

SP 24/11/79

NT 049/79

Modelo de Simulação de tráfego Urbano UTCS – 1

Eng.º Sérgio Michel Sola

Introdução

Um modelo desenvolvido pela *Federal Highway Administration* (FHWA) no início da década de 70, denominado *Urban Control System* (UTCS - 1) é o mais avançado e detalhado modelo de simulação de tráfego em área urbana.

Baseado na simulação microscópica de veículos individuais em movimento numa rede de vias urbanas, o UTCS - 1, permite que se analise qualquer tipo de estratégia de controle de tráfego, desde um simples sinal de PARE, numa interseção, até complexas redes de semáforos.

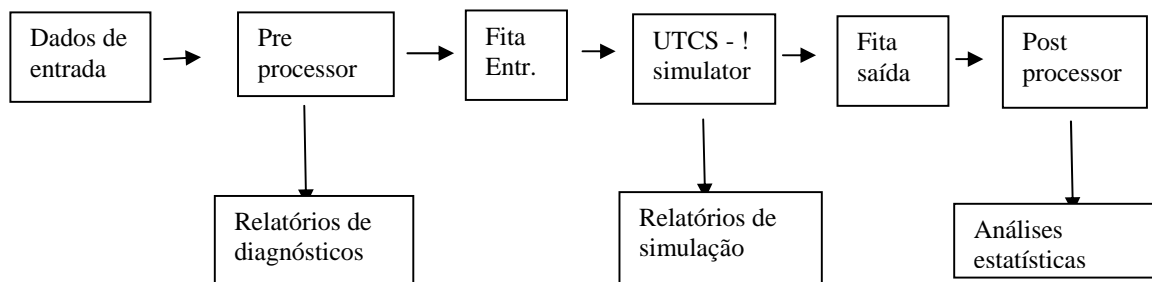
O modelo foi desenvolvido em módulos, de maneira a proporcionar uma grande flexibilidade no seu uso. Apesar de ter sido projetado para simular estratégias complexas de controle de redes, atendendo a grandes volumes de tráfego, o modelo é extremamente útil na análise dos efeitos de medidas mais simples, como restrição à conversão, estacionamento, canalizações, sistemas de prioridade para ônibus e todas as estratégias de controle de semáforos de tempo fixo e atuados.

Componentes

O modelo está dividido em três componentes ou módulos principais:

- UTCS pre-procesor (pré-processador), que serve basicamente para simplificar o processo de preparação e checagem dos dados de entrada. Ele possibilita, também, sucessivas rodadas do programa, com modificações nos dados de entrada. O pré-processador pode ser operado independentemente ou integrado ao programa principal.
- UTCS-1 Simulator (simulador). Contém o programa principal de simulações e é formado por 60 rotinas separadas, as quais podem ser combinadas de várias maneiras, dependendo das necessidades do usuário.
- UTCS-1 Post-processor (pós processador), que consiste numa série de rotinas que manipulam e avaliam os dados e resultados do programa anterior, inclusive para comparar resultados de várias rodadas. Um histórico dos vários resultados é obtido e, posteriormente, submetido à análise estatísticas.

Apresentamos, a seguir, um fluxograma simplificado do sistema do modelo UTCS-1:



Observações

O modelo foi programado em linguagem Fortran IV, podendo ser operado em computadores IBM série 360/370, ou CDC série 6600.

Tem capacidade para simular redes com até 99 interseções, mas pode ser adaptado a redes maiores. As necessidades do modelo em termos de CPU, podem ser avaliadas pelas informações dadas a seguir, sendo que o fator principal é que todos os veículos na rede são processados a cada segundo e que sua trajetória tempo-espaço é gravada a cada 0,1 seg.

Para se agregar os dados coletados nesses intervalos de um segundo, o modelo é operado em subintervalos de tempo sucessivos, para os quais as condições de entrada são admitidas como constantes (fluxos de entrada, tempos de semáforos etc.).

A duração dos subintervalos pode variar de um minuto até, aproximadamente, 30 minutos.

Assim, enquanto cada veículo (de um total máximo de 900 veículos no sistema) se desloca na rede, um histórico estatístico é armazenado num arquivo de veículos (vehicle array). Nesse arquivo está especificado o tipo (automóvel, ônibus etc.), o tempo, distância e atrasos acumulados no percurso, o número de paradas até aquele intervalo, sua posição atual na rede e nas filas de espera em semáforos e sua provável trajetória na interseção seguinte. Esta lista também é atualizada periodicamente.

Além do acompanhamento de automóveis pela rede, inclui-se, também no processo de simulação, a possibilidade de se codificar múltiplas rotas de ônibus no sistema. Os dados fornecidos são: locais dos pontos de parada, tempos de espera no ponto e frequências para cada linha.

O modelo já foi testado e seus resultados validados por meio de medições de campo, tendo sido obtidos resultados considerados excelentes em Washington e San José, Califórnia.

O tempo de computador, no entanto, pela quantidade de informações processadas e armazenadas a cada passo, é grande. A relação de tempo do computador para tempo real em Washington foi de 0,5 (101 links) e ainda maior de computador para tempo real em Washington, por exemplo, se gastaria meia hora de computador para simular-se uma hora de tráfego. Em San Jose, uma rede máxima - 99 nós, 147 linhas e 1200 veículos - foi simulada por meia hora em 21 minutos de CPU, usando-se 262k de memória.

Admite-se que, em computadores CDC &&00, a relação possa cair para 0,20, sendo que a exclusão de opções complexas, como a simulação de ônibus, pode reduzir substancialmente as necessidades de CPU e memória.

Do mesmo modo, os pedidos de out puts, detalhados em intervalos pequenos e frequentes em cada simulação, aumenta, consideravelmente, o tempo de processamento.

Dados de Entrada e Saída

Entrada

Para se operacionalizar o modelo é necessário, primeiramente, codificar a rede, juntamente com o plano de controle (tempos ou algoritmos de cálculo) para os semáforos localizados na rede. Outros inputs incluem os fluxos para cada link de entrada no sistema (nós periféricos são chamados de geradores de tráfego) e dados sobre o desempenho de cada link e aproximação das interseções.

Segundo suas características, os dados de entrada podem ser classificados em dois grupos. O primeiro grupo inclui características particulares de elementos (links, interseções etc.) da rede. São as chamadas características locais específicas (location specific). No segundo grupo de características são admitidos elementos comuns ou constantes para os links da rede. São as características de rede (network-wide).

Dados de Entrada Específica:

- Velocidade nos links;

- Fluxos de saída nas interseções;
- Fluxos de entrada no sistema;
- Frequência de acontecimentos eventuais;
- Movimentos de conversão nas interseções;
- Dados sobre sistema de ônibus;
- Composição do tráfego;
- Fluxos e atrasos de pedestres;
- Fases de amarelo;
- Configuração geométrica, incluindo canalizações da rede;
- Tempos de ciclo; e
- Tipo e localização dos detetores.

Dados de Entrada de Rede

- Distribuições nos geradores de tráfego;
- Distribuições de entrada no sistema;
- Parâmetros de fluxo de tráfego (distâncias mínimas de separação, etc.)
- Parâmetros para mudança de faixa; e
- Parâmetros de movimento nas interseções.

Saída

Cinco tipos básicos de outputs são gerados pelo modelo:

Sumário das condições de entrada.

Sumário impresso dos dados de entrada especificados para cada link e cada interseção da rede, divididos por subintervalo adotado, contendo:

- Geometria dos links;
- Tipo de interseção;
- Ligações na rede;
- Velocidades;
- Movimentos de conversão nas interseções;
- Tempo perdido nas interseções;
- Porcentagem média de saturação (tempo médio que o comprimento do link está ocupado por veículos, dividido por sua capacidade total de armazenamento).
- Falha do ciclo (cycle failure, definida como a frequência em que uma fase de verde não consegue descarregar a fila completa de veículos do link.

Outputs Intermediários

São os dados de saída adicionais (acumulados ou instantâneos) que podem ser pedidos em qualquer fase do processo de simulação. São um complemento das saídas estatísticas normais, objetivando uma análise mais particular de links ou situações específicas.

Incluem:

- Identificação do link;
- Contagem do número de veículos no link num instante específico;
- Relação entre o tempo parado e o tempo em movimento dos veículos no link específico, no instante que a informação é solicitada.
- Número total de veículos que passaram pelo link, até o instante do pedido de informação;

- Total de movimentos de conversão;
- Comprimento das filas por faixa;
- Número acumulado nos geradores;
- Volumes acumulados nos nós intermediários (nós chamados de source/sink, que podem representar, por exemplo, garagens, fazendo aparecer ou desaparecer veículos do sistema);
- Volume de pedestres;
- Volumes atuais saindo dos nós geradores e dos nós intermediários; e
- Composição do tráfego.

Output Estatístico Normal

Um sumário estatístico é normalmente fornecido ao fim de cada subintervalo, mostrando o desempenho acumulado do tráfego em cada link e o desempenho da rede toda, desde o início da simulação até o fim do subintervalo considerado. Esse sumário contém:

- Identificação do link;
- Total de veículos/milhas percorridas;
- Contagem dos veículos em cada link;
- Tempo total (veículos-minutos) gasto;
- Tempo de atraso total;
- Relação entre tempo em movimento e tempo total;
- Tempo total de viagem por link;
- Tempo médio de viagem por veículo;
- Atraso médio por veículo;
- Atraso médio por veículo/milha;
- Velocidade média do tráfego;
- Ocupação média;
- Número médio de paradas por veículo; e
- Mensagens de eventuais erros no sistema.

Outputs de Avaliação Estatística

Se o analista assim o desejar, várias rodadas de simulação poderão ser comparadas usando-se o Post-processor, tanto em termos de links individuais como da rede toda. Os testes estatísticos apresentados são:

- Teste t de Student;
- Teste de Wilcoxon;
- Teste U de Man-Whitney; e
- Análise de variância one-way.

Módulo Fuel

Recentemente incorporada ao modelo, esta rotina calcula para cada tipo de veículo e conjunto correspondente, as seguintes medidas:

- Galões de gasolina consumidos;
- Milhas por galão (consumo médio); e
- Emissão de CO, HC e NOX em gramas por veículos-milha.

Estas informações são apresentadas para cada link e também de forma agregada para toda a rede.

Comentários Finais

Qualquer tipo de simulação de tráfego urbano apresenta vantagens e desvantagens, quando comparado com a simulação real.

É certo que, quanto mais o analista conhecer sobre a simulação e os dados coletados, mais seguros e significativos serão considerados os resultados obtidos.

Assim como o UTCS-1 possui inúmeras vantagens em relação a outros modelos de simulação, possui um maior grau de complexidade na análise de seus resultados. Se o analista compreender bem o significado dos resultados das simulações, a imagem da situação real obtida será bem representativa.

Devemos lembrar, no entanto, que o modelo foi desenvolvido para aplicação em áreas urbanas com alto grau de congestionamento, o que significa que o UTSC-1 não deve ser usado, indiscriminadamente em qualquer caso.

A decisão principal, que cabe ao engenheiro de tráfego é avaliar se os custos com a preparação e processamento do programa serão superados pelos benefícios a serem obtidos.

Apresentamos a seguir algumas figuras ilustrativas, compreendendo:

Figura 1 – Exemplo de Rede Física (Washington D.C.)

Figura 2 – Rede Codificada

Figura 3 – Exemplo de Estatística-Saída Normal

Figura 4 – Exemplo de Saída-Intermediária

Figura 5 – Exemplo de Saída de Avaliação Estatística

Eng.º Sérgio Michel Sola

Assist. Superintendente AT/GPL

Figura 1

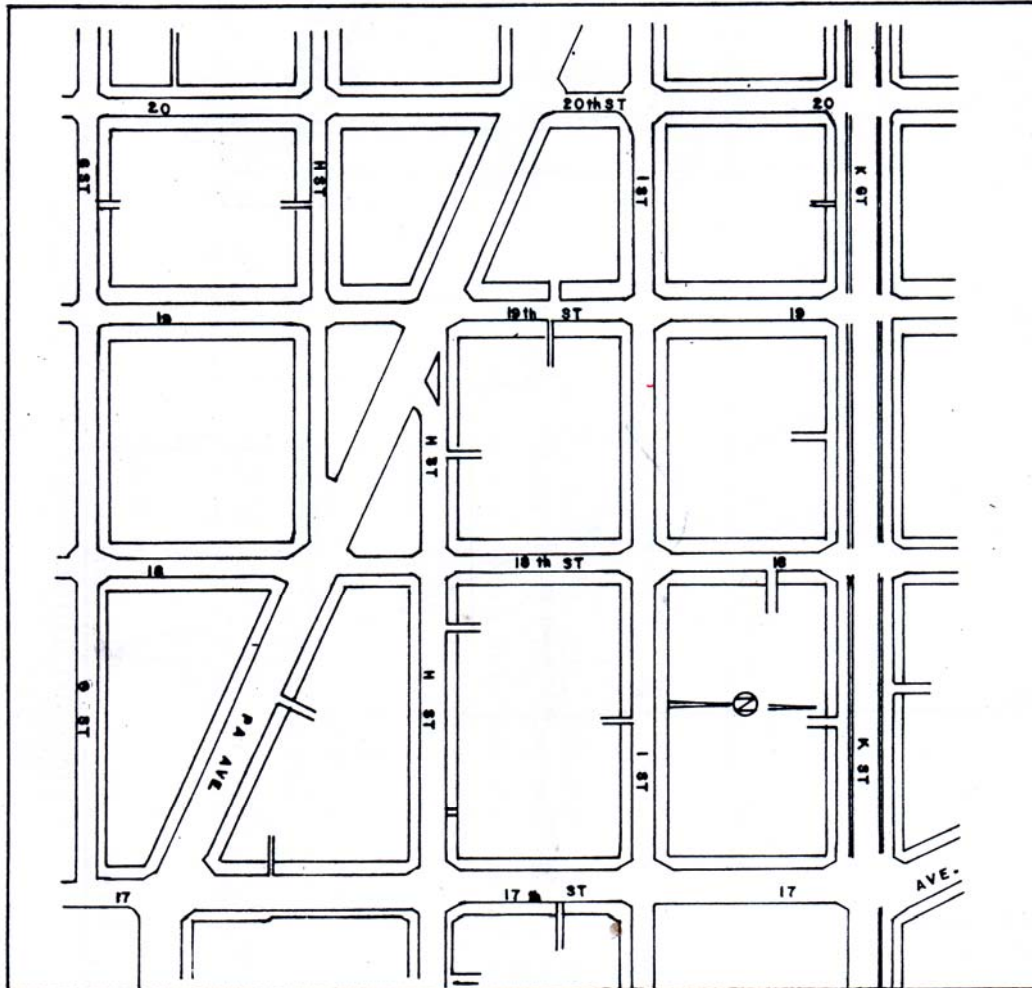


Figura 2

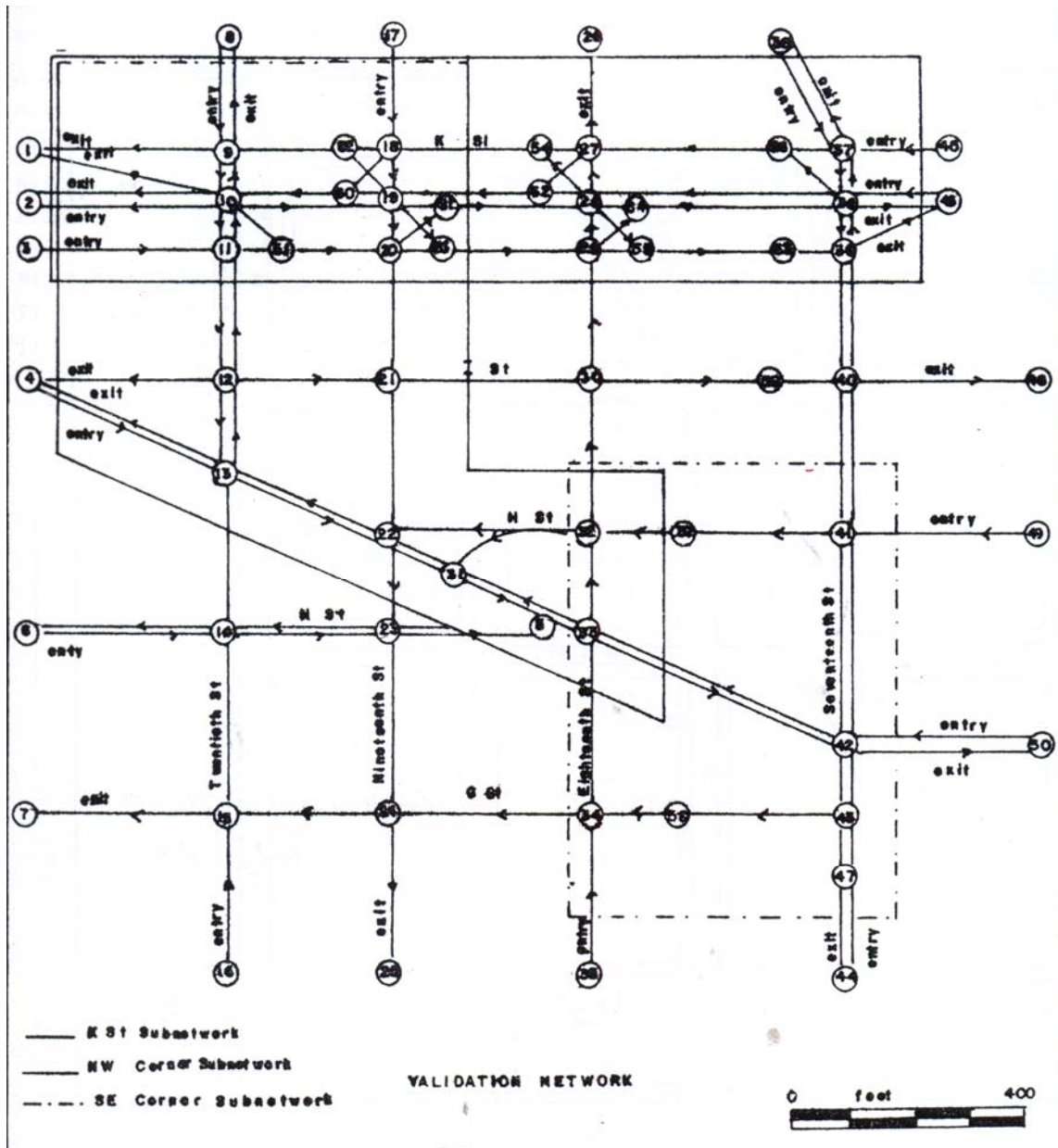


Figura 3

CUMULATIVE STATISTICS SINCE BEGINNING OF SIMULATION
PRESENT TIME IS 8 0 0, ELAPSED SIMULATED TIME IS 6 MINUTES, 0 SECONDS

LINK STATISTICS

LINK	VEH- MILES	VEH TRP	MOV- TIME V-MIN	DELAY TIME V-MIN	M/T	TOTAL TIME V-MIN	T-TIME / VEH- SEC	T-TIME/ VEH-MILE SEC/MILE	D-TIME / VEH SEC	U-TIME/ VEH-MILE SEC/MILE	PCT STOP DELAY	AVG- SPEED MPH	AVG- UCC- /VEH	STOPS /VEH	AVG SAT PCT	CYCL FAIL
(1, 5)	12.4	131	26.1	35.7	0.42	61.8	28.3	299.0	16.4	172.8	61	12.0	7.7	0.64	10	0
(5, 1)	16.7	177	33.5	11.1	0.75	44.5	15.1	100.4	5.7	39.8	0	22.4	5.5	0.09	8	0
(4, 5)	8.3	86	16.8	40.8	0.29	57.0	39.3	415.0	27.8	290.7	65	8.7	7.2	1.18	14	8
(5, 4)	12.4	132	26.0	20.1	0.56	46.1	20.9	223.1	9.1	97.2	78	16.1	5.7	0.39	13	0
(3, 5)	15.2	161	32.1	94.9	0.25	127.0	47.3	499.8	35.4	373.4	79	7.2	15.8	0.85	20	6
(5, 3)	16.1	172	33.5	18.6	0.64	52.1	18.1	194.2	6.5	69.3	22	18.5	6.5	0.20	9	0
(2, 5)	10.1	107	20.8	20.2	0.51	41.0	23.0	242.3	11.3	114.3	58	14.8	5.1	0.27	9	0

NETWORK STATISTICS

VEHICLE-MILES= 91.27 VEHICLE-MINUTES= 430.1 VEHICLE-TRIPS (EST.)= 483 STOPS/VEHICLE= 0.94
MOVING/TOTAL TRIP TIME=0.439 AVG. SPEED (MPH)=12.73 MEAN OCCUPANCY= 53.5 VEH. AVG DELAY/VEHICLE= 29.98 SEC
TOTAL DELAY= 241.3 MIN. DELAY/VEH-MILE= 2.64 MIN/V-MILE TRAVEL TIME/VEH-MILE= 4.71 MIN/V-MILE
STOPPED DELAY AS A PERCENTAGE OF TOTAL DELAY=62.0

FIGURA 3

Figura 4

LINK STATISTICS AT TIME 8 4 0

LINK	DCC	VEH DIS	TURN MOVEMENT			QUEUE LENGTH BY LANE					DELAY/ VEH.	STOP DLY(P)	CYC FLR	EVNT	CURRENT CHANNELIZATION					AVG. SPEED	NO. SIG STOP CODE		
			LEFT	THRU	RT.	1	2	3	4	5					0	0	0	0	0			0	0
(1, 5)	4	69	0	53	18	0	0	0	0	0	16.1	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.3	41 1
(5, 1)	9	82	0	91	0	0	0	0	0	0	3.8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22.6	8 1
(4, 5)	11	44	21	0	29	1	5	0	0	0	26.5	61	4	0	4	1	0	0	0	0	0	9.0	51 2
(5, 4)	7	70	0	64	0	0	0	0	0	0	7.9	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18.6	23 2
(3, 5)	14	79	24	69	0	0	0	2	0	3	35.3	80	3	0	0	0	0	0	0	0	0	7.3	69 1
(5, 3)	6	92	0	91	0	0	0	0	0	0	6.2	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19.7	18 1
(2, 5)	3	53	6	39	11	1	2	0	0	0	10.8	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.7	13 2
(801, 1)	0	69	0	67	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0 1
(802, 2)	6	53	0	59	0	3	3	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0 1
(803, 3)	0	86	0	86	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0 1
(804, 4)	0	44	0	40	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0 2

Figura 5

MOE	ANALYSIS OF NETWORK WIDE STATISTICS									
	NETWORK A		NETWORK B		T-TEST	WILCOXON	U-TEST	ONE-WAY ANOVA		
	MEAN	VARIANCE	MEAN	VARIANCE	T	T/Z	U/Z	SSW	SSB	F
VEHICLE TRIPS	118.38	3.41	121.63	7.41	2.80 *	3.50 *	9.50 **	75.75	42.25	7.81 *
VEHICLE MILES	23.01	0.14	23.50	0.70	1.28	9.00	21.00	5.89	0.96	2.28
VEHICLE MINUTES	102.41	10.37	113.79	100.87	3.74***	2.00 **	11.00 **	778.44	518.19	9.32***
STOPS PER VEH.	0.96	0.01	1.00	0.00	2.16	5.00	22.00	0.05	0.01	1.55
M/T RATIO	0.45	0.00	0.42	0.00	3.02 **	3.00 *	14.00 *	0.01	0.00	4.40
AVERAGE SPEED	13.49	0.16	12.46	1.03	3.10 **	3.00 *	16.00 *	8.31	4.23	7.13 *
MEAN OCCUPANCY	50.90	2.72	56.57	25.22	3.71***	2.00 **	11.00 **	195.57	128.59	9.21***
TOTAL DELAY	56.18	15.73	66.06	89.93	3.52***	2.00 **	13.00 *	739.64	390.54	7.39 *
DELAY PER VEH.	28.49	4.87	32.58	21.07	3.05 **	3.00 *	16.00 *	181.52	66.98	5.17 *
PCNT. STP. DLY.	62.51	5.90	65.97	23.60	2.04	7.00	17.00	206.50	47.75	3.24