

SIMULAÇÃO DE TRÂNSITO E SEMÁFOROS: UM ESTUDO DE CASO PILOTO EM UM TRECHO NO ENTORNO DO CAMPUS DA UFRN

Renan de Souza dos Santos

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Lagoa Nova, 59072-970, Caixa-Postal 1551, Natal, RN, Brasil
renandsz@hotmail.com

Woldermacdowell Alves Paquerote

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Lagoa Nova, 59072-970, Caixa-Postal 1551, Natal, RN, Brasil
wolder.ap@gmail.com

Werner Kleyson da Silva Soares

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Lagoa Nova, 59072-970, Caixa-Postal 1551, Natal, RN, Brasil
werner.soares@gmail.com

RESUMO

O volume de tráfego observado nas avenidas que contornam o campus universitário da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) tem causado uma série de congestionamentos em certos trechos. Diferentes métodos podem ser utilizados para a solução de problemas de tráfego, um deles é o uso de semáforos, que nas interseções entre vias regulam o direito de passagem dos veículos. Este artigo avalia a necessidade de um sistema de semáforos com base no volume de tráfego local, determinado por meio da contagem de veículos ao longo de cinco dias. Um modelo de simulação foi desenvolvido no software Arena para simular o comportamento do trânsito no horário de pico, onde há a maior ocorrência de filas. O primeiro experimento teve como objetivo testar a hipótese de que um sistema de semáforos seria eficaz na redução das filas do cruzamento. O segundo experimento consistiu na modificação dos intervalos entre os tempos verdes e vermelhos dos semáforos no modelo do primeiro experimento. A comparação dos resultados entre os modelos de simulação antes e depois da instalação de semáforos comprovou que estes foram eficazes na redução das filas formadas, atingindo o objetivo da pesquisa.

Palavras-Chave: Simulação; Trânsito Urbano; Semáforos.

ABSTRACT

The volume of traffic observed in the avenues that surround the campus of the Federal University of Rio Grande do Norte (UFRN) has caused a lot of congestion in places. Different methods can be used to solve traffic problems, one of them is the use of traffic lights at the intersections between channels regulate the right of way of vehicles. This article evaluates the necessity of a traffic light system based on local traffic volume determined by counting vehicles over five days. A simulation model was developed in the Arena software to simulate the behavior of traffic at peak times, where there is a higher incidence of queues. The first experiment aimed to test the hypothesis that a traffic light system would be effective in reducing crossing lines. The second experiment involved the modification of the time intervals between the green and red traffic lights in the first experiment model. The comparison of results between simulation models before and after the installation of traffic lights has shown that these were effective in reducing queues formed, reaching the objective of the research.

Keywords: Simulation; Urban Transit; Traffic lights.

1. INTRODUÇÃO

Sistemas de transporte eficazes são essenciais para o bom desempenho econômico e a segurança de um país. Segundo Salimifard e Ansari (2013) a eficácia de um sistema de transportes depende da sua capacidade em atender um fluxo considerável de pessoas, bens e veículos de um local para outro.

Segundo Sheu (2006), grandes volumes de tráfego provocam sérios problemas como, por exemplo, congestionamentos de vias de trânsito, poluição do ar e sonora, estresse para os motoristas e um consumo desnecessário de combustível e de energia.

Na cidade de Natal - RN, o volume de tráfego observado na interseção de quatro vias (Na Figura 1: Avenida Capitão Mor Gouveia (Nº 1, em azul); Avenida Passeio dos Girassóis (Nº 2, em verde); Avenida Odilon Gomes de Lima (Nº 3, em vermelho); e Avenida Dr. Sólon de Miranda Galvão (Nº 4, em roxo) em trecho do entorno do Campus Universitário da UFRN tem causado a formação de filas no retorno da Avenida Passeio dos Girassóis (circulado na Figura 1.b) que dá acesso à Avenida Odilon Gomes de Lima e, conseqüentemente, à Zona Sul da cidade.



Figura 1 – (a) Imagem de satélite do local de estudo. (b) Definição das vias que se interceptam.

Fonte: Google Maps 2014. Adaptado pelo autor.

Em alguns momentos pontuais, no horário de pico (entre as 17h30min e às 18h30min), as filas excederam 10 veículos por faixa, totalizando um número de veículos retidos no retorno, circulado na Figura 1.b, maior do que 20. As filas formadas acabam ocupando uma das faixas da Avenida Passeio dos Girassóis, impedindo o fluxo normal de veículos, e em casos especiais congestionando o trânsito na avenida.

Para se avaliar a real necessidade de um sistema de sinalização semafórica nas avenidas que contornam a UFRN procedimentos de contagem de veículos descritos na Engenharia de Tráfego podem ser aplicados. Esta pesquisa, por se tratar de um estudo de caso piloto, se atará ao estudo de uma interseção específica, onde foram observadas com frequência a formação de filas, a partir de uma observação in loco ao longo de cinco dias úteis.

2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

Este estudo tem por objetivo geral oferecer um referencial científico para ser utilizado por tomadores de decisão para buscar a redução de filas de veículos em um trecho do entorno do campus da UFRN e como objetivos específicos criar um modelo de simulação computacional adicionando um sistema de semáforos para regulação do direito de passagem dos veículos e aperfeiçoar este modelo com base nos resultados da simulação.

Visto que na Engenharia de Produção as pesquisas em simulação tem um apelo majoritário para a solução de problemas organizacionais na gestão da produção e de serviços,

optou-se pela simulação de trânsito para preencher a lacuna existente quando se trata da quantidade de publicações realizadas. Tomando a base de dados CAPES como exemplo, há poucas teses submetidas na área de simulação de tráfego. Em uma breve pesquisa de palavras chaves, dos 6150 resumos contendo “engenharia de produção”, 3900 contém “simulação”, e apenas 107 possuem o termo “tráfego urbano”, que representa 1,7% das publicações totais em engenharia de produção, e 2,7% das publicações em simulação.

A criação de um modelo computacional para a solução de um problema de tráfego urbano por sua vez seria uma contribuição para o preenchimento da lacuna existente de trabalhos submetidos na área de simulação de trânsito.

3. METODOLOGIA

Segundo Turrioni e Mello (2012) o presente trabalho se classifica, quanto a sua natureza, como pesquisa aplicada, pois descreve aplicação de técnicas descritas na literatura para a construção de um modelo de simulação, gerando indicadores para a avaliação de uma solução para um problema real. Quanto ao objetivo se enquadrado como uma pesquisa exploratória, visto que requereu um levantamento bibliográfico, construiu uma hipótese para a solução do problema e consultou técnicos que conhecem o cotidiano e as problemáticas do local de estudo. A sua abordagem caracteriza-se como combinada quali-quantitativa. A abordagem qualitativa deste trabalho se refere ao estudo do local escolhido e suas problemáticas, bem como o desenvolvimento de um modelo de solução. A abordagem quantitativa deste trabalho se refere aos procedimentos para se desenvolver o modelo, através de coleta de dados, modelagem e simulação.

Como este trabalho foi enquadrado como uma pesquisa combinada quanto à sua abordagem, a parte qualitativa do trabalho, que se refere ao estudo de caso foi desenvolvida com base nas atividades do método de estudo de caso, descritas por Yin (2001) em cinco etapas: **1. Definição do projeto de pesquisa; 2. Seleção dos dados; 3. Desenvolvimento de instrumentos e protocolos de pesquisa; 4. Análise dos dados; e 5. Desenvolvimento e teste de hipóteses.**

A metodologia da parte quantitativa deste trabalho, que se refere à modelagem e simulação do problema, se deu em quatro etapas de acordo com Robinson (2004): **1. Conceitualização** onde o modelo conceitual é uma descrição específica do modelo de simulação, não se importando com o software, descrevendo os objetivos, entradas, saídas, conteúdo, suposições e simplificações do modelo; **2. Modelagem** em que o modelo conceitual é convertido no modelo computadorizado. Para Turrioni e Mello (2012) a natureza desta etapa irá depender em grande parte do software para simulação escolhido para a implementação do modelo; **3. Solução pelo modelo** onde uma vez desenvolvido o modelo, experimentações são realizadas através de variações nos parâmetros da simulação para se obter um melhor entendimento do mundo real ou para encontrar soluções para os problemas do mundo real; e **4. Verificação e validação** em que a verificação consiste no processo que assegura que o modelo conceitual foi transformado em um modelo computacional com precisão adequada e a validação, portanto, vem a ser uma avaliação de o quanto o modelo que foi construído é semelhante ao sistema real que se pretendeu simular.

A escolha das vias foi feita com base nos critérios para um estudo de caso piloto (Yin, 2001): conveniência geográfica do local; a existência de uma grande quantidade de dados a serem coletados; a ocorrência de uma problemática a ser solucionada. Para observação das filas formadas no local de estudo lançou-se mão do uso de registro em vídeo nos horários de pico para a comprovação da formação das filas no retorno entre as avenidas como mostra a Figura 2. Além disso, foram realizadas observações pessoais e conversas informais com funcionários da Universidade que trabalham em setores próximos ao local estudado.



Figura 2 – Filas formadas às 18:10 no retorno da Av. Passeio dos Girassóis.

As contagens de tráfego foram feitas a partir de gravações em vídeo ao longo de cinco dias úteis consecutivos do mês de outubro de 2014.

Pelo método de contagem abreviada descrito por Soares (1975), para obter o valor horário do número de veículos que atravessam o cruzamento a contagem pode ser realizada por um período curto de tempo, no caso desta pesquisa, de 20 minutos, e multiplicado pelo fator horário, no caso, 3, para que os dados representem um período de 60 minutos.

Pelo critério de volume de tráfego, se a quantidade de veículos que chegam ao cruzamento for maior que 750 para as 8 horas do dia médio este cruzamento necessita de sinalização semafórica. Como nesta pesquisa a contagem foi classificada como especial, será considerado apenas o horário de pico, e não todas às 8 horas do dia médio.

Foram feitas cinco gravações em vídeo de duração de 20 minutos cada, uma gravação para cada um dos cinco dias observados. Por meio das gravações as duas vias puderam ter seus volumes contados para o mesmo período de tempo, sem a necessidade de dois observadores.

4. ESTUDO DE CASO

Como descrito anteriormente este estudo de caso avaliou a necessidade da instalação de um semáforo no retorno existente na Av. Passeio dos Girassóis que dá acesso à Av. Odilon Gomes de Lima. A Figura 3 apresenta uma nova nomenclatura para simplificar a interpretação dos movimentos dos condutores e a substituição dos nomes das vias por códigos: V1, V2, V3 e V4, que significam, respectivamente, Via 1, Via 2, Via 3, e Via 4.

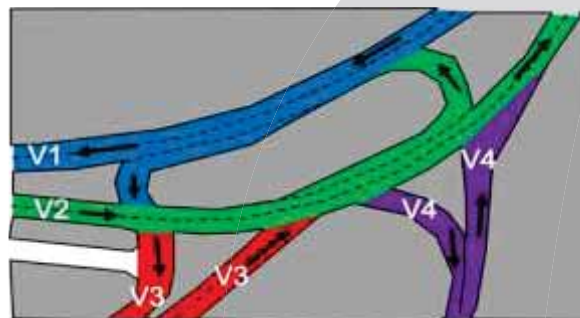


Figura 3 – Nova nomenclatura das vias estudadas.

As Vias 1 e 2 correspondem aos dois sentidos das avenidas Cap. Mor Gouveia e Passeio dos Girassóis, onde a Via 1 corresponde ao fluxo de tráfego no sentido da Av. Cap. Mor Gouveia para a Av. Passeio dos Girassóis e a Via 2 corresponde ao sentido contrário. A Via 3 representa os dois sentidos da Av. Odilon Gomes de Lima e a Via 4 representa os dois sentidos da Av. Dr. Sólon de Miranda Galvão.

A partir da observação do tráfego verificou-se a existência de 4 aproximações (feitas por cada uma das vias) e 16 movimentos (as possibilidades de trajetória dos veículos), assim pôde-se gerar o Diagrama de Conflito da Figura 4 que também é uma simplificação fora de escala das vias estudadas.

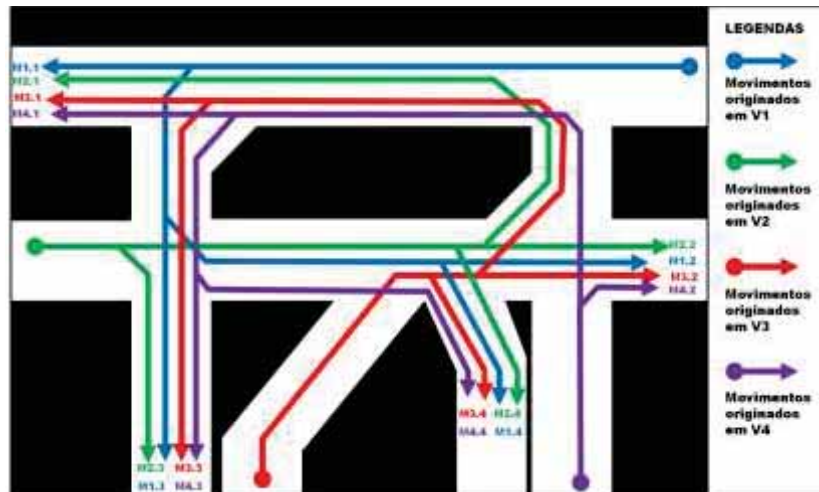


Figura 4 – Diagrama de Conflito do local de estudo.

As trajetórias que os veículos podem tomar são 4 e classificadas como **convergente**, **divergente**, **interceptante** e **não interceptante**, assim, tendo o diagrama de conflito como base, foi gerada a Matriz de Classificação dos Movimentos como mostra o Quadro 1.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
MOV.	M1.1	M1.2	M1.3	M1.4	M2.1	M2.2	M2.3	M2.4	M3.1	M3.2	M3.3	M3.4	M4.1	M4.2	M4.3	M4.4
M1.1		DIV	DIV	DIV	CON	NI	NI	NI	CON	NI	NI	NI	CON	NI	NI	NI
M1.2	DIV		NI	NI	NI	CON	NI	NI	INT	NI	INT	NI	INT	NI	INT	NI
M1.3	DIV	NI		NI	INT	INT	NI	NI	INT	NI	CON	NI	INT	NI	NI	NI
M1.4	DIV	NI	NI		INT	INT	NI	NI	NI	NI	INT	NI	NI	NI	NI	CON
M2.1	CON	NI	INT	INT		DIV	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI
M2.2	NI	CON	INT	INT	DIV		DIV	DIV	INT	CON	INT	NI	INT	CON	INT	NI
M2.3	NI	NI	NI	NI	NI	DIV		NI	NI	NI	CON	NI	NI	NI	NI	NI
M2.4	NI	NI	NI	NI	NI	DIV	NI		INT	INT	INT	NI	NI	NI	NI	CON
M3.1	CON	INT	INT	NI	NI	INT	NI	INT		NI	DIV	NI	NI	NI	NI	NI
M3.2	NI	NI	NI	NI	NI	CON	NI	INT	NI		INT	NI	INT	NI	INT	NI
M3.3	NI	INT	CON	INT	NI	INT	CON	INT	DIV	INT		DIV	NI	NI	CON	INT
M3.4	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	DIV		NI	NI	NI	CON
M4.1	CON	INT	INT	NI	NI	INT	NI	NI	NI	INT	NI	NI		NI	NI	DIV
M4.2	NI	NI	NI	NI	NI	CON	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI		NI	DIV
M4.3	NI	INT	NI	NI	NI	INT	NI	NI	INT	CON	NI	NI	NI	NI		DIV
M4.4	NI	NI	NI	CON	NI	NI	NI	CON	NI	NI	INT	CON	DIV	DIV	DIV	
Legendas																
INT	Interceptante			CON	Convergente			DIV	Divergente			NI	Não interceptante			

Quadro 1 – Matriz de Classificação dos Movimentos quanto à sua trajetória.

Os códigos *M1.1*, *M1.2*, ..., *M4.4*, representam, respectivamente, *Movimento de aproximação pela V1, e saída pela V1*, *Movimento de aproximação pela V1, e saída pela V2*, ..., *Movimento de aproximação pela V4, e saída pela V4*.

O DENATRAN (2011) estabelece no Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito que apenas os movimentos conflitantes devem ser considerados quando se tem a intenção de regular o tráfego por meio de sinalização semafórica, desta forma são considerados movimentos conflitantes no Quadro 1 as trajetórias interceptantes e convergentes.

A contagem dos veículos ocorreu na interseção das Vias 1, 2 e 3 apenas em relação à sua origem, pois o destino dos veículos não é relevante, uma vez que a finalidade da contagem era de obter o número de aproximações do cruzamento. O grupo de movimentos originados da Via 2 é conflitante em relação ao grupo de movimentos originados do retorno da Via 1. Estes grupos são compostos por movimentos de diferentes origens como mostra a Figura 5.

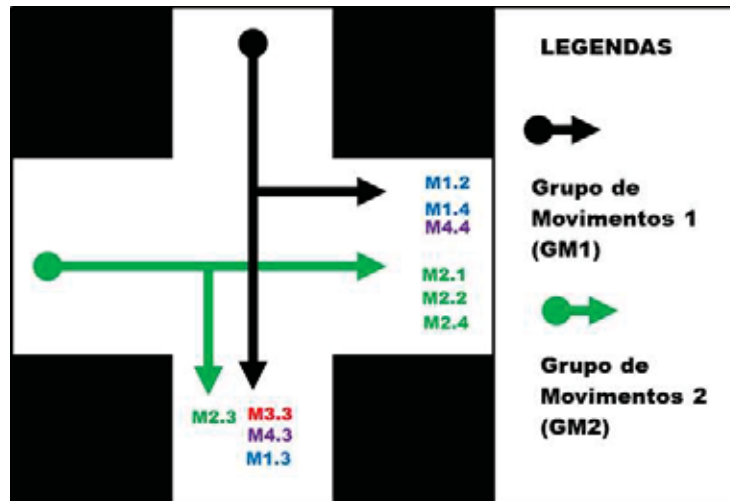


Figura 5 – Grupos de Movimentos Conflitantes.

O Grupo de Movimentos 1 (GM1) é o conjunto formado pelos movimentos M1.2, M1.3, M1.4, M3.3, M4.3, M4.4; O Grupo de Movimentos 2 (GM2) é o conjunto formado pelos movimentos M2.1, M2.2, M2.3, M.2.4.

A Tabela 1 apresenta os dados obtidos para os volumes de tráfego dos grupos de movimento GM1 e GM2 durante cada uma das cinco observações realizadas.

Tabela 1 – Dados obtidos a partir da contagem dos veículos.

MOVIMENTOS	CONTAGEM					MÉDIA
	DIA 1 (10/10) 17:00 até 17:20	DIA 2 (13/10) 18:00 até 18:20	DIA 3 (14/10) 18:20 até 18:40	DIA 4 (15/10) 18:00 até 18:20	DIA 5 (16/10) 17:20 até 17:40	
GM1	221	261	228	281	272	253
GM2	203	244	260	267	219	239
GM1 (x3)	663	783	684	843	816	758
GM2 (x3)	609	732	780	801	657	716
Volume horário Total	1272	1515	1464	1644	1473	1474

Nesta contagem o volume horário médio total foi de 1474 veículos, valor superior ao limite de 750. Portanto, neste cruzamento está confirmada a necessidade de instalação de sinalização semafórica para regulação do direito de passagem dos condutores durante o período de tempo entre as 17h e 19h, para os dias observados.

5. MODELO DE SIMULAÇÃO

No modelo de um cruzamento de vias, as entidades (no caso, veículos), passam pelas seguintes etapas: chegar, escolher uma faixa da via, esperar na fila, transpassar a interseção, sair. O critério de escolha da faixa da via é o tamanho das filas formadas em cada faixa, a entidade escolherá a fila que for menor. Para transpassar a interseção a entidade levará certo tempo, que pode ser considerado um tempo de processamento. Quando este tempo termina significa que o veículo atravessou o cruzamento. Por fim, a entidade sai do sistema. A Figura 6 apresenta o Fluxograma no modelo SPN para o processo descrito anteriormente.

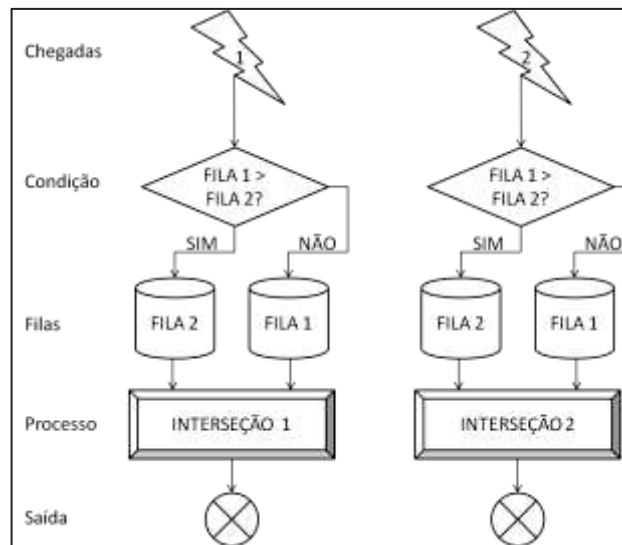


Figura 6 – Fluxograma SPN para o modelo conceitual.

No modelo, os veículos que se aproximam pela Via 2 atravessam o cruzamento imediatamente e saem do sistema. Já os veículos da Via 1 param no retorno à espera de uma oportunidade para que possam atravessar. Dadas estas considerações, o “tempo de atendimento” das entidades da Via 2 corresponde ao tempo que estas levam para atravessar o cruzamento, já para as da Via 1 o “tempo de atendimento” é, além do tempo para atravessar o cruzamento, o tempo de espera pela oportunidade de atravessar.

Os dados de entrada do modelo foram: os intervalos entre chegadas dos veículos do GM1, os intervalos entre chegadas dos veículos do GM2, e os “tempos de atendimento” dos veículos dos dois grupos. Na faixa de horário das 17h às 19h o trânsito se comportou de forma similar das 18h às 18h40min em todos os dias observados, portanto, este período de 40 minutos foi escolhido para ser representado na simulação. Foram gravados 4 dias, que corresponderam a duas segundas-feiras e duas terças-feiras. Tais dias da semana foram escolhidos pela semelhança de comportamento do trânsito.

No total, foram coletados 4385 intervalos entre chegadas, 2240 entradas referentes ao GM1 e 2145 entradas referentes ao GM2. Os dados coletados foram tratados pelo software *Input Analyser* e o intervalo entre chegadas de veículos para ambos os grupos de movimento, ao longo dos 4 dias de observação seguem distribuições probabilísticas do tipo Lognormal, como mostra a Tabela 2. As expressões geradas possuem dois termos, o primeiro antes da vírgula é a média amostral, em segundos, e o segundo é o desvio padrão da amostra.

Tabela 2 – Equações representativas da chegada de veículos.

Movimentos	Intervalo entre chegadas Distribuição probabilística gerada
GM1	LOGN(4.09, 3.23)
GM2	LOGN(4.35, 3.26)

Quanto ao tempo de atendimento foram coletadas aleatoriamente 200 entradas. De acordo com Vincent (1998) este número de entradas para as amostras deve ser suficiente para a identificação do melhor modelo probabilístico. O tempo que os veículos da V1 levam para transpassar a interseção é de no mínimo 1 segundo, acrescido de uma média de 6,96 segundos, seguindo uma distribuição probabilística Exponencial. O tempo que os veículos da V2 levam para transpassar a interseção é de no mínimo 0,5 segundo acrescido de uma média de 1,81 segundo e desvio padrão de 0,805, seguindo uma distribuição probabilística Lognormal como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Equações representativas dos Tempos de atendimento.

Movimentos	Tempo de atendimento
GM1	1 + EXPO(6.96)
GM2	0.5 + LOGN(1.81, 0.805)

6. A SIMULAÇÃO

O tempo de simulação do modelo foi de 2400 segundos, equivalentes ao período de 40 minutos em que os dados foram coletados, a Tabela 4 sintetiza o número das rodadas, a quantidade de replicações e as saídas de veículos que passaram pelo cruzamento até que o sistema estabilizasse em 200 replicações na rodada 4.

Tabela 4 – Resultados obtidos para estabilização do sistema.

Rodada	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Replicações	1	10	100	200	300	400	500	600	700
Saídas	1181	1137	1124	1123	1123	1123	1123	1123	1123

A Tabela 5 apresenta os dados referentes à Rodada 4 quanto ao tempo de espera e ao número de entidades nas filas.

Tabela 5 – Tempo médio de espera e quantidade de entidades na fila para 200 replicações.

Fila	Tempo médio de espera na fila (segundos)	Valor médio experimental de entidades na fila	Valor médio real de entidades na fila
FILA1 V1	42.3684	5.3584	5.62
FILA2 V1	40.5888	4.8795	3.63
FILA1 V2	0.3297	0.07424300	0
FILA2 V2	0.04087767	0.00025392	0

A validação ocorreu através do Teste Kolmogorov-Smirnov (Teste K-S), em que todos os valores críticos tabelados foram maiores do que os valores obtidos no referido teste como mostra a Tabela 6, e da comparação com os dados reais rejeitando-se, assim, a hipótese de não aderência dos dados ao modelo.

Tabela 6 - Teste K-S para as distribuições geradas.

Distribuição de dados	Graus de liberdade	p-value	Teste K-S	Valor crítico tabelado
Chegada V1	15	0,01	0,126	0,404
Chegada V2	14	0,01	0,0861	0,418
T. Atend. V1	4	0,1	0,0785	0,564
T. Atend. V2	5	0,1	0,0558	0,510

7. EXPERIMENTAÇÃO 1 – IMPLEMENTAÇÃO DE SEMÁFOROS

O modelo de implementação de semáforos partiu das seguintes premissas:

1. O tempo de atendimento do processo semáforo quando o mesmo está fechado é igual ao seu tempo de vermelho.
2. O tempo de processamento do semáforo quando o mesmo está aberto é igual ao tempo necessário para o veículo transpassar as vias. Este tempo de processamento permanecerá válido durante o tempo de sinal verde, de acordo com uma lógica de controle.

3. O tempo de atendimento do semáforo 2 permanece seguindo a mesma distribuição probabilística gerada para o modelo inicial
4. O tempo de atendimento do semáforo 1 seguirá uma nova distribuição ($LOGN(3.69, 1.59)$) gerada a partir de uma nova amostra de 200 entradas aleatórias de tempos de deslocamento dos veículos GM1, considerando apenas o tempo de deslocamento do veículo para que ele saia do sistema.
5. Não será considerada a possibilidade de não respeito ao sinal de parada, mas os veículos ainda podem atravessar o cruzamento ao sinal amarelo, este tempo foi incorporado ao tempo do sinal verde.

O palpite inicial para o tempo de ciclo foi exatamente o tempo máximo sugerido por Soares (1975), de 90 segundos. Os tempos de ciclo vermelho e verde dos sinais foram determinados com base no volume médio de chegada para os 40 minutos de contagem que foi de 560 veículos para a Via 1 e de 536 veículos para a Via 2.

O volume horário de tráfego, ou seja, ao longo de 1 hora, para a Via 1 será dado por:

$$V_1 = 560/(40/60) = 840 \text{ veículos/hora}$$

O volume horário de tráfego para a Via 2 será:

$$V_2 = 536/(40/60) = 804 \text{ veículos/hora}$$

A proporção entre os tempos verdes é igual à razão entre os volumes, logo:

$$T_1/T_2 = V_1/V_2 = 840/804$$

$$T_1 + T_2 = 90 \text{ segundos}$$

Resolvendo essas duas equações simultaneamente:

$$T_1/(90/T_1) = 840/804$$

$$T_1/1,044776 = 90 - T_1$$

$$T_1 = 94,0298 - 1,044776 \cdot T_1$$

$$T_1 + 1,044776 \cdot T_1 = 94$$

$$T_1 = 46 \text{ segundos e } T_2 = 44 \text{ segundos.}$$

O tempo de simulação deste experimento foi de 2400 segundos, equivalentes ao período de 40 minutos em que os dados foram coletados onde o modelo se mostrou estável com 400 replicações produzindo uma saída de 1.128 entidades. Os resultados produzidos são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Tempo médio de espera e número de entidades na fila para o Experimento 1.

Fila	Tempo médio de espera na fila (s)	Número médio de entidades na fila
FILA1 V1	22.4194	3.2584
FILA2 V1	29.1663	2.8892
FILA1 V2	12.5771	1.9486
FILA2 V2	23.1172	1.7331

Todos os tempos médios de espera das entidades nas filas foram inferiores ao tempo estabelecido para a duração do sinal vermelho do Semáforo 1 (44 segundos) e para o sinal vermelho do Semáforo 2 (46 segundos). Isto significa que, em média, nenhum veículo que chegou ao cruzamento necessitou esperar por um ciclo inteiro de abertura e fechamento dos semáforos para que eles pudessem atravessar o cruzamento.

8. EXPERIMENTAÇÃO 2 – TEMPO DE CICLO DE 60 SEGUNDOS

Soares (1975) menciona que para vias com o fluxo intenso de tráfego o tempo de ciclo dos semáforos pode variar entre 45 e 60 segundos. Para o experimento 2 o tempo escolhido foi de 60 segundos sendo este o único parâmetro do modelo a variar.

O sistema se mostrou estável com 400 replicações produzindo uma saída de 1.131 entidades nos mesmos 2400 segundos de simulação equivalentes ao período de 40 minutos. A Tabela 8 apresenta os resultados desta simulação.

Tabela 8 - Tempo médio de espera e número de entidades na fila para o Experimento 2.

Fila	Tempo médio de espera na fila (segundos)	Número médio de entidades na fila
FILA1 V1	13.6905	2.0444
FILA2 V1	17.6328	1.6949
FILA1 V2	8.1080	1.2718
FILA2 V2	14.8252	1.0838

Todos os tempos médios de espera das entidades nas filas também foram inferiores aos do tempo de sinal vermelho para os dois semáforos. Isto significa que em média, nenhum veículo que chegou ao cruzamento necessitou esperar por um ciclo inteiro de abertura e fechamento dos semáforos para que eles pudessem atravessar o cruzamento.

9. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir da comparação dos resultados obtidos nos dois experimentos é possível identificar, com o auxílio da Figura 7.a que o Número de Veículos Esperando nas Filas da Via 1 foi reduzido com a implementação dos semáforos, mas resultado do Experimento 2 se mostrou melhor em comparação ao Experimento 1. Para a Via 2, cuja formação de filas era quase zero, a implementação de semáforos interferiu negativamente, porém, a configuração dos intervalos luminosos do Experimento 2 mostrou filas menores que as observadas no Experimento 1.

Quanto ao tempo de espera nas filas, o Experimento 2 se mostrou mais vantajoso em relação ao Experimento 1, como mostra a Figura 7.b.

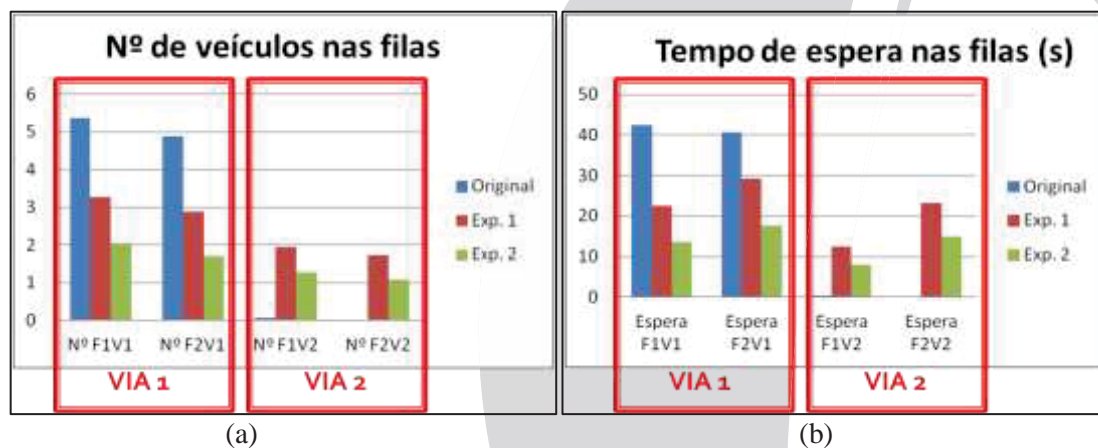


Figura 7 – (a) Comparação do Número de Veículos nas Filas nos Experimentos 1 e 2 com os dados reais. (b) Comparação do Tempo de Espera nas Filas nos Experimentos 1 e 2 com os dados reais.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A hipótese inicial de que o cruzamento em questão necessita de um sistema de semáforos foi provada, porém, esta afirmação pode ser feita apenas para o horário de pico dos dias observados e períodos de tempo considerados. Com base nos relatórios da simulação pôde-se

concluir que o tempo de ciclo de 60 segundos avaliado no Experimento 2 foi mais adequado em comparação ao de 90 segundos do Experimento 1,

Para se validar a hipótese de que implementação de um sistema de semáforos é eficaz na redução do tamanho das filas observadas, sem prejudicar a fluidez do trânsito com paradas desnecessárias, seria necessário um grande volume de observações. Abrangendo não somente o horário de pico, mas sim todas as 8 horas do dia médio, a partir de contagens realizadas ao longo de vários meses.

O objetivo principal deste estudo de caso piloto, o de reduzir as filas formadas no retorno da avenida que contorna o campus da UFRN, foi atingido. Os objetivos específicos foram necessariamente cumpridos, a fim de cumprir o objetivo principal. Um modelo de simulação foi desenvolvido, ele foi analisado e comparado com a situação real, e posteriormente foi melhorado.

11. REFERÊNCIAS

DENATRAN. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito Volume V: Sinalização Semafórica**. Brasília, DENATRAN, 2011.

MEDINA, Afonso C.; CHWIF, Leonardo. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria & Aplicações**. Editora Bravarte, 2006

ROBINSON, E. **Simulation: the practice of model development and use**. England: John Wiley and Sons Ltd., 2004.

SALIMIFARD, K.; ANSARI, M. **Modeling and Simulation of Urban Traffic Signals**. International Journal of Modeling and Optimization, Vol. 3, No. 2, 2013. Disponível em: <http://nacto.org/docs/usdg/modeling_and_simulation_of_urban_traffic_signals_salimifard.pdf>. Acesso em 10 de junho de 2014.

SHEU, J. B. "A composite traffic flow modeling approach for incident-responsive network traffic assignment," *Physica A*, vol. 367, 2006, pp. 461–478.

SOARES, Luíz Ribeiro, **Engenharia de tráfego**. ALMEIDA NEVES-EDITORES LTDA. Rio de Janeiro, 1975.

TURRIONI, João Batista. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**. 2012. Disponível em: <http://www.carlosmello.unifei.edu.br/Disciplinas/Mestrado/PCM-10/Apostila-Mestrado/Apostila_Metodologia_Completa_2012.pdf>. Acesso em 27 de outubro de 2014.

YIN, R. Estudo de caso. **Planejamento e métodos**. 2ª edição, Porto Alegre/RS: Bookman, 2001.

VINCENT, Stephen. **Input data analysis**. In: Handbook of Simulation, ed. J. Banks, p.55-91, New York: John Wiley and Sons, 1998.