

## MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO TRÁFEGO DE VEÍCULOS EM UM CRUZAMENTO DA CIDADE DE MEDIANEIRA/PR

Daniella Adriana Negrão (UTFPR) E-mail: negraodaniella@gmail.com

Márcio Yuiti Lamaguti Nakati (UTFPR) E-mail: marcionakati@hotmail.com

Jéssica Mariani (UTFPR) E-mail: jessicamariani11@hotmail.com

José Renato Rodrigues de Oliveira (UTFPR) E-mail: joserenato.utfpr@gmail.com

José Airton Azevedo dos Santos (UTFPR) E-mail: airton@utfpr.edu.br

**Resumo:** O aumento crescente do número de veículos produz sérios problemas de congestionamento nos centros urbanos, principalmente nos horários de *rush*. Nesta linha, este trabalho teve como objetivo analisar, por meio de simulação computacional, a situação atual de uma intersecção semaforizada do sistema de tráfego da cidade de Medianeira/PR. Um modelo do tipo dinâmico, discreto e estocástico foi implementado no software de simulação JAAMSIM, distribuído sob licença livre. Resultados de simulação demonstraram que a modificação dos tempos (verde e vermelho) dos semáforos reduziram o tempo na fila e o tamanho das filas nas vias em estudo.

**Palavras-chave:** JAAMSIM; Simulação; Tráfego de veículos; Semáforos.

## MODELING AND SIMULATION OF VEHICLE TRAFFIC ON A CROSSING OF THE CITY MEDIANEIRA/PR

**Abstract:** The increasing number of vehicles produces serious congestion problems in urban centers, especially in rush hours. In this line, this work had as objective to analyze, through computer simulation, the current situation of a traffic signal crossing of the traffic system of the city of Medianeira/PR. A model dynamic, discrete and stochastic type was implemented in JAAMSIM simulation software, distributed under a free license. Simulation results showed that the change of time (green and red) of traffic lights reduced the time in the queue and the size of the queues on the roads under study.

**Keywords:** JAAMSIM; Simulation; Vehicle traffic; Traffic lights.

### 1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas urbanos enfrentados atualmente é o controle de tráfego urbano, principalmente nos horários de *rush*. Cerca de 50% dos tempos de viagens e 30% do consumo de combustíveis são gastos, nas grandes cidades, com veículos parados nos cruzamentos. A expansão do sistema de tráfego é muitas vezes impedida por restrições orçamentárias e até mesmo físicas. Portanto, o planejamento da malha urbana, sobretudo nas intersecções, torna-se um elemento chave na determinação dos parâmetros que compõem a dinâmica do tráfego urbano, quais sejam: velocidade, fluxo, capacidade, segurança (de pedestres e motoristas) dentre outras (MUNIZ, 2009).

Um sistema de tráfego urbano pode ser visto como um sistema de filas, onde ruas, cruzamentos e semáforos servem ao fluxo do tráfego. Pode-se analisar um sistema de filas usando dois métodos: o método analítico e a simulação. A utilização do método analítico começou no princípio deste século (1908) em Copenhague, Dinamarca, através de A. Kendall Erlang, considerado o pai da Teoria das Filas, quando trabalhava em uma companhia telefônica, estudando o problema de redimensionamento de centrais telefônicas. Foi somente a partir da

segunda guerra mundial que a teoria foi aplicada a outros problemas de filas (LONGARAY, 2010).

Apesar dos enormes progressos alcançados pela teoria, inúmeros problemas não são adequadamente resolvidos por causa de complexidades matemáticas. Com o surgimento do computador na década de 50, a modelagem de filas pode ser analisada pelo ângulo da simulação, em que não mais se usam fórmulas matemáticas, mas apenas tenta-se imitar o funcionamento do sistema real. As linguagens de simulação apareceram na década de 60 e hoje, graças aos microcomputadores, podem ser facilmente usadas (PRADO, 2010).

A simulação, desde seu início, é aplicada a vários setores, tais como: manufatura, serviços de defesa, hospitais e serviços públicos (FREITAS FILHO, 2008). Atualmente, a simulação computacional está sendo intensivamente empregada por engenheiros para auxiliar no planejamento dos sistemas de tráfego.

As ferramentas de simulação são uma alternativa para ajudar na tomada de decisão. A simulação é uma ferramenta de análise que apresenta grande relevância para o processo de tomada de decisão por gerar resultados e informações confiáveis. A simulação permite que os problemas sejam analisados sem interferir no sistema real. Isto contribui com o processo de tomada de decisão na medida em que a simulação faz com que soluções sejam encontradas de forma rápida e econômica, quando comparadas com situações em que o sistema real é alterado (BANKS, 1998).

O JAAMSIM é um software livre que apresenta um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém recursos para modelagem, animação e análise de resultados. Este software é composto por um conjunto de blocos (ou módulos) utilizados para se descrever uma aplicação real e que funcionam como comandos de uma linguagem de programação. Os elementos básicos da modelagem em JAAMSIM são as entidades que representam as pessoas, objetos, transações, entre outros, que se movem ao longo do sistema; as estações de trabalho que demonstram onde será realizado algum serviço ou transformação, e por fim, o fluxo que representa os caminhos que a entidade irá percorrer ao longo de estações. O JAAMSIM utiliza a linguagem de programação JAVA e pode ser baixado através do site [www.jaamsim.com](http://www.jaamsim.com). O arquivo executável, o código fonte, o manual do usuário e o manual de programação também podem ser baixados no site (KING; HARRISON, 2013).

Este trabalho tem por objetivo analisar, por meio de simulação computacional, a situação atual de uma intersecção semaforizada, entre as Ruas Argentina e Santa Catarina, do sistema de tráfego da cidade de Medianeira/PR.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

A pesquisa é caracterizada como um processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico, cujo objetivo fundamental é descobrir resposta para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos (GIL, 2002). Esta pesquisa utilizou dois métodos de pesquisa: o estudo de caso, para conhecer o fenômeno no contexto real de forma ampla e detalhada (YIN, 2013), e a modelagem/simulação, que aborda quantitativamente o problema e busca controlar as variáveis gerenciais em estudo.

### **Crescimento da Frota:**

Medianeira é um município localizado na região oeste paranaense. Sua população estimada é de 38.397 habitantes. O número de veículos em Medianeira não para de crescer. Esta situação gera problemas como congestionamentos, poluição e a preocupação com esta questão têm crescido entre as pessoas. Segundo Deepask (2016), o número de veículos,

cadastrados em Medianeira, aumentou de 7.894 veículos, em 2001, para 17.652 veículos em 2013 (Figura 1).

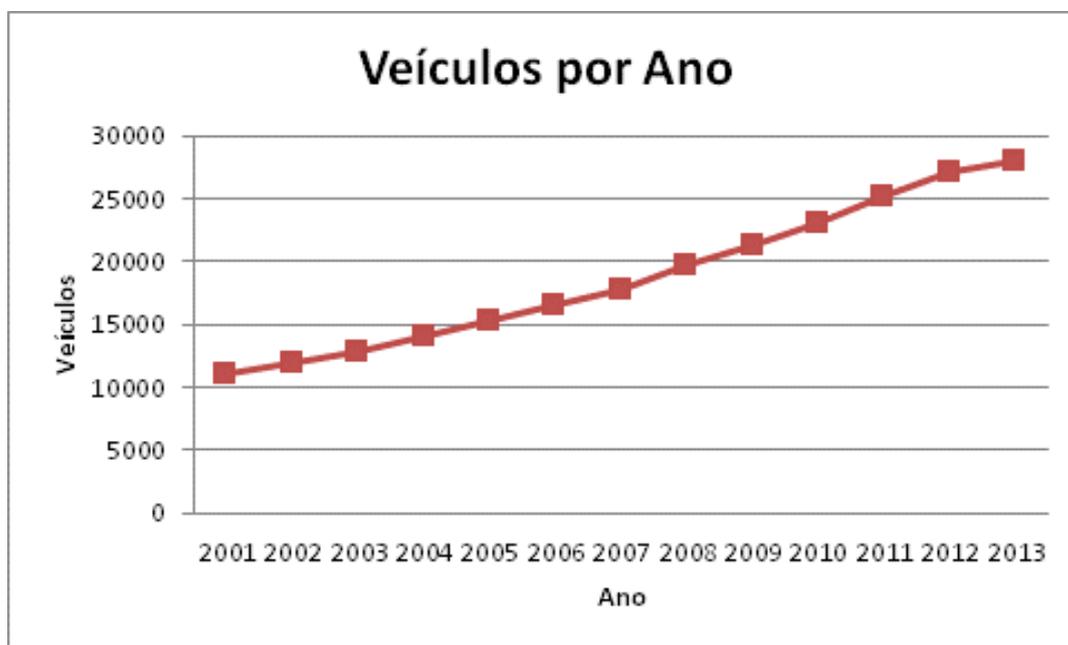


Figura 1 – Número de veículos por ano – Medianeira-PR.  
 Fonte – DEEPASK, 2016.

**O Sistema:**

Devido ao aumento de veículos na cidade, o cruzamento entre as Ruas Argentina e Santa Catarina (Figura 2), passou a apresentar filas em horários de pico (12:00 às 13:00 – 18:00 às 19:00 horas).

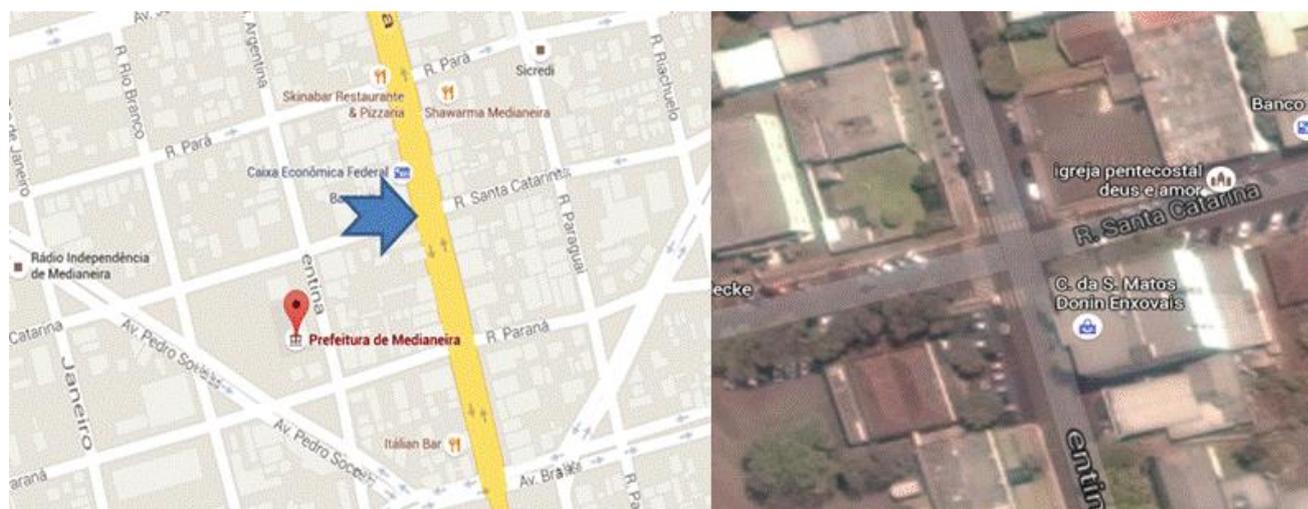


Figura 2 – Cruzamento Ruas Argentina e Santa Catarina.  
 Fonte – GOOGLE MAPS, 2016.

Neste cruzamento passa grande parte do fluxo de tráfego existente na cidade. Neste cruzamento, todo o veículo proveniente de uma via geradora é orientado por um semáforo, para passar ou não neste cruzamento, em sentido as vias coletoras (Figura 3). O controle do semáforo usa uma política que consiste de três fases: verde, amarelo e vermelho.

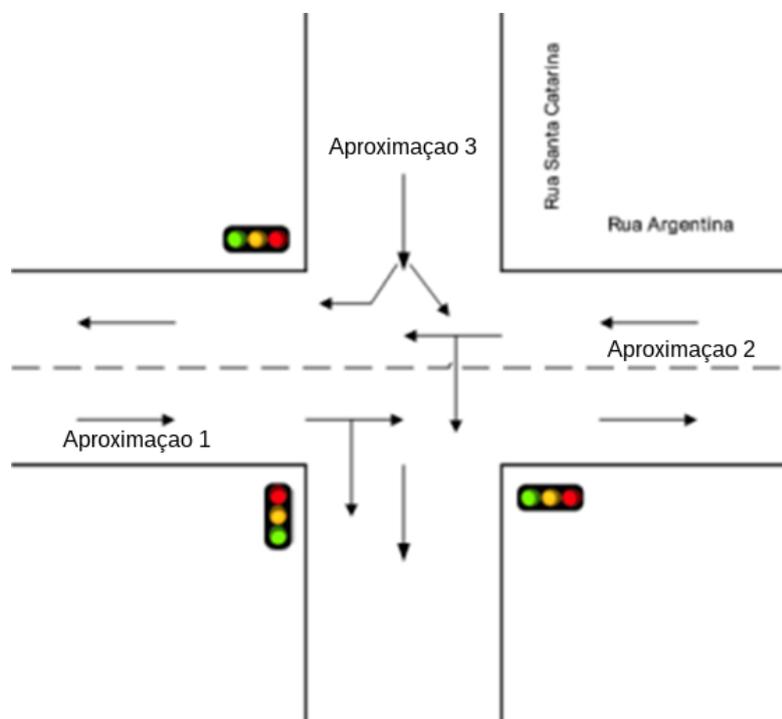


Figura 3 – Estrutura dos semáforos.

A próxima etapa do trabalho foi a coleta de dados para simulação. Segundo Baumgartner (2013), a coleta de dados é um dos pontos mais importantes do processo de simulação, pois se os dados coletados não forem consistentes, o modelo também não será. A coleta de dados, no cruzamento das ruas Argentina e Santa Catarina, foi realizada durante uma semana do mês agosto de 2016, durante os períodos de pico.

No planejamento da coleta de dados concluiu-se que seria necessário determinar as seguintes variáveis: Tempos entre chegadas dos veículos pela rua Argentina (Aproximação 1) (TCAE), Tempos entre chegadas dos veículos pela rua Argentina (Aproximação 2) (TCAD), Tempos entre chegadas dos veículos pela rua Santa Catarina (Aproximação 3) (TCSC) e tempos que os veículos levaram para atravessar o cruzamento. A Tabela 1 apresenta os tempos de cada uma das três sinaleiras.

Tabela 1 – Tempos para cada cor de sinal por semáforo.

	Sinaleira 1 (s)	Sinaleira 2 (s)	Sinaleira 3 (s)
<b>Verde</b>	17	17	17
<b>Amarelo</b>	3	3	3
<b>Vermelho</b>	40	40	40

**Número de Replicações:**

Segundo FREITAS FILHO (2008), de uma maneira geral, a coleta de dados para a composição de uma amostra, a partir da simulação de um modelo, pode ser realizada de duas formas:

1. Fazer uso das observações individuais dentro de cada replicação. Por exemplo, pode-se simular o processo e utilizar o tempo que cada veículo esperou na fila do cruzamento para realizar uma estimativa do tempo médio de espera na fila. Neste caso, o tamanho da amostra será igual à quantidade de veículos que passaram pela fila ao longo do período simulado.
2. A segunda maneira de gerar a amostra é realizar  $n$  simulações (replicações). Assim, cada replicação gera um elemento para a amostra. Uma vez que estamos lidando com um sistema terminal no qual as condições iniciais e o período de simulação são fixos, a melhor maneira de garantir que os valores da amostra sejam estatisticamente independentes é obtê-los a partir de replicações independentes.

Neste trabalho, o número de replicações ( $n^*$ ) foi obtido através da Eq. (1) (MONTGOMERY, 2005):

$$n^* = n \times \left(\frac{h}{h^*}\right)^2 \quad (1)$$

onde:

$n$ : número de replicações já realizadas;

$h$ : semi-intervalo de confiança já obtido; e

$h^*$ : semi-intervalo de confiança desejado.

**Tamanho da Amostra:**

O tamanho de cada uma das amostras, cronometradas neste trabalho, foi obtida para um nível de confiança de 95% através da Eq. (2) (MARROCO, 2003):

$$n_A = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \times S}{E}\right)^2 \quad (2)$$

onde:

$n_A$ : número de indivíduos da amostra;

$Z_{\alpha/2}$ : valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado;

$S$ : desvio padrão;

$E$ : erro máximo estimado.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, realizou-se análise de correlação entre os dados, ou seja, verificou se há dependência entre os valores das amostras coletadas no cruzamento. Na Figura 4, é apresentado, como exemplo, o gráfico de dispersão dos tempos entre chegadas dos veículos pela rua Argentina (Aproximação 1) (TCAE). Nessa figura, pode-se observar que não há correlação entre as observações da amostra.

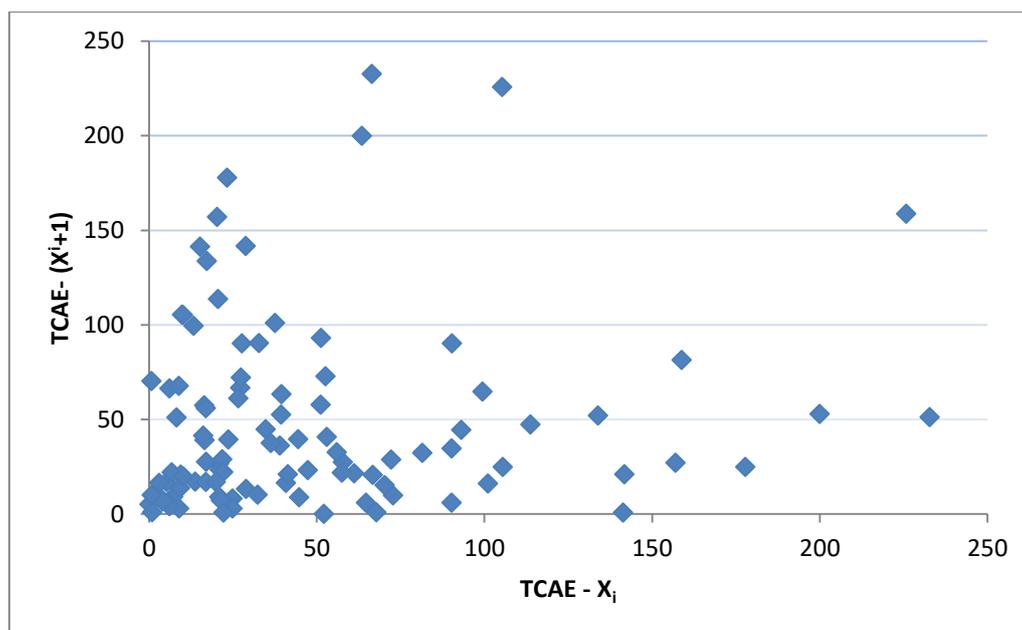


Figura 4 – Gráfico de dispersão - TCAE.

Os dados, coletados no sistema, foram analisados com a ferramenta de Teste de Aderência (analisador de dados de entrada) do software URURAU, esta ferramenta permite analisar dados reais do funcionamento do processo e escolher a melhor distribuição estatística que se aplica a eles (PEIXOTO et al., 2013). Como o *p-value* do teste de aderência é maior que o nível de significância adotado (0,1) (CHWIF; MEDINA, 2007), concluiu-se, por meio dos resultados apresentados por esta ferramenta, que as expressões que melhor se adaptaram aos dados coletados no sistema são (Tabela 2):

Tabela 2 – Distribuições de probabilidade

Itens	Distribuição (s)
TCAE	0,11+EXPO(48,773)
TCAD	1+WEIB(28.3,2.24)
TCSC	1+GAMM(10,2,42)

Na Figura 5 apresenta-se, como exemplo, a curva de distribuição de probabilidade que representam os tempos entre chegadas dos veículos pela rua Argentina (TCAE).

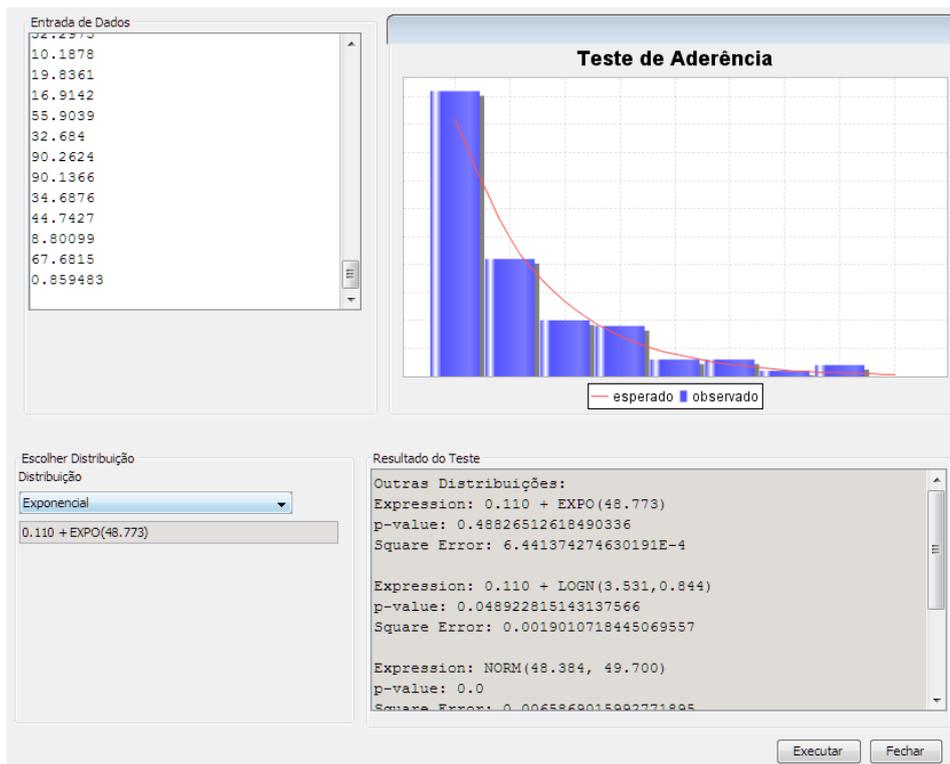


Figura 5 – Curva de distribuição de probabilidade - TCAE.

**Simulação:**

Inicialmente, validou-se o modelo computacional (Figura 6) por meio da técnica face a face, onde o modelo foi executado para pessoas que trabalham nas proximidades do cruzamento. Estas pessoas consideraram, por meio dos resultados e da animação, que o modelo é uma boa aproximação do sistema real.

**Cruzamento Argentina x Santa Catarina**

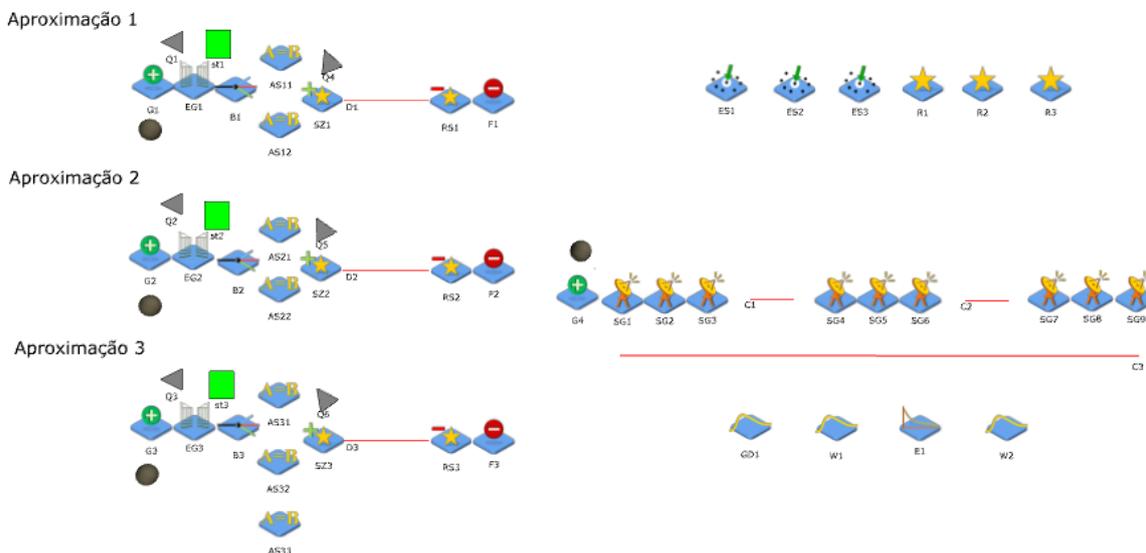


Figura 6 – Modelo de simulação.

Para analisar os tamanhos das filas e os tempos de espera, no cruzamento entre as ruas Argentina e Santa Catarina, foram implementados dois cenários, considerando os seguintes tempos:

- Cenário 1 (Cenário Atual): Semáforos – Verde (17 s), Amarelo (3 s) e Vermelho (40 s);
- Cenário 2: Semáforos - Verde (12 s), Amarelo (3 s) e Vermelho (30 s);

Nas Tabelas 3 e 4 são apresentados os resultados (Tamanho da Fila e Tempo na Fila) obtidos de simulação e a redução, em porcentagem, da adoção do cenário 2.

Tabela 3 – Resultados obtidos de simulação – Tamanho da Fila

	Cenário 1	Cenário 2	Redução (%)
Rua Argentina (Aprox. 1)	3,03	2,56	15,18
Rua Argentina (Aprox. 2)	3,73	3,06	17,96
Rua Santa Catarina (Aprox. 3)	6,83	5,7	16,57
	<b>Média</b>		16,57

Tabela 4 – Resultados obtidos de simulação – Tempo na Fila (s)

	Cenário 1	Cenário 2	Redução (%)
Rua Argentina (Aprox. 1)	20,9	14,7	29,66
Rua Argentina (Aprox. 2)	19,9	14,8	25,63
Rua Santa Catarina (Aprox. 3)	20,2	14,9	26,24
	<b>Média</b>		27,18

#### 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho implementou-se um modelo de simulação no software JAAMSIM para simular o fluxo de veículos no cruzamento entre as ruas Argentina e Santa Catarina, localizado na cidade de Medianeira Região Oeste Paranaense.

Observou-se, por meio dos resultados obtidos de simulação, que com a adoção dos tempos apresentados no cenário 2 reduziram-se, em média, os tamanhos das filas nas três vias em aproximadamente 16,57% e os tempos nas filas em 27,1%.

Este estudo também demonstrou que, durante o período de tempo estudado, o tamanho da fila de carros na rua Santa Catarina (Aproximação 3) é aproximadamente o dobro do tamanho da fila de carros da rua Argentina (Aproximações 1 e 2). O que vai requerer, se a tendência do aumento de veículos na cidade se mantiver, estudos de mobilidade para este cruzamento, por parte da prefeitura.

Como recomendação, para trabalhos futuros, pode-se citar a inclusão dos pedetres no modelo de simulação.

**AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem a Fundação Araucária pelo auxílio financeiro.

**REFERÊNCIAS**

BANKS, J. *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and Practice*. New York: John Wiley & Sons, 1998.

BAUMGARTNER, D.; CAVALLI, D.; SANTOS, J. A. A.; SCHMIDT, C. A. P. Modelagem, simulação e otimização da dinâmica operacional do processo de embalagem e paletização de sachês de refresco em pó: um estudo de caso. *Revista Espacios*, v. 34, p. 10, 2013.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. *Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria & aplicações*. São Paulo: Brazilian Books, 2007.

DEEPASK. Frota de automóveis: Veja número de carros por cidade do Brasil. Disponível em <http://www.deepask.com/goes?page=medianeira/PR-Confira-a-frota-de-automoveis-do-seu-municipio>. Acesso em 05 set. 2016.

FREITAS FILHO, P. J. *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena*. Florianópolis: Visual Books, 2008.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOOGLE MAPS. [Cruzamento entre as Ruas Argentina e Santa Catarina]. [2016]. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps>. Acesso em 05 set. 2016.

LONGARAY, A. A. Maturidade e desafios da Engenharia de Produção: competitividade das empresas, condições de trabalho, meio ambiente. *XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. São Carlos, 2010.

KING, D. H.; HARRISON, H. S. Open source simulation software 'JAAMSIM'. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*. Proceedings..., Washington - DC, 2013.

MONTGOMERY, D. C. *Design and Analysis of Experiments*. New York: Wiley, 2013.

PEIXOTO, T. A.; RANGEL, J. J. A.; MATIAS, I. O.; MONTEVECHI, J. A. B., MIRANDA, C. M. Ururau – um ambiente para o desenvolvimento de modelos de simulação a eventos discretos. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*. V. 5, p. 373-405, 2013.

MARROCO, J. *Análise estatística de dados – com utilização do SPSS*. Lisboa: Sílabo, 2003.

MUNIZ, L. R.; GUIMARÃES, I. F. G.; CAMPOS, M. S. Aplicação de simulação computacional para análise do tráfego no cruzamento central com semáforo da cidade histórica de Mariana. *XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Salvador, 2009.

PRADO, D. *Usando o ARENA em simulação*. Nova Lima: INDG - Tecnologia e Serviços LTDA, 2010.

YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Porto Alegre: Bookman, 2013.