapas, descritas a seguir.

Etapa 1: comparou a distribuição de velocidade média nas duas interseções. Para a interseção com temporizador a velocidade média foi de 39,9 km/h com desvio padrão de 11,0 km/h, a interseção sem temporizador não apresentou significativas mudanças, com 38,7 km/h de velocidade média e desvio padrão de 10,3 km/h.

Etapa 2: foi feita uma análise da velocidade dos veículos passando pela linha de retenção durante o tempo de amarelo. Na interseção com o GSCD, a velocidade média foi de 26,4 km/h contra 20,5 km/h na ausência do equipamento.

Etapa 3: contemplou uma investigação sobre a evolução da velocidade ao longo da via, utilizando as médias de velocidades em cada uma das 7 linhas de referência diferentes para cada caso. Os valores de velocidade para cada local estão na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Velocidade média em diferentes pontos da via

Ponto	Velocidade Média	
	GSCD	NGSCD
s7	43,7	35,7
s6	42,7	33,4
s5	40,8	30,7
s4	37,8	28,1
s3	34,1	26,5
s2	31,4	24,4
s1	26,4	20,5

FONTE: MA *et al.* (2010)

Na Tabela 3.3, s1 é a linha de retenção e s7 a última linha virtual de referência à montante da interseção. Com a redução dos valores de velocidade média é possível concluir que os veículos desaceleram conforme se aproximam da linha de retenção, assim como a velocidade média aumenta na interseção com o GSCD (MA *et al.*, 2010).

Etapa 4: avaliação do impacto do GSCD na zona de dilema (Equação 3.1). O comprimento da zona de dilema foi calculado com base em parâmetros recomendados pelo ITE (1985) apud MA *et al.* (2010) e por outros obtidos em campo, além de uma simulação com tempo de amarelo reduzido.

$$\mathbf{x}_{dz} = \mathbf{x}_c - \mathbf{x}_0 = v_0 \delta_2 + \frac{v_0^2}{2a_2^*} - v_0 \tau + (\mathbf{w} + \mathbf{L}) - \frac{1}{2} \mathbf{a}_1^* (\tau - \delta_1)^2 \quad (3.1)$$

em que

- x_{dz} : comprimento da zona de dilema (m);
- x_c : distância crítica para uma parada suave com uma taxa de desaceleração máxima (m);
- x_0 : distância crítica para cruzamento com uma taxa de aceleração máxima (m);

- τ : duração do amarelo (s);
- δ_1 : tempo de reação do motorista (s);
- δ_2 : tempo de decisão de um motorista (s);
- v_0 : velocidade de aproximação dos veículos (m/s);
- a_1 : taxa de aceleração média dos veículos (m/s²);
- a_1^* : taxa de aceleração máxima de aproximação dos veículos (m/s²);
- a_2 : taxa de desaceleração média dos veículos (m/s²);
- a : taxa de desaceleração máxima de aproximação dos veículos (m/s²);
- w : largura da interseção (m); e
- L : comprimento médio dos veículos (m).

MA *et al.* (2010) adotaram valores encontrados na sua revisão bibliográfica para algumas das variáveis da equação, e em todos os casos foi encontrada uma zona de dilema. Quando foram adotados valores obtidos em campo para as variáveis da equação, foi encontrada uma zona de dilema onde não havia temporizador, ou seja, o GSCD eliminou a zona de dilema para este caso.

Etapa 5: veículos cruzando a interseção no amarelo e vermelho foram contabilizados nas duas interseções; os resultados estão na Figura 3.3. Com o GSCD, os veículos nesse período diminuíram consideravelmente, provavelmente porque os motoristas podem ajustar a sua velocidade com a informação sobre o tempo restante, fornecido pelo GSCD.

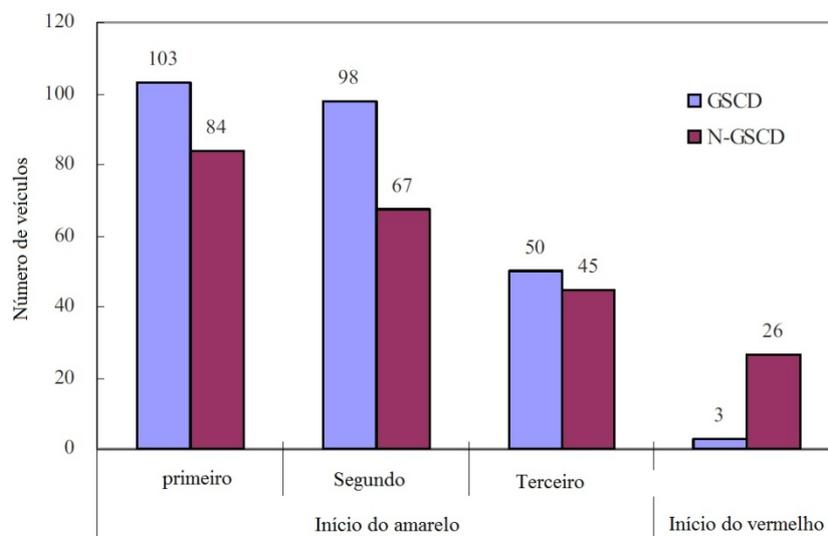


Figura 3.3: Número agregado de veículos entrando após o tempo de verde

FONTE: MA *et al.* (2010)

MA *et al.*, (2010) concluíram que:

- A instalação do GSCD pode encorajar os motoristas a cruzarem a linha de retenção durante o tempo de amarelo em alta velocidade. Dessa forma resulta há melhor aproveitamento do tempo de amarelo, aumentando a capacidade da aproximação da interseção. Entretanto, a velocidade elevada induzida pelo GSCD, pode aumentar a probabilidade de acidentes com ciclistas, atropelamentos e colisões.
- O GSCD reduz o tempo de resposta dos motoristas às transições das fases semaforicas, prevenindo assim mudanças bruscas de velocidade.
- A instalação do GSCD pode efetivamente eliminar a zona de dilema em interseções, pois proporciona ao motorista a percepção de mudança na indicação luminosa do sinal.
- O GSCD resulta em redução significativa de violações ao sinal vermelho.

Recomendações dos autores:

- Avaliar limites de velocidade visando maior segurança, pois o GSCD contribui para o aumento da velocidade média.
- O GSCD muda o padrão de comportamento dos motoristas significativamente. Assim os parâmetros utilizados atualmente para o cálculo do tempo de amarelo devem ser reavaliados.
- Enriquecer o banco de dados através novas observações de campo, com o intuito de entender melhor os impactos do GSCD em interseções sob diferentes condições de infraestrutura, controle e tráfego.
- Realizar pesquisa com enfoque nos diferentes perfis de motoristas e na reação de cada um em relação ao GSCD.
- Utilizar todas as descobertas desta pesquisas para o desenvolvimento de um manual que regule a instalação do GSCD.

KIDWAI *et al.* (2005) estudaram a instalação de temporizadores em Kuala Lumpur, na Malásia, partindo da premissa de que nenhuma avaliação havia sido feita a respeito da

adaptação deste equipamento à natureza do tráfego local. A interseção analisada, não está localizada em uma área não central/comercial (CBD – *Central Business District*). A pesquisa teve como objetivo principal mensurar o efeito do temporizador no comportamento do motorista e a capacidade da interseção. Nenhum trabalho anterior tinha focado exclusivamente no efeito dos temporizadores na capacidade e segurança de uma interseção.

Através de estudos realizados com o HCM (2000) foi possível concluir que a estimativa e previsão da capacidade são diretamente influenciadas pela infraestrutura da via, controle e condições do tráfego. Uma interseção sinalizada em condições ideais tem um fluxo de saturação de 1900 ucp/hora/verde/faixa (HCM, 2000). Essas condições são: 12 pés de largura de faixa, somente carros de passeio entre os veículos, apenas fluxo contínuo (sem conversão à esquerda ou à direita), sem estacionamento adjacente às faixas de tráfego pelo menos a 250 pés da linha de retenção da interseção e que a interseção não esteja localizada em uma área central/comercial.

Com isso os autores constataram que seria necessário realizar o levantamento de dados em um local semelhante às condições de fluxo de saturação ideal, para que o valor encontrado em campo fosse comparado ao ideal, de modo que as características da via não influenciassem na comparação entre o tipo de semáforo comum e o com temporizador. Assim o estudo foi realizado na mesma interseção, antes e depois da instalação do equipamento.

Para a medição do nível de segurança, foi feita uma avaliação do *Red Light Running* (RLR) em 7 interseções (4 com temporizador e 3 sem). Apenas os ciclos em que havia veículos durante a transição entre os períodos verde e vermelho foram considerados (KIDWAI *et al.*, 2005). Para a análise do fluxo de veículos, os autores utilizaram o método antes e depois da instalação do temporizador. Para avaliação do avanço ao sinal vermelho as interseções com e sem temporizador foram comparadas. Neste estudo o temporizador funciona durante todo o ciclo.

Através da revisão bibliográfica, os pesquisadores concluíram que a velocidade de dispersão do pelotão pode ser mais relevante para estimar a capacidade da interseção. Em outra pesquisa, IBRAHIM *et al.* (2002) apud KIDWAI *et al.* (2005) determinaram que para Kuala Lumpur o fluxo de saturação pode ser obtido através da Equação 3.2.

$$S = 1020 + 265 \cdot w \quad (3.2)$$

em que S: Fluxo de saturação (ucp/hora); e
w: largura da faixa (m).

Os volumes de tráfego foram coletados através de vídeo, em dias de semana com tempo aberto, apenas nas faixas de fluxo direto e desconsiderando faixas onde manobras de conversão são permitidas.

Como o foco principal da pesquisa foi estudar o efeito do temporizador na capacidade, utilizaram então a “taxa de transferência” ao invés do fluxo de saturação para mensurar a capacidade. Esta taxa desconsidera os veículos que atravessam o sinal verde e não estavam na fila, pois estes não são influenciados pelo temporizador (KIDWAI *et al.*, 2005). Portanto a capacidade não foi dada através do fluxo de saturação e sim do tempo de dispersão do pelotão. Este tempo é a diferença entre o eixo do primeiro veículo da fila e do “último” veículo da fila.

Conclusões dos autores (KIDWAI *et al.*, 2005) sobre a implantação dos temporizadores:

- A diferença no tempo médio de dispersão dos veículos (taxa de transferência) não é significativa, apesar disso em alguns ciclos isolados a diferença pode ser considerável entre a interseção com e sem temporizador.
- O índice de RLR é aproximadamente duas vezes maior nas interseções sem temporizador. Nas junções sem o equipamento o índice é de 66,2% em média e na presença do equipamento a média cai para 37,1%.

LIMANOND *et al.* (2010) estudaram os temporizadores em Bangkok, na Tailândia. Os ciclos em Bangkok normalmente variam entre 120 e 180 segundos, nas interseções secundárias, e entre 150 e 250 segundos nas interseções principais. Como os ciclos são longos em comparação a outros países o autor acredita que com o tempo os motoristas perdem a atenção do sinal e se distraem com leituras, telefone celular, descansando ou comendo. Muitas vezes extrapolam essas atividades e não percebem a mudança para o período de verde, causando maiores atrasos na interseção.

Para amenizar estes problemas, a “Administração Metropolitana de Bangkok” implantou um sistema avançado de informação ao usuário começando pela instalação de

temporizadores, contabilizando atualmente mais de 400 interseções equipadas com esses dispositivos. É utilizado o display com cronômetro regressivo ao lado do grupo focal (LIMANOND *et al.*, 2010).

Existem poucas pesquisas acerca dos temporizadores na Tailândia, pois o equipamento é utilizado no país há menos de dez anos. Dessa forma estes autores estudaram os diversos efeitos dos temporizadores durante todo o ciclo semafórico e ainda apuraram a opinião dos usuários a respeito do equipamento. A Tabela 3.4 resume o que foi analisado em cada fase do ciclo.

Tabela 3.4: Possível efeito dos temporizadores nos variados períodos do ciclo

Período do Ciclo	Possível efeito dos temporizadores	Metodologia
Começo do tempo de verde	Redução do tempo perdido na arrancada	Estatística descritiva, teste-t
Durante o tempo de verde	Aumento no fluxo de saturação	Estatística descritiva, teste-t
Durante o tempo de amarelo	Redução do nº de veículos atravessando no tempo de amarelo	Estatística descritiva
Começo do tempo de vermelho	Redução do nº de violações do tempo de vermelho	Estatística descritiva
Durante o tempo de vermelho	Alívio da frustração dos motoristas	Pesquisa de opinião pública
Outros benefícios do temporizador		Pesquisa de opinião pública

FONTE: LIMANOND *et al.* (2010)

Primeiramente foi estudado o padrão do tráfego com e sem temporizador, para depois utilizar testes estatísticos que determinassem a influência deste equipamento no tráfego. Para a definição do local de estudo, os autores escolheram uma interseção de uma via principal, em área não comercial de Bangkok, equipada com temporizador nas quatro aproximações. Cabe ressaltar que os autores optaram por coletar os dados entre 10h00min e 15h00min, pois durante o pico da manhã e da tarde, o temporizador é desativado e o semáforo passa a ser controlado manualmente pela guarda de trânsito, que define qual aproximação tem o direito de passagem e qual tem o tráfego interrompido (LIMANOND *et al.*, 2010).

Foram analisados apenas os *headways* dos carros de passeio. Os caminhões e veículos pesados foram desconsiderados, assim como as faixas utilizadas pelas motocicletas não

participaram da pesquisa. Para que fosse possível comparar o cenário atual (com o temporizador) e o sem temporizador, foi realizada uma filmagem em um determinado horário e, exatamente uma semana depois, foi requisitado pelos pesquisadores junto ao departamento de trânsito que os temporizadores fossem desligados (LIMANOND *et al.*, 2010).

O fluxo de saturação e o tempo de arrancada dos veículos foram calculados com base no HCM (2000), enquanto a determinação do primeiro veículo da fila a atingir o *headway* de saturação foi baseada em estudos anteriores de JOSEPH e CHANG (2005) e RAKSUTORN (2004) apud LIMANOND *et al.* (2010).

A seguinte lógica foi utilizada: começa-se comparando o *headway* do primeiro veículo com o *headway* médio dos veículos subsequentes da fila. Se eles tivessem uma diferença significativa, os pesquisadores testavam a diferença de *headway* do segundo veículo da fila em relação aos demais e assim por diante. A operação termina quando é encontrado um veículo cujo *headway* não difere estatisticamente da média dos demais veículos e presume-se que este veículo é o primeiro a apresentar um *headway* de saturação (LIMANOND *et al.*, 2010).

Além da análise de tráfego, foram realizadas entrevistas com 500 motoristas, aleatoriamente selecionados em frente ao departamento de transportes e aos principais shoppings de Bangkok, levando em consideração que os temporizadores vêm sendo instalados em mais de 400 interseções desde 2002 e a comunidade local já está familiarizada com o equipamento. O questionário entregue requirava os dados pessoais de cada entrevistado, a frequência com que dirige e a opinião a respeito dos temporizadores; posteriormente foram aproveitados apenas os questionários dos motoristas que dirigissem pelo menos de duas a três vezes na semana (LIMANOND *et al.*, 2010). As Tabelas a seguir apresentam alguns resultados encontrados pelos pesquisadores:

Tabela 3.5: Valores para as principais variáveis de tráfego, com e sem temporizador

Caso	Primeiro veículo a atingir o headway de saturação	Headway de saturação		Fluxo de saturação
		Média	Desvio Padrão	
Com temporizador	8	1,88	0,82	1918
Sem temporizador	10	1,85	0,8	1946

FONTE: LIMANOND *et al.* (2010)

Tabela 3.6: Valores para as variáveis estatísticas, com e sem temporizador

Caso	Nº de ciclos analisados	Tempo perdido na arrancada (s)	
		Média	Desvio Padrão
Com Temporizador	139	6,53	1,76
Sem Temporizador	122	8,32	2,06

FONTE: LIMANOND *et al.* (2010)

Tabela 3.7: Valores para as variáveis de violação

Caso	Nº de ciclos analisados	Total de violações ao sinal vermelho	Média de veículos	Tempo máximo de
			cruzando no vermelho por ciclo	violação (após o início do vermelho)
Com temporizador	78	35	0,45	3,08
Sem temporizador	78	70	0,9	4,13

FONTE: LIMANOND *et al.* (2010)

A partir da análise das tabelas e de outros dados apresentados no trabalho, os autores concluíram que o temporizador causa uma redução da média de tempo perdido na arrancada (início do tempo de verde). Já durante o tempo de verde, ocorre uma leve redução no fluxo de saturação, pois a informação do tempo restante na fase dá ao motorista confiança para atravessar a interseção antes do término do verde com mais tranquilidade e conseqüentemente com *headways* maiores, o que acarreta a diminuição do fluxo de saturação (LIMANOND *et al.*, 2010).

Durante o tempo de amarelo não foi notado nenhum comportamento diferente da situação em que o temporizador não estava ligado. No começo do tempo de vermelho, os temporizadores ajudam a reduzir o número de violações, já que ele informa o tempo restante do verde, o que torna possível uma melhor tomada de decisão por parte dos motoristas neste período (LIMANOND *et al.*, 2010).

A redução das violações ao vermelho e conseqüentemente de possíveis colisões traseiras é um dos benefícios constatados, mas é preciso salientar que elas ainda acontecem e que com a redução na média do tempo perdido na arrancada é possível que ocorram colisões por esse motivo. Apesar disso os autores enfatizaram a necessidade de novos estudos para apurar essa hipótese, quando estatísticas adequadas de acidentes estiverem disponíveis. Na Figura 3.4 é apresentado um resumo dos resultados encontrados na pesquisa.

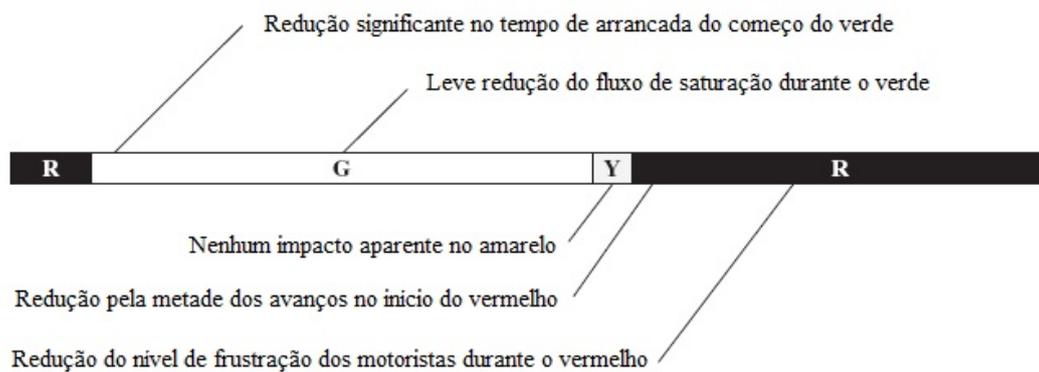


Figura 3.4: Impacto dos temporizadores em cada período

FONTE: LIMANOND *et al.* (2010)

SPIGOLON (2010) fez uma pesquisa acerca dos temporizadores no interior do Estado de São Paulo. A sua revisão bibliográfica contém um panorama geral do temporizador no cenário brasileiro e internacional, citando principalmente os resultados obtidos com a instalação do equipamento em algumas cidades brasileiras:

- Em Fortaleza (CE) os temporizadores não contribuíram para redução de acidentes e geraram dúvidas de interpretação entre os motoristas.
- Em Curitiba (PR) foram instalados temporizadores em 13 semáforos e, após 18 meses, houve um aumento de 64,3% no número de acidentes, 46,27% no número de vítimas e crescimento em 150% de mortos no local.
- A prefeitura de Vitória (ES) retirou os temporizadores, alegando que estudos indicaram que os equipamentos contribuem para aumentar o índice de acidentes.
- As prefeituras de Vila Velha (ES) e Serra (ES) alegaram que os aparelhos contribuem para a redução do tempo de espera dos carros em filas e permitem a travessia de carros nos cruzamentos com maior segurança.

Ainda segundo ABETRANS (2009) apud SPIGOLON (2010), o DETRAN dispõe de uma norma geral para a sinalização semafórica, que só prevê o equipamento convencional, composto de lâmpadas incandescentes. Com o avanço tecnológico e o surgimento de outros equipamentos no mercado, como lâmpadas *LEDs* (*Light Emitting Diode*) e temporizadores, a Câmara Temática de Engenharia de Tráfego, da Sinalização e da Via do DENATRAN está elaborando novos manuais sobre o assunto, atualizando a norma vigente.

De acordo com estudos realizados por BECK *et al.* (1996) apud SPIGOLON (2010) a utilização do semáforo com informador auxiliar de tempo produz impactos positivos no desempenho operacional da interseção no que se refere à capacidade, aumentando o fluxo de saturação e reduzindo o tempo perdido.

O objetivo principal do trabalho foi pesquisar e comparar o desempenho, em termos de capacidade e segurança, dos semáforos comuns em relação aos equipados com temporizador. Para isso foram analisados três diferentes modelos de temporizadores:

- Tipo I: a contagem regressiva se dá conforme luzes de tamanho igual à do grupo focal vão se apagando (Implantado em São Carlos);
- Tipo II: a contagem regressiva se dá conforme luzes de tamanho reduzido em relação às do grupo focal vão se apagando (Implantado em Ribeirão Preto); e
- Tipo III: a contagem regressiva é feita através de números em um visor de *LED* digital (Implantado em Piracicaba).

Para a avaliação do tráfego e capacidade, SPIGOLON (2010) desenvolveu uma metodologia baseada nos métodos do HCM (2000), Australian Road Research Board Ltd (2003) e DENATRAN (1984). O fluxo de saturação é obtido através do *headway* do 4º ao 10º veículo e a capacidade através do fluxo de saturação multiplicado pela divisão do verde efetivo pelo ciclo (Equações 2.11, 2.12 e 2.13).

$$h_n = \frac{T_{10} - T_4}{6} \quad (3.3)$$

$$s = \frac{3600}{h_n} \quad (3.4)$$

$$CAP = \frac{n \cdot s \cdot (C - TP)}{c} \quad (3.5)$$

em que

- h_n : *headway* médio após passagem do 4º veículo [s];
- T_{10} : instante de passagem do 10º veículo da fila [s];
- T_4 : instante de passagem do 4º veículo da fila [s];
- s: fluxo de saturação [veículo/hora/verde];
- CAP: capacidade horária durante um ciclo [veículo/ciclo];
- n: número total de faixas na interseção;
- C: duração do ciclo semafórico [s]; e
- TP: tempo total perdido no ciclo [s].

SPIGOLON (2010) optou por avaliar somente interseções em terreno praticamente plano, sem declividade considerável, e em todos os casos apenas uma faixa de tráfego foi estudada, sempre de fluxo livre e contínuo, onde manobras de estacionamento e conversões não aconteciam e necessariamente exclusiva para automóveis. Para a avaliação da segurança no sistema viário foi feito um levantamento do número de acidentes “antes e depois” da instalação do temporizador nas interseções estudadas.

Foram coletados dados de três semáforos com grupo focal convencional e três semáforos com temporizador (Tipo I, II e III) em cada uma das três cidades pesquisadas, abrangendo 30 ciclos semafóricos em cada semáforo. A pesquisa foi realizada em setembro de 2010, sempre no horário de pico da tarde (17h00min às 18h00min).

A Tabela 3.8 exemplifica a metodologia de SPIGOLON (2010), segundo a qual para a avaliação da capacidade são comparadas médias globais das variáveis de interseções diferentes. As variáveis apresentadas são h (*headway*), T_{pi} (tempo perdido inicial), T_{pf} (tempo perdido final) e T_{pt} (tempo perdido total). Como pode ser visto nas equações anteriores, para obtenção da capacidade foi calculado primeiro o fluxo de saturação. SPIGOLON (2010) apresentou apenas o valor final médio, de todas as variáveis, para cada cidade nas interseções avaliadas com e sem temporizador. Ou seja, agrupou valores de diferentes interseções para cada cenário.

Tabela 3.8: Resultados obtidos em três cidades

Parâmetro	São Carlos		Ribeirão Preto		Piracicaba	
	Sem temporizador	Com temporizador	Sem temporizador	Com temporizador	Sem temporizador	Com temporizador
Ciclo (s)	80	80	60	60	100	100
Quantidade de fases	2	2	2	2	2	2
Headway (s)	2,18	2,23	2,10	2,18	2,10	2,16
Tempo perdido (s)	5,16	4,60	4,35	3,90	6,08	5,90
Tempo perdido no ciclo (s)	10,32	9,20	8,70	7,80	12,16	11,80
Capacidade (veíc/h)	1438	1429	1466	1437	1506	1470

FONTE: SPIGOLON (2010)

Na sua avaliação final dos resultados obtidos, SPIGOLON (2010) conclui que o *headway* médio aumenta em todas as cidades quando utilizado o temporizador e não há explicação aparente para tal fato. A média de tempo perdido no início, final e total, foram menores com a utilização de temporizador para todos os casos. Apesar de sempre ressaltar que as interseções com temporizador apresentaram maior capacidade, SPIGOLON (2010) utilizou o *headway* médio das interseções sem temporizador em todos os cenários para obter os valores de capacidade. Entretanto quando utilizado no cálculo o *headway* respectivo de cada cenário, a capacidade das interseções com temporizador fica menor em relação àquelas que não possuem este dispositivo. Não foi justificada a mistura nos valores de *headway*.

Quanto à segurança, a autora destacou o temporizador como benéfico, pois reduziu o número de acidentes em 35% na cidade de Piracicaba, 34% em São Carlos e 5% em Ribeirão Preto.

3.4 Métodos de análise do comportamento do motorista

O estudo de uma determinada interseção ou aproximação deve começar pela escolha de uma metodologia que seja adequada para o local de estudo e proporcione resultados satisfatórios sempre cumprindo o objetivo do trabalho. Nos próximos itens serão apresentados métodos e alternativas para avaliação do temporizador.

3.4.1 Métodos de avaliação comparativos

Os métodos de comparação mais utilizados em estudos nacionais e internacionais, que podem ser empregados na avaliação e análise do impacto proporcionado pelo temporizador nos motoristas e conseqüentemente no tráfego são:

- “Com e sem temporizador em uma mesma aproximação” – consiste na avaliação do temporizador em uma interseção através da interrupção do funcionamento ou da retirada do equipamento do local. Portanto é ideal para locais onde o temporizador já está instalado. O método pode ser empregado também em uma pista de testes para realização de simulação.
- “Entre duas interseções/aproximações diferentes” – é uma avaliação do temporizador através da comparação de dados entre dois locais diferentes, sendo um onde o semáforo possui temporizador e outro não. É feito entre dois locais distintos, mas desde que possuam características semelhantes de infraestrutura (quantidade e largura das faixas), plano semaforico, fluxo de veículos, velocidade regulamentar e proporção de cada tipo de veículo no fluxo. Nesse caso a comparação mais comum é entre duas interseções consecutivas, duas na mesma via, mas também pode ser feito entre locais distantes. Pode ser realizado em uma mesma interseção, quando apenas uma das aproximações possua o temporizador, nesse caso os resultados obtidos são confrontados entre as diferentes aproximações da interseção. A comparação entre apenas uma faixa de tráfego em cada local através de taxas ao invés de valores totais nos resultados também é utilizada. A necessidade de comparar os resultados obtidos faz com que seja mais controverso esse método, pois é difícil encontrar duas interseções com características idênticas, fazendo com que muitos autores recorram a locais semelhantes. Cabe elencar que um estudo comparativo entre dois locais diferentes pode sujeitar a pesquisa a erros indesejados em razão dos fatores já explicitados.
- “Antes e depois do temporizador” – nesse método é necessária a coleta de dados antes da instalação do temporizador. A coleta posterior fica a critério do pesquisador. Muitos adotam o sistema de coleta múltipla, por exemplo, 1.5, 4.5 e 7.5 meses depois da instalação do temporizador. É pouco utilizado, pela dependência de uma coleta de dados anterior à instalação do equipamento.

Entretanto como é avaliada a mesma aproximação apenas com a adição do temporizador no semáforo, permite que seja avaliado somente o impacto desse equipamento nos motoristas e conseqüentemente no tráfego.

3.4.2 Coleta e armazenamento de dados

O método de coleta de dados mais comum em pesquisa de tráfego é o manual, feito em campo com anotações em planilhas de papel ou contadores manuais. É o método mais barato, porém pode deixar a pesquisa mais suscetível ao erro humano, além de exigir uma quantidade maior de pesquisadores dependendo do fluxo de veículos na via. É necessária depois a digitalização dos resultados, o que leva tempo e também é sujeita a falhas.

Existem também contadores de veículo automáticos, como os de laços indutivos, tubos pneumáticos, radares, entre outros. Os automáticos têm vantagem, pois podem ser conectados a um computador eliminando assim a etapa de armazenamento de dados, mas exigem maiores recursos e são menos difundidos.

O procedimento de filmagem com câmera de vídeo também pode ser utilizado nesse tipo de pesquisa. Dentre os métodos de estudo de tráfego é um dos que leva mais tempo para análise, porém oferece algumas vantagens:

- Todos os movimentos direcionais que ocorrem simultaneamente, por maiores que sejam, podem ser levantados por um só observador;
- Maior confiança nos levantamentos, pois é possível comprovar os dados;
- Trabalha-se com mais conforto, ao abrigo do tempo; e
- Podem ser obtidos outros dados de interesse.

O método de armazenamento de dados depende do método de coleta de dados e das variáveis a serem obtidas. Em alguns casos a coleta e armazenamento de dados são realizados em conjunto, por exemplo, quando a contagem é feita através de contadores automáticos ligados a computadores. Apesar disso o armazenamento de dados é feito na maioria das vezes através de planilhas, sejam elas digital ou de papel. Os dois tipos de planilha são preenchidas manualmente, por isso o pesquisador deve se atentar primeiro às variáveis que deseja coletar, para que durante a coleta seja possível obter todas elas.

As planilhas digitais mais utilizadas são feitas com o auxílio do *software* Microsoft Excel, a versão mais recente é a de 2010. O *software* não apenas permite armazenar os dados, também é possível realizar diversas operações matemáticas, estatísticas, probabilísticas, financeiras, entre outras. Além de gerar gráficos e exportar os dados e imagens para diversos formatos reconhecidos por outros *softwares*.

O outro fator importante no armazenamento de dados, em uma pesquisa sobre temporizadores, é a escolha das variáveis que vão ser obtidas. Que deve ser feita com base no objetivo da pesquisa e também no tipo do temporizador. Alguns temporizadores só funcionam em determinado período do ciclo, seja apenas no tempo de verde, no tempo de vermelho ou durante os dois.

Portanto dependendo da situação apenas algumas variáveis são relevantes para a pesquisa. Dessa forma, as variáveis podem ser agrupadas em três grupos, variáveis que devem ser avaliadas somente quando a contagem regressiva funcione no verde, no vermelho ou em ambos os períodos. Os três grupos de variáveis estão apresentados a seguir. Cabe ressaltar que são apenas as variáveis que independem do fluxo da outra via da interseção.

Variáveis que devem ser avaliadas em ambos os períodos:

- Tempo de ciclo, tempo de verde, tempo de amarelo e tempo de vermelho;
- Volume total de veículos e volume discriminado por tipo de veículo;
- Número de veículos que passaram pela linha de retenção a cada segundo;
- Fluxo de veículos a cada intervalo de cinco segundos;
- Histograma com a média de veículos em cada intervalo de cinco segundos para todos os ciclos;
- Fluxo de saturação para a interseção e o valor médio para cada faixa, fluxo nos 30 segundos mais carregados;
- Velocidade média dos veículos durante o ciclo; e
- Número total de acidentes na interseção.

Variáveis que devem ser avaliadas no tempo regressivo de verde:

- Número de veículos parando no tempo crítico (*red-stopping*);
- Variação da velocidade média dos veículos no final do verde;
- Taxa de veículos passando no tempo crítico;
- Zona de dilema;
- Quantidade de veículos que passaram no amarelo e no vermelho; e
- Colisões traseiras no final do tempo de verde e início do vermelho.

Variáveis que devem ser avaliadas no tempo regressivo de vermelho:

- *Early start-ratio* (taxa de veículos que avançam o sinal vermelho antes do tempo de verde);
- Tempo perdido no início do verde;
- *Headway* de descarga dos veículos; e
- Colisões laterais.

3.5 Conclusões do capítulo

Em relação ao GSCD, CHIOU e CHANG (2010) analisaram duas interseções consecutivas na mesma via e para análise do RSCD utilizaram o método antes e depois da instalação. Os autores acreditam que se os motoristas estão familiarizados com o GSCD eles vão cruzar a interseção mesmo quando o contador atingir zero. A quantidade de veículos avançando o sinal vermelho foi maior na interseção com temporizador. Os autores concluíram que a zona de dilema aumenta quando existe o GSCD e diminui a quantidade de veículos que cruzam a interseção durante a contagem regressiva.

LUM e HALIM (2006) estudaram a utilização de dispositivos que alertam o motorista sobre o final do tempo de verde. Utilizaram o método antes e depois da instalação do GSCD em uma interseção, que funciona nos últimos 9 segundos de verde. Concluíram que a média do volume de tráfego sofreu alterações irrisórias. Os avanços ao sinal vermelho diminuíram, mas 7,5 meses após o início do uso do GSCD voltaram praticamente aos níveis anteriores e a incidência de *red-stopping* aumentou em média 6,2 vezes.

MA *et al.* (2010) focaram sua pesquisa no comportamento do motorista chinês. Compararam os resultados obtidos em duas interseções na mesma via, uma com GSCD e outra com semáforo convencional. Os autores concluíram que o GSCD pode encorajar alguns motoristas a cruzarem a linha de retenção durante o tempo de amarelo em alta velocidade e afirmaram que ele pode contribuir para redução da zona de dilema e para diminuição do número de avanços ao sinal vermelho. Ressaltaram que o GSCD muda o padrão de comportamento dos motoristas significativamente, assim deve ser avaliado melhor.

WEI *et al.* (2009) avaliaram o GSCD em diversos cenários, com a contagem regressiva desativada, ativada, ativada apenas nos seis e nove últimos segundos e ativada menos nos últimos 6 segundos de verde. Os autores concluíram que com o temporizador ativado em todo o tempo de verde a velocidade média dos veículos é muito maior e aprovaram a utilização do GSCD, porém não durante os últimos 6 segundos de verde.

KIDWAI *et al.* (2005) realizaram seu estudo em sete interseções (quatro com temporizador e três sem). Os autores concluíram que o tempo médio de dispersão dos veículos não foi afetado significativamente. O índice de RLR é duas vezes menor quando utilizado o temporizador para alertar o final do verde.

LIMANOND *et al.* (2010) estudaram o temporizador durante todo o tempo de ciclo em uma interseção onde o equipamento já estava em funcionamento. Para realizar a avaliação solicitaram o desligamento do temporizador durante uma das coletas de dados. Os autores concluíram que no tempo de verde o temporizador diminui o tempo perdido no início e reduz o fluxo de saturação, além de contribuir para a redução de violações ao sinal vermelho.

SPIGOLON (2010) foi quem pesquisou os temporizadores no Brasil mais recentemente. Para a realização de seu estudo avaliou diversas interseções em três cidades diferentes. Em cada cidade foram analisados três casos com temporizador e três sem. Apenas uma interseção foi avaliada antes e depois, em todas as outras o método foi com e sem temporizador. Em algumas interseções onde existia o temporizador somente em uma das aproximações foram comparando os dados entre as duas aproximações.

Para a comparação, SPIGOLON (2010) fez uma média global das variáveis obtidas em cada cidade. Concluiu que com o temporizador o *headway* médio aumentou e que a

capacidade real diminuiu levemente. Em relação à segurança o temporizador reduziu o número de acidentes. Cabe ressaltar também que os dados comparados entre si possuem três tipos diferentes de temporizadores: com contagem regressiva numérica, através de lâmpadas menores ou iguais às do semáforo que apagavam sucessivamente. A mistura de dados na mesma cidade, entre três cidades diferentes e entre três tipos de temporizadores, torna a pesquisa mais suscetível a erros maiores de avaliação.

Em relação à análise comparativa dos temporizadores cabe ressaltar que, dentro de cada um desses métodos é possível que haja uma variação dos mesmos, por exemplo, na pesquisa feita por WEI *et al.* (2009) descrita no Capítulo 2 deste trabalho. Foram avaliados cinco cenários diferentes em uma mesma interseção, sendo que quatro consistiram em variações da contagem regressiva em relação ao tempo em que ela era empregada durante o verde, utilizando durante todo o verde, durante os últimos seis e 9 segundos e durante todo o verde exceto nos últimos 6 segundos. Outro exemplo é a pesquisa de SPIGOLON (2010), que englobou vários métodos em diferentes cidades, interseções, aproximações e tipos de temporizador (com cronômetros ou lâmpadas regressivas).

Quanto às variáveis a serem coletadas podem ser citados dois exemplos, o *red-stopping*, só deve ser avaliado caso o temporizador funcione nos últimos segundos de verde, pois é nesse período que os motoristas têm o conhecimento do tempo restante para a travessia e muitas vezes optam por frear ainda no verde. Outro exemplo de variável é o tempo perdido no início do verde, ele só deverá ser avaliado caso o temporizador funcione no final do tempo de vermelho, quando os veículos recebem a informação de quanto tempo falta para o início do verde.

Com exceção de KIDWAI *et al.* (2005) e SPIGOLON (2010), todos os outros pesquisadores avaliaram o temporizador utilizando somente uma comparação, seja entre duas interseções, com e sem temporizador, ou com e sem temporizador na mesma interseção.

Na Tabela 3.9 é apresentado um resumo com todas as pesquisas sobre temporizadores descritas nesse Capítulo.

Tabela 3.9: Resumo dos trabalhos da revisão bibliográfica

Pesquisador (es)	Método de avaliação do GSCD	Quando o temp. foi utilizado	Método de coleta de dados	Principais variáveis avaliadas	Principais conclusões sobre o impacto do temporizador	Principais recomendações
CHIOU e CHANG (2010)	Duas interseções consecutivas, uma com GSCD e outra sem	Todo tempo de verde e o amarelo	Vídeo-teipe e planilha manual	Avanço ao sinal vermelho, zona do dilema e decisão de cruzar a interseção	O GSCD diminui os avanços ao sinal vermelho, mas aumenta a zona do dilema e a inconsistências das decisões em cruzar	Realizar estudos antes e depois da instalação do GSCD
KIDWAI <i>et al.</i> (2005)	P/ capacidade: antes e depois; P/ segurança: interseções com e sem temporizador	Todo tempo de verde	Vídeo-teipe e planilha manual	Capacidade, tempo de dispersão do pelotão, Avanço ao sinal vermelho	A capacidade pouco alterou. O avanço ao sinal vermelho diminuiu, mas continua elevado, pois deveria ter sido irrisório	São necessários mais estudos e diretrizes concretas
LMANOND <i>et al.</i> (2010)	Com e sem temporizador na mesma interseção	Tempo de verde, vermelho e amarelo	Vídeo-teipe e entrevista com motoristas	Fluxo de veículos, fluxo de saturação, tempo perdido e <i>headway</i> . Avanço ao sinal vermelho	<i>Headway</i> é maior. Avanço de sinal passou de 70 para 35 ocorrências em 5h. Não influencia o amarelo e diminui a frustração de espera	É necessária uma investigação maior sobre o temporizador
SPIGOLON (2010)	Múltiplos tipos de comparações e foi utilizada uma média global de cada cidade	Tempo de verde e vermelho	Não divulgado	Capacidade, <i>headway</i> , tempo perdido e número de acidentes veiculares em interseções	Não é possível determinar a eficiência do temporizador em relação ao ganho de capacidade; diminuiu o n° de acidentes	Realizar novos estudos considerando seus resultados
LUM e HALIM (2006)	Em uma interseção antes da instalação do GSCD e depois em 4 oportunidades	Nos nove últimos segundos	Foram utilizados sensores de tráfego sob o pavimento	Fluxo de veículos. Avanço ao sinal vermelho e <i>red-stopping</i>	Encoraja o <i>red-stopping</i> . Diminui o n° de avanços ao sinal vermelho, mas ao longo do tempo esse efeito é dissipado	Realizar estudo semelhante em locais diferentes
MA <i>et al.</i> (2010)	Duas interseções consecutivas, uma com GSCD e outra sem	Todo o tempo de verde	Vídeo-teipe	Zona do dilema, avanço ao sinal vermelho, velocidade média em diversos trechos das interseções	Reduziu a zona do dilema e o avanço do sinal. Motoristas passam pelo amarelo com maior velocidade aumentando o risco de colisões	Diminuir o tempo de amarelo
WEI <i>et al.</i> (2009)	Comparação entre 5 diferentes cenários na mesma interseção	4 diferentes períodos de verde avaliados	Radar e computador	Fluxo de veículos e velocidade média	A contagem regressiva no final do verde contribui para velocidade maior e menos estável	Utilizar o GSCD menos nos últimos 6 segundos

Capítulo 4

Obtenção e análise dos dados

O método de avaliação escolhido para o estudo de caso foi o de comparação dos cenários “antes e depois” da instalação do temporizador em uma determinada aproximação. Este método permite que o impacto do temporizador seja avaliado independentemente de qualquer outro fator, pois quando o estudo é realizado através da comparação de duas aproximações ou interseções diferentes, onde uma possui o temporizador no semáforo e a outra não, o padrão de tráfego e a infraestrutura da via dificilmente serão idênticos, aumentando as chances de erro da pesquisa. Além disso, foi possível realizar a avaliação do motorista logo após a instalação do equipamento, quando ainda não estivesse habituado ao seu funcionamento.

4.1 Escolha do local de estudo

Após o início da implantação gradativa dos temporizadores em alguns semáforos da cidade do Rio de Janeiro (em cumprimento à Lei Estadual nº 5.818) ser divulgado por parte da imprensa, foi feito contato com a CET-Rio objetivando apurar em quais interseções ainda seriam instalados temporizadores. Foram obtidas então informações sobre as próximas interseções onde o temporizador seria implantado. Todas as interseções que tem ou vão ter temporizador possuem sistema de multagem por avanço de sinal.

Dentre as opções, foi escolhida a aproximação na Rua Goiás, localizada na interseção com a Rua Guineza no bairro Engenho de Dentro, uma das vias de acesso ao Estádio Olímpico João Havelange. O principal critério para escolha do local de estudo foi a eminente instalação de um temporizador semafórico nesta via, o que possibilitou realizar a coleta de dados antes e depois da implantação do equipamento.

A Figura 4.1 é uma imagem de satélite da cidade do Rio de Janeiro. O local de estudo, circulado em vermelho na figura, está situado na Zona Norte da cidade a uma distância aproximada de 12 quilômetros do Centro da cidade.

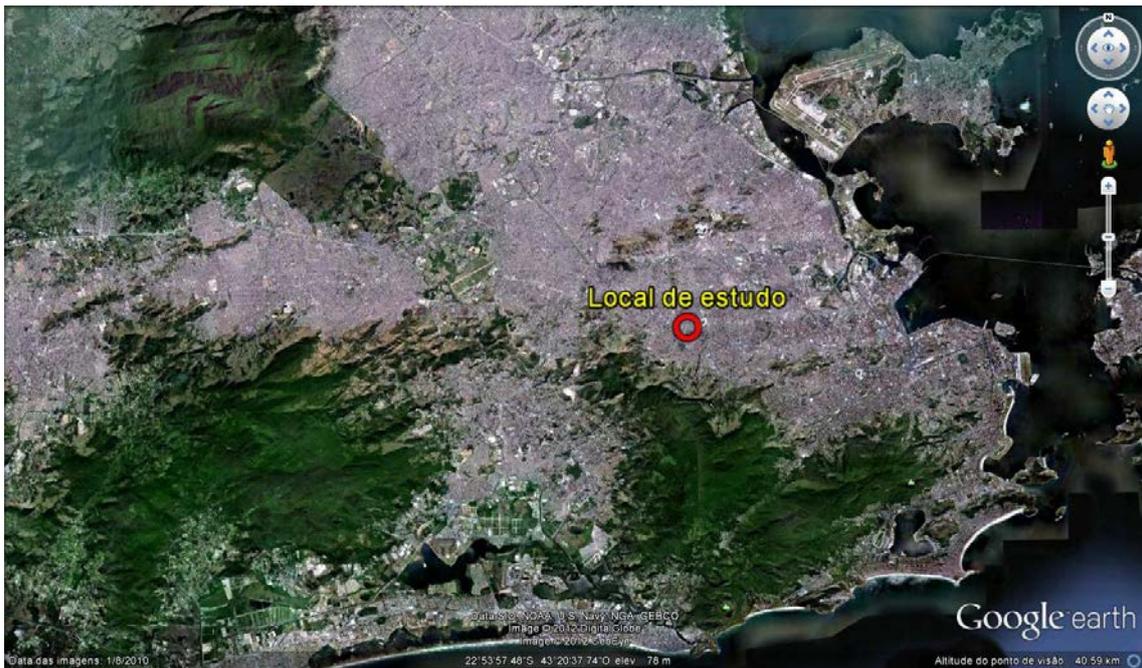


Figura 4. 1: Posicionamento do local de estudo em relação à cidade do Rio de Janeiro

Na Figura 4.2 é possível visualizar a região do local de estudo, representado pelo Ponto A. Os demais pontos de interesse são: Linha Amarela (Ponto B), Estádio Olímpico João Havelange (Ponto C) e Estação de Trem – Engenho de dentro (Ponto D).



Figura 4. 2: Imagem de satélite da região do local de estudo
 FONTE: Google Ebert (2011)

A aproximação da Rua Goiás na interseção com a Rua Guineza, antes da instalação do temporizador, pode ser vista na Figura 4.3.



Figura 4. 3: Aproximação da Rua Goiás

Segundo a CET-Rio, o semáforo em questão não contempla o controle atuado semafórico do centro de controle de tráfego. Trata-se de um semáforo pré programado.

4.2 Escolha do método de coleta de dados

Levando em consideração que o objetivo do estudo foi a avaliação do temporizador e que este funciona durante apenas 10 segundos, o videoteipe permitiu maior sensibilidade e precisão, pois foi possível analisar cada instante quantas vezes fosse necessário, avaliando o comportamento dos veículos a cada segundo.

Foram realizadas diversas filmagens no período anterior e posterior à instalação do temporizador, sempre durante o pico da manhã ou da tarde, com duração de no mínimo uma hora. A padronização do horário das gravações permitiu utilizar as filmagens com maior fluxo de veículos e gravadas no mesmo horário em dias diferentes.

Apesar da coleta de dados ter abrangido a realização de múltiplas filmagens em diversas datas no local de estudo, para a análise final dos dados foram aproveitadas apenas duas horas de gravação. A primeira hora escolhida foi gravada antes da instalação do temporizador, no dia 25/04/11 das 08h30min às 09h30min, e a segunda hora foi gravada depois da instalação do temporizador no dia 07/06/11 das 08h30min às 09h30min.

Como pode ser observado, as duas filmagens utilizadas para análise foram feitas no mesmo horário, durante o pico da manhã, pois entre os períodos avaliados foi o que apresentou o maior volume de veículos, o que possibilita uma melhor percepção do impacto do temporizador no tráfego.

4.3 Método de armazenamento de dados desenvolvido

Para desenvolver um método de armazenamento, onde os dados coletados pudessem ser aproveitados da melhor maneira possível, primeiramente foi adotado um *software*, para a reprodução dos vídeos, chamado Microsoft Expression Encoder 4. Este *software* possui recurso de avanço frame a frame, possibilitando analisar cada segundo ou centésimo de segundo dos vídeos. A Figura 4.4 apresenta a interface do programa reproduzindo um vídeo.

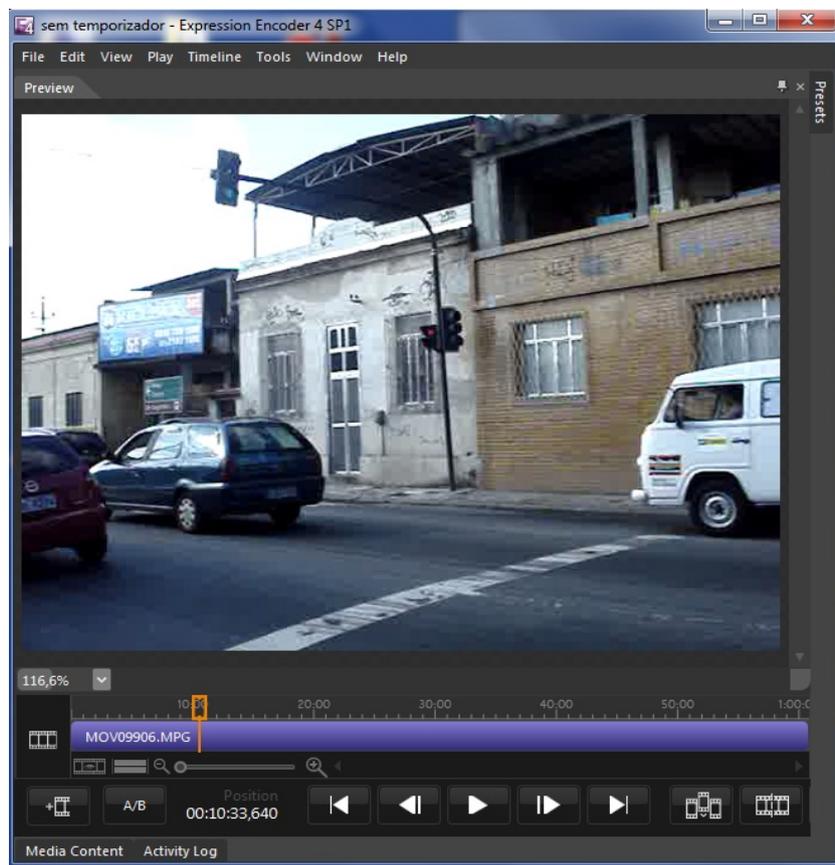


Figura 4.4: Interface do Microsoft Expression Encoder 4

Os dados foram então observados a partir da reprodução dos vídeos e para seu armazenamento foi adotado o *software* Microsoft Office Excel 2007. As variáveis escolhidas para obtenção a partir dos vídeos foram:

- Tempo de ciclo, tempo de verde, tempo de amarelo e tempo de vermelho;
- Volume total de veículos e volume discriminado por tipo de veículo;
- Número de veículos que passaram pela linha de retenção a cada segundo;
- Número de veículos parando no tempo crítico (*Red-stopping*);
- Fluxo de veículos a cada intervalo de cinco segundos;
- Histograma com a média de veículos em cada intervalo de cinco segundos para todos os ciclos;
- Fluxo de saturação para a interseção e o valor médio para cada faixa, fluxo nos 30 segundos mais carregados;
- Taxa de veículos passando e parando no tempo crítico; e
- Quantidade de veículos que passaram no amarelo e vermelho.

Conhecendo as variáveis desejadas foi criado um arquivo do Microsoft Excel para a cada hora de filmagem. O sistema de armazenamento de dados criado consistiu em desenvolver diversas planilhas, dentro de cada arquivo, de forma que uma planilha interagisse e compartilhasse seus dados com todas as outras. Através das planilhas foi possível obter diferentes variáveis a partir de cada segundo da hora analisada, podendo também agrupar os dados de acordo com a necessidade, por exemplo, somando os veículos em cada ciclo semafórico ou somente durante o verde.

A primeira e principal planilha de cada arquivo foi chamada de “Matriz”. Ela possui uma linha para cada segundo de uma hora de filmagem, e nessas linhas foram computados os veículos que cruzaram a interseção no respectivo segundo. Além destes foi obtido também o número de veículos que optaram por não cruzar a interseção no final do verde e durante o amarelo (*red-stopping*).

Para quantificar o *red-stopping*, foram observados todos os veículos que pararam antes da linha de retenção, durante os 10 últimos segundos de verde, em todo amarelo e nos três primeiros segundos de vermelho. Este período de foi denominado nesta pesquisa como “Tempo Crítico”. Cabe ressaltar que, cada veículo foi computado na célula correspondente ao segundo no qual parou completamente antes da linha de retenção

A nomenclatura das colunas e o preenchimento das células foram também primordiais para melhor utilização e entendimento da planilha Matriz (Figura 4.5).

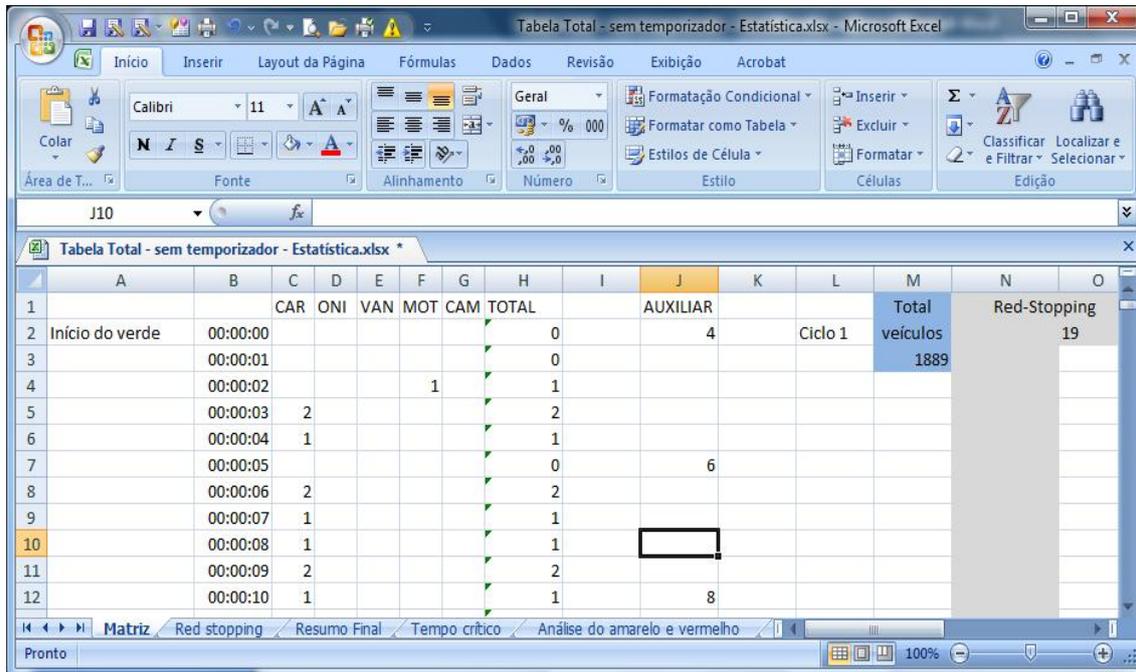


Figura 4.5: Planilha Matriz na Interface do Excel

Algumas colunas servem apenas como referência como, por exemplo, a coluna A e L que descrevem o período em que o ciclo se encontra e a numeração do ciclo respectivamente, além de colunas auxiliares como a H que soma os veículos de todas as categorias, que passaram por segundo. A coluna J é responsável pela soma dos veículos que passaram a cada intervalo de cinco segundos, a coluna M faz somatório total de veículos em uma hora e a coluna N contabiliza a incidência de *Red-Stopping*, os veículos que param no tempo crítico.

Através da planilha Matriz foi possível então originar outras importantes planilhas, gráficos e histogramas. A planilha “Fluxo” (Figura 4.6) apresenta a somatória de veículos a cada intervalo de cinco segundos por ciclo, além de um histograma gerado a partir da média de fluxo de veículos de cada intervalo de tempo.

4.4 Cálculo do tamanho da amostra

Foi utilizado como amostra o número de ciclos semaforicos em cada hora analisada. No primeiro caso, antes da instalação do temporizador, o número de ciclos foi igual a 45, portanto $n' = 45$.

Para o cálculo da média e do desvio padrão da amostra foi considerada a taxa de chegada de veículos no tempo crítico. Essa taxa consiste na somatória de veículos que foram captados através das filmagens, cruzando a interseção ou parando na linha de retenção durante o tempo crítico. A estimativa da média da taxa de chegada por ciclo foi de 7,71 veículos, portanto $\bar{X} = 7,71$. O desvio padrão da amostra piloto (s) foi de 4,33 veículos. Todos os cálculos e parâmetros estatísticos foram realizados através do Microsoft Office Excel.

Foi utilizado o método de distribuição t-Student, adotando o parâmetro $t_{n'-1} = 1,68$ para um nível de confiança de 90%. Para a aprovação da amostra piloto foi utilizada a Equação 4.1, que dá o tamanho mínimo da amostra. O erro admitido foi de 15% para a estimativa da média.

$$N = \frac{(t_{n'-1} \cdot s)^2}{E^2} \quad (4.1)$$

em que

$t_{n'-1}$: distribuição t-Student;

s: desvio padrão da amostra piloto (veículos); e

E: erro permitido (veículos).

$$N = \frac{(1,68 \cdot 4,33)^2}{1,157} \cong 40 \text{ ciclos}$$

Como $n' \geq N$, a amostra piloto foi aprovada para um nível de 90% de confiança.

Para amostragem do segundo caso, depois da instalação do temporizador, o número de ciclos considerado foi igual a 52. Com a redução de 80 para 70 segundos em cada ciclo, após a instalação do temporizador, cada hora passou a ter aproximadamente 51,4 ciclos, mas foi adotado $n' = 52$ para que a amostra tivesse no mínimo uma hora. A estimativa da média da taxa de chegada por ciclo foi de 8,37 veículos, portanto $\bar{X} = 8,37$. O desvio padrão da amostra piloto foi $S = 3,98$ veículos.

Foi utilizado o método de distribuição t-Student, adotando o parâmetro $t_{n-1} = 1,675$ para um nível de confiança de 90%. Para a aprovação da amostra piloto foi utilizada a Equação 4.1, que dá o tamanho mínimo da amostra, o erro admitido foi de 15% da estimativa da média.

$$N = \frac{(1,675 \cdot 3,98)^2}{1,255} \cong 28 \text{ ciclos}$$

Como $n' \geq N$, a amostra piloto foi aprovada para um nível de 90% de confiança.

4.5 Resultados obtidos

Como o método de estudo utilizado foi o “antes e depois” da instalação do temporizador, o procedimento de coleta, armazenamento e análise dos dados foi rigorosamente o mesmo. As planilhas utilizadas no Microsoft Office Excel são praticamente idênticas salvo algumas pequenas mudanças em consequência da alteração do tempo de ciclo depois da implantação do temporizador e também do tempo de verde, amarelo e vermelho.

4.5.1 Antes da instalação do temporizador

Para a filmagem antes da instalação do temporizador, realizada no dia 25/04/11 das 08h30min às 09h30min, o tempo de ciclo era de 80 segundos e está detalhado na Tabela 4.1. No ciclo semaforico não é utilizado o vermelho geral.

Tabela 4.1: Plano semaforico antes do temporizador

Período	Tempo (s)
Ciclo	80
Verde	48
Amarelo	3
Vermelho	29

Foi contabilizado um total de 1889 veículos em uma hora de filmagem sem o temporizador. A discriminação da frota de acordo com o tipo de veículo pode ser visualizada na Tabela 4.2. Na mesma tabela são apresentados os volumes transformados em UCP, utilizado os fatores de equivalência adotados por WEBSTER e COBBE (1966). A porcentagem de cada tipo de veículo em relação ao volume total pode ser visualizada no gráfico da Figura 4.8.

Tabela 4.2: Quantidade de veículos para cada tipo na interseção

Tipo de veículo	Automóveis	Ônibus	Vans	Motos	Caminhões	Total (veíc.)
Volume	1540	77	84	152	36	1889
Fator de equivalência	1	2,25	1	0,33	1,75	
Volume (UCP)	1540	173,25	84	50,16	63	1910

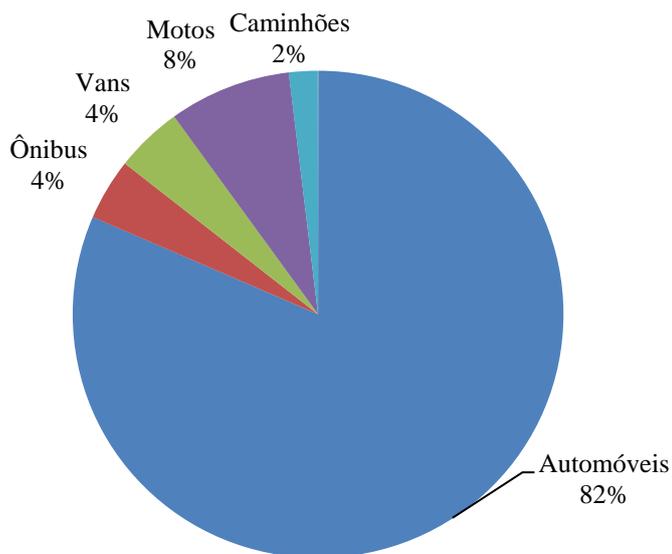


Figura 4.8: Frota de veículos discriminada por categoria

Na planilha de fluxo cada ciclo foi separado em intervalos de cinco segundos. Depois foi obtida uma média para cada intervalo, que correspondesse a todos os ciclos. As médias de cada intervalo foram utilizadas para a construção de um histograma. Portanto cada coluna da Figura 4.9 representa o fluxo médio de veículos, de todos os ciclos, descarregados da fila a cada 5 segundos do ciclo.

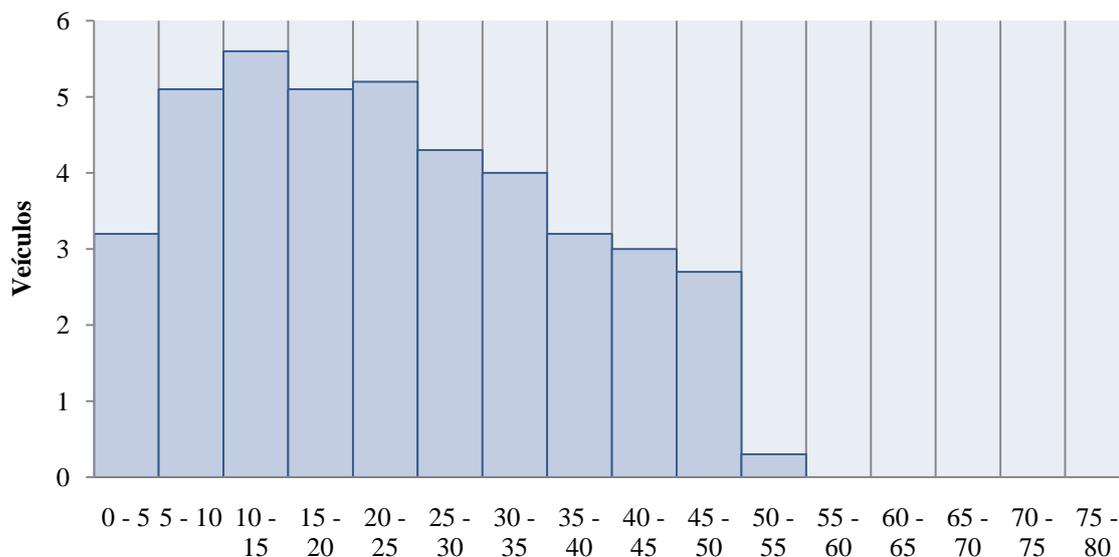


Figura 4.9: Histograma da média de fluxo de veículos a cada 5 segundos (sem temporizador)

O fluxo de saturação foi calculado utilizando o método de WEBSTER (1957), descrito no Item 2.1 deste trabalho. Cabe ressaltar que esse método deve ser empregado apenas para ciclos saturados, portanto serão utilizados no cálculo do fluxo de saturação apenas os intervalos saturados, com aproximadamente um veículo por segundo.

$$b = g_{ef} \cdot s$$

em que

g_{ef} : verde efetivo (s);

b : fluxo de veículos descarregados de uma fila (veículos); e

s : fluxo de saturação (veículos/segundo de verde efetivo).

Como fluxo de saturação, a partir desta equação, é dado em veículos por segundo de verde efetivo é conveniente multiplicar por 3600 segundos, para obter o fluxo de saturação em veículos por hora de verde (vhv). A variável “b” foi obtida através da somatória das colunas mais saturadas do histograma (Figura 4.9) durante o verde efetivo. A somatória das colunas mais saturadas se deu entre o quinto e o vigésimo quinto segundo, totalizando uma média de 21,11 veículos/20 segundos. Assim o fluxo de saturação é obtido da seguinte maneira:

$$s = \left(\frac{21,11}{20} \right) \cdot 3600 = 3800 \text{ vhv}$$

Foram registrados apenas 19 veículos praticando o *Red-stopping*, ou seja, parando antes da linha de retenção entre o final do tempo de verde até 3 segundos depois do início do vermelho. A somatória de veículos parando em cada segundo da passagem do verde para o vermelho durante uma hora pode ser visualizada na Figura 4.10.

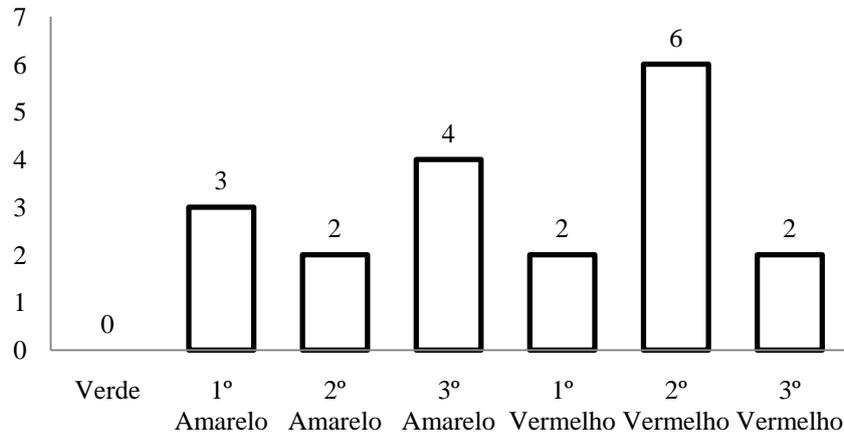


Figura 4.10: Número de veículos parando nestes instantes durante uma hora

Cinquenta e seis (56) veículos optaram por cruzar a linha de retenção no tempo de amarelo, nove passaram durante o tempo de vermelho e cinco nos três primeiros segundos de vermelho. A Figura 4.11 apresenta um gráfico com o volume de veículos que passou em cada segundo do amarelo e nos primeiros três segundos do vermelho durante uma hora.

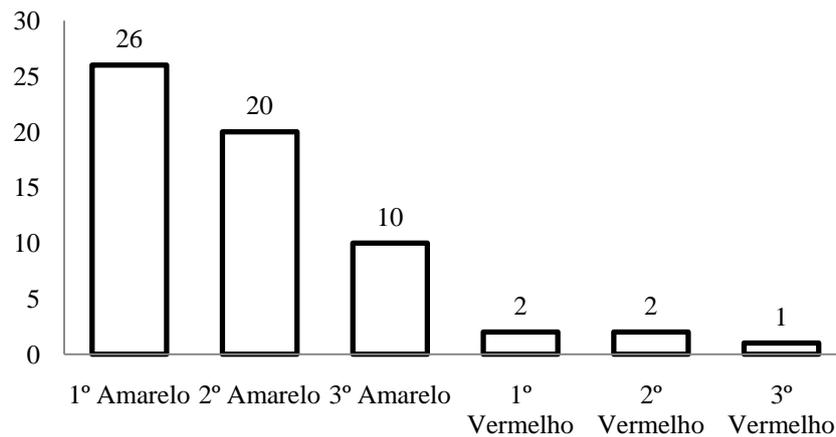


Figura 4.11: Utilização do tempo de amarelo e dos primeiros segundos de vermelho durante uma hora

4.5.2 Depois da instalação do temporizador

Para a filmagem depois da instalação do temporizador, realizada no dia 07/06/11 das 08h30min às 09h30min, o plano semaforico foi alterado e está detalhado na Tabela 4.3. No ciclo semaforico não é utilizado o vermelho geral.

Tabela 4.3: Plano semaforico depois do temporizador

Período	Tempo (s)
Ciclo	70
Verde	42
Amarelo	4
Vermelho	24

Foi contabilizado um total de 1969 veículos em uma hora de filmagem sem o temporizador. A discriminação da frota de acordo com o tipo de veículo pode ser visualizada na Tabela 4.4. Na mesma tabela são apresentados os volumes transformados em UCP, utilizado os fatores de equivalência adotados por WEBSTER e COBBE (1966).

Tabela 4.4: Quantidade de veículos para cada tipo na interseção

Tipo de veículo	Automóveis	Ônibus	Vans	Motos	Caminhões	Total (veíc.)
Volume	1574	82	75	211	27	1969
Fator de equivalência	1	2,25	1	0,33	1,75	
Volume (UCP)	1574	184,5	75	69,63	47,25	1950

A porcentagem de cada tipo de veículo em relação ao volume total pode ser visualizada no gráfico da Figura 4.12.

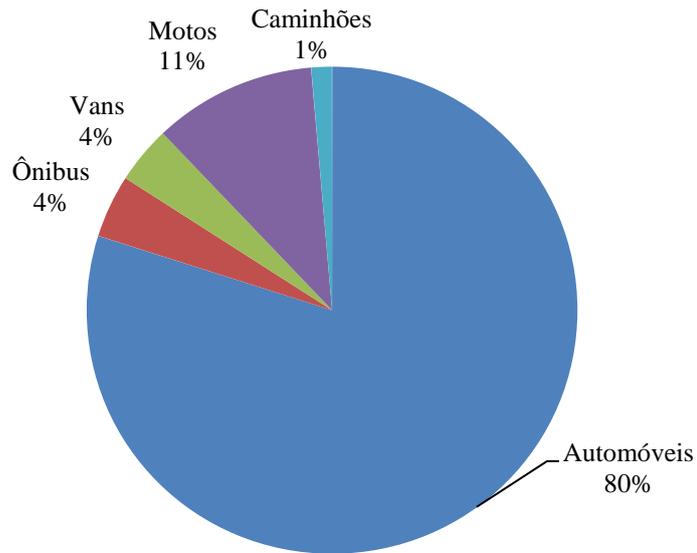


Figura 4.12: Frota de veículos discriminada pela categoria

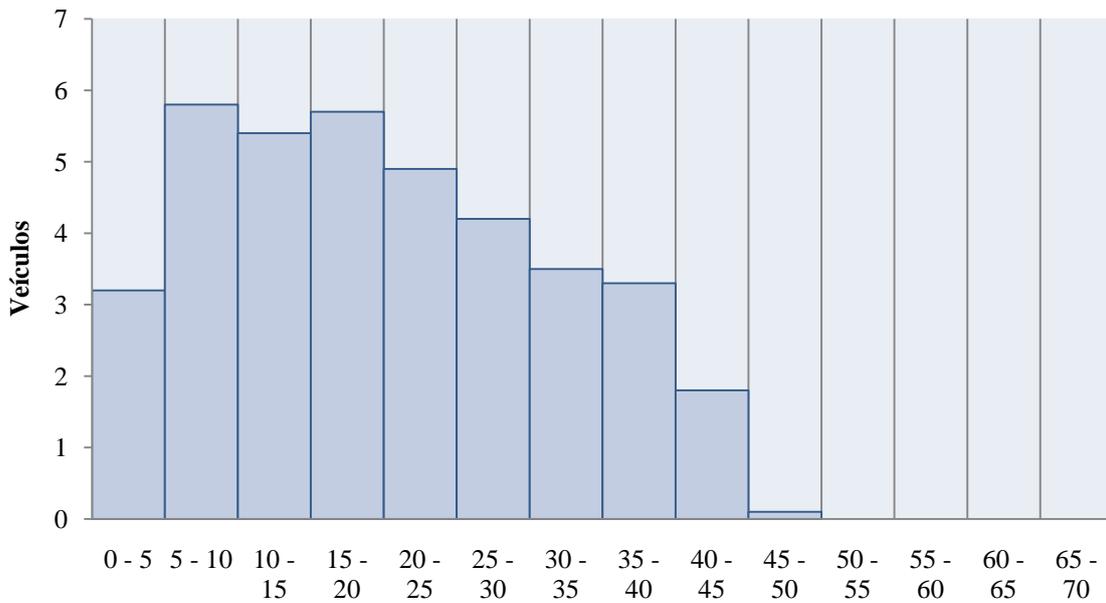


Figura 4.13: Histograma da média de fluxo de veículos a cada 5 segundos (com temporizador)

O histograma da Figura 4.13 foi calculado do mesmo modo do caso anterior (antes da instalação do temporizador). A somatória dos intervalos mais saturados do histograma (Figura 4.13) do quinto ao vigésimo segundo foi 16,85 veículos/ 15 segundos. Dessa forma o fluxo de saturação foi calculado da seguinte maneira:

$$s = \left(\frac{16,85}{15}\right) \cdot 3600 = 4043 \text{ vhv}$$

Sessenta e cinco (65) veículos foram registrados praticando o *red-stopping*. A somatória de veículos parando em cada segundo da passagem do verde para o vermelho durante uma hora pode ser visualizada na Figura 4.14.

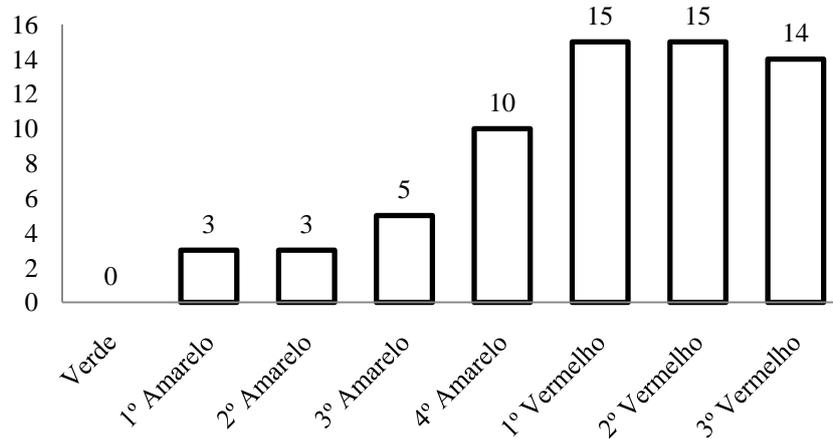


Figura 4.14: Número de veículos parando nestes instantes durante uma hora

Vinte e seis (26) veículos optaram por cruzar a linha de retenção no tempo de amarelo e quatro passaram por esta durante o tempo de vermelho, sendo apenas dois nos três primeiros segundos de vermelho. A Figura 4.15 apresenta um gráfico com o volume de veículos que passou em cada segundo do amarelo e nos primeiros três segundos do vermelho durante uma hora.

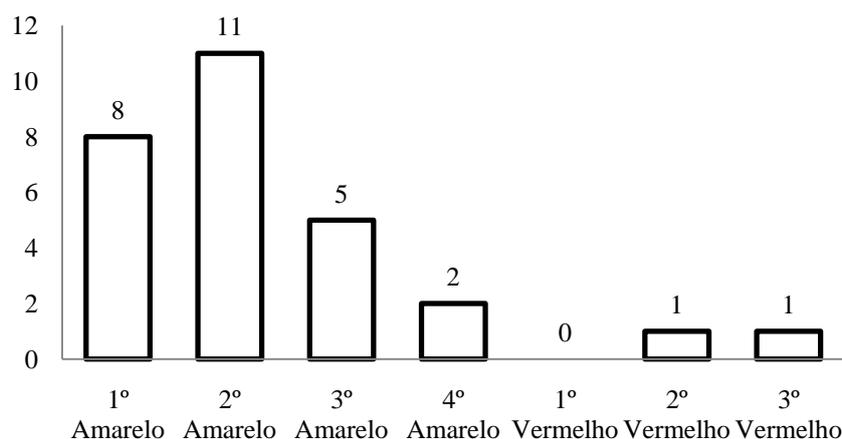


Figura 4.15: Utilização do tempo de amarelo e dos primeiros segundos de vermelho durante uma hora

4.6 Comparação entre os cenários antes e depois do temporizador

A incidência de veículos freando no final do verde e no amarelo e consequentemente parando na linha de retenção até o terceiro segundo de vermelho (*red-stopping*) aumentou 3,4 vezes, de 19 para 65 veículos. Em decorrência desse fenômeno e para que fosse avaliado com mais clareza, foi criado um diagrama espaço/tempo baseado na teoria e simulação de WEBSTER (1957), já descrita no Capítulo 2. O diagrama foi gerado no software AutoCAD 2010 utilizando os dados do fluxo de veículos de uma filmagem realizada no dia 22 de julho de 2011 (Figura 4.16).

Para esta nova filmagem a câmera de vídeo foi posicionada em outro ângulo em relação à via, para que fosse possível perceber o comportamento dos veículos no momento exato da frenagem e passagem de cada veículo durante todo ciclo. Principalmente durante o tempo crítico, podendo assim avaliar melhor o aumento do *red-stopping*.

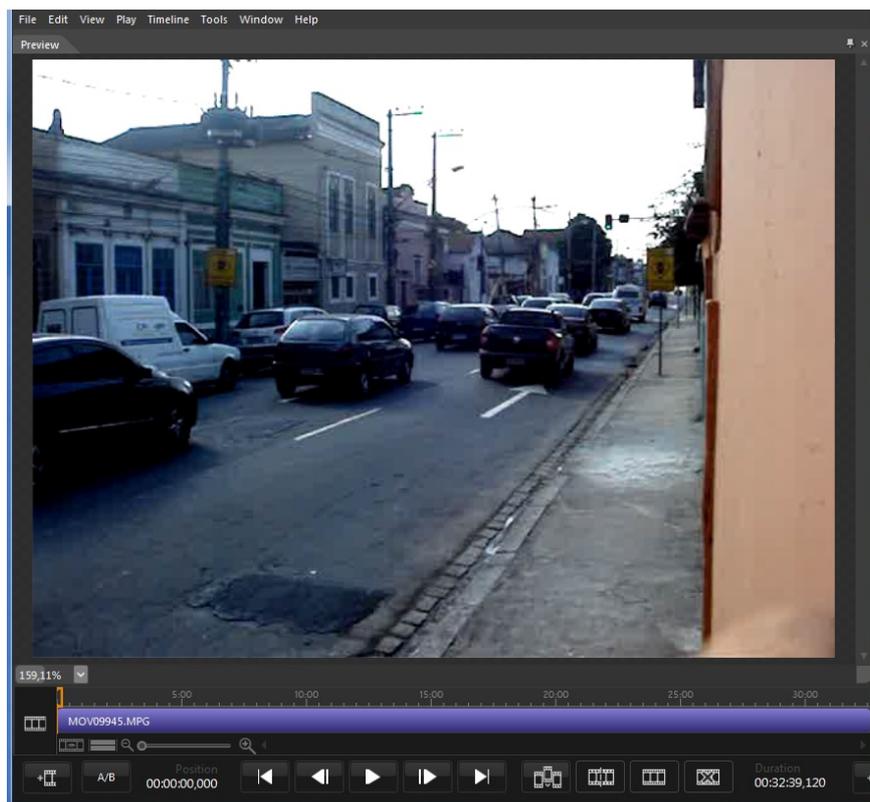


Figura 4.16: Ângulo de filmagem para captação do instante de frenagem

No Item 2.1 deste trabalho foi apresentado um método desenvolvido por WEBSTER (1957), que consiste na representação gráfica do movimento de cada veículo desde um determinado ponto anterior à aproximação até um ponto posterior à interseção.

Como o método permite analisar individualmente a progressão de cada veículo no tempo e espaço ao mesmo tempo, foi escolhido um ciclo aleatoriamente para ser estudado através do diagrama espaço/tempo, o resultado pode ser visto na Figura 4.17. Nos dois finais de ciclos analisados alguns veículos tomam decisões conflitantes em relação a outros em instantes muito próximos, o que pode acarretar em colisões.

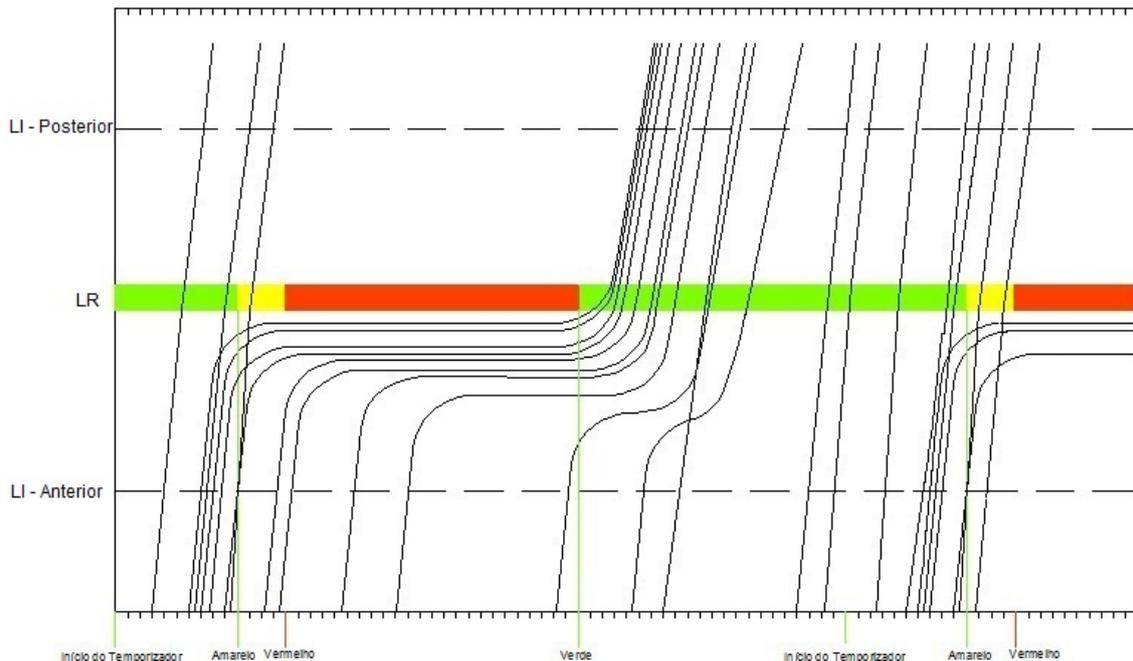


Figura 4.17: Diagrama espaço/tempo para o cálculo do atraso

No final do primeiro ciclo seis veículos se aproximam do ponto de referência anterior à linha de retenção (LI – Anterior), antes do início do amarelo, e apenas dois optam por cruzar a interseção. Enquanto no final do segundo ciclo sete veículos se aproximam do ponto de referência anterior à linha de retenção e três veículos optam parar antes da linha de retenção. Cabe ressaltar que a sobreposição de linhas significa que ocorreu ultrapassagem, já que existem três faixas de tráfego na via.

Para exemplificar como uma colisão pode acontecer, consideremos hipoteticamente que dois veículos trafegam consecutivamente em uma mesma faixa de tráfego, empregando a velocidade máxima permitida na via. Caso o primeiro veículo decida parar no final do verde e o segundo veículo decida cruzar a interseção, utilizando os últimos segundos de verde ou eventualmente o início do amarelo, o segundo veículo possivelmente irá colidir na traseira do primeiro ou terá de frear bruscamente para evitá-la.

A Tabela 4.5 apresenta uma comparação entre os fluxos observados, antes e depois da instalação do temporizador.

Tabela 4.5: Diferença numérica e em porcentagem do n° de veículos

Veículos	Antes	Depois	Diferença (%)
Total	1889	1969	4,23%
Automóveis	1540	1574	2,21%
Ônibus	77	82	6,49%
Vans	84	75	-10,71%
Motos	152	211	38,82%
Caminhões	36	27	-25%

Na Tabela 4.6 a diferença em porcentagem para as principais variáveis obtidas durante o estudo e na Tabela 4.7 a proporção de incidência de *red-stopping* antes e depois da instalação do temporizador.

Tabela 4.6: Diferença numérica e em porcentagem das variáveis

Variáveis	Sem temporizador	Com temporizador	Diferença (%)
Total de veículos	1889	1969	4,24%
Total de veículos (UCP)	1910	1950	2,1%
Fluxo de saturação	3800	4043	6,39%
Incidência total de <i>Red-stopping</i>	19	65	242,10%
Veículos cruzando no amarelo	56	26	-53,57%
Veículos cruzando no vermelho	9	4	-55,56%
Veículos cruzando no início do vermelho	5	2	-60,0%

Tabela 4.7: Proporção de incidência do *red-stopping*

Cenário	Taxa de incidência a cada	Porcentagem de veículos
	mil veículos	incidentes por hora
Antes do temporizador	10	1%
Depois do temporizador	33	3,3 %

O plano semafórico foi modificado depois da instalação do temporizador, assim como o tempo de verde, amarelo e vermelho. Com isso, para uma melhor percepção da utilização do amarelo e vermelho por parte dos motoristas foi calculada uma proporção de veículos que passam no vermelho ou amarelo em relação aos segundos disponíveis em cada período. O cálculo foi feito a partir da Equação 4.2.

$$\text{proporção} = \frac{V}{T} \quad (4.2)$$

em que proporção: proporção de veículos passando em relação ao tempo disponível (veículos/segundo);

V: número de veículos que passaram no respectivo período em uma hora (veículos); e

T: tempo de duração do período em análise (segundos).

A Tabela 4.8 apresenta a proporção de veículos que passam no período sem temporizador e com temporizador e a diferença eles, em porcentagem.

Tabela 4.8: Proporção de veículos e diferença em porcentagem para o fluxo em cada parte do ciclo

Período	Sem	Com	Diferença (%)
	temporizador	temporizador	
Amarelo	18,7	6,5	-65,24%
Vermelho	0,31	0,17	-45,16%

4.7 Conclusões do capítulo

O volume total de veículos para cada hora avaliada passou de 1889 v/h para 1969 v/h, o que resulta em um aumento de 4,2%. Quanto ao volume discriminado pela categoria dos veículos a maior diferença ocorreu no número de motos com um aumento de 38,8%. O

volume total, calculado em UCP, passou de 1910 ucp/h para 1950 ucp/h, resultando em um aumento de 2,1%.

O fluxo de saturação passou de 3800 veículos por hora de verde (vhv) para 4043, resultando em um aumento de 6,39%.

O número de veículos que passaram pelo amarelo e vermelho foi de 56 para 26 e de nove para quatro respectivamente, causando uma redução, no número de veículos em cada um destes períodos, de 54% no amarelo e 56% no vermelho. Considerando apenas os três primeiros segundos de vermelho, que teoricamente são os mais influenciados pelo temporizador, as infrações caíram 60%.

A incidência de *Red-Stopping* passou de 19 para 65 veículos em uma hora, ou seja, 3,4 vezes mais ou um aumento de 242%. Calculando a incidência através da porcentagem de veículos em cada hora, o aumento foi de 230%.

Capítulo 5

Conclusões e recomendações

O objetivo do trabalho foi alcançado em relação à avaliação comparativa do impacto do temporizador antes e depois da sua instalação em uma interseção onde existe detecção de avanço ao sinal vermelho com sistema de multagem. Foram analisadas diversas variáveis como o tempo de ciclo, volume total e discriminado de veículos, veículos passando no amarelo e vermelho, fluxo de saturação e incidência de *Red-Stopping*.

O volume de veículos teve uma mudança irrisória na comparação entre as duas horas analisadas, com um leve aumento depois da instalação do temporizador. O fluxo de saturação também aumentou minimamente. Não é possível saber qual foi a parcela de responsabilidade do temporizador sobre as mudanças, pois o plano semaforico foi reduzido e conseqüentemente o verde efetivo também, que é diretamente proporcional ao tempo de ciclo.

O número de veículos cruzando a interseção no tempo de amarelo e vermelho diminuiu consideravelmente depois da instalação do temporizador. Essa redução além de expressiva foi muito semelhante nos dois casos. Portanto é possível afirmar que o temporizador no final do verde inibe indiretamente os motoristas a passarem durante o amarelo e vermelho, pois quando sabiam o tempo restante para cruzar a interseção de maneira segura, menos motoristas utilizaram o tempo de amarelo ou o vermelho.

A incidência de *Red-Stopping* aumentou muito com o temporizador em funcionamento, isso significa que mais motoristas optaram por parar antes da linha de retenção a cruzar a interseção durante os últimos segundos de verde. Antes da instalação do temporizador isso não acontecia com tanta frequência, porque os motoristas não tinham conhecimento do eminente término do tempo de verde. Os veículos que praticaram *Red-stopping* antes do temporizador, provavelmente frearam bruscamente ou estavam a uma velocidade reduzida quando visualizaram a mudança do verde para o amarelo.

Levando em consideração a redução de veículos passando no tempo de amarelo e vermelho e o aumento do *Red-Stopping*, pode-se concluir que o motorista esteja sendo influenciado a não realizar a travessia no final do verde. Pois na aproximação existe um detector de avanço ao sinal vermelho com sistema de multagem ele sabe que se não for bem sucedido na travessia pode ser multado.

Nenhum acidente foi registrado durante as filmagens, mas foram recorrentes freadas bruscas por parte de alguns motoristas para evitar colisão traseira. Além disso,

analisando o diagrama espaço/tempo de apenas um ciclo e a filmagem realizada pelo ângulo de fundo da aproximação, foi possível constatar que muitos desses motoristas optam por frear no final do tempo de verde e ao mesmo tempo outros optam por continuar a travessia. Quando os motoristas que optam pela travessia vêm na mesma faixa de tráfego consecutivos aos que optam pela parada, os que vêm depois são obrigados a frear bruscamente ou ultrapassar quando possível, colocando muitas vezes em risco a segurança na via.

Portanto para interseções com detecção do avanço ao sinal vermelho o temporizador não é recomendado no final do tempo de verde, pois pode colocar em risco a segurança do motorista.

O sistema de armazenamento e análise de dados, desenvolvido neste trabalho através do *software* Microsoft Excel 2007, que armazena os dados de cada segundo da hora avaliada, é mais lento que outros convencionais como as contagens manuais através de planilhas de papel no local de estudo. Entretanto mostrou-se extremamente eficiente e flexível em relação à análise dos dados, pois é possível simular diversos cenários e agrupar valores de qualquer período de tempo dentro de cada hora analisada. O sistema tornou dispensáveis as planilhas de papel e conseqüentemente a necessidade de digitalização de dados, o que reduz a chance de erro durante tais processos. Com as planilhas digitais fica mais rápida a busca ou a verificação de qualquer dado desejado.

A coleta de dados feita através da filmagem da interseção foi satisfatória durante o desenvolvimento deste trabalho. Os vídeos podem ser vistos quantas vezes for necessário, fazendo com que raramente exista dúvida sobre qualquer informação visualizada.

O armazenamento de dados através de planilhas digitais e a coleta feita por videoteipe em conjunto, contribuíram para que o trabalho fosse bem sucedido. Esse sistema exigiu apenas uma pessoa para que pudesse ser realizado, mostrando-se eficaz e recomendado para trabalhos posteriores, salvo aqueles em que seja necessária a análise de muitas horas.

É recomendada a realização de mais estudos sobre o impacto do temporizador no tráfego por parte dos órgãos responsáveis pela regulamentação do trânsito e sinalização semafórica no Brasil. Além de pesquisas onde o temporizador seja avaliado em uma

interseção com e sem sistema de multagem por avanço ao sinal vermelho. Apenas com novas pesquisas será possível determinar se é segura, viável e benéfica a utilização dos temporizadores.

Fica recomendado reavaliar a adequação da Lei Estadual nº 5.818, que determina a instalação de temporizador em sinal que possuir sistema de multagem por avanço do sinal vermelho. Apesar de a lei ter atingido seu objetivo, ao diminuir o número de veículos cruzando a via no sinal vermelho, ela pode afetar na segurança da via pelos motivos já explicitados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHIOU, YC., CHANG, CH., 2010, “Driver responses to green and red vehicular signal countdown displays: Safety and efficiency aspects”, *Accident Analysis and Prevention*, v. 42, pp. 1057-1065.
- CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito), 2007, *Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, Volume IV, Sinalização Horizontal*. 1ª Edição. Brasília, Ministério das Cidades.
- CTB (Código de Trânsito Brasileiro e Legislação Complementar em Vigor), 2008, Ministério das Cidades, Conselho Nacional de Trânsito e Departamento Nacional de Trânsito – Brasília.
- DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito), 1984, *Manual de Semáforos*. 2ª Edição. Brasília, Ministério da Justiça.
- DNIT, 2006, *Manual de Estudos de Tráfego – 723*. Rio de Janeiro, IPR (Instituto de Pesquisas Rodoviárias), Ministério dos Transportes, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.
- Google Earth, 2011, *Imagem de Satélite*, imagem retirada próximo ao Estádio Olímpico João Havelange e da interseção da Rua Goiás com a Rua Guineza, acessada em 10 de janeiro de 2012.
- Google Imagens, 2011, *Busca por “temporizador semaforico”*. Imagem disponível em <http://www.google.com.br/search?tbm=isch&hl=pt-BR&source=hp&biw=1600&bih=775&q=temporizador+semaforico>, acessado em 2 de setembro de 2011.
- HCM, 2000, *Highway Capacity Manual*. Washington D. C, Transportation Research Board.
- JT (Jornal da Tarde Online), 2008, “CET testa semáforo com medidor de tempo”, Blog do ESTADÃO, Tiago Dantas. Matéria disponível em <<http://blogs.estadao.com.br/jt-cidades/cet-testa-semaforo-com-medidor-de-tempo>>, acessado em 5 de setembro de 2011.
- KIDWAI, F. A., KARIM, M. R., IBRAHIM, M. R., 2005, “Traffic Flow Analysis of Digital Count Down Signalized Urban Intersection”, *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, v. 5, pp. 1301-1308.
- LIMANOND, T., PRABJABOK, P., TIPPAYAWONG K., 2010, “Exploring impacts of countdown timers on traffic operations and driver behavior at signalized intersection in Bangkok”, *Transport Policy*, n 17, pp. 420-427.
- LIU, C., HERMAN, R., GAZIS, D. C., 1996, “A Review of the Yellow Interval Dilemma”, *Transportation Research A*, v. 30, n. 5, pp. 333-348.
- LUM, K. M., HALIM, H., 2006, “A before-and-after study on Green signal countdown device installation”, *Transportation Research Part F*, v. 9, pp. 29-41.

- MA, W., LIU, Y., YANG, X., 2010, “Investigating the impacts of green signal countdown devices: empirical approach and case study in China”, *Journal of Transportation Engineering*, v. 136, n. 11, pp. 1049-1055.
- NEWTON, C., MUSSA, R. N., SADALLA, E. K., *et al.*, 1997, “Evaluation of an Alternative Traffic Light Change Anticipation System”, *Accident Analysis and Prevention*, v. 29, n. 2, pp. 201-209.
- O GLOBO, 2010, “Pardais em cinco sinais de trânsito no Rio registram 6.206 multas por mês”. Matéria disponível em <<http://moglobo.globo.com/integra.asp?txtUrl=/rio/mat/2010/10/19/pardais-em-cinco-sinais-de-transito-no-rio-registram-6-206-multas-por-mes-922826215.asp>>, acessado em 20 de abril de 2011.
- O GLOBO, 2011a, “CET-Rio implanta temporizadores em sinais de trânsito”. Matéria disponível em <<http://oglobo.globo.com/rio/transito/mat/2011/02/28/cet-rio-implanta-temporizadores-em-sinais-de-transito-923898081.asp>>, acessado em 20 de agosto de 2011.
- O GLOBO, 2011b, “Avanço de sinal foi a segunda infração de trânsito mais cometida entre janeiro de julho de 2011”. Matéria disponível em <<http://oglobo.globo.com/transito/avanco-de-sinal-foi-segunda-infracao-de-transito-mais-cometida-entre-janeiro-julho-de-2011-2896720>>, acessado em dois de dezembro de 2011.
- Prefeitura de Aracaju, 2008a, “Nova sinalização reduz multas de trânsito em Aracaju”. Matéria disponível em <http://www.aracaju.se.gov.br/controlado_interno/index.php?act=leitura&codigo=35954>, acessado em 5 de setembro de 2011.
- Prefeitura de Aracaju (2008b), “Prefeitura investe na renovação semaforica da cidade”. Matéria disponível em <<http://www.aracaju.se.gov.br/index.php?act=leitura&codigo=35376>>, acessado em 8 de setembro de 2011.
- SETRAT (Secretaria Municipal de Transporte, Trânsito e Desenvolvimento Urbano da Prefeitura Municipal de Rondonópolis-MT), 2006, “Prefeitura moderniza trânsito de Rondonópolis”. Matéria disponível em <http://www.rondonopolis.mt.gov.br/view_conteudo.php?id=1004>, acessado em 10 de março de 2011.
- SPIGOLON, L. M. G., 2010, *Semáforo: Grupo Focal Convencional X Grupo Focal com Informação do Tempo de Verde/Vermelho Restante*. Dissertação de M.Sc., Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil.
- UOL, 2011, “Imagens do dia 13/04/2011, semáforo na Avenida dos Bandeirantes, em São Paulo”. Matéria disponível em <http://noticias.uol.com.br/album/110413_album.htm#fotoNav=45>, acessado em 11 de julho de 2011.
- WEBSTER, F. V., 1957, *Traffic Signal Settings – Road Research Technical Paper No. 39*. Department of Scientific and Industrial Research Road Research Laboratory, Londres, Inglaterra, Her Majesty’s Stationary Office.

WEBSTER, F. V, COBBE, B. M., 1966, *Traffic Signals – Road Research Technical Paper No. 56*.
Department of Scientific and Industrial Research Road Research Laboratory, Ministry of
Transport, Londres, Inglaterra, Her Majesty's Stationary Office.

WEI, CH., CHEN, CH., HU, SR., *et al.*, "Driver behavior under the green signal countdown
information", *Taiwan National Science Council Research*, pp. 1-11.

ANEXO I

Lei nº 5818/2010

**Data da Lei
03/09/2010**

O Presidente da Assembléia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro, em conformidade com o que dispõe o § 5º combinado com o § 7º do artigo 115 da Constituição Estadual, promulga a Lei nº 5818, de 3 de setembro de 2010, oriunda do Projeto de Lei nº 3020, de 2010.

LEI Nº 5818, DE 3 DE SETEMBRO DE 2010.

A ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

DECRETA:

Art. 1º Ficam as empresas responsáveis pela instalação de equipamentos destinados a multar eletronicamente por avanço de sinal, proibidas em todo o território do Estado do Rio de Janeiro, de instalarem os mesmos em sinais de trânsito que não possuam temporizadores digitais.

Art. 2º No caso de equipamentos já instalados, as empresas terão 60 dias para adaptação ou retiradas dos mesmos.

Art. 3º Em caso de descumprimento do disposto nesta Lei, a empresa ficará sujeita a pena de multa que varia entre 1000 (mil) e 10000 (dez mil) UFIRs e a cada reincidência será cobrado o dobro do valor aplicado.

Parágrafo único. A multa a que se refere o caput deste artigo será cobrada na forma da Lei.

Art. 4º A presente Lei entrará em vigor na data da sua publicação.

Assembléia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro, em 3 de setembro de 2010.

Deputado Coronel Jairo

Primeiro Vice-Presidente, no exercício da Presidência

Ficha Técnica	
Projeto de Lei nº	3020/2010
Autoria	Deputado Estadual Luiz Paulo
Data de Publicação	08/09/2010
Tipo de Revogação	Em Vigor

ANEXO II

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO DECISÃO N°

PROCESSOS N°s : 12.283/85/MJ 001622/86 e 235/96
INTERESSADOS : Senhor Divino Bortoloto e S.D.M. (Com. E Montagem de Componentes Eletrônicos)
ASSUNTO : Semáforo Convencional com Informação Auxiliar de Tempo.

O CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO-CONTRAN, usando das atribuições que lhe conferem o Art. 5° da Lei n° 5.108, de 21 de setembro de 1966, que instituiu o Código Nacional de Trânsito, e o artigo 9° do Regulamento aprovado pelo Decreto n° 62.127, 16 de janeiro de 1968,

Considerando que os interessados cumpriram o determinado pelo Conselho Nacional de Trânsito na Reunião 13ª, realizada em 16 de março de 1987, Ata n° 3.295/87;

Considerando que os processos n°s 12.283/85/MJ, 001622/86 e 235/96/DENATRAN estão devidamente instruídos e contém detalhado parecer técnico favorável do Departamento de Trânsito do Distrito Federal – DETRAN/DF, órgão de trânsito que monitorou o desenvolvimento e o aperfeiçoamento do projeto;

Considerando que o Semáforo Convencional com Informação Auxiliar de Tempo foi ajustado e contém na sua base as cores vermelha, amarela e verde, nesta ordem, e da esquerda para a direita; e

Considerando a deliberação do Colegiado, na sua Reunião Ordinária do dia 04 de junho de 1966;

DECIDE:

Art. 1° Aprovar, para os fins de instalação no território nacional, a critério e sob a responsabilidade dos respectivos órgãos de trânsito com circunscrição sobre as vias, o Semáforo Convencional com Informação Auxiliar de Tempo.

Art. 2° Esta decisão entra em vigor na data de sua publicação.

Brasília, 04 de junho de 1996

KASUO SAKAMOTO
Presidente do CONTRAN