

MÉTODOS DE COORDENAÇÃO SEMAFÓRICA: ESTADO DA ARTE VERSUS ESTADO DA PRÁTICA EM CIDADES BRASILEIRAS

Cristiane Biazzone Dutra

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos

Sergio Henrique Demarchi

Universidade Estadual de Maringá
Departamento de Engenharia Civil

RESUMO

É comum que os motoristas do sistema viário de uma cidade sejam submetidos a paradas e atrasos nas interseções semaforizadas, especialmente no caso de vias arteriais ou redes compostas por vários semáforos. Uma parcela dos atrasos e paradas pode ser reduzida através de técnicas de coordenação semafórica. O objetivo deste trabalho é apresentar os métodos e programas de coordenação semafórica existentes na literatura e, em seguida, apresentar os resultados de uma pesquisa realizada em trinta cidades brasileiras com frota superior a 30.000 veículos sobre as estratégias de operação adotadas pelos municípios. Os resultados da pesquisa demonstram a existência de uma lacuna entre a teoria sobre coordenação semafórica existente e sua efetiva aplicação prática, especialmente nas cidades de médio porte, o que sugere a necessidade de uma maior disseminação dos métodos existentes ou mesmo o desenvolvimento de aplicativos mais acessíveis à realidade das cidades brasileiras.

ABSTRACT

It is common that drivers experience stops and delay at signalized intersections, especially in the case of signalized arterial streets and networks. However, the number of stops and the delay amount can be reduced by the application of traffic signal synchronization methods. The purpose of this technical report is to present a concise review about these methods and to present as well results of interviews carried on thirty Brazilian cities with fleet higher than 30,000 vehicles, regarding the methods or softwares adopted for synchronization purposes. Based on the results, a gap between theory and practical application of existing methods was identified, supporting the fact that the existing methods need to be better known, and that new computational routines more adequate for the Brazilian cities, in special the mid-size ones, should be developed.

1. INTRODUÇÃO

As estratégias de coordenação semafórica são uma das formas mais eficientes de garantir a fluidez da corrente de tráfego e a manutenção da qualidade operacional do sistema viário, reduzindo atrasos e paradas excessivas (Wallace e Courage, 1982) em redes compostas por diversas interseções semaforizadas próximas umas das outras. Webster e Cobbe (1966) estimaram que o atraso gerado pelos semáforos da Grã-Bretanha representava mais de um terço do tempo total das viagens. No Brasil, o DENATRAN (1984) estimou que 50% dos tempos de viagem e 30% do consumo de combustível são gastos em paradas nos cruzamentos semaforizados, e atribuiu ao ajuste adequado das defasagens, a redução de atrasos e paradas na ordem de 10 a 30%, podendo atingir entre 50% a 80% nos casos de semáforos mais próximos.

A literatura mostra que os métodos para coordenação semafórica existem desde meados da década de 1920. Com o advento dos computadores nas últimas décadas, diversos programas foram criados como forma de implementar os métodos analíticos existentes. Apesar disso, existe a dúvida se os setores de trânsito das prefeituras das cidades brasileiras de médio e grande porte fazem uso adequado dos métodos e programas mencionados.

Dessa forma, o objetivo desta comunicação técnica é apresentar uma revisão bibliográfica sobre os principais métodos de coordenação semafórica existentes, e verificar quais deles são

utilizados em cidades de grande ou médio porte. Essa análise visa identificar lacunas entre teoria e a efetiva aplicação dos métodos existentes, o que constitui uma das etapas da dissertação de mestrado que vem sendo desenvolvida pela primeira autora desta comunicação. Para isso, o texto está dividido em 4 itens, além desta introdução. No item 2 são descritos aspectos dos principais métodos e programas de coordenação semafórica desenvolvidos nos últimos 40 anos. No item 3 são apresentados os resultados de uma pesquisa realizada em cidades brasileiras de médio e grande porte sobre as formas de operação semafórica e os métodos de coordenação adotados pelos técnicos do poderes públicos municipais. No item 4 são apresentadas as considerações finais do trabalho.

2. MÉTODOS DE COORDENAÇÃO EXISTENTES NA LITERATURA

Os esquemas de coordenação semafórica existem desde 1926, e os esquemas de obtenção das bandas de progressão flexível são conhecidos desde o início da década de 1930 (Bavarez e Newell, 1967). Inicialmente, as estratégias de coordenação baseavam-se no ajuste das defasagens para priorização do tráfego em vias arteriais, sendo definidas de acordo com as condições específicas de tráfego (Roess *et al.*, 1998) em quatro esquemas distintos de progressão: *simultânea* (semáforos abrem simultaneamente); *alternada* (semáforos consecutivos apresentam indicações contrárias em ruas onde a distância entre interseções não varia muito); *reversa* (semáforo a jusante deve ficar verde antes do semáforo a montante, nas situações em que houver filas longas); e *flexível* (idealmente os tempos de verde devem aparecer progressivamente através da rota, formando uma “onda verde” de aberturas de acordo com a velocidade desejada).

Um dos métodos mais conhecidos para coordenar semáforos é a elaboração manual de um diagrama espaço-tempo, em que as defasagens são definidas graficamente através de tentativa e erro (Webster e Cobbe, 1966). A vantagem deste método é a possibilidade de visualizar graficamente o esquema de coordenação, mas para vias de duplo sentido de tráfego e redes maiores, a aplicação desse método é complexa e tediosa.

Com a disseminação do uso de computadores nas décadas de 1960 e 1970, os pesquisadores concentraram-se no desenvolvimento de técnicas computacionais de coordenação semafórica que podem ser divididas em três categorias: maximização da banda verde, minimização do atraso e paradas e a combinação das vantagens dos dois métodos anteriores. A Tabela 1 apresenta de forma resumida a evolução cronológica dos métodos computacionais de coordenação semafórica, segundo a estratégia de otimização e sua aplicabilidade. Uma descrição resumida dos métodos é feita nos próximos itens, considerando a categorização aqui adotada.

2.1. Maximização da Banda Verde

Este método consiste em defasar os instantes de abertura de semáforos consecutivos de forma que a maioria dos motoristas que percorrem a via encontrem sempre os semáforos abertos, criando assim um efeito de “onda verde”. Um dos primeiros métodos de maximização de banda verde, desenvolvido por Morgan e Little (1964) para semáforos de duas fases e vias arteriais com duplo sentido de tráfego, foi denominado *Half-integer Synchronization* em virtude do esquema ótimo de coordenação ser obtido quando os instantes referentes aos centros dos vermelhos de dois semáforos quaisquer estão alinhados ou defasados de metade da duração do ciclo c , ou seja, $0.c$ ou $\frac{1}{2}.c$ (admitindo, neste caso, que os tempos de viagens em ambos os sentidos da via são iguais). Como só existem duas opções possíveis de coordenação para cada par de semáforos da rede, a busca da solução ótima é um problema de programação inteira,

que fornece como resultado a maior largura de banda possível para ambos os sentidos de tráfego. Se desejado, o esquema de coordenação obtido pode ser alterado de forma a ajustar as larguras de banda para priorizar o sentido com maior tráfego.

Tabela 1: Evolução dos métodos computacionais de coordenação semafórica

AN O	TIPO	BASE	APLICAÇÃO
1964	Half-Integer Synchronization Program	Largura da banda	Arterial - duas fases
1964	SIGRID - Signal Grid Program	Atraso/Paradas	Rede - duas fases
1965	SIGART - Signalized Arterial	Largura da banda	Arterial - duas fases
1966	Mixed-Integer Linear Programming	Largura da banda	Rede - duas fases
1966	SIGOP- Traffic Signal Optimization Program	Atraso/Paradas	Rede - duas fases
1967	TRANSYT - Traffic Network Study Toll	Atraso/Paradas	Rede - múltiplas fases
1973	PASSER - Progression Analysis and Signal System Evaluation Routine	Largura da banda	Arterial - múltiplas fa- ses
1974	SIGOP II - New Signal Timing Optimization Program	Atraso/Paradas	Rede - múltiplas fases
1975	MITROP - Mixed Integer Traffic Optimization Program	Atraso/Paradas	Rede - múltiplas fases
1980	MAXBAND - Maximal Bandwidth Program	Largura da banda	Rede - múltiplas fases
1982	Método Combinado PROS / PI	Atraso/Paradas e Banda	Arterial - múltiplas fa- ses
1983	Método Combinado PASSER II / TRANSYT 6	Atraso/Paradas e Banda	Arterial - múltiplas fa- ses
1983	Método Combinado MAXBAND / TRANSYT 7F	Atraso/Paradas e Banda	Arterial - múltiplas fa- ses
1984	Método Combinado PASSER II - 84	Atraso/Paradas e Banda	Arterial - múltiplas fa- ses
1986	Método Combinado MAXBAND / TRANSYT 7F (c)	Atraso/Paradas e Banda	Arterial - múltiplas fa- ses
1986	Método Combinado MAXBAND / NETSIM	Atraso/Paradas e Banda	Arterial - múltiplas fa- ses
1988	Método Combinado Simultâneo BANDTOP	Atraso/Paradas e Banda	Arterial - múltiplas fa- ses
1989	Método Combinado Simultâneo MULTIBAND	Atraso/Paradas e Banda	Arterial - múltiplas fa- ses
1992	Método Combinado Simultâneo COMBAND (MAXBAND / MITROP)	Atraso/Paradas e Banda	Arterial - múltiplas fa- ses
1995	Método Combinado Simultâneo U-BAND / V-BAND	Atraso/Paradas e Banda	Arterial - múltiplas fa- ses
1996	Método Combinado Simultâneo MULTIBAND - 96	Atraso/Paradas e Banda	Rede - múltiplas fases

Posteriormente Little (1966) aprimorou o método *Half-integer Synchronization* de forma a obter a estratégia ótima de coordenação considerando, além da definição das defasagens, a possibilidade de variação da velocidade de progressão e da duração do ciclo dentro de limites pré-estabelecidos. Como este método consiste na otimização de variáveis contínuas e inteiras, o método recebeu o nome de *Mixed-integer Synchronization*.

Messer *et al.* (1973) desenvolveram o modelo macroscópico PASSER baseado no algoritmo de Little, contendo rotinas para otimização das divisões dos tempos, sequência das fases e defasagens. Em 1980, adequações no método *Mixed-integer* foram feitas para o desenvolvimento do programa MAXBAND (Little *et al.*, 1981) para coordenação de semáforos com múltiplas fases em arteriais ou redes com até três vias, possibilitando a variação do ciclo e da velocidade.

2.2. Minimização de Atrasos e Paradas

Este método consiste em minimizar uma medida de desempenho, que é função dos atrasos e paradas dos veículos. Os programas SIGRID (Gartner *et al.*, 1975) e SIGOP (Lieberman e Woo, 1976) foram desenvolvidos em 1964 e 1966 respectivamente, e utilizavam um procedi-

mento de seleção de divisões e defasagens que minimizassem uma função do atraso e paradas para cada tramo da rede de semáforos com duas fases.

Robertson *et al.* (1980) criou em 1967 o programa TRANSYT, utilizando um procedimento macroscópico de otimização das fases e defasagens, avaliando o desempenho do sistema através da simulação do fluxo de tráfego e de pesos atribuídos aos atrasos e paradas ocorridos nos tramos da rede, como uma medida de eficiência do tráfego (*Performance Index*). O programa MITROP apresentado por Gartner *et al.* (1975) coordena redes semaforicas de forma a minimizar atrasos e paradas através de programação linear mista.

2.3. Métodos Combinados

Vários métodos foram propostos para fazer uso das vantagens da priorização de vias arteriais e melhoria de desempenho geral do sistema, utilizando os valores gerados pela técnica da maximização da banda como dado de entrada em programas de minimização dos atrasos. Wallace e Courage (1982) substituíram a minimização do PI no TRANSYT pela maximização da oportunidade de progressão; Rogness e Messer (1983) utilizaram o PASSER II para selecionar os valores iniciais a serem utilizados pelo TRANSYT-6; Cohen (1983) usou a solução do MAXBAND como dado inicial para o TRANSYT-7F; e Cohen e Liu (1986) combinaram os programas TRANSYT-7Fc e MAXBAND, possibilitando bandas desiguais por sentido.

Outros programas realizaram combinações dos métodos, porém de forma simultânea. BANDTOP foi criado por Tsay e Lin (1988) para obter a máxima largura da banda em ambas as direções, considerando também as oportunidades de progressão parcial da arterial; Gartner *et al.* (1990) alteraram o MAXBAND e criaram o programa MULTIBAND incorporando um critério sistemático de dependência do tráfego em cada arco para obter progressão proporcional ao volume, ao mesmo tempo em que reduz atraso e paradas. Lan *et al.* (1992) criaram o modelo COMBAND a partir de conceitos do MAXBAND e MITROP, para atingir a solução global de otimização do ciclo, defasagens e fases, mantendo a qualidade da progressão.

3. COORDENAÇÃO SEMAFÓRICA EM CIDADES BRASILEIRAS

Para identificar quais são os métodos mais comuns de coordenação semaforica adotados nas cidades brasileiras, uma pesquisa foi realizada em municípios dos sete estados das regiões Sul e Sudeste e na cidade de Fortaleza, capital do Ceará. Para escolher as cidades representativas que sofrem grande impacto do nível de motorização, a seleção não foi feita em função do tamanho da população, mas em função da frota de veículos registrados nos municípios, através da análise dos dados de Junho de 2003, obtidos no *site* oficial do Departamento Nacional de Trânsito - DENATRAN (2003).

Dessa maneira, foram selecionadas as cidades com frota maior do que 30.000 veículos, dentre as quais a capital do estado e cidades de médio porte. A identificação dos setores ou órgãos de trânsito dos municípios foi feita através de pesquisa dos sites na *Internet*, e as entrevistas com o engenheiro de tráfego ou técnico responsável pela operação semaforica foram feitas por telefone entre os meses de agosto de 2003 a janeiro de 2004. Nas cidades em que o contato com o técnico foi possível e onde os dados pesquisados estavam disponíveis, foram coletadas informações da quantidade e tipos dos equipamentos semaforicos, grau de controle e estratégias de gerenciamento de tráfego empregadas. Os dados foram compilados separadamente em dois cenários dos municípios brasileiros, caracterizados entre capitais e cidades de médio porte.

3.1. Coordenação Semafórica nas Capitais Brasileiras

De uma maneira geral, as capitais dispõem de centrais computadorizadas de controle de tráfego em área (CTA), onde praticamente todas utilizaram o programa TRANSYT pelo menos para a implantação inicial de seus sistemas, e mantêm equipe técnica que realiza ajustes através de novas simulações ou principalmente por observação das condições do tráfego. Praticamente 50 a 60% dos cruzamentos semaforizados destas capitais são controlados por uma ou mais centrais, e ainda outros corredores semaforizados recebem coordenação por progressão principalmente através da análise do Diagrama Espaço-Tempo. A Tabela 2 apresenta resumidamente os dados obtidos para as capitais das regiões Sul e Sudeste, além de Fortaleza.

Tabela 2: Informações relativas ao sistema de controle semafórico em capitais brasileiras

Cidade	Estado	Frota de veículos	Cruzamentos semaforizados	Centrais de tráfego	Cruzamentos controlados pelas centrais	Método ou programa de coordenação utilizado	
						Central	Corredores
Belo Horizonte	MG	757.161	567	2	357 *	TRA	TRA
Curitiba	PR	786.167	885	3	534	TRA	DET
Florianópolis	SC	158.715	130	1	81	TRA / RAM	DET / PAL
Fortaleza	CE	416.061	400 *	1	189	SCO	DET
Porto Alegre	RS	508.140	955	1	570 *	TRA	PAL
Rio de Janeiro	RJ	1.492.158	2.000 *	8	1.000 *	TRA	DET
São Paulo	SP	4.295.160	4.600 *	5	1.200 *	TRA / SCO	TRA / PAL
Vitória	ES	99.566	176	2	175	DET	DET

PAL: PROGRESSÃO POR AJUSTES LOCAIS

TRA: PROGRAMA TRANSYT

SCO: PROGRAMA SCOOT

DET: DIAGRAMA ESPAÇO-TEMPO

RAM: PROGRAMA RAMSES

* valores aproximados

Os técnicos da cidade de Florianópolis rodaram em 2003 o programa TRANSYT para prover os planos semafóricos, e com laços detectores de veículos instalados nos 81 cruzamentos da central, utilizam o programa francês RAMSÉS (Vilas Boas, 2004) para a escolha automática dos planos fixos pré-estabelecidos, de acordo com a demanda de tráfego. A prefeitura de Belo Horizonte, que em 1999 firmou convênio com a Universidade Federal de Minas Gerais para realizar pesquisas de volume e capacidade e rodar o programa TRANSYT para estabelecer os planos semafóricos de operação, está substituindo o sistema de suas duas centrais para alterações dos planos em tempo real, baseadas nos dados coletados por laços detectores. Parte das centrais de Curitiba e São Paulo funcionam com laços detectores em alguns cruzamentos estratégicos da rede, a fim de promover ajustes instantâneos das programações semafóricas.

Em Porto Alegre, o engenheiro responsável pela operação da central de controle recebeu na Inglaterra treinamento específico para manipulação do programa TRANSYT, mas esta ferramenta não é utilizada há três anos por falta de novas contagens volumétricas de tráfego, obrigando os técnicos a realizarem ajustes locais baseados na observação do tráfego. A cidade de Vitória adquiriu recentemente o TRANSYT, mas ainda não elaborou programação baseada neste programa devido à inexistência de contagens volumétricas mais atuais.

Vale ressaltar que Fortaleza apresenta no Brasil uma situação privilegiada de controle de tráfego, pois 189 de seus cruzamentos semaforizados funcionam desde 2000 com laços detectores que coletam e enviam informações sobre a demanda de veículos, ligados a um sistema centralizado adaptativo em tempo real (Loureiro *et al.*, 2003a). O programa SCOOT – *Split Cycle Offset Optimization Technique* é utilizado para analisar esses dados e otimizar a programação,

ajustando os tempos de verde, as defasagens e o ciclo, de forma a atender a demanda de curto prazo atual e acompanhar as variações instantâneas de médio e longo prazo. Além da operação automatizada, o sistema permite a intervenção de técnicos na modificação dos parâmetros de implementação de planos fixos para situações atípicas ou fora do pico (Loureiro *et al.*, 2009).

3.2. Coordenação Semafórica nas Cidades Brasileiras de Médio Porte

Poucas cidades de médio porte possuem uma central de tráfego que controla a programação semafórica de uma quantidade significativa de interseções, conforme dados apresentados na Tabela 3. Juiz de Fora é o único exemplo de cidade de médio porte entrevistada que utiliza o programa TRANSYT de otimização de defasagens para gerar a programação inicial de semáforos, e mantém o programa RAMSÉS para escolher entre os planos fixos pré-estabelecidos de acordo com dados coletados em laços detetores de veículos. Consultorias contratadas em 1999 estabeleceram, através do programa TRANSYT, as programações iniciais para as centrais de Cascavel e Maringá, além das coordenações providas em vias fora da central, gerenciadas pelos técnicos municipais com o Diagrama Espaço-Tempo e ajustadas em campo.

Tabela 3: Informações relativas ao sistema de controle semafórico em cidades de médio porte

Cidade	Estado	Frota de veículos	Cruzamentos semaforizados	Centrais de tráfego	Cruzamentos controlados pelas centrais	Método ou programa de coordenação utilizado	
						Central	Correspondência
Araçatuba	SP	74.396	65	0	0	—	DET
Arapongas	PR	32.449	16	0	0	—	—
Araraquara	SP	77.052	98	0	0	—	F
Bento Gonçalves	RS	38.839	17	0	0	—	DET
Canoas	RS	86.488	55*	0	0	—	—
Cascavel	PR	86.380	96	1	56	TRA	F
Chapecó	SC	51.310	17	0	0	—	—
Joinville	SC	153.700	118	1	60*	DET	DET
Juiz de Fora	MG	111.281	91	1	81	TRA / RAM	—
Londrina	PR	180.964	192	1	38	DET	F
Maringá	PR	136.264	121	1	56	TRA / DET	DET
Petrópolis	RJ	78.991	26*	0	0	—	F
Poços de Caldas	MG	47.418	72	1	7	PAL	F
Ponta Grossa	PR	77.589	62*	1	44*	PAL	—
Presidente Prudente	SP	70.967	44*	0	0	PAL	F
Ribeirão Preto	SP	229.104	390*	1	275	PA	F
Santa Maria	RS	68.976	52	0	0	—	DET
São Carlos	SP	75.875	36	0	0	—	—
São Leopoldo	RS	51.632	32	0	0	—	F
Serra	ES	51.407	13	0	0	—	—
Uberaba	MG	91.328	100*	1	30	PVT	F
Volta Redonda	RJ	57.351	53	0	0	—	DET

vés do Diagrama Espaço-Tempo. Em Araraquara, apesar de ainda não existir uma central de controle, cinco dos principais corredores da cidade recebem progressão com defasagens definidas através de um veículo-teste, assim como Petrópolis, Presidente Prudente e São Leopoldo, onde os técnicos realizam coordenação entre semáforos em alguns corredores estabelecidos e ajustadas através de tentativas baseadas na observação do tráfego local.

Outra parcela dos municípios não adota esquemas de coordenação, como o exemplo de Ponta Grossa, onde uma central controla 70% dos semáforos da cidade, mas nenhum método é utilizado para prover coordenação entre as interseções da rede, e de Uberaba que não adota formas de coordenação, mesmo com 30% dos semáforos ligados a uma central. Embora a cidade de Arapongas conte com treze de seus dezesseis cruzamentos semaforizados funcionando com equipamentos eletrônicos, o poder público não provê coordenação nem na avenida principal, que reúne seis semáforos eqüidistantes em duplo sentido de circulação. Situação semelhante ocorre na principal avenida da cidade de São Carlos, onde apesar de haver sentido único de circulação, a prefeitura adota somente a abertura simultânea dos semáforos.

Embora praticamente 40% das cidades brasileiras de médio porte tenham central semaforica computadorizada, somente 30% destas utilizam *software* de coordenação, ou seja, 13% dos municípios médios entrevistados. A análise das informações relativas às estratégias semaforicas adotadas demonstra ainda que 27% utilizam o procedimento manual do Diagrama espaço-tempo para definição dos planos de coordenação, 32% realizam repetidos ajustes locais em observação ao tráfego, 10% utilizam veículos-teste na busca do melhor esquema de operação, enquanto que o restante das cidades entrevistadas (18%) não adota esquemas de coordenação, nem mesmo nas principais vias semaforizadas em que o sistema de “onda-verde” poderia representar uma significativa melhoria na operação do sistema.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de vários programas computacionais de coordenação semaforica terem sido desenvolvidos nos últimos 40 anos, a pesquisa realizada constata uma lacuna entre a literatura e a efetiva aplicação dos métodos na prática. As capitais brasileiras utilizam principalmente o programa TRANSYT para gerar planos de coordenação semaforica, porém a equipe técnica quando treinada para manusear esta ferramenta não dispõe de dados de contagem atualizados para realizar simulações mais próximas à realidade, deixando de fazer uso de todo o potencial disponível do *software* adquirido.

A maior parte das cidades de médio porte não conta com um profissional disponível somente para realizar a programação dos semáforos, e raramente dispõe de qualquer tipo de aplicativo para definir esquemas de coordenação. Em somente 13% dos casos, uma consultoria contratada provê um plano *off-line* inicial de coordenação para o cenário vigente no momento, mas que dificilmente será revisto e aplicado com segurança pelos técnicos do local, pois estes desconhecem, na maioria das vezes, detalhes do método utilizado, dificultando a avaliação da eficácia do plano estabelecido. Nestas cidades, os métodos mais usados ainda são os procedimentos de tentativa e erro do diagrama espaço-tempo ou de ajustes locais, que permitem a coordenação de redes mais simples com relativo êxito, mas sua utilização para avenidas com dois sentidos de tráfego é mais trabalhosa, exigindo que o analista teste de forma exaustiva uma série de alternativas dentre as possíveis.

O fato de que os programas computacionais de coordenação semaforica não são utilizados em

grande parte das cidades de médio porte pode ser explicado, talvez, por dois fatores: a falta de pessoal capacitado para trabalhar com tais programas ou ainda a falta de aplicativos mais acessíveis, que possam auxiliar na definição dos esquemas de coordenação de uma forma simples e eficiente. Um procedimento computacional, baseado no método de Morgan e Little (1964) e implementado em planilha eletrônica, está sendo desenvolvido pelos autores desta comunicação (Demarchi e Dutra, 2004) como uma possível alternativa aos métodos manuais de coordenação. No entanto, dado que este aplicativo encontra-se num estágio muito inicial de desenvolvimento, ainda é necessário que sejam realizados testes para verificar se o aplicativo é capaz de definir esquemas de coordenação que produzam melhorias significativas na fluidez do tráfego e na qualidade operacional da via semaforizada.

Agradecimentos: A primeira autora agradece a Prefeitura Municipal de Londrina, em especial ao Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Londrina – IPPUL, pelo apoio na realização do programa de mestrado da EESC/USP. O segundo autor deste trabalho agradece ao CNPq pela concessão de bolsa de produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bavarez, E. e G. F. Newell (1967) Traffic Signal Synchronization on a One-Way Street. *Transportation Science*, v. 1, n. 2, p. 55-73.
- Cohen, S. L. (1983) Concurrent Use of MAXBAND and TRANSYT Signal Timing Programs for Arterial Signal Optimization. *Transportation Research Record*, 906, p. 81-84.
- Cohen, S. L. e C. C. Liu (1986) The Bandwidth - Constrained TRANSYT Signal - Optimization Program. *Transportation Research Record*, 1057, p. 1-9.
- Demarchi, S. H.; Dutra, C. B. (2004) “SBAND: Implementação em Planilha Eletrônica de um Método para Maximização da Banda Verde em Vias Semaforizadas”. Artigo aceito para publicação nos anais do XVIII ANPET, Florianópolis, SC.
- DENATRAN (1984) *Manual de Semáforos*. Coleção Serviços de Engenharia (2ªed.). Brasília.
- DENATRAN (2003) Frota de veículos por estado em junho de 2003. <http://www.denatran.gov.br>, acessado em 25/08/2003.
- Gartner, N. H.; J. D. C. Little e H. Gabbay (1975) Optimization of Traffic Signal Settings by Mixed-Integer Linear Programming. *Transportation Science*, v. 9, n. 4, parte I, p. 321-343 e parte II, p. 344-363.
- Gartner, N. H.; S. F. Assmann; F. Lasaga e D. L. Hou (1990) MULTIBAND: A Variable - Bandwidth Arterial Progression Scheme. *Transportation Research Record*, 1287, p. 212-222.
- Lan, C. J.; C. J. Messer; N. A. Chaudhary e E. C. P. Chang (1992) Compromise Approach to Optimize Traffic Signal Coordination Problems During Unsaturated Conditions. *Transportation Research Record*, 1360, p. 112-119.
- Lieberman, E. B. e J. L. Woo (1976) SIGOP II: A New Computer Program for Calculating Optimal Signal Timing Patterns. *Transportation Research Record*, 596, p. 16-21.
- Little, J. D. C. (1966) The Synchronization of Traffic Signals by Mixed - Integer Linear Programming. *Operations Research*, v. 14, n. 4, p. 568-593.
- Little, J. D. C.; M. D. Kelson e N. H. Gartner (1981) MAXBAND: A Program for Setting Signals on Arteries and Triangular Networks. *Transportation Research Record*, 795, p. 40-46.
- Loureiro, C. F. G.; P. M. Paiva Neto; M. M. Castro Neto (2003b) Progressão em Tempo Real Versus Tempo Fixo por Banda de Passagem em Períodos de Baixa Demanda - Estudo de Caso. *Anais do XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Rio de Janeiro, RJ (meio magnético).
- Loureiro, C. F. G.; W. A. Pereira Neto; F. M. Oliveira Neto (2003a) Avaliação do Desempenho Operacional em Períodos de Pico do Controle Semafórico em Tempo Real nos Corredores Arteriais de Fortaleza. *Anais do XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Rio de Janeiro, RJ (meio magnético).
- Messer, C. J.; R. H. Whitson; C. L. Dudek e E. J. Romano (1973) A Variable - Sequence Multiphase Progression Optimization Program. *Highway Research Record*, 445, p. 24-33.
- Morgan, J. T. e J. D. C. Little (1964) Synchronizing Traffic Signals for Maximal Bandwidth. *Operations Research*, v. 12, n. 6, p. 896-912.
- Robertson, D. I.; C. F. Lucas e R. T. Baker (1980) Coordinating Traffic Signals to Reduce Fuel Consumption. *Transport and Road Research Laboratory*, 934.
- Roess, R. P.; W. R. Mc Shane e E. S. Prassas (1998) *Traffic Engineering*. Second Edition. Prentice Hall. New

- Jersey.
- Rogness, R. O. e C. J. Messer (1983) Heuristic Programming Approach to Arterial Signal Timing. *Transportation Research Record*, 906, p. 67-75.
- Tsay, H. S. e L. T. Lin (1988) New Algorithm for Solving the Maximum Progression Bandwidth. *Transportation Research Record*, 1194, p. 15-30.
- Vilas Boas, P. (2004) RAMSES: Regulação Assistida por Microcomputadores e Estudo de Saturação. Comunicação pessoal.
- Wallace, C. E. e K. G. Courage (1982) Arterial Progression - New Design Approach. *Transportation Research Record*, 881, p. 53-59.
- Webster, F. V. e B. M. Cobbe (1966) Traffic Signals. Road Research Laboratory - Ministry of Transport, *Road Research Technical Paper n. 56*, London, England.