

ANÁLISE DA CONFIGURAÇÃO ESPACIAL DE SUBÁREAS DO CONTROLE DE TRÁFEGO EM ÁREA DE FORTALEZA

Francisco Arcelino Lima

Dante Diego de Moraes Rosado e Souza

Miguel Barbosa Ary

Controle de Tráfego em Área de Fortaleza – CTAFOR

Autarquia Municipal de Trânsito, Serviços Públicos e de Cidadania de Fortaleza – AMC

Carlos Felipe Grangeiro Loureiro

Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes – PETRAN

Universidade Federal do Ceará - UFC

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo principal desenvolver e aplicar uma metodologia de avaliação de diferentes configurações espaciais de subáreas em redes de semáforos com controle centralizado em tempo real. A metodologia proposta contempla inicialmente a caracterização e o diagnóstico operacional da subárea a partir da análise das variáveis básicas simuladas pelo SCOOT, tais como fluxos e atrasos veiculares. Em seguida, deve-se conceber uma alternativa de configuração da subárea de modo a buscar reduzir as ineficiências operacionais identificadas. Na avaliação da configuração proposta, seu impacto na qualidade do tráfego deve ser quantificado sob duas perspectivas: de modo pontual, a partir da redução do atraso veicular em cada aproximação da rede semafórica; e agregado espacialmente, com base no indicador Percentual de Atraso Veicular por Subárea (PAV). A metodologia proposta foi testada em um estudo de caso representando uma subárea do CTAFOR (Controle de Tráfego em Área de Fortaleza), com uma rede de 12 semáforos, comprovando ser adequada aos objetivos propostos.

ABSTRACT

This work aimed at the development and application of a methodology to evaluate different spatial configurations for subareas of a traffic signal network controlled by a real time system. The proposed methodology consists initially of the subarea characterization and operational diagnosis based on the analysis of basic variables simulated by SCOOT, such as vehicular flows and delays. Following, the subarea alternative configuration should be conceived as a means of reducing the identified operational inefficiencies. In evaluating the proposed configuration, its impact on traffic quality must be quantified under two distinct perspectives: in a punctual way, based on vehicular delay reduction on each approach of the signal network; and spatially aggregated, based on a measure of effectiveness called Percentage of Vehicular Delay (PVD) in the subarea. The proposed methodology was tested through a case study consisting of a 12-signal subarea of CTAFOR (Fortaleza's Urban Traffic Control System), proving to be adequate to the proposed objectives.

1. INTRODUÇÃO

Em 2000, a Prefeitura Municipal de Fortaleza decidiu implantar o Controle de Tráfego em Área de Fortaleza (CTAFOR). Segundo Loureiro *et al.* (2002), a implantação desse sistema foi justificada com a perspectiva de trazer benefícios como o aumento da capacidade da malha viária e a redução nos tempos de viagens. Atualmente, o CTAFOR contempla um subsistema de controle semafórico centralizado com 206 interseções operando em tempo real (43% do total de semáforos na cidade), um subsistema de CFTV (Circuito Fechado de TV) com 30 câmeras de vídeo, além de um subsistema de PMV (Painéis de Mensagens Variáveis) com 20 painéis.

O subsistema de controle semafórico do CTAFOR é um sistema adaptativo e em tempo real, tendo como base o *software* SCOOT (*Split, Cycle and Offset Optimization Technique*) (SCOOT, 2006). O SCOOT opera as interseções semaforizadas, determinando a cada instante os melhores tempos de ciclo, proporção de verde e defasagens, segundo simulações e cálculos feitos no computador central de controle, utilizando-se de dados coletados continuamente por laços de detecção veicular localizados nas aproximações das interseções controladas. Por ter sido

desenvolvido para ambientes urbanos com alta densidade de semáforos, o SCOOT é capaz de controlar as interseções semaforicas em subáreas de controle (rede semaforica), permitindo a coordenação dos semáforos adjacentes, a partir da utilização de um ciclo único, garantindo uma redução nos atrasos e número de paradas. Apesar de o sistema SCOOT definir a programação semaforica de forma automática, a configuração das subáreas deve ser definida *a priori* e fornecida para o sistema. Uma subárea de controle é uma porção geográfica de um sistema semaforico com características de tráfego distintas de outras áreas e que necessita de tempos semelhantes de ciclo. Usualmente, as subáreas de controle podem ser delimitadas por três critérios: a geometria da via e sua inter-relação física; as variações temporais na magnitude e direção do fluxo de tráfego; e a distribuição espacial dos padrões de origem-destino do tráfego por período do dia. A delimitação de uma configuração espacial “ideal” das subáreas de controle requer, portanto, um conhecimento amplo das características físicas e operacionais da rede viária e semaforica da região e um monitoramento constante de sua configuração, devido às constantes mudanças no uso do solo e conseqüente variação do comportamento do tráfego.

As delimitações das subáreas de controle do CTAFOR foram definidas inicialmente, na etapa de projeto, conforme descrito por Arruda e Moreira (1997), utilizando como parâmetro o Índice de Interdependência, que expressa a conectividade entre duas interseções semaforicas, de forma empírica, a partir dos dados de tempo de percurso entre as interseções e de volume do tráfego. Desde então, essas configurações de subárea vêm sendo modificadas, sempre a partir do conhecimento prático, não tendo sido quantificados seus impactos na qualidade do tráfego. Oliveira Neto *et al.* (2006) descrevem um histórico dessas modificações apresentando a dificuldade em se determinar de forma prática a configuração das subáreas de controle.

Apesar do grande esforço empreendido pela equipe técnica do CTAFOR, algumas dessas subáreas ainda apresentam algum nível de ineficiência operacional, necessitando serem reavaliadas. Como exemplo, tem-se a subárea 30 (adjacente à subárea 28), que compreende uma rede de 12 semáforos, limitada pelas ruas Tenente Benévolo (ao norte), Torres Câmara (ao sul), João Cordeiro (a oeste) e Carlos Vasconcelos (a leste), como mostra a Figura 1(a). A provável ineficiência operacional dessa subárea consiste no fato de sua configuração não permitir a coordenação semaforica dos corredores arteriais da Rua Costa Barros, da Av. Santos Dumont e da Rua Torres Câmara, entre os semáforos da Av. Rui Barbosa e Rua Carlos Vasconcelos, já que existe uma fronteira de subáreas (subárea 30 e subárea 28). Diante deste contexto, este trabalho teve como objetivo principal avaliar quantitativamente a operação da subárea de controle número 30, buscando redefinir sua configuração espacial. Acredita-se que a metodologia de avaliação proposta neste estudo de caso possa ser aplicada de forma sistemática em Fortaleza, assim como em outras cidades que possuem sistemas CTA, de modo a otimizar a operação de uma rede coordenada de semáforos.

2. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

Para atingir as finalidades propostas na realização desse trabalho, foram definidas as seguintes etapas metodológicas:

2.1. Caracterização e diagnóstico operacional da subárea

Inicialmente, realizou-se a etapa de caracterização e de diagnóstico operacional da subárea 30, com o objetivo de compreender o comportamento do tráfego na região e identificar as

ineficiências operacionais dessa subárea. Para tanto, foram analisados os seguintes dados de tráfego: o volume de tráfego médio, o atraso médio veicular nas aproximações devido ao controle semafórico (*control delay*), os ciclos ótimos para cada interseção semafórica e o ciclo operacional utilizado para toda a subárea 30. Esses dados foram coletados em três horários diferentes: pico da manhã (PM), de 6:30 às 8:30h, entropico da tarde (EP), de 14:00 às 16:00h, e pico da tarde (PT), de 17:00 às 19:00h. A definição desses horários teve como finalidade verificar como as características operacionais das interseções da subárea 30 variavam ao longo do dia. Todos os dados foram coletados durante uma semana típica do mês de abril, entre os dias 04/04/2005 e 08/04/2005, sendo desconsiderados os períodos em que ocorreram eventos que alteraram o comportamento do tráfego, como colisão de veículos ou chuva. A obtenção desses dados foi realizada de forma automática a partir de consultas ao banco de dados dinâmico do CTAFOR, com o auxílio da interface TRANSCOOT desenvolvida por Meneses (2003). Por fim, também foram analisadas a operação do transporte coletivo e as características físicas dos corredores inseridos na região delimitada pela subárea 30.

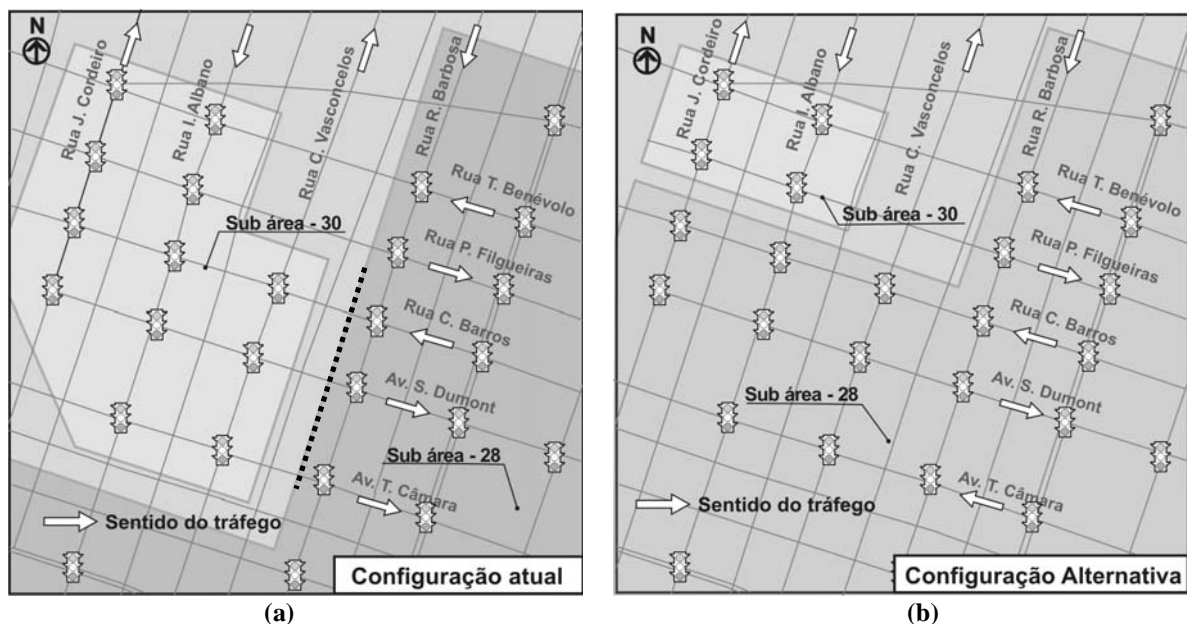


Figura 1: Configuração espacial (a) atual e (b) alternativa para a subárea 30.

2.2. Definição da alternativa de configuração espacial para a subárea

Após a caracterização e diagnóstico operacional da subárea 30, definiu-se uma configuração de subárea alternativa à configuração atual buscando minimizar as ineficiências operacionais identificadas, conforme mostrado na Figura 1(b). Nessa configuração alternativa, optou-se por não utilizar o método empírico baseado no Índice de Interdependência, pois se acredita que esse método deva ser utilizado somente em circunstâncias nas quais seja difícil avaliar de forma quantitativa a operação de uma subárea de controle, como em redes não controladas em tempo real. No caso do CTAFOR, qualquer intervenção no sistema é rapidamente implantada operacionalmente, podendo ser avaliada com facilidade a partir da análise dos dados modelados durante o período de operação dessa intervenção. A configuração alternativa proposta foi implantada durante a primeira semana de maio de 2005, entre os dias 02/05/05 e 06/05/05.

2.3. Comparação das configurações atual e proposta

Após a implantação da configuração alternativa para a subárea 30, coletaram-se os dados necessários para a comparação operacional entre a configuração atual e a proposta. Esses dados também foram obtidos a partir da interface TRANSCOOT, para os três horários pré-estabelecidos (PM, EP e PT). A comparação entre as configurações permitiu quantificar os impactos positivos e negativos da configuração alternativa proposta. Nessa comparação, o impacto na qualidade do tráfego foi quantificado sob duas perspectivas: de modo pontual, a partir da variável “atraso veicular”; e agregado espacialmente, a partir de um indicador técnico de desempenho denominado Percentual de Atraso Veicular por Subárea (PAV) (Meneses, 2003).

Na análise pontual, foram comparadas as médias dos atrasos veiculares entre as duas configurações, para todas as aproximações das interseções semaforicas da subárea. Nessa comparação, utilizou-se o teste de média entre duas amostras com um grau de confiança de 95%. Foram realizados testes de médias apenas para as aproximações semaforicas que apresentaram diferenças de médias no atraso veicular superiores a cinco segundos. Diferenças menores que cinco segundos foram desconsideradas, pois operacionalmente elas são imperceptíveis. Na análise agregada espacialmente, a utilização do PAV é justificada pelo fato deste indicador refletir o atraso veicular experimentado em toda a subárea em relação ao tempo de viagem total. Para o cálculo do PAV, foram consideradas também apenas as aproximações dos semáforos que apresentaram diferenças estatisticamente significativas. A seguir é apresentada a formulação do indicador PAV.

$$PAV_a = 100 * \frac{\sum_{i=1}^k \left(\sum_{t=1}^P (a_{i,t} * q_{i,t}) \right)}{\sum_{i=1}^k \left(\sum_{t=1}^P (T_{i,t} * q_{i,t}) \right)} \quad (1)$$

em que PAV_a : atraso veicular médio relativo (%) de uma subárea “a” composta por “k” aproximações semaforizadas, para um período de horas com “P” períodos de 15 minutos;
 $a_{i,t}$: atraso veicular (segundos) numa aproximação “i” de um interseção semaforica num período “t”;
 $q_{i,t}$: fluxo de tráfego (veic./h) num período de “t” de 15 minutos;
 $T_{i,t}$: tempo de viagem (segundos) num trecho “i” num período “t” de 15 min, conforme modelado pelo SCOOT (tempo em movimento + atraso veicular).

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na caracterização da área de estudo, foram analisados primeiramente os dados de volume de tráfego e sua variabilidade durante o PM, EP e PT. Durante essa análise, ficou evidente, para todos os períodos pesquisados, o maior volume de tráfego das vias com sentido Leste/Oeste e Oeste/Leste (vias transversais). Essa constatação é justificada pelo fato dessas vias serem importantes corredores de tráfego interligando os principais centros comerciais da cidade. Pôde-se observar ainda que essa variável não apresenta grande variação ao longo do dia, com uma única exceção para a rua Torres Câmara, que durante o pico da tarde apresenta um maior volume

em comparação aos demais períodos. A Figura 2 apresenta um mapa de carregamento com as médias de volume veicular para o PT.

Nesta etapa, verificou-se ainda a inexistência de linhas do transporte coletivo operando nas ligações Norte/Sul e Sul/Norte. Já nas ligações Leste/Oeste e Oeste/Leste, observou-se a operação de um elevado número de linhas de ônibus (nove linhas passando pela Av. Santos Dumont e Rua Costa Barros), evidenciando a importância desses corredores no deslocamento pendular da população usuária do transporte coletivo.

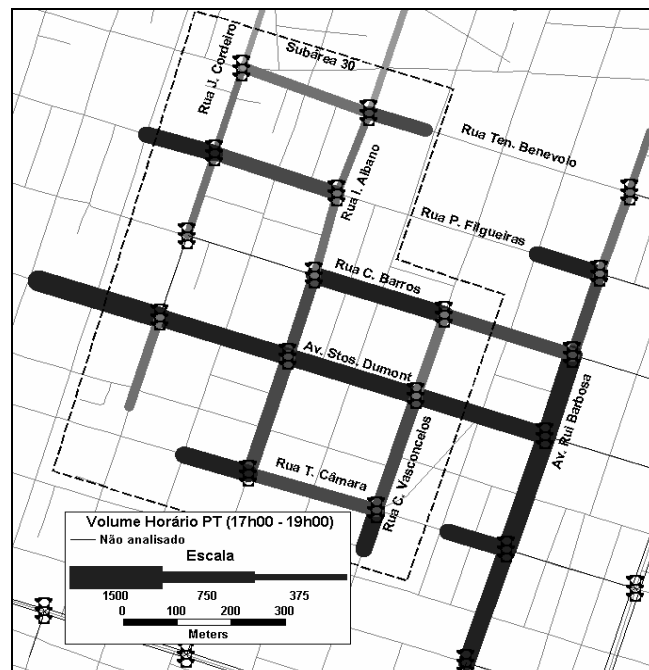


Figura 2: Volume de tráfego Pico Tarde

Na etapa de diagnóstico, foi comprovada a hipótese inicial de que a Rua Costa Barros, a Av. Santos Dumont e a Rua Torres Câmara, no trecho entre a Av. Rui Barbosa e Rua Carlos Vasconcelos, apresentam ineficiência operacional devido à quebra de coordenação semafórica nesse trecho. A Figura 3a apresenta os resultados de atraso médio para o PT - nos demais horários de estudo os resultados encontrados para esta variável foram semelhantes, em função da baixa variabilidade da demanda de tráfego entre horários analisados. Além dos atrasos elevados para as aproximações dos corredores Leste/Oeste, observaram-se ainda atrasos elevados nas entradas da subárea, justificados pela aleatoriedade da chegada dos veículos nessas aproximações. No diagnóstico, foram comparados ainda os ciclos ótimos de cada interseção semafórica com o ciclo operacional da subárea 30 (Figura 3b). Constatou-se que em alguns semáforos o ciclo operacional (representado na cor preta) é superior ao ciclo ótimo (representado na cor cinza e indicado ao lado da interseção), evidenciando uma ociosidade na capacidade de operação (baixa saturação), caso dos quatro semáforos localizados mais ao norte da subárea 30.

A partir das observações feitas nas etapas anteriores foi possível propor uma configuração alternativa à atual, conforme mostrado anteriormente na Figura 1(b). Nessa configuração, optou-

se por inserir as interseções semaforizadas dos corredores transversais (Leste/Oeste e Oeste/Leste) na subárea adjacente, subárea 28, permanecendo na subárea 30 apenas quatro interseções semaforizadas, visto a grande diferença entre o ciclo ótimo dessas interseções e o ciclo operacional da subárea 28. Essa alteração permitiu que as interseções semaforizadas dos corredores transversais, entre a Av. Rui Barbosa e a Rua Carlos Vasconcelos, fossem coordenadas, já que elas passariam a operar com o mesmo ciclo operacional. Apesar da possibilidade de coordenação desses corredores, a nova configuração não permitiu a coordenação das interseções semaforizadas dos corredores da Rua João Cordeiro (Sul/Norte) e Rua Ildelfonso Albano (Norte/Sul), entre a Rua Pereira Filgueiras e Rua Costa Barros.

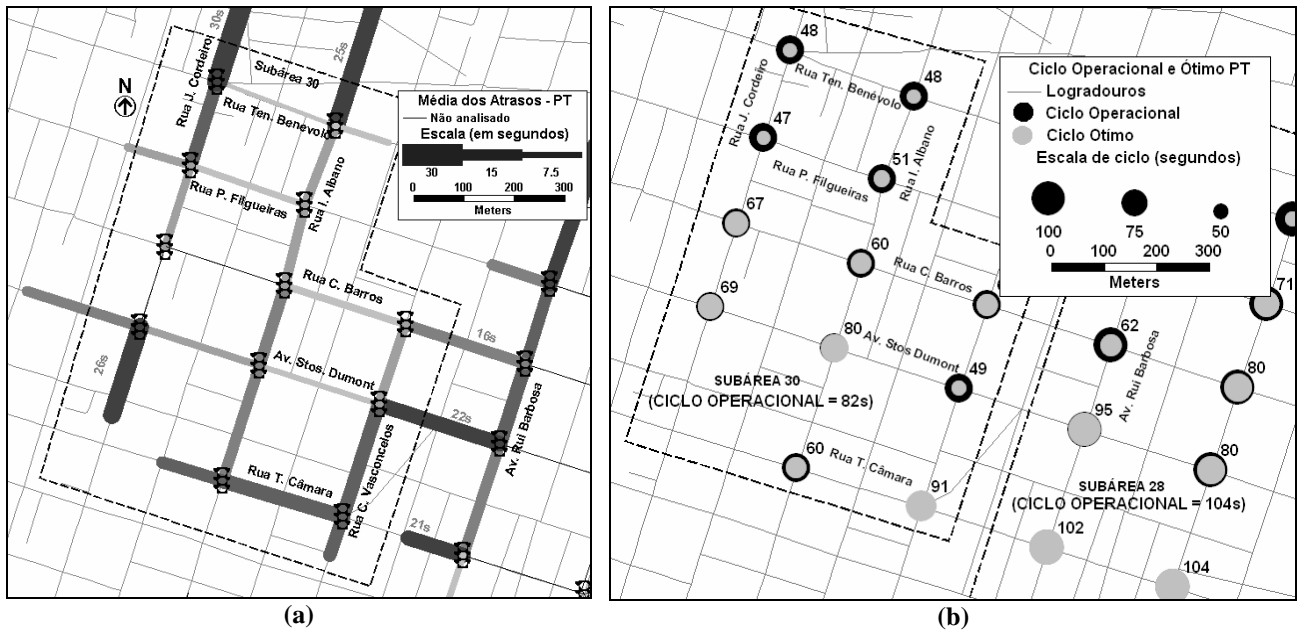


Figura 3: (a) Atraso veicular e (b) relação entre ciclos operacional/ótimo para o PT.

3.1. Comparação entre os cenários

Foi realizada, inicialmente, uma comparação pontual, na qual cada aproximação foi analisada separadamente, a partir da variação da média dos atrasos veiculares. Nessa análise, pôde-se observar que, durante o PM e EP, a nova configuração promoveu uma redução significativa nos atrasos veiculares das aproximações das vias que passaram a ser coordenadas. Durante o PT, entretanto, essa redução só pôde ser confirmada na aproximação da Rua Costa Barros. Apesar dos benefícios promovidos na operação do tráfego das vias transversais, foi observado também um aumento no atraso veicular das aproximações das vias longitudinais que passaram a ser descoordenadas (vias com sentido Norte/Sul e Sul/Norte). Os resultados obtidos na análise da variável atraso veicular estão apresentados, para o PM e PT, respectivamente, nas Figuras 4(a) e 4(b).

Desta forma, não foi possível garantir que a nova configuração das subáreas era mais eficiente que a configuração atual. Portanto, foi necessário ponderar os ganhos e as perdas promovidas na qualidade do tráfego. Essa ponderação foi possível a partir da análise do indicador PAV, que como descrito anteriormente na metodologia, representa a porcentagem do atraso veicular médio

de um conjunto de interseções semafóricas em relação ao tempo total de viagem. Nessa análise, observou-se que na configuração alternativa, no PM e do EP, esse indicador apresenta uma tendência discreta de redução em comparação à configuração atual, mostrando que na ponderação entre os ganhos e perdas promovidos pela nova configuração, os ganhos se sobrepuseram. Para o período do PT essa tendência não foi observada, indicando um valor de PAV superior para a configuração alternativa. A Tabela 1 apresenta os resultados de variação do PAV entre as duas configurações analisadas.

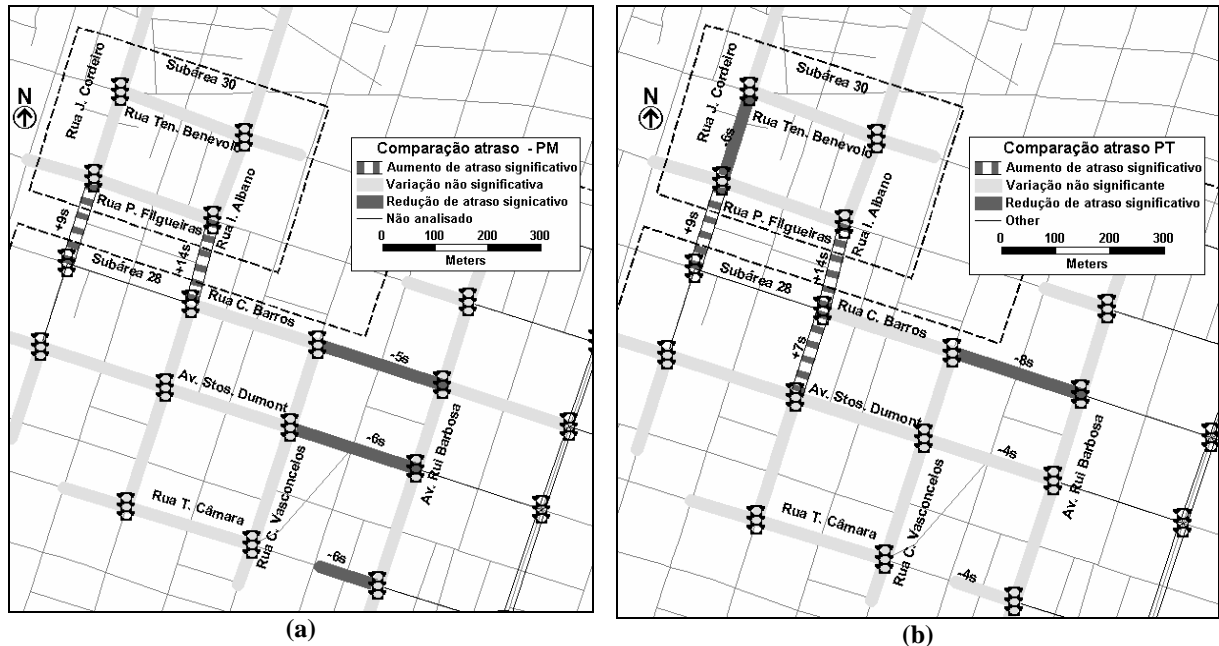


Figura 4: Comparação do atraso médio veicular resultante das configurações analisadas. (a) Pico Manhã e (b) Pico Tarde.

Tabela 1: Resultados do indicador PAV as configurações analisadas.

	Configuração Atual	Configuração Alternativa
Pico Manhã (PM)	41%	40%
Entre Pico Tarde (EP)	43%	41%
Pico Tarde (PT)	43%	46%

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir do presente estudo, pôde-se comprovar a hipótese inicial de ineficiência operacional da subárea 30, confirmando, deste modo, a necessidade da proposição de uma nova configuração espacial de subárea para a rede de semáforos da região. Essa nova configuração, denominada de configuração alternativa, consistiu no deslocamento das interseções semafóricas das vias que apresentavam ineficiência para uma subárea adjacente, permanecendo na subárea 30 apenas quatro interseções. Além dos dados de atraso veicular da aproximação, utilizou-se também como critério para a definição da configuração alternativa, a diferença entre o ciclo ótimo de cada interseção semafórica e o ciclo operacional das subáreas.

A configuração alternativa à configuração atual atingiu o objetivo de melhorar a operação das interseções semaforizadas das vias transversais, visto a redução da média dos atrasos veiculares. Entretanto tal configuração prejudicou operacionalmente as vias longitudinais (Rua João Cordeiro e Rua Ildefonso Albano), no trecho entre as Ruas Costa Barros e Pereira Filgueiras, a partir do aumento do atraso veicular. Apenas com o auxílio do indicador PAV foi possível verificar se a nova configuração era benéfica para toda a rede semaforizada da região. Os resultados deste indicador mostraram que, para os horários do PM e EP, a nova configuração causou mais benefícios operacionais do que prejuízos. Para o período PT, entretanto, esse resultado não foi observado. Vale ressaltar ainda que essas diferenças foram muito pequenas, variando entre 1% e 3%, o que operacionalmente é irrelevante.

Apesar dos resultados obtidos com o PAV indicarem que a alteração proposta apenas transferiu o problema de coordenação semaforizada para as vias longitudinais, recomenda-se que ela seja considerada pelos engenheiros de tráfego do CTAFOR. A justificativa para a implantação da configuração alternativa, apesar de não confirmada estatisticamente, neste estudo, consiste no fato dela melhorar a operação do transporte coletivo a partir da maior fluidez dada ao tráfego geral nos corredores transversais.

Embora este trabalho represente um estudo de caso, acredita-se que a metodologia de análise aqui proposta deva ser considerada para a avaliação da configuração espacial das demais subáreas da rede controlada pelo CTAFOR, já que se baseia na análise de indicadores de desempenho simulados pelo modelo de tráfego do SCOOT, ampliando os benefícios da extensa rede de detectores, normalmente utilizada apenas para os ajustes dos planos semaforizados.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Autarquia Municipal de Trânsito, Cidadania e Serviços Públicos de Fortaleza (AMC) pela cooperação em todas as etapas do estudo, que resultou no projeto de graduação do autor principal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arruda, J.B.F. e M.E.P. Moreira (1997) Escolha de Sub-Área para Implantação de Sistema de Controle Semaforizado Centralizado por Computador: Uma Metodologia de Baixo Custo. *Revista TRANSPORTES*, v.5, n.1, 55-75
- Loureiro, C. F. G.; Leandro, C. H. P. e Oliveira, M. V. T (2002) Sistema Centralizado de Controle de Controle de Tráfego de Fortaleza: ITS Aplicado à Gestão Dinâmica do Trânsito Urbano. *Anais do XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Comunicação Técnica* p.19-26. Natal, RN.
- Meneses, H. B. (2003) Interface Lógica em Ambiente SIG para Bases de Dados de Sistemas Centralizados de Controle de Tráfego Urbano em Tempo Real. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará.
- SCOOT (2006) *SCOOT Urban Traffic Control Website*. <http://www.scoot-utc.com>.
- Oliveira Neto, F. M.; Ary, M. B.; Oliveira, M. V. T. e Loureiro, C. F. G. (2006) Atualização de Planos de Tempo-Fixo com Base em Dados Históricos de Sistemas Centralizados de Controle de Tráfego. Artigo aceito para apresentação no XX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Brasília, DF.