

## PRIORIZAÇÃO PASSIVA DO TRANSPORTE COLETIVO POR ÔNIBUS EM SISTEMAS CENTRALIZADOS DE CONTROLE DE TRÁFEGO

**Francisco Moraes de Oliveira Neto**

**Carlos Felipe Grangeiro Loureiro**

Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes - PETRAN  
Universidade Federal do Ceará - UFC

### RESUMO

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar o desempenho operacional da prioridade semafórica do tipo passiva no controle em tempo real e em tempo fixo de um dos principais corredores arteriais de Fortaleza. Como objetivo secundário, buscou-se também avaliar os ganhos operacionais obtidos com o controle adaptativo do SCOOT, comparando-o com cenários de operação em tempo fixo com planos otimizados pelo TRANSYT, para períodos de média e alta demanda. Na avaliação dos cenários, foram consideradas as seguintes medidas de desempenho: atraso veicular e número de paradas estimados pelo sistema SCOOT, assim como tempo de percurso para ônibus e automóveis coletados em campo durante a operação de cada cenário. Os resultados não foram favoráveis à adoção da prioridade passiva no corredor de estudo, levando à conclusão de que o controle em tempo real do SCOOT, programado para uma boa progressão semafórica do tráfego geral (ônibus e automóveis), é o mais indicado para um corredor arterial com características semelhantes ao analisado.

### ABSTRACT

This work had as its main objective to assess the operational performance of passive bus priority techniques in fixed and real time signal systems at one of the main arterial corridors in Fortaleza. As a secondary objective, it also evaluated the operational benefits of SCOOT adaptive signal control, comparing it to well adjusted fixed time plans optimized by TRANSYT, for periods of medium and high traffic volumes. In evaluating scenarios, the following performance measures were considered: vehicle delay and number of stops simulated by SCOOT, as well as buses and autos travel times observed in the field during each scenario's operation. The results did not favor the adoption of passive priority schemes in the selected corridor, leading to the conclusion that SCOOT real time control, programmed for a good signal progression of the general traffic (buses and autos), is the best signal control strategy for an arterial corridor with similar characteristics as the one under analysis.

## 1. INTRODUÇÃO

O ônibus continua sendo o principal modo de transporte público em muitas cidades do mundo. Embora do ponto de vista social o transporte coletivo seja mais eficiente do que o transporte individual e ofereça maior potencial para a melhoria da qualidade de vida e para o desenvolvimento sustentado das cidades (Balassiano, 1996), sua procura vem caindo nos últimos anos. Pesquisas realizadas pela NTU (2002) em oito das maiores capitais brasileiras mostram que o transporte público por ônibus perdeu cerca de 25% dos passageiros pagantes entre 1994 e 2001. Dentre as principais causas para a decadência do transporte público por ônibus, conforme o documento da NTU, estão as condições inadequadas de operação do transporte coletivo no sistema viário. Operando no tráfego misto em vias cada vez mais congestionadas por automóveis, motos e veículos de carga, o transporte coletivo é afetado por uma série de problemas que comprometem a sua eficiência e capacidade de competição, tais como: baixas velocidades operacionais e longos tempos de viagem, aumento dos custos operacionais devido aos congestionamentos, com conseqüente aumento das tarifas e maior irregularidade no atendimento.

A eficiência do sistema de transporte urbano pode ser melhorada se estratégias de gerenciamento priorizarem o transporte coletivo em relação ao individual (Zhang, 2001), entre as quais vêm ganhando destaque as estratégias de priorização semafórica. Estas estratégias já foram testadas em várias cidades nos Estados Unidos e já vêm sendo usadas no Canadá, Japão

e Europa. Em geral, as estratégias de priorização são classificadas em dois níveis (Wood, 1993; Fox *et al.*, 1995; Srinivasa *et al.*, 1995.): prioridade passiva e prioridade ativa. A *prioridade passiva* consiste em ajustar a programação semafórica manualmente ou através de programas computacionais como o TRANSYT (Vincent *et al.*, 1980), dando maior peso a aproximações com maior volume de passageiros. Esta técnica é mais adequada para corredores com volume considerável de ônibus, nos quais os tempos de embarque/desembarque não variam muito (Skabarbonis, 2000). Já a *prioridade ativa* envolve a detecção da presença dos coletivos nas proximidades das interseções, e depende da lógica do sistema e das condições do tráfego. Especialmente no caso de cidades que implantaram sistemas centralizados de controle do tráfego (CTA), acredita-se que a utilização de tais estratégias pode resultar em menores atrasos dos ônibus nas interseções semaforizadas, proporcionando reduções significativas nos tempos de deslocamento da população usuária do transporte coletivo.

Em Fortaleza, estudo de caso desta pesquisa, na maior parte da sua malha viária não é dado nenhum tratamento preferencial para o transporte público por ônibus, que opera disputando espaço com os demais veículos que trafegam no sistema viário. Contudo, Fortaleza dispõe de um sistema moderno de controle de tráfego adaptativo (Loureiro *et al.*, 2002a), o sistema SCOOT (*Split, Cycle and Offset Optimisation Technique*) (TRL 2000a), que opera numa central de controle denominada CTAFOR - Controle de Tráfego em Área de Fortaleza. Esta central controla atualmente, em tempo fixo ou em tempo real, cerca de 190 dos mais de 400 semáforos da cidade, possibilitando a implementação de várias estratégias de priorização semafórica em corredores arteriais. Além disso, seu sistema operacional permite a avaliação de diferentes estratégias de controle semafórico a partir dos indicadores de desempenho (como atraso e número de paradas) simulados pelo modelo de tráfego SCOOT e armazenados num banco de dados chamado ASTRID (*Automatic SCOOT Traffic Information Database*) (TRL, 2000d), em intervalos de agregação de 15 min ao longo do dia.

Considerando os recursos disponíveis no CTAFOR para implementar diferentes estratégias de priorização semafórica e prover medidas de desempenho simuladas em tempo real, este trabalho teve como objetivo principal avaliar o desempenho operacional da prioridade semafórica do tipo passiva no controle em tempo real e em tempo fixo de um dos principais corredores arteriais de Fortaleza. Como objetivo secundário, buscou-se também avaliar os ganhos operacionais para o tráfego geral neste corredor, obtidos com o controle adaptativo do SCOOT, comparando-o com cenários de operação em tempo fixo com planos otimizados pelo TRANSYT, para períodos de pico e entre-pico. A seguir, antes da apresentação e discussão dos resultados deste estudo de caso, apresenta-se uma descrição conceitual e aplicada das estratégias avaliadas de priorização passiva no controle em tempo fixo e real.

## **2. ESTRATÉGIAS AVALIADAS DE PRIORIZAÇÃO PASSIVA**

### **2.1. Prioridade Passiva em Tempo Fixo no TRANSYT**

Os semáforos em corredores arteriais operam normalmente coordenados, para permitir a progressão dos movimentos de tráfego. Muitos sistemas operam com programação semafórica de tempo fixo, ou *off-line*, com base em dados históricos de fluxos veiculares. Neste tipo de operação, a prioridade para o transporte público pode ser dada por meio de configurações nos tempos semafóricos (ciclo, tempos de verde e defasagem) que favoreçam os veículos do

transporte público. A defasagem entre os semáforos pode ser ajustada em função da velocidade dos ônibus e dos tempos de embarque/desembarque nos pontos de parada.

Neste estudo foi testado o modelo de priorização semafórica do TRANSYT. Para tanto, o comportamento dos diferentes tipos de veículos que circulam no corredor arterial foi modelado separadamente por uma técnica chamada de “retenção compartilhada” (*BUS TRANSYT*) (Robertson e Vincent, 1975; Pierce e Wood, 1977), *apud* Vincent *et al.* (1980), ou seja, o *link* principal de cada aproximação é acompanhado de *links* adicionais para representar a chegada de outros tipos de veículos (por exemplo, ônibus ou veículos de emergência). A técnica permite a representação de até cinco classes de veículos, que podem ser usadas para separar diferentes origens de fluxo (como saídas de estacionamento), tipos de vias, assim como para separar ônibus que seguem rotas específicas e servem determinados pontos de parada.

Devido à complexa interação entre os ônibus e os outros tipos de veículos na corrente de tráfego, os ônibus são modelados no TRANSYT utilizando a técnica de retenção compartilhada combinada com um modelo específico de dispersão para ônibus. Esta dispersão considera a variação do tempo de jornada do ônibus no *link*, que depende dos tempos gastos nos pontos de parada. Como os atrasos e paradas são calculados separadamente para os ônibus e para os outros veículos, o atraso por passageiro pode ser estimado ponderando os resultados de cada classe pelo número médio de passageiros. A rotina de otimização tentará, então, encontrar a configuração semafórica que minimize o atraso total por passageiro. Assim, para cada *link* compartilhado foi atribuída a frequência de ônibus, a velocidade de cruzeiro média dos ônibus, o tempo médio parado no ponto de parada (caso existisse ponto de parada no *link*) e pesos para atraso e número de paradas, calculados como a razão entre o número médio de passageiros transportados por ônibus pelo de automóveis. Nos *links* principais estes pesos foram unitários.

## 2.2. Prioridade Passiva em Tempo Real no SCOOT

Num sistema adaptativo, como o SCOOT, os semáforos em corredores arteriais podem operar coordenados com programação semafórica em tempo real (*on line*) com base em informações da demanda veicular detectada por laços indutivos localizados nas aproximações semafóricas. Este tipo de operação é adequado em interseções que apresentam variação do fluxo de tráfego ao longo do dia, entre os dias da semana, ou até mesmo entre meses do ano. Conforme descrito em detalhes por Loureiro *et al.* (2002b), a filosofia do SCOOT é reagir às mudanças no tráfego por meio de freqüentes, porém pequenas, mudanças no ciclo, tempos de verde e defasagens de um determinado plano para um conjunto de semáforos que formam uma área de controle, visando à adequação deste plano às variações momentâneas no comportamento do tráfego. Nos períodos de dias típicos, nos quais o ciclo de um corredor arterial apresenta pequena variação, é possível ajustar as defasagens em função da velocidade dos ônibus e dos tempos gastos nos pontos de parada ao longo do corredor. Entretanto, fixar as defasagens numa rede de semáforos operando em tempo real significa limitar sua capacidade adaptativa.

No sistema SCOOT, o ajuste de alguns parâmetros pode garantir uma melhor progressão para os ônibus, priorizando os *links* mais carregados do corredor arterial. Uma primeira alternativa consiste em alterar parâmetros para a otimização das frações de verde. No SCOOT, a partição de verde procura manter iguais as saturações de todos os *links* de um determinado nó.

Entretanto, a partir da alteração dos parâmetros *Split Weighting Multiplier (SPWM)* e *Split Weighting Saturation (SPWS)*, é possível estabelecer uma maior ou menor priorização dos *links* (TRL, 2000c). Portanto, a utilização deste recurso permite que seja fornecida uma maior parcela do tempo de verde para os *links* de um corredor de ônibus, favorecendo a obtenção de melhores defasagens. O parâmetro *SPWM* determina a intensidade na qual a saturação de um determinado *link* será desfavorecida. Já o parâmetro *SPWS* estabelece o valor de saturação no *link* penalizado que o SCOOT irá considerar como limite para restabelecer a condição de equilíbrio entre as saturações dos *links* do nó. No caso de situações de congestionamento, o SCOOT permite ainda o ajuste de um terceiro parâmetro, denominado *Congestion Importance Fator (CGIF)*, para cada *link* da interseção. O comportamento do sistema será o de tentar dar mais tempo de verde para o *link* que tiver o valor de *CGIF* mais alto (Ming, 1997), possibilitando priorizar os *links* com maior percentual de ônibus no corredor.

Outra alternativa de priorização passiva no SCOOT, correspondendo à estratégia testada neste estudo, consiste na definição de um estreito intervalo de variação das defasagens entre as interseções do corredor, considerando os tempos de percurso dos ônibus e os tempos gastos em pontos de parada. Isto é obtido ajustando o valor do parâmetro *Link Bias*, que varia entre 0 e 127, sendo o valor 0 a situação de total liberdade para que o sistema faça variar as defasagens e 127 o valor que irá fixá-las ao máximo. Este parâmetro é, então, aplicado ao valor *default* da defasagem (*DEFO*) que representa um valor fixo ou o ponto central em torno do qual o otimizador poderá variar a defasagem. Nesta pesquisa, os valores do parâmetro *DEFO*, para cada *link* do corredor, foram calculados utilizando-se o modelo de retenção compartilhada do TRANSYT.

### **3. CARACTERIZAÇÃO DO CORREDOR EM ESTUDO**

Como estudo de caso desta pesquisa, foi escolhido o corredor da Av. 13 de Maio, representando um dos principais canais da ligação leste-oeste em Fortaleza, com volumes diários da ordem de 30.000 veículos e até 180 ônibus circulando por hora nos dois sentidos de tráfego. O corredor possui uma extensão de 2,1 km, estendendo-se desde a Av. Carapinima, a oeste, até a Rua Paula Rodrigues, próxima à Igreja Nossa Senhora de Fátima. O corredor apresenta um alinhamento horizontal praticamente retilíneo, com duas faixas de tráfego por sentido, separadas por canteiro central. As interseções semaforizadas são pouco espaçadas, com distância média de 230 m. Os pontos de parada de ônibus no corredor não possuem baias, observando-se o bloqueio da faixa direita durante as operações de embarque/desembarque.

O corredor em análise contém 10 interseções semaforizadas. Antes da implantação do sistema SCOOT, em maio de 2003, o controle semafórico era feito com equipamentos eletromecânicos de plano único, operando sem qualquer coordenação. Os ciclos semafóricos eram diferentes em grupos de interseções próximas, variando de 68s a 105s. Após a centralização do controle de suas interseções, o corredor vem operando exclusivamente em tempo real. Faz-se importante mencionar que o corredor apresenta dois trechos com características diferentes em relação à operação de ônibus nas vias transversais. No trecho 1, entre as ruas Paula Rodrigues e Barão do Rio Branco, o tráfego das vias transversais é menos intenso e composto apenas de automóveis, enquanto que no trecho 2, até a Av. Carapinima, o corredor é cortado por outros corredores importantes de transporte público. Desta forma, os estudos de avaliação foram realizados separados para estes dois trechos.

Estimou-se, com base nos levantamentos de campo, que cerca de 62% do movimento de pessoas nas aproximações do corredor e nas vias transversais é realizado pelo transporte público por ônibus. Isto, para uma proporção de ônibus entorno de 6% do tráfego veicular nas aproximações do corredor e de aproximadamente 14% nas aproximações transversais do trecho 2. Este fato confirma a hipótese de que este corredor é um importante eixo de transporte público no município de Fortaleza.

#### 4. METODOLOGIA DO ESTUDO DE AVALIAÇÃO

Este estudo contemplou os seguintes cenários de avaliação:

- ♣ *Cenário 1 – Pré-CTA*: este cenário corresponde à programação em tempo fixo convencional antes da implantação do CTAFOR, com planos únicos, não coordenados;
- ♣ *Cenário 2 – Tempo Fixo Bem Ajustado (TFBA)*: este cenário corresponde à programação dos semáforos em tempo fixo, sem prioridade para ônibus, com planos semafóricos calculados no TRANSYT utilizando dados de fluxos coletados em campo;
- ♣ *Cenário 3 – Priorização Passiva em Tempo Fixo (PPTF)*: neste cenário as configurações semafóricas para todos os semáforos da rede foram calculadas no TRANSYT pelo método BUS TRANSYT;
- ♣ *Cenário 4 – Controle SCOOT*: tempos semafóricos gerados pelo controle adaptativo do sistema SCOOT, sem prioridade para ônibus;
- ♣ *Cenário 5 – Priorização Passiva em Tempo Real (PPTR)*: este cenário corresponde ao controle em tempo real do SCOOT com uma progressão ajustada por parâmetros de defasagem para se adequar ao comportamento dos ônibus na corrente de tráfego.

O contexto avaliado neste trabalho representa, portanto, uma situação muito comum nas médias e grandes cidades brasileiras, na qual um importante corredor arterial opera com planos semafóricos únicos e não coordenados, e deseja-se avaliar qual a melhor opção para melhorar seu desempenho operacional, reduzindo congestionamentos. Neste corredor existe também uma grande demanda por transporte público, sendo adequada uma operação semafórica com prioridade para ônibus. Portanto, deve-se decidir entre: a) manter a tecnologia de controle em tempo fixo, atualizando seus planos; b) atualizar os planos de tempo fixo garantindo prioridade para o transporte público; c) implantar uma tecnologia de controle em tempo real; ou d) operar em tempo real com prioridade passiva para os ônibus.

##### 4.1. Definição das Medidas de Desempenho

Na avaliação dos cinco cenários, foram consideradas as seguintes medidas de desempenho: atraso veicular e número de paradas estimados pelo sistema SCOOT para o tráfego geral; tempo de percurso para ônibus e automóveis coletados em campo durante a operação de cada cenário. O atraso veicular e o número de paradas foram coletados no banco de dados do SCOOT para os *links* (aproximações) do corredor e das vias transversais. As variáveis foram obtidas originalmente de forma desagregada: uma observação por *link* da rede, para cada intervalo de 15 min. Os valores foram então agregados espacialmente sobre os *links* da rede, em cada intervalo dentro do período de pesquisa, da seguinte forma:

$$a) \text{ Atraso Veicular: } AT_{15} = \sum_i AT_i \cdot F_i \quad [\text{min.veíc/h}] \quad (1)$$

onde:  $AT_i$  = Atraso médio no link  $i$  [min/veíc.];  $F_i$  = Fluxo no link  $i$  [veíc./h].

b) Número de Paradas:  $NP_{15} = \sum_i NP_i$  (2)

onde:  $NP_i$  = Número de paradas no link  $i$  [veíc./h].

As medidas de desempenho foram agregadas por sentido de tráfego do corredor e para os *links* das vias transversais, considerando os dois trechos de análise. Portanto, para cada trecho e intervalo de 15 min foram computadas observações para três indicadores, dois para os sentidos de tráfego (L/O e O/L) e um para as vias transversais, conforme disposto na Tabela 1.

**Tabela 1:** Indicadores de desempenho do SCOOT por sentido de tráfego

Sentido	Atraso Veicular	Número de Paradas
O/L	$AT_{15OL}$	$NP_{15OL}$
L/O	$AT_{15LO}$	$AT_{15LO}$
Transversais	$AT_{15TV}$	$AT_{15TV}$

#### 4.2. Coleta dos Dados

Os indicadores observados em cada cenário de estudo estão listados na Tabela 2. No Cenário Pré-CTA foi levantado apenas o indicador tempo de percurso para automóveis e ônibus, já que neste cenário não foi possível obter dados de atraso e número de paradas para o tráfego geral. Para os cenários sem prioridade (1, 2 e 4) foram realizadas pesquisas em campo de tempo de percurso para automóveis e ônibus para avaliar o desempenho operacional dos dois modos separadamente. Já para os cenários com prioridade para ônibus (3 e 5), foram realizadas pesquisas de tempo de percurso somente para ônibus, visto que nestes cenários foi avaliado o ganho de desempenho somente para este modo e o conseqüente impacto sobre o tráfego geral. As medidas de desempenho para avaliação do tráfego geral em cada cenário, com exceção do Cenário 1, foram estimadas pelo sistema SCOOT e extraídas com auxílio da interface TRANSCOOT (Meneses *et al.*, 2003), sendo armazenadas em arquivos do tipo DBF.

**Tabela 2:** Cenários de estudo e indicadores de desempenho

CENÁRIOS	INDICADORES	
Cenários sem prioridade	Cenário 1 – Pré-CTA	<i>Tempo de Percurso de Ônibus</i> <i>Tempo de Percurso de Automóveis</i>
	Cenário 2 – TFBA Cenário 4 – SCOOT	<i>Tempo de Percurso de Ônibus</i> <i>Tempo de Percurso de Automóveis</i> <i>Atraso Veicular</i> <i>Número de Paradas</i>
Cenários com Prioridade	Cenário 3 – PPTF Cenário 5 – PPTR	<i>Tempo de Percurso de Ônibus</i> <i>Atraso Veicular</i> <i>Número de Paradas</i>

Os cenários foram observados nos dias úteis da semana (terças, quartas e quintas), no entropico manhã (08:30 às 10:30) e no pico da tarde (17:15 às 18:45). Estes períodos do dia foram escolhidos por representarem situações de média e alta demanda no corredor, respectivamente.

Os dados de tempo de percurso foram levantados em campo segundo o método do veículo teste médio. Esta técnica consiste em percorrer o corredor em um veículo teste, numa velocidade que, segundo o condutor, é a velocidade média da corrente de tráfego. Utiliza-se um cronômetro para anotar os instantes de passagem em cada seção de controle (pontos pré-definidos) e outro para os tempos perdidos em cada trecho do corredor. Nos levantamentos o número de percursos varia conforme a extensão do corredor e o período no qual é realizada a pesquisa. Para os ônibus, a coleta foi realizada embarcada, ou seja, pesquisadores realizaram as medidas dentro dos veículos. Para facilitar os levantamentos em campo, em vez de cronômetros, foram utilizados *PALMTOPS*. Foi desenvolvido um programa na linguagem *POCKETC* que possibilitou o registro, por um único pesquisador, dos instantes de passagem em cada seção de controle e dos tempos perdidos nos semáforos e em pontos de parada.

A estimativa do tamanho da amostra para as pesquisas de tempo de percurso no corredor foi feita com base nos dados obtidos durante a operação do Cenário Pré-CTA, sendo considerada como amostra piloto para os outros cenários. Este cenário foi observado durante seis dias úteis. Da amostra obtida foi estimada a quantidade de observações necessárias para os outros cenários de estudo, e assim o número de dias de coleta para os outros cenários: estimou-se um tamanho de 20 observações, para um nível de significância de 5% e um erro de 10%, tendo sido adotado três dias úteis com os recursos disponíveis (2 pesquisadores para as pesquisas embarcadas de ônibus e um automóvel com dois pesquisadores para a coleta dos tempos de percurso de automóveis).

### **4.3. Metodologia de Análise**

A análise comparativa dos cenários de controle semafórico baseou-se nas seguintes hipóteses de pesquisa:

- D) A atualização dos planos semafóricos de um corredor arterial reduz o valor médio do tempo de percurso dos ônibus e automóveis, sem alterar a dispersão destas variáveis;
- II) A priorização passiva em tempo fixo produz ganhos operacionais para os veículos do transporte público, sem prejuízo para o tráfego geral do corredor e das vias transversais, quando comparada à operação em tempo fixo bem ajustada;
- III) O controle em tempo real se adapta às variações do tráfego, reduzindo a dispersão dos tempos de percurso e atrasos veiculares, assim como produzindo ganhos operacionais (redução de tempo de percurso e atraso) quando comparado à operação em tempo fixo bem ajustada e à operação em tempo fixo com prioridade passiva;
- IV) A priorização passiva em tempo real produz ganhos operacionais para os veículos do transporte público, sem prejuízo para o tráfego geral do corredor e das vias transversais, quando comparada ao controle em tempo real sem prioridade.

Na Tabela 3, estão detalhadas as hipóteses alternativas dos testes de significância realizados nesta análise. Os níveis de significância destes testes foram definidos conforme a ordem de grandeza das variáveis observadas. Para os tempos de percurso de automóveis e de ônibus, considerou-se como significativas diferenças nos tempos médios que resultassem na rejeição da hipótese nula para um nível de significância de 5% e em reduções de tempo de percurso maiores que 5 segundos por semáforo do corredor.

**Tabela 3:** Comparação entre cenários: hipóteses alternativas testadas

<b>I. Quanto à atualização dos planos:</b>				
Indicadores $\diamond$	Tempo Médio de Percurso por sentido		Variabilidade do Tempo Médio de Percurso	
2 x 1 – Tempo Fixo Bem Ajustado x Pré-CTA	Ônibus: $H_1: \mu_{tpo2} < \mu_{tpo1}$ Autos: $H_1: \mu_{tpc2} < \mu_{tpc1}$		Ônibus: $H_1: \sigma_{tpo2}^2 \neq \sigma_{tpo1}^2$ Autos: $H_1: \sigma_{tpc2}^2 \neq \sigma_{tpc1}^2$	
<b>II. Quanto à priorização passiva em tempo fixo</b>				
Indicadores $\diamond$	Corredor		Corredor e Transversais	
	Tempo Médio de Percurso de Ônibus	Tempo Médio de Percurso de Automóveis	Atraso Veicular	Número de Paradas
3 x 2 – Priorização Passiva em Tempo Fixo x Tempo Fixo Bem Ajustado.	$H_1: \mu_{tpo3} < \mu_{tpo2}$ $H_1: \sigma_{tpo3}^2 \neq \sigma_{tpo2}^2$	---	$H_1: \mu_{AT3} \neq \mu_{AT2}$ $H_1: \sigma_{AT3}^2 \neq \sigma_{AT2}^2$	$H_1: \mu_{NP3} \neq \mu_{NP2}$ $H_1: \sigma_{NP3}^2 \neq \sigma_{NP2}^2$
<b>III. Quanto ao controle em tempo real:</b>				
4 x 2 – Controle SCOOT x Tempo Fixo Bem Ajustado	$H_1: \mu_{tpo4} < \mu_{tpo2}$ $H_1: \sigma_{tpo4}^2 < \sigma_{tpo2}^2$	$H_1: \mu_{tpc4} < \mu_{tpc2}$ $H_1: \sigma_{tpc4}^2 < \sigma_{tpc2}^2$	$H_1: \mu_{AT4} < \mu_{AT2}$ $H_1: \sigma_{AT4}^2 < \sigma_{AT2}^2$	$H_1: \mu_{NP4} \neq \mu_{NP2}$ $H_1: \sigma_{NP4}^2 \neq \sigma_{NP2}^2$
4 x 3 – Controle SCOOT x Priorização Passiva em Tempo Fixo	$H_1: \mu_{tpo4} < \mu_{tpo3}$ $H_1: \sigma_{tpo4}^2 < \sigma_{tpo3}^2$	---	$H_1: \mu_{AT4} < \mu_{AT3}$ $H_1: \sigma_{AT4}^2 < \sigma_{AT3}^2$	$H_1: \mu_{NP4} \neq \mu_{NP3}$ $H_1: \sigma_{NP4}^2 \neq \sigma_{NP3}^2$
<b>IV. Quanto à priorização passiva em tempo real</b>				
5 x 4 – Priorização Passiva em Tempo Real x Controle SCOOT	$H_1: \mu_{tpo5} < \mu_{tpo4}$ $H_1: \sigma_{tpo5}^2 \neq \sigma_{tpo4}^2$	---	$H_1: \mu_{AT5} \neq \mu_{AT4}$ $H_1: \sigma_{AT5}^2 \neq \sigma_{AT4}^2$	$H_1: \mu_{NP5} \neq \mu_{NP4}$ $H_1: \sigma_{NP5}^2 \neq \sigma_{NP4}^2$

onde:  $tpo$  = tempo de percurso de ônibus;  
 $tpc$  = tempo de percurso de automóveis;  
 $AT$  = atraso veicular por sentido de tráfego;  
 $NP$  = número de paradas por sentido de tráfego.

As diferenças de atraso veicular médio entre os cenários foram consideradas significativas para níveis de 1% de significância e que resultassem numa diferença de 5 seg./link por veículo que sofre parada ao longo do corredor ou nas vias transversais, calculado pela Equação 3:

$$AT_L = 60 \times \frac{\overline{AT}}{\overline{NP}} \text{ [seg./veic./link]} \quad (3)$$

onde:  $\overline{AT}$  é o atraso veicular médio e  $\overline{NP}$  é o número médio de paradas por sentido;

Para a variável número de paradas, considerou-se significativas diferenças médias entre os cenários para níveis de 1% e que resultassem numa diferença de 5% na proporção média de paradas, calculada pela Equação 4:



$$PP = \frac{\bar{NP}}{n \times \bar{Q}} [\%] \quad (4)$$

onde:  $\bar{NP}$  = número médio de paradas por sentido de tráfego;

$\bar{Q}$  = fluxo veicular médio por link;

$n$  = número de links por sentido de tráfego.

Com relação às medidas de dispersão, considerou-se significativa uma diferença de variâncias dos tempos de percurso para um nível de significância de 5%. Já para as variâncias do atraso e do número de paradas veiculares, assumiu-se diferenças significativas quando a hipótese nula era rejeitada para um nível de 2,5%.

## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados dos testes de médias para as comparações de cenários  $2x1$ ,  $3x2$ ,  $4x2$  e  $5x4$  estão apresentados na Tabela 4. Os valores com sinal negativo, destacados em negrito, significam haver indícios nas amostras, conforme o critério de avaliação, de diferenças significativas entre os dois cenários analisados, corroborando a hipótese de pesquisa em questão. Já diferenças positivas em negrito significam um resultado contrário à hipótese levantada. No geral, os resultados obtidos evidenciaram que:

- ♣ A hipótese I de estudo foi confirmada somente no entre-pico da manhã, no Trecho 1;
- ♣ A hipótese II de estudo não foi confirmada em nenhum dos casos analisados;
- ♣ A hipótese III foi confirmada em muitos casos, principalmente com relação à redução do tempo de percurso de automóveis, redução do número de paradas no corredor e redução da variância do atraso veicular nas vias transversais;
- ♣ A hipótese IV foi confirmada somente para o sentido O/L no pico da tarde.

A atualização dos planos semafóricos se provou eficaz, especialmente no entre-pico da manhã do Trecho 1. Os resultados de não confirmação da hipótese I podem ser justificados pela redução de capacidade viária advinda da priorização da segurança de pedestres na programação semafórica pós-CTA (incluindo os cenários 2 a 5). No Trecho 1, nos cruzamentos adjacentes à Igreja N.S.de Fátima, houve um trabalho de conscientização da população sobre o uso da botoeira de pedestres já existente, o que acarretou num maior acionamento deste dispositivo principalmente no período da tarde, quando o volume de travessias aumenta. No Trecho 2, houve uma implantação de fase de pedestres no cruzamento com a Av. da Universidade, reduzindo a capacidade do cruzamento e alterando o comportamento do tráfego.

Já a não confirmação das hipóteses 2 e 4, em quase todos os casos considerados, atesta a baixa eficácia da priorização passiva em tempo fixo ou real, provavelmente devido ao aumento da interação entre os ônibus e automóveis, assim como às fortes variações nos tempos de embarque/desembarque nos pontos de parada ao longo do corredor. Por outro lado, a confirmação da hipótese 3 para quase todos os indicadores analisados comprova as expectativas de ganhos significativos com a implantação do controle em tempo real. Vale lembrar que no cenário 4, as defasagens (valores *default* – *DEFO*) foram determinadas atribuindo para cada *link* os valores obtidos da programação semafórica de tempo fixo

calculada no TRANSYT, limitando a sua variação com valores do parâmetro *Link BIAS* entre 80 a 120. Mesmo assim, os resultados apontaram para uma redução significativa do número de paradas ao longo do corredor. Isto significa que é possível se obter boa progressão semafórica para corredores arteriais de sentido duplo com o SCOOT, desde que a variação dos valores de defasagem sejam limitados a um valor central que permita uma boa progressão do tráfego em ambos os sentidos do corredor.

**Tabela 4: Resultados da comparação entre os cenários**

<b>2 x 1 – Tempo Fixo Bem Ajustado x Pré-CTA</b>						
<i>Entre Pico da Manhã</i>						
<i>Diferenças nas variáveis</i>	<i>Trecho 1</i>			<i>Trecho 2</i>		
	<i>OL</i>	<i>LO</i>	<i>Transversais</i>	<i>OL</i>	<i>LO</i>	<i>Transversais</i>
$\Delta tpc$ (seg/aut/semáforo)	<b>-8,2</b>	<b>-5,5</b>	-	<b>8,4</b>	0,3	-
$\Delta tpo$ (seg/ônibus/semáforo)	<b>-5,8</b>	<b>-4,5</b>	-	3,3	<b>7,9</b>	-
<i>Pico Tarde</i>						
$\Delta tpc$ (seg/aut/semáforo)	1,7	0,2	-	-2,2	4,3	-
$\Delta tpo$ (seg/ônibus/semáforo)	-1,0	-1,8	-	5,8	<b>17,0</b>	-
<b>3 x 2 – Priorização Passiva em Tempo Fixo x Tempo Fixo Bem Ajustado.</b>						
<i>Entre Pico da Manhã</i>						
$\Delta tpo$ (seg/ônibus/semáforo)	0,5	-2,2	-	-8,1	-1,9	-
$\Delta AT$ (seg/veic/link)	0,1	-2,4	-1,8	<b>-11,6</b>	<b>16,5</b>	<b>-4,9</b>
$\Delta PP$ (%)	2,3%	<b>9,4%</b>	-2,2%	-3,7%	<b>4,6%</b>	-1,1%
<i>Pico Tarde</i>						
$\Delta tpo$ (seg/ônibus/semáforo)	-1,7	4,1	-	-3,3	<b>-16,1</b>	-
$\Delta AT$ (seg/veic/link)	0,7	<b>5,6</b>	-6,9	1,4	<b>10,9</b>	<b>-6,2</b>
$\Delta PP$ (%)	<b>-8,6%</b>	<b>5,7%</b>	0,7%	<b>15,3%</b>	0,8%	0,7%
<b>4 x 2 – Controle SCOOT x Tempo Fixo Bem Ajustado</b>						
<i>Entre Pico da Manhã</i>						
$\Delta tpc$ (seg/aut/semáforo)	1,3	-3,4	-	<b>-9,6</b>	1,2	-
$\Delta tpo$ (seg/ônibus/semáforo)	1,6	1,8	-	<b>-9,3</b>	-6,6	-
$\Delta AT$ (seg/veic/link)	0,8	-1,5	2,8	<b>-5,3</b>	-1,7	3,8
$\Delta PP$ (%)	-1,2%	-0,2%	4,1%	<b>-15,3%</b>	<b>-12,4%</b>	1,8%
<i>Pico Tarde</i>						
$\Delta tpc$ (seg/aut/semáforo)	<b>-4,6</b>	-4,0	-	6,0	<b>-10,9</b>	-
$\Delta tpo$ (seg/ônibus/semáforo)	-0,6	2,5	-	-2,2	<b>-8,2</b>	-
$\Delta AT$ (seg/veic/link)	-1,1	1,0	-7,2	1,9	0,4	1,7
$\Delta PP$ (%)	<b>-4,5%</b>	-2,5%	2,8%	-3,7%	<b>-7,6%</b>	3,1%
<b>5 x 4 – Priorização Passiva em Tempo Real x Controle SCOOT</b>						
<i>Entre Pico da Manhã</i>						
$\Delta tpo$ (seg/ônibus/semáforo)	2,6	-4,5	-	1,4	<b>8,1</b>	-
$\Delta AT$ (seg/veic/link)	3,2	1,7	4,0	-1,3	<b>12,9</b>	3,5
$\Delta PP$ (%)	<b>10,3%</b>	<b>6,6%</b>	0,0%	2,7%	<b>12,2%</b>	-0,6%
<i>Pico Tarde</i>						
$\Delta tpo$ (seg/ônibus/semáforo)	<b>-6,6</b>	3,4	-	-8,7	0,1	-
$\Delta AT$ (seg/veic/link)	-1,2	3,1	-0,4	-3,8	<b>5,2</b>	-0,2
$\Delta PP$ (%)	-3,8%	5,3%	-0,6%	<b>19,5%</b>	<b>8,4%</b>	-1,0%

onde:  $\Delta tpc$  = diferença de tempos de percurso para automóveis por semáforo em cada sentido;  
 $\Delta tpo$  = diferença de tempos de percurso para ônibus por semáforo em cada sentido;  
 $\Delta AT$  = diferença de atraso por veículo por *link* da rede;  
 $\Delta PP$  = diferença das proporções de paradas entre os cenários.

Na operação em tempo real foi adotada também uma postura de priorizar o tráfego no corredor, aumentando a saturação dos *links* das vias transversais com os parâmetros *SPWM* e *SPWS* (com valores de saturação variando entre 80 a 100%). Este fato, além de ajudar a

explicar as reduções do número de paradas observadas em alguns casos ao longo do corredor, também explica as reduções significativas dos tempos de percursos de automóveis – resultados positivos encontrados principalmente no Trecho 2 e durante o pico da tarde, ou seja, no trecho de maior demanda veicular nas vias transversais e no período de maior demanda do tráfego, respectivamente. Vale ressaltar que, anteriormente a este estudo, nos corredores de sentido duplo controlados pelo CTAFOR, as defasagens não eram fixas, definindo-se valores baixos do parâmetro *Link BIAS* para permitir que o otimizador de defasagens do SCOOT decidisse qual o “melhor valor” a ser atribuído aos *links*. Contudo, após os bons resultados observados com a operação em tempo real no corredor da Av. 13 de Maio, estão sendo testadas defasagens diferentes ao longo dos *links* de outros corredores arteriais para permitir uma boa progressão do tráfego em períodos de entre-pico.

Ainda com relação ao controle em tempo real, em ambos os períodos houve redução significativa das variâncias do atraso veicular para as vias transversais, o que não foi observado em geral para o corredor. Nas vias transversais o tráfego se apresenta mais saturado que no corredor e, como os semáforos adjacentes das vias transversais são distantes, a chegada dos veículos nas interseções é aleatória, diferentemente das aproximações do corredor. Isto significa que as alterações dos tempos de verde na operação em tempo real acompanham a aleatoriedade do tráfego em *links* isolados e saturados. Em *links* coordenados, no entanto, isto não foi observado.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo permitiu uma avaliação de desempenho do controle em tempo real e de estratégias de prioridade semafórica do tipo passiva num corredor arterial de sentido duplo em Fortaleza. Como resultado secundário o estudo evidenciou a importância de se atualizar os planos semafóricos de um corredor arterial, trabalho que está sendo desenvolvido pelos técnicos do CTAFOR em toda a rede semafórica da malha viária de Fortaleza. Outro fato importante a ser destacado é que em corredores arteriais os semáforos devem operar coordenados numa mesma área de operação para permitir uma boa progressão dos veículos no corredor, o que não acontecia antes na Av. 13 de Maio.

Quanto às estratégias de prioridade semafórica do tipo passiva avaliadas neste estudo, não foram obtidos resultados favoráveis à sua adoção. Algumas causas podem ser levantadas para justificar este fato. Primeiramente, em corredores arteriais com elevada proporção de passageiros do transporte público, como é o caso estudado, o modelo de priorização do TRANSYT tende a ajustar os instantes de abertura dos semáforos para a velocidade de percurso dos ônibus, aumentando a sua interação com os outros veículos na via. Assim, os ônibus chegam na interseção a jusante após o pelotão principal, tendo que esperar o desmanche da fila e adentrando no próximo trecho com um acréscimo de atraso, perdendo, em períodos de alta demanda, o tempo de verde. Além disso, a alta variabilidade dos tempos de embarque/desembarque nos pontos de ônibus, com coeficientes de variação em torno de 50% observados nas pesquisas de velocidade, torna inviável uma operação com prioridade semafórica do tipo passiva com base em tempos médios de parada. Por fim, o estudo mostrou que no corredor arterial de estudo, em períodos de média e alta demanda, o controle em tempo real do sistema SCOOT foi superior ao controle de tempo fixo. Os resultados evidenciaram que o tráfego de um corredor arterial de sentido duplo pode ser priorizado, com boa progressão na operação em tempo real, sem prejuízo para o tráfego das vias transversais.

### Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido com o apoio financeiro do CT-Transporte e do CNPq. Os autores também agradecem à Autarquia Municipal de Trânsito, Cidadania e Serviços Públicos de Fortaleza (AMC) pela cooperação em todas as etapas da pesquisa.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balassiano, R. (1996) Priorização para Ônibus em Centros Urbanos: Um instrumento de Planejamento Ainda Viável. *Trabalhos Vencedores do Prêmio CNT Produção Acadêmica*. Confederação Nacional dos Transportes – CNT, São Paulo.
- Fox, K.; F. Montgomery; S. Shepherd; C. Smith; S. Jones e F. Biora (1995) *Bus Priority in SCOOT and SPOT using TIRIS*. Integrated ATT strategies for urban arterials: DRIVE II project PRIMAVERA.
- Loureiro, C.F.G.; C.H.P. Leandro; M.V.T. Oliveira (2002a) Sistema Centralizado de Controle do Tráfego de Fortaleza: ITS Aplicado à Gestão Dinâmica do Trânsito Urbano. *Anais do XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Natal, RN, Comunicações Técnicas, p. 19-26.
- Loureiro, C.F.G.; M.J.T.L. Gomes; C.H.P. Leandro (2002b) Avaliação do desempenho nos períodos de pico do tráfego de interseções semaforizadas com controle centralizado em tempo fixo e real. *Anais do XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Natal, RN, Artigo Científico, p. 365-376.
- Meneses, H.B.; Carvalho, L.E.X. e Loureiro, C.F.G. (2003) TRANSCOOT: Uma Interface Lógica para Modelar e Georeferenciar Dados Dinâmicos do Tráfego Urbano. *Anais do XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Rio de Janeiro, RJ, Artigo Científico, v. 1, p. 579-590.
- Ming, S.H. (1997) *Nota Técnica n° 203 - Recursos do SCOOT para Congestionamento*. CET/SP.
- NTU (2002) *Prioridade para o Transporte Coletivo Urbano*. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos, Relatório Técnico.
- Pierce, J.R. e K. Wood (1977) *BUS TRANSYT – a user’s guide - TRRL Report SR266*. Transport and Road Research Laboratory, Department of the Environment, Crowthorne, Inglaterra.
- Robertson, D.I. e R.A. Vincent (1975) *Bus Priority in a Network of Fixed-Time Signals - TRRL Report LR666*. Transport and Road Research Laboratory, Department of the Environment, Crowthorne, Inglaterra.
- Skabardonis, A. (2000) Control Strategies for Transit Priority. *Transportation Research Board, 79 th Annual Meeting*, Washington, D.C., USA.
- Srinivasa R. S. ; P. S. Beasley; T. Urbanik II e D.B. Fambro (1995) Model to Evaluate the Impacts of Bus Priority on Signalized Intersections. *Transportation Research Record 1494*, Texas Transportation Institute, College Station.
- TRL (2000a) *SCOOT 0414 – Executive Summary – Description of SCOOT*. *SCOOT Traffic Handbook*. Transportation Research Laboratory.
- TRL (2000b) *SCOOT 0474 – Operacional Guide Costomising*. *SCOOT Traffic Handbook*. Transportation Research Laboratory.
- TRL (2000c) *SCOOT 0484 – Functional Description – Bus Priority*. *SCOOT Traffic Handbook*. Transportation Research Laboratory.
- TRL (2000d) *SCOOT 7730 – ASTRID Operator Manual*. *SCOOT Traffic Handbook*. Transportation Research Laboratory.
- Vincent, R.A., A.I. Mitchell e D.I. Robertson (1980) *User guide of TRANSYT version 8 - TRRL Report LR888* Transport and Road Research Laboratory , Crowthorne, Inglaterra.
- Wood, K. (1993) *Urban traffic control, systems review*. Project Report 41 - Transport Research Laboratory.
- Zhang, Y. (2001) *An Evaluation of Transit Signal Priority and SCOOT Adaptive Signal Control*. Thesis Virginia Polytechnic Institute and Sate University. Blacksburg, Virginia.

Universidade Federal do Ceará  
Departamento de Engenharia de Transportes  
Campus do Pici – Centro de Tecnologia – Bloco 703  
60.455-760 - Fortaleza – CE

Fone/Fax: (0xx85) 288-9488  
E-mail: felipe@det.ufc.br  
moraes@det.ufc.br