

VALIDAÇÃO DAS VARIÁVEIS NÚMERO MÉDIO DE PARADAS E ATRASO MÉDIO VEICULAR SIMULADAS PELO SOFTWARE SCOOT

Paulo Marinho de Paiva Neto

Manoel Mendonça de Castro Neto

Sistema Centralizado de Controle de Tráfego de Fortaleza – CTAFOR
Autarquia Municipal de Trânsito, Serviços Públicos e de Cidadania de Fortaleza – AMC

Edinardo do Nascimento Júnior

Carlos Felipe Grangeiro Loureiro

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

RESUMO

Esta comunicação técnica tem como objetivo avaliar a modelagem das variáveis número médio de paradas e atraso médio veicular pelo sistema de controle adaptativo SCOOT, utilizado no Sistema Centralizado de Controle do Tráfego de Fortaleza – CTAFOR. A justificativa técnica da pesquisa está no fato de que toda a otimização semafórica realizada pelo SCOOT se baseia nos valores dessas duas variáveis. A análise, baseada numa amostra de três aproximações com características distintas, consistiu na comparação entre os valores modelados pelo SCOOT e medidos em campo, fazendo uso de inferência estatística. Os resultados confirmaram as expectativas iniciais de que o atraso médio veicular está sendo bem modelado pelo sistema, independentemente das condições de tráfego. Com relação à variável número médio de paradas, foi possível concluir que a tendência de variação dos valores está sendo bem modelada. Porém, eles estão sendo superestimados pelo SCOOT, o que provavelmente pode estar afetando a definição dos ciclos semafóricos.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to evaluate the modelling process of the variables average number of stops and average vehicle delay by the adaptive control system SCOOT, which is used at Fortaleza's Urban Traffic Control System – CTAFOR. This study is justified by the fact that the SCOOT signal optimization model is based on these two variables. The analysis, which was based on a sample of three different intersection approaches, consisted of comparing the values modeled by SCOOT to the ones measured in the field, making use of statistical inference. The results confirmed the initial expectations that the average vehicle delay is being well modeled by the system, independently of the traffic conditions. With regard to the variable average number of stops, it was possible to conclude that the variation trend of the values is being well modeled. However, since they are being overestimated by SCOOT, this is probably affecting the cycle length optimization.

1. INTRODUÇÃO

Em médias e grandes cidades brasileiras, vem crescendo a utilização do transporte motorizado, basicamente em função da realização de deslocamentos diários cada vez mais longos. O aumento da frota de veículos vem normalmente seguido do crescimento do número de semáforos na malha viária, o que prejudica a fluidez de corredores de tráfego, caso não haja uma operação eficiente. Nos últimos anos, muitos estudos têm sido realizados no sentido de aumentar a eficiência do controle semafórico, tanto em corredores de tráfego como em áreas adensadas. Neste contexto, duas variáveis são frequentemente utilizadas como indicadores dessa eficiência: número médio de paradas e atraso médio veicular. Para Loureiro *et al.* (2002b), elas são importantes porque representam medidas de desconforto e frustração para motoristas e passageiros, além de estarem relacionadas com consumo de combustível e tempo de viagem perdido.

Nos últimos quatro anos, a cidade de Fortaleza tem passado por uma nova fase na gerência do tráfego, o que vem sendo possível sobretudo devido à implantação do Sistema de Controle de Tráfego em Área de Fortaleza – CTAFOR (Loureiro *et al.*, 2002a). Durante esse período, a parte mais congestionada da malha viária tem experimentado o controle semafórico

centralizado em tempo real, que tem como principal objetivo a redução do atraso veicular e do número de paradas nas interseções semaforizadas, por meio de alterações instantâneas de ciclo, tempo de verde e defasagem entre os semáforos. Nesse sentido, a eficiência do sistema está diretamente relacionada ao grau de precisão da modelagem dos valores dessas duas variáveis por parte do software de otimização SCOOT (*Split, Cycle and Offset Optimisation Technique*). Assim, este trabalho teve como objetivo comparar os valores modelados pelo software SCOOT referentes às variáveis número médio de paradas e atraso médio veicular, com os valores dessas variáveis medidos em campo, em diferentes situações de tráfego. Este estudo gerou resultados satisfatórios, trazendo aos técnicos do CTAFOR mais conhecimento acerca da modelagem dessas variáveis e mais confiabilidade na otimização semaforica do SCOOT.

2. MODELO DE OTIMIZAÇÃO DO SCOOT

Conceitualmente, o SCOOT pode ser compreendido como um meio de equilibrar a oferta, representada pela capacidade das interseções semaforizadas, e a demanda de veículos existente na malha viária. Seu princípio de funcionamento tem como base um modelo de tráfego que objetiva minimizar paradas e atrasos em grupos de cruzamentos semaforizados simulando o efeito de pequenas alterações em suas programações semaforicas, de acordo com a variação do tráfego. Para atuar na oferta viária, o modelo de tráfego faz uso de um padrão de chegadas de veículos na aproximação como forma de estimar a demanda. Esse padrão é obtido a partir de laços indutivos localizados a montante da interseção, que têm a função de detectar a presença dos veículos (ocupância), usando uma unidade de medida chamada LPU (*Link Profile Unit*). Testando essa presença a cada quarto de segundo, o sistema modela a progressão dos veículos até a linha de retenção, tendo como base o tempo de percurso médio validado em campo. Os padrões de chegada são armazenados e atualizados no SCOOT sob a forma de perfis cíclicos de fluxo e estes são comparados aos dados mais recentes para que grandes variações aleatórias não perturbem o padrão de tráfego que é normalmente observado (TRL, 2000). Conforme Loureiro *et al.* (2002b), uma vez que o SCOOT controla os tempos semaforicos, ele modela a chegada do pelotão na retenção de acordo com a fase do semáforo. Caso o pelotão modelado atinja a retenção durante o verde, ele passa pela retenção sem sofrer atraso, enquanto que se atingir a retenção durante o vermelho, ocorre formação de fila, com veículos sendo adicionados ao seu final. No instante de mudança para o verde, essa fila acumulada é descarregada pela retenção a uma taxa determinada, equivalente ao fluxo de saturação, que é um parâmetro de entrada do SCOOT chamado *Saturation Occupancy* (SATO). Por meio dessa modelagem, o SCOOT prevê o comprimento de filas, sendo capaz de estimar o atraso experimentado e o número de paradas em cada aproximação.

Para que o modelo seja representativo da realidade, torna-se necessário um processo bem acurado de calibração em campo dos parâmetros de entrada do SCOOT, que são basicamente três: tempo de percurso (JTIM), tempo de dispersão de fila máxima (MAXQ) e *Saturation Occupancy*. O primeiro representa o tempo médio que um veículo inserido no pelotão leva para trafegar do laço indutivo até a linha de retenção e tem como função estimar a chegada do veículo na fila ou na linha de retenção. O segundo é definido como o tempo médio necessário para que a fila armazenada até o laço indutivo seja completamente descarregada. Esse valor é muito influenciado pela composição do tráfego e pelo comportamento dos motoristas, o que exige uma grande quantidade de medições em campo. Como mencionado anteriormente, o SATO representa o fluxo de saturação da aproximação, ou seja, o valor médio da taxa

máxima de descarga da fila de veículos através da retenção. Esse parâmetro é usado pelo SCOOT na estimação do grau de saturação de cada aproximação, de forma que o otimizador de repartição de verdes possa balancear a saturação entre as aproximações. Todos esses parâmetros influenciam diretamente a estimação do número de paradas e do atraso, e conseqüentemente a otimização do SCOOT, uma vez que o primeiro depende do processo de chegadas e o segundo depende tanto do modelo de chegada quanto do modelo de dispersão da fila.

Como o SCOOT utiliza a unidade LPU para representar o fluxo de veículos, conseqüentemente todas as variáveis derivadas, como número de paradas e atraso, são armazenadas e consideradas nesse sistema de unidades. A captura e a visualização dos dados são feitas pelo software ASTRID (*Automatic SCOOT Traffic Information Database*), que transforma a unidade LPU em veículo equivalente. O ASTRID permite a utilização de um único valor de fator LPU/veículo, o qual está associado a todos os *links* do sistema. Fernandes (2002) realizou um estudo que objetivava avaliar esse fator em um conjunto de *links* do CTAFOR sob diferentes condições de tráfego. A metodologia desenvolvida buscou comparar a contagem feita em LPU pelo SCOOT com uma transformação de veículos nessa unidade realizada a partir de imagens gravadas em campo. A análise dos quatro *links* amostrados revelou que o fator LPU/veículo varia tanto entre os *links* como entre os horários pesquisados, o que sugere que a calibração deste fator depende da velocidade e da composição do tráfego, assim como da disposição física do laço na via e da saturação, uma vez que o modelo de contagem de LPU considera a continuidade da ocupação.

A partir de 2002, o CTAFOR passou a utilizar, em aproximações coordenadas, um novo tipo de *link* denominado “SCOOT reduzido”, que se caracteriza pela ausência de laço indutivo. Seu funcionamento se dá pela alimentação proveniente dos *links* a montante, de acordo com um valor percentual associado a cada um deles, que é calibrado em campo. Por se tratar de um valor médio, em certos períodos ao longo do dia pode haver uma modelagem equivocada do processo de chegada do *link*, e conseqüentemente das variáveis derivadas.

3. PROJETO DO EXPERIMENTO

Com relação ao processo de modelagem de formação de filas no SCOOT, supõe-se que existam basicamente três padrões de *links* em que a estimação dos valores das duas variáveis pode ser diferenciada. Essa diferença está associada ao grau de saturação do *link*, uma vez que a existência de filas residuais, no caso de saturações maiores que 100%, pode levar a incompatibilidades entre a realidade e o modelo usado no processo de chegadas. Sendo assim, foram escolhidas três amostras para cada variável (Tabela 1): uma relacionada a um *link* (aproximação) convencional com valores médios de saturação, variando entre 50 e 80%; outra relacionada ao mesmo tipo de *link*, mas com valores altos de saturação, da ordem de 100%; e a terceira representando um *link* “SCOOT reduzido” com saturação média. Esse procedimento tornou-se viável devido à estimação do grau de saturação nos *links* dos semáforos controlados pelo SCOOT. Além de a seleção ter tido como base o nível de saturação e o tipo de *link*, foi necessário tomar *links* próximos a câmeras do sistema CFTV – Circuito Fechado de TV – do CTAFOR, uma vez que a metodologia de coleta dos dados de campo foi realizada com base em imagens gravadas a partir das câmeras, resultando numa maior precisão na contagem e conforto do pesquisador.

Tabela 1: Descrição das amostras

Número Médio de Paradas		
Aproximação	Grau de Saturação (%)	Nº de observações
1. Pontes Vieira x Osvaldo Cruz (Aprox. Oeste)	50 < GS < 80	16
2. 13 de Maio x Universidade (Aprox. Sul)	90 < GS < 110	16
3. 13 de Maio x Sen. Pompeu (Aprox. Leste)	50 < GS < 80	16
Atraso Médio Veicular		
Aproximação	Grau de Saturação (%)	Nº de observações
4. Pontes Vieira x Osvaldo Cruz (Aprox. Oeste)	50 < GS < 80	13
5. Eng. Santana Jr. x Pe. Antônio Tomás (Aprox. Oeste)	90 < GS < 110	15
6. 13 de Maio x Sen. Pompeu (Aprox. Leste)	50 < GS < 80	16

A obtenção dos dados estimados pelo SCOOT, para ambas as variáveis, foi feita por meio do *software* ASTRID, a partir da interface TRANSCOOT (Meneses *et al.*, 2003). Como a estimação é feita a cada quarto de hora, para cada período de uma hora estão associados quatro valores estimados para cada variável. A metodologia de coleta é simples, extraindo-se os dados referentes aos *links* e períodos desejados, e armazenando-os em arquivos DBF.

A metodologia de mensuração em campo dos dados de atraso médio veicular representou uma adaptação ao método recomendado pelo HCM 2000, a fim de se adequar aos períodos de simulação do SCOOT. O início da mensuração coincidia sempre com o início do período do vermelho, tão logo iniciado o quarto de hora a ser analisado (por exemplo, 16:00h às 16:15h) e seu término correspondia exatamente ao final do quarto de hora, uma vez que se supõe que seja assim a estimação feita pelo SCOOT. Foram utilizados intervalos (I) de 15 segundos para a contagem dos veículos na fila, que correspondiam sempre aos quartos de minuto. A Tabela 2 apresenta um exemplo de contagem dos veículos e o cálculo de atraso para uma das observações realizadas na aproximação 4. Na coluna “Soma” é feito o somatório dos veículos que sofreram atraso em cada minuto observado. Vale salientar que um veículo sofria atraso quando ele se encontrava desacelerando a uma distância de dois veículos do último parado na fila. Essa medida foi tomada como forma de contabilizar o atraso total, não sendo necessária a utilização de fatores de aceleração e desaceleração. Ainda na Tabela 2, a célula “V_{Atr}” indica o somatório das filas formadas em cada intervalo de contagem durante o período de observação e a célula “V_{Tot}” o total de veículos que cruzaram a linha de retenção. Assim, o cálculo do atraso médio veicular para o período de observação é dado pela Equação 1 e consta na célula “At_{veic}”. Por sua vez, a metodologia de mensuração em campo do número médio de paradas contemplou simplesmente a contagem dos veículos que paravam ou desaceleravam à distância de dois veículos daquele parado na fila, em cada período de 15 minutos.

$$At_{veic} = I \cdot (V_{Atr} / V_{Tot}) \quad (1)$$

Tabela 2: Planilha de cálculo do Atraso Médio Veicular

HORA	15s	30s	45s	60s	Soma	Resultados	
14:30:30			2	8	10	V _{Atr}	449
14:31:00	10	4	0	0	14	V _{Tot}	198
...		
14:45:00	5	9	13	19	46	At _{veic} (s)	34,0

As hipóteses de pesquisa consideradas neste trabalho foram as seguintes:

1. O comportamento da variável número médio de paradas (média e variância) simulado pelo SCOOT é semelhante ao medido em campo, em todas as aproximações;
2. O comportamento da variável atraso médio veicular (média e variância) simulado pelo SCOOT é semelhante ao medido em campo, em todas as aproximações.

4. ANÁLISE DOS DADOS

4.1. Número Médio de Paradas

Os Gráficos 1, 2 e 3 mostram a variação do número médio de paradas para as três aproximações analisadas. É possível identificar a tendência do SCOOT, nas três aproximações, de superestimar os valores da variável. Percebe-se, no entanto, que a tendência de variação dos valores modelados pelo SCOOT nas aproximações 1 e 2 é similar àquela dos dados observados em campo. Já na aproximação 3, há valores que não seguem a tendência comum, como é o caso daqueles referentes aos períodos iniciados às 13:45h, 16h e 16:30h.

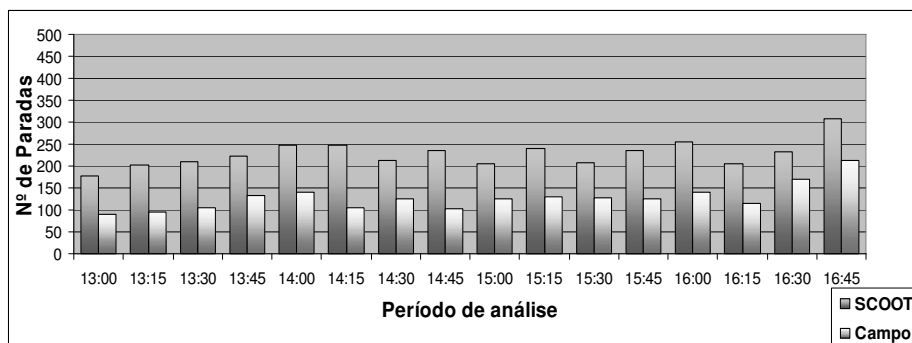


Gráfico 1: Variação dos valores de Nº de Paradas para a Aproximação 1

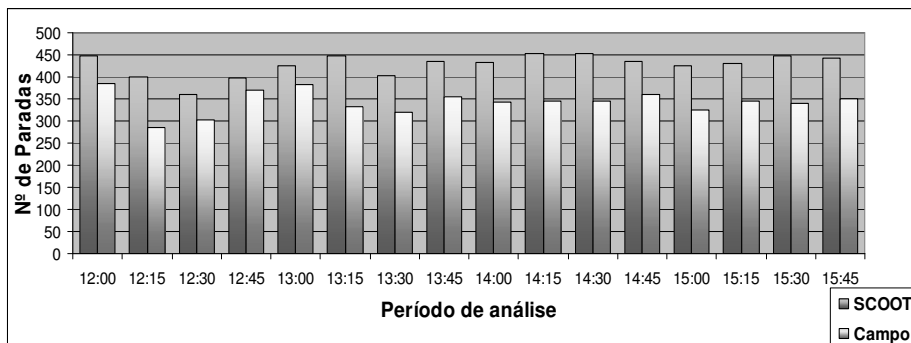


Gráfico 2: Variação dos valores de Nº de Paradas para a Aproximação 2

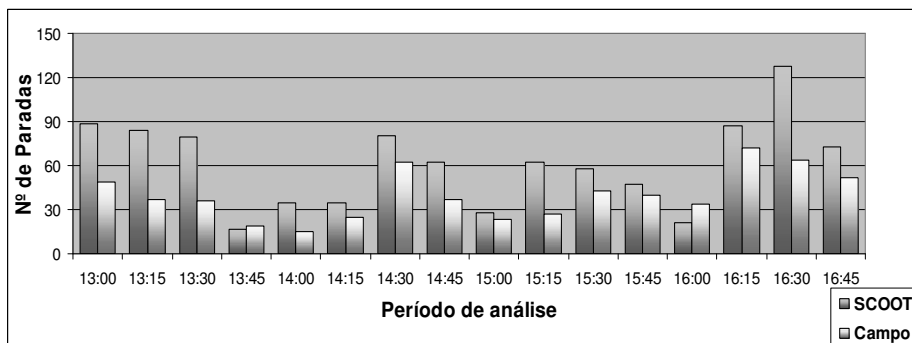


Gráfico 3: Variação dos valores de Nº de Paradas para a Aproximação 3

De modo a verificar a primeira hipótese de pesquisa e as suspeitas levantadas a partir da visualização dos dados, procedeu-se à realização de testes de variâncias e de médias. Assumindo que a variável número médio de paradas segue uma distribuição normal, foi realizado o teste F de variância para as aproximações, com a hipótese nula de igualdade e com grau de confiança de 80%, conforme sugere Milton e Arnold (1990). Nas duas primeiras aproximações, não se pôde rejeitar a hipótese nula, o que significa não ser possível afirmar, com esse nível de confiança, que as variâncias sejam diferentes. Esse resultado é importante, pois comprova a suspeita de que o perfil de variação do número médio de paradas ao longo do dia está sendo bem modelado pelo SCOOT nesses dois *links*. Na aproximação 3, a hipótese nula foi rejeitada, o que confirma a diferença entre as variâncias das amostras de campo e do SCOOT.

Procedeu-se, então, ao teste t-Student emparelhado para a variável “diferença de número médio de paradas”, que representa a diferença entre os valores de número de paradas simulados pelo SCOOT e medidos em campo. Nas três aproximações, a hipótese nula de que a diferença seria igual a zero foi rejeitada, o que dá indícios de que, com um grau de confiança de 95%, os valores estimados pelo SCOOT e medidos em campo são diferentes. A Tabela 3 apresenta as estatísticas descritivas das amostras em cada aproximação e a análise de inferência da variável “diferença no número médio de paradas”.

Tabela 3: Análise da Variável Diferença de Nº Médio de Paradas

	Aproximação 1		Aproximação 2		Aproximação 3	
	Campo	SCOOT	Campo	SCOOT	Campo	SCOOT
Média	127,8	227,6	342,8	427,2	39,7	61,5
Desvio Padrão	29,8	30,0	26,3	25,2	16,6	30,1
CV	0,13	0,23	0,08	0,06	0,42	0,49
Análise da variável Diferença no Nº Médio de Paradas						
Média	99,8		84,4		21,8	
Desvio Padrão	20,0		25,9		19,9	
CV	0,20		0,31		0,91	
Int. de confiança (95%)	10,64		13,8		10,59	

<i>Resultado</i>	<i>H₀ rejeitada</i>	<i>H₀ rejeitada</i>	<i>H₀ rejeitada</i>
------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------

4.2. Atraso Médio Veicular

Com relação aos dados da variável atraso médio veicular, a Tabela 4 apresenta as estatísticas descritivas das três amostras, podendo-se perceber que os valores médios observados em campo e simulados pelo SCOOT, assim como seus desvios padrões, são bastante próximos.

Tabela 4: Estatística Descritiva dos Dados de Atraso Médio Veicular

	Aproximação 4		Aproximação 5		Aproximação 6	
	Campo	SCOOT	Campo	SCOOT	Campo	SCOOT
<i>Média</i>	33,8	33,0	69,3	68,8	5,4	5,9
<i>Desvio Padrão</i>	5,3	5,6	8,9	7,1	2,4	2,7
<i>CV</i>	0,16	0,17	0,13	0,10	0,44	0,46

De forma a verificar a segunda hipótese levantada nesta pesquisa, procedeu-se à realização de testes de variâncias e de médias. Assumindo a normalidade da variável atraso médio veicular, procedeu-se ao teste F de variância, com nível de significância bilateral de 20%. Não foi possível rejeitar a hipótese nula de igualdade das variâncias em nenhuma das três aproximações, o que corrobora a análise visual da Tabela 3, não havendo indícios de diferenças significativas entre as variâncias dos valores de atraso médio observados e simulados.

Em seguida, foi realizado um teste t-Student emparelhado sobre a variável “diferença de atraso médio veicular”, que corresponde à diferença entre os valores de atraso médio simulados pelo SCOOT e aqueles medidos em campo para cada período de 15 minutos. Percebe-se, na Tabela 5, que o intervalo de confiança (GC=95%) nos três grupos engloba o valor nulo (zero). Portanto, não se pôde rejeitar a hipótese nula de igualdade das médias, não havendo indícios de que os valores de atraso médio veicular medidos em campo e simulados pelo SCOOT sejam diferentes.

Tabela 5: Análise da Variável Diferença de Atraso Médio Veicular

	Aproximação 4	Aproximação 5	Aproximação 6
<i>Média</i>	-0,8	-0,5	0,5
<i>Desvio Padrão</i>	2,4	2,5	1,1
<i>CV</i>	3,0	4,9	2,4
<i>Int. de confiança (95%)</i>	1,44	1,36	0,59
<i>Resultado</i>	<i>H₀ não rejeitada</i>	<i>H₀ não rejeitada</i>	<i>H₀ não rejeitada</i>

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com relação à variável número médio de paradas, houve divergência entre os resultados dos *links* convencionais e do “SCOOT reduzido”, apesar de o SCOOT está superestimando os valores em ambos os tipos de *link*. Os testes estatísticos realizados nas amostras dos *links* convencionais possibilitaram concluir que há uma diferença significativa entre os valores médios modelados pelo SCOOT e os medidos em campo, mas que a tendência de variação deles ao longo do dia é a mesma. Esse resultado indica uma boa percepção do modelo sobre a variação do fluxo, porém a forma de contagem de LPU não favorece a estimação do número de paradas, nas aproximações avaliadas. Analisando a diferença entre as médias, percebeu-se que na aproximação 1 houve uma maior diferença percentual que na 2. Isso pode ser

explicado pela condição de saturação da aproximação 2, que faz reduzir a contagem de unidades LPU, devido à presença contínua de veículos sobre o laço indutivo.

Assim como nos *links* convencionais, houve diferença significativa entre as médias das amostras do *link* “SCOOT reduzido”, porém as variâncias se mostraram diferentes. Esse resultado indica que além do fator LPU/veículo estar incoerente, não há uma tendência de variação semelhante entre os valores modelados pelo SCOOT e os medidos em campo. A explicação para esse fato está no modelo de detecção veicular usado por esse tipo de *link*. Como ele faz uso de um valor percentual médio incidindo sobre o fluxo de outros *links* que o alimentam, caso haja uma variação em torno dessa média ao longo do dia, o processo de chegada não será compatível com a realidade.

Com relação à variável atraso médio veicular, em nenhuma das três aproximações houve diferença significativa entre as médias ou variâncias. Esse resultado é explicado pelo fato desta variável ser dependente tanto do processo de chegada quanto de saída dos veículos, tendo o parâmetro *Saturation Occupancy* influência na modelagem do atraso médio veicular. Uma vez que seu valor é ajustado em campo de forma a representar a descarga real da aproximação, a calibração desse parâmetro pode ser considerada uma correção do processo de formação de fila. Ou seja, caso o fator LPU/veículo esteja incoerente com a realidade, haverá um equilíbrio quando se considera a modelagem como um todo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados encontrados, pode-se afirmar que o estudo corrobora as suspeitas levantadas pelos técnicos do CTAFOR de que o atraso médio veicular está sendo bem modelado pelo SCOOT e aponta problemas na modelagem do número médio de paradas. Os testes realizados com esta variável confirmaram a recomendação feita por FERNANDES (2002) de que o fator LPU/veículo precisa ser calibrado para determinadas condições de tráfego de modo a possibilitar uma modelagem correta, além de sinalizar cautela no uso de *links* “SCOOT reduzido”. Além disso, a superestimação observada por parte do SCOOT pode estar levando à utilização de ciclos maiores que o aconselhável, uma vez que ele busca proporcionar bandas de passagem largas de modo a minimizar o número de paradas nos corredores de tráfego. Por sua vez, a validação dos valores da variável atraso médio veicular representou um grande avanço, pois permitiu gerar nos técnicos um alto grau de confiabilidade tanto na modelagem do SCOOT como nos dados extraídos do ASTRID.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fernandes, R.M. (2002) *Metodologia para Determinação de Fatores de Conversão Volumétrica do Sistema SCOOT*. Projeto de Graduação, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará.
- 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 Ensino e Pesquisa em Transportes*, Natal, v. 1, p. 365-376.
- Milton, J.S e, J.C. Arnold (1990) *Introduction to Probability and Statistics: Principles and Applications for Engineering and the Computing Sciences*. McGraw Hill, New York, EUA.
- TRL (2000) SCOOT 0414 – Executive Summary – *Description of SCOOT*. SCOOT Traffic Handbook. Transportation Research Laboratory. Crowthorne, Berkshire, Inglaterra.

Campus do Pici, Bloco 703
CEP: 60.455-760 Fortaleza -CE

Paulo Marinho: paulom@det.ufc.br