SIMULAÇÃO DE FILAS EM UMA PRAÇA DE PEDÁGIO POR MEIO DO SOFTWARE FLEXSIM

Danilo Alcântara Milhomem
Instituição: Pontifícia Universidade Católica
Endereço: Primeira Avenida Quadra 88, s/n - Setor Leste Universitário, Goiânia - GO, 74605-010
e-mail: daniloalcantaramilhomem@gmail.com.br
Bierley Souza Machado
Instituição: Pontifícia Universidade Católica
Endereço: Primeira Avenida Quadra 88, s/n - Setor Leste Universitário, Goiânia - GO, 74605-010
e-mail: bierley@gmail.com.br
Fernando de Andrade Stela
Instituição: Pontifícia Universidade Católica
Endereço: Primeira Avenida Quadra 88, s/n - Setor Leste Universitário, Goiânia - GO, 74605-010
e-mail: fstela@gmail.com.br
Cláudio de Oliveira e Silva
Instituição: Pontifícia Universidade Católica
Endereço: Primeira Avenida Quadra 88, s/n - Setor Leste Universitário, Goiânia - GO, 74605-010
e-mail: c-e-silva@bol.com.br
Maria José Pereira Dantas
Instituição: Pontifícia Universidade Católica
Endereço: Primeira Avenida Quadra 88, s/n - Setor Leste Universitário, Goiânia - GO, 74605-010
e-mail: mpjdantas@gmail.com.br

RESUMO

Praças de pedágio pelo seu próprio design, criam interrupções no fluxo de veículos tornando-se potenciais gargalos, impactando diretamente na vida das pessoas e na satisfação com os níveis de serviços prestados pelas concessionárias. O estudo analisa a formação de filas na praça de pedágio em uma rodovia federal no estado de Goiás e propõe um modelo computacional que auxilie no dimensionamento do número de cabines conforme o fluxo de veículos. O método utilizado foi a modelagem e simulação. Com o *software* de simulação, foi construído um modelo computacional com características próximas às do sistema real. Diante dos resultados, o modelo é apresentado como mais uma ferramenta de apoio a tomada de decisão permitindo por exemplo, que os gestores da praça de pedágio, dimensionem a quantidade ideal de cabines. Além disso foram demonstradas várias funcionalidades do *software* FlexSim.

Palavras-Chave: Modelagem computacional, gestão, pesquisa operacional.
Tópicos: Introdução, Metodologia, Análise dos resultados, Conclusões.

ABSTRACT

Toll plazas by their own design, create interruptions in the flow that can be potential bottlenecks, impacting directly on people's lives and satisfaction with the levels of services provided. The study analyzes the formation of queues in the toll plaza on a federal highway in the state of Goiás and proposes a computational model that assists in the sizing of the number of cabins according to the flow of vehicles. The method used was modeling and simulation. With the simulation software, a computational model with characteristics similar to those of the real system was constructed. Given the results, the model is presented as another tool to support decision making, for example, allowing toll booth managers to size the ideal number of booths. In addition, several FlexSim software functionalities have been demonstrated.

Keywords: Computational modeling, management, operational research.
Paper topics: Introduction, Methodology, Analysis of results, Conclusions.

1. Introdução

Um dos primeiros trabalhos desenvolvidos sobre o processo de formação de filas foi o de A. K. ERLANG, o qual estudou os circuitos telefônicos, para a Companhia Telefônica de *Copenhsgen*, em 1908. A Segunda Grande Guerra deu forte impulso às aplicações militares, verificando-se, terminada a conflagração, inúmeras aplicações da teoria na área civil [Torres 1966]**.**

Posteriormente, diversos trabalhos têm sido desenvolvidos sobre o tema do tráfego, em especial, estudos sobre praças de pedágios. Essas pesquisas estão relacionadas à performance da capacidade de atendimento da praça de pedágio e/ou com os impactos socioeconômicos e ambientais desses empreendimentos. Segundo Dubedi et al. [2012], praças de pedágio são construídas em rodovias onde veículos pagam para transpor a praça e devido ao seu próprio *design*, elas criam interrupções no fluxo caracterizando potenciais gargalos.

Para Obelheiro et al. [2010], a capacidade de atendimento está relacionada ao tempo de atendimento das cabines, e a cobrança do pedágio quase sempre, gera gargalos no fluxo da rodovia. Segundo Aycin [2016], cabines de cobranças eletrônicas instaladas em praça de pedágio, pode reduzir o fluxo de veículos, nesse local, para próximo ou igual ao fluxo nas estradas tornando a possibilidade de congestionamento remota.

Kim [2011], utiliza em seu trabalho um método de simulação computacional discreta para analisar a sensibilidade da praça de pedágio e o desempenho para diferentes tipos de fluxo de tráfego. Munawar e Adriyanto [2013], desenvolveram e implementaram um modelo de simulação computacional capaz de prever as filas e atrasos na praça de pedágio em *Cililitan Toll Plaza*, Jacarta. Os autores defendem a simulação computacional como o melhor método de predição do comportamento real de filas em praça de pedágio.

Vidanapathirana e Pasindu [2017] e Hu [2017], analisaram as operações de pedágio usando uma técnica de micro-simulação com apoio de um *software* disponível gratuitamente na versão estudante (PTV Vissim 9.00-04). O trabalho focou no desenvolvimento de uma metodologia para avaliar as melhorias operacionais da cobrança de pedágio eletrônico incorporando as características de tráfego das vias expressas.

Lin et al. [2017], Wang et al. [2017] e Cai et al. [2018], desevolveram o “Projeto ideal de pedágio” baseado em autômatos celulares de fluxo de tráfego. Segundo os autores, o projeto da praça de pedágio está intimamente relacionado ao tempo de serviço e à probabilidade de acidente de trânsito. Logo, o trabalho aborda a forma de projetar a praça de pedágio para minimizar o tempo de espera de veículos na frente da estação de pedágio associado com a menor possibilidade de acidentes perto da estação de pedágio.

Liu [2017], constrói um modelo, baseado no método Autômato Celular e Monte Carlo, para discutir o problema da fusão após o pedágio, e redesenha a forma, o tamanho e o padrão de fusão da área de pedágio. O autor estuda submodelos de fila por meio da Teoria de Filas, e em seguida, uma série de indicadores são configurados para analisar a praça de pedágio, como Índice de Perigo e Índice de Eficiência. Ao alterar a área de entrada e saída, o autor conclui que: segurança e eficiência estão sempre correlacionadas negativamente aos custos.

Alguns estudos abordaram temas relacionados a poluição e meio ambiente. Azeez et al. [2018], trabalharam com tráfego sobre a perspectiva da emissão de monóxido de carbono devido aos congestionamentos. Segundo os autores, os congestionamentos trazem impactos negativos para a saúde humana e meio ambiente, pois, as emissões veiculares são consideradas como a principal fonte de poluição do ar em áreas urbanas e podem causar doenças respiratórias, cardiovasculares e câncer.

Diante da revisão bibliográfica feita sobre teoria de filas e simulação, percebe-se nos trabalhos que os resultados são bons em relação a possibilidade de configurar praças ou filas por meio de técnicas e/ou *softwares* de simulação. A simulação oferece resultados melhores para construir modelos cujo o ajuste de distribuição dos dados é diferente da distribuição normal ou exponencial. Portanto, a simulação é indicada para resolver modelos dinâmicos, de forma que seja possível observar as mudanças ocorridas com o tempo, permitindo avaliar o impacto das

decisões (sobre o sistema real) que forem tomadas [Silva et al. 2010]. O uso de simuladores traz para o modelo mais similaridade com o sistema real e consequentemente possibilita que os analistas tomem decisões mais eficazes.

O transporte rodoviário é a principal fonte de integração entre cidades e estados no Brasil (corresponde a cerca de 95% do transporte de passageiros e aproximadamente 60% da movimentação de cargas [CNT 2010]), por isso ele tem um papel fundamental no aspecto econômico do país. Portanto, adotar medidas que evitem filas e/ou amenizem seus impactos nas estradas, trazem benefícios a vários *stakeholders*: motoristas, empresários, governo, empresas de transporte e os passageiros que utilizam transporte terrestre. A relevância dos trabalhos já produzidos sobre o assunto e as dificuldades encontradas pelos autores deste artigo em obter artigos internacionais com as palavras-chave simulação, praça de pedágio e FlexSim, motivaram o desenvolvimento deste trabalho utilizando este *software* de simulação e demonstrando suas funcionalidades para tratar o problema de fluxo de veículos.

O objetivo do artigo foi analisar a formação de filas na praça de pedágio em uma rodovia federal no estado de Goiás, e propor um modelo computacional que permitisse o dimensionamento do número de cabines de acordo com o fluxo de veículos.

O trabalho está organizado da seguinte forma: na Seção 2, tem-se a metodologia utilizada, assim como a descrição das etapas desenvolvidas e o passo-a-passo para a execução do projeto de simulação; na Seção 3, os resultados são analisados; e na Seção 4, é feita as conclusões sobre o artigo.

2. Metodologia

Para o estudo de um modelo que analise as filas em uma praça de pedágio, o processo de estudo da modelagem dos dados é resumido nas etapas de coleta de dados, tratamento de dados e inferências [Chwif e Medina 2015]. A escolha da modelagem e simulação para análise de filas ocorreu devido a robustez dessa técnica para a predição de desempenho e análise de sistemas complexos [Sadoun 2005].

2.1 Concepção e escopo do modelo

O sistema simulado é uma praça de pedágio no estado de Goiás. A praça é composta por 26 pistas, sendo que o sentido das vias estudado é formado por 13 pistas, das quais 10 são de atendimento manual, e 3 são de passagem automática. As cabines de atendimento automático não fazem parte do foco das análises, por não ser um processo executado por pessoas. A praça de pedágio analisada possui três modalidades de pagamento: dinheiro (moeda nacional); meio de pagamento eletrônico (chip); e TAG (Vale Pedágio). Após encontrar as distribuições que representam os dados coletados, estes valores serão inseridos no modelo computacional construído no *software* de simulação FlexSim.

2.2 Coleta e inferências dos dados de entrada

Para a coleta dos dados, foi realizado uma pesquisa no banco de dados do DNIT disponível em: http://servicos.dnit.gov.br/dadospnct/Pnt/2017, acessado em 07/12/2018. Os dados coletados representam o fluxo de veículos nas datas entre o dia 18 a 24 de novembro de 2017, no período compreendido entre as 6 horas e 17 horas (período de maior fluxo de veículos).

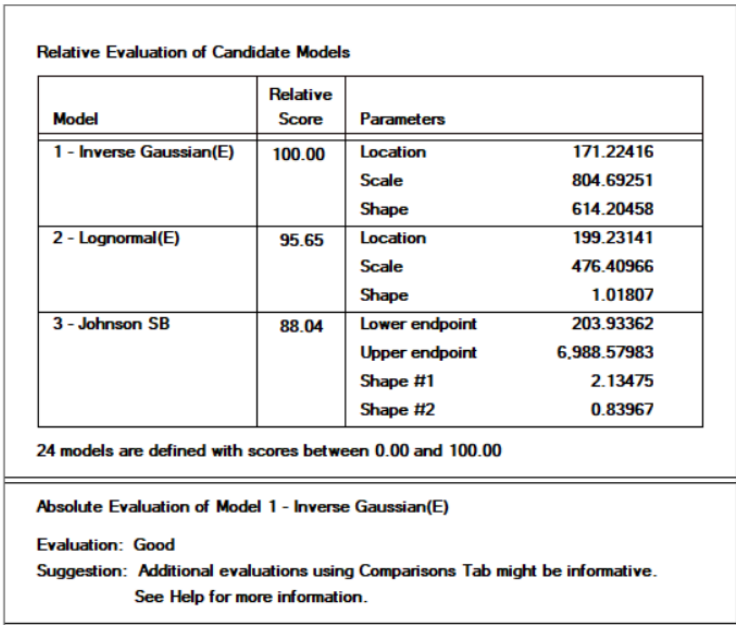
Para descrever os dados coletados, é costume verificar a ocorrência de *outliers* devido a erros de coleta ou algum evento extraordinário que possa ter ocorrido no período em análise. Em casos onde o processo de coleta de dados é confiável, é comum manter os valores que possam caracterizar *outliers*, por representarem a realidade do sistema [Chwif e Medina 2015].

Para determinar a distribuição de probabilidade que melhor represente o comportamento aleatório dos dados coletados, foi utilizado a ferramenta *ExpertFit*. O *ExpertFit* é uma ferramenta computacional que compõe o *software* FlexSim. Os testes de aderência utilizados para verificação da hipótese nula foram *Qui-Square*, *Kolmogorov-Smirnov* e *Anderson-Darling*. Também foi testado se o número de chegada de veículos poderia ser representado por

distribuição de Poisson com o objetivo de avaliar se os tempos entre as chegadas poderiam ser representadas por uma distribuição Exponencial [Silva et al. 2010].

Para finalizar o processo de modelagem de dados, foi aplicado o teste estatístico para determinar se a definição do modelo probabilístico tem aderência aos conjuntos de dados selecionados. Utilizou-se o *P-value*, por este representar o nível de significância que pode ser assumido para validar a amostra como uma determinada distribuição [Chwif e Medina 2015].

Utilizou-se o Excel para tratar os dados de fluxo de veículos que passam pela praça de pedágio, e utilizou-se a função *ExpertFit* para fazer os ajustes de distribuição dos dados. O passo a passo dessa etapa é descrito a seguir. Na Figura 1, é mostrado o ajuste para os dados dos intervalos entre as chegadas de Motocicletas. A distribuição que melhor representa esse conjunto de dados é a *Inverse Gaussian*. E essa distribuição foi inserida no *source* do modelo computacional desenvolvido no FlexSim.



Relative Evaluation of Candidate Models

Model	Relative Score	Parameters	
1 - Inverse Gaussian(E)	100.00	Location	171.22416
		Scale	804.69251
		Shape	614.20458
2 - Lognormal(E)	95.65	Location	199.23141
		Scale	476.40966
		Shape	1.01807
3 - Johnson SB	88.04	Lower endpoint	203.93362
		Upper endpoint	6,988.57983
		Shape #1	2.13475
		Shape #2	0.83967

24 models are defined with scores between 0.00 and 100.00

Absolute Evaluation of Model 1 - Inverse Gaussian(E)

Evaluation: Good

Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab might be informative.
See Help for more information.

Figura 1 - Ajuste de distribuição dos dados das motocicletas

O mesmo processo de ajuste de distribuição foi feito para os demais veículos. Na Tabela 1, tem-se os valores dos modelos de ajuste de distribuição assim como os parâmetros e o *Score* relativo, dos carros, ônibus e caminhões.

Tabela 1 - Ajuste de distribuição dos dados de quantidade de veículos

Veículos	Modelo	Relative score (aderência)	Parâmetros	Valor
Carros	Log-Laplace	96,67	Location	0,00000
			Scale	21,00000
			Shape	4,06276
Ônibus	Inverse Gaussian(E)	95,65	Location	189,05008
			Scale	965,72492
			Shape	743,06134
Caminhões	log-Logistic(E)	97,41	Location	0,00000
			Scale	41,52039
			Shape	7,58636

Com relação ao tempo de atendimento, o supervisor de operações da empresa que administra o pedágio informou que trabalho é totalmente padronizado e este é realizado entre 18 e 35 segundos em média. Portanto, as análises partiram do pressuposto de que os tempos de atendimento tem comportamento uniforme entre 18 e 35 segundos. Para este caso, o uso de distribuição uniforme é justificado, pois a diferença dos valores mínimos e máximos de tempo de atendimento é de 17 segundos, caracterizando um intervalo de tempo de atendimento relativamente pequeno [Chwif e Medina 2015].

Em Araújo e Setti [2006], a média dos tempos de atendimento dos automóveis é 18,92 segundos, valor abaixo das médias dos tempos dos caminhões (30,79 segundos) e ônibus (23,96 segundos). Em Sadoun [2005], os tempos considerados são atendimento automático com chip e cartão (3,8 e 7,6 segundos respectivamente) e atendimento manual (média de 20 segundos). Os valores dos tempos de atendimento em ambos os autores mostram uma aproximação com os valores fornecidos pelos supervisores da praça em estudo.

2.3 Modelo Conceitual

O modelo conceitual foi construído por meio da simbologia utilizada pela técnica IDEF-SIM proposta em Leal et al. [2008]. Na Figura 2, demonstra-se uma representação conceitual do sistema, indicando recursos chave, ambos fixos e móveis e entidades de fluxo por meio do sistema. O modelo começa com 4 tipos de entrada: “Motocicletas”, “Carros”, “Ônibus” e “Caminhões”, e estas entidades podem ir para o processo de “Atendimento Manual” ou “Atendimento eletrônico”. A escolha do tipo de atendimento depende da forma de pagamento a ser executada, logo, o atendimento manual é utilizado por aqueles que fazem pagamento por meio de dinheiro (em espécie), enquanto que o atendimento eletrônico será utilizado por aqueles que realizam pagamento eletrônico (chip) ou TAG (Vale Pedágio).

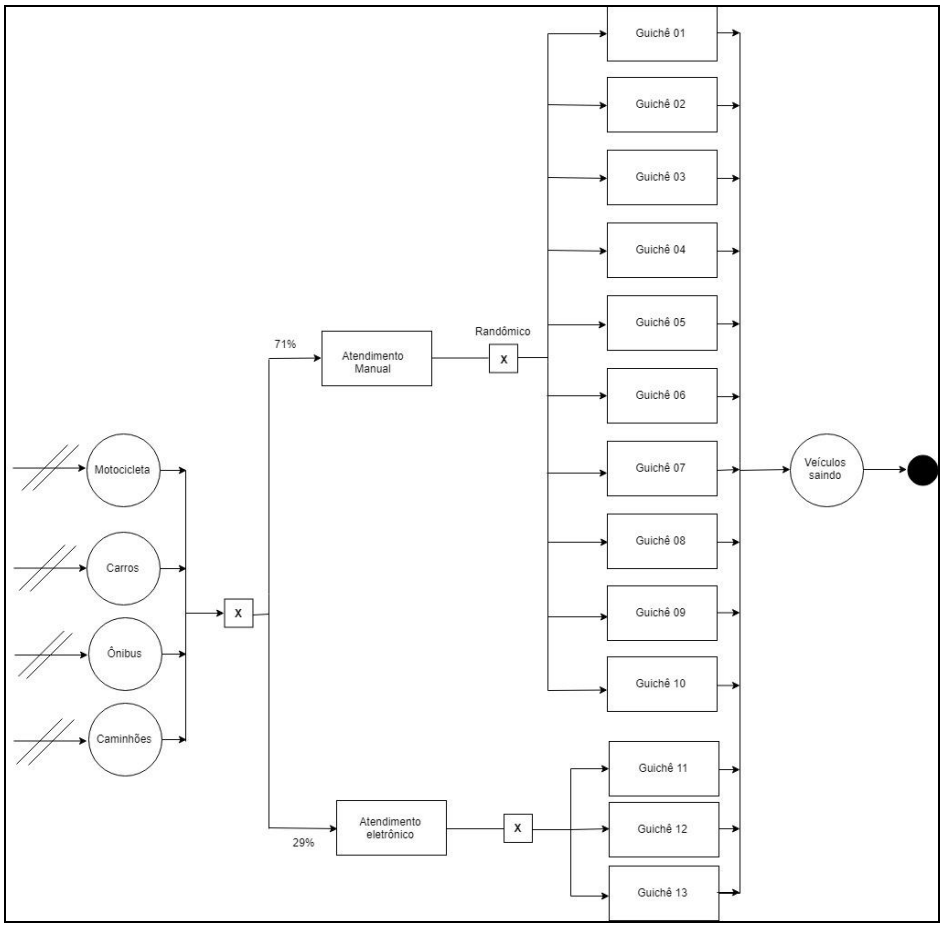


Figura 2 - Modelo conceitual do projeto de simulação da praça de pedágio

De acordo com as informações fornecidas pela supervisão da praça de pedágio, 71% do fluxo total de veículos optam pelo "Atendimento Manual" e somente 29% usam "Atendimento eletrônico", em Araújo e Setti [2006], esse valor varia de 0 a 20%. Os motoristas ou motociclistas que optam pelo "Atendimento Manual", escolhem aleatoriamente entre os guichês enumerados de 1 a 10.

Lin e Su [1994], concluem que motoristas selecionam a cabine de cobrança do pedágio, pelo tamanho da fila (escolhem a que possui a menor fila). Mas tanto a fila que estará menor no momento em que o carro chega na praça, quanto a escolha do guichê na ausência de filas, trazem para esse processo um caráter aleatório. Os motoristas que utilizam o "Atendimento eletrônico" se direcionam para o Guichês 11, 12 e 13, também de forma aleatória.

Vale ressaltar que embora seja necessário representar o atendimento eletrônico no modelo, este não é o foco de análise do trabalho. Portanto, apenas a representação do fato desses guichês serem responsáveis por atender 29% do fluxo total de veículos, aumenta a capacidade de demonstrar a realidade do sistema.

A técnica de validação de modelo utilizada foi a "face a face" encontrada em Chwif e Medina [2015]. O modelo Conceitual foi apresentado a equipe de supervisão da praça de pedágio analisada, e estes avaliaram o modelo como válido para representar o sistema da praça de pedágio.

2.4 Modelagem computacional

O modelo computacional foi construído utilizando o FlexSim 7.3.0 (64-bit). O programa se mostra bastante flexível para a construção de modelos além de ser intuitivo, o que facilita a utilização pelo analista. Na Figura 3, é mostrado o *layout* do modelo computacional do sistema em estudo.

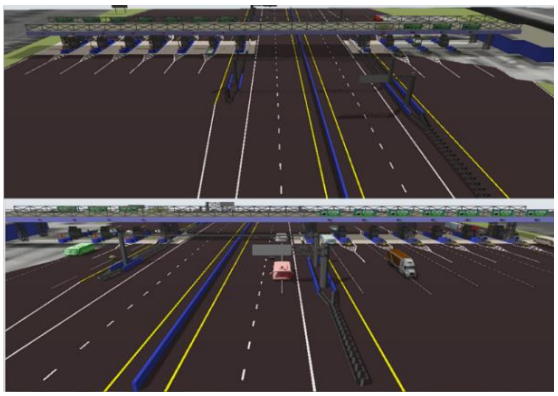


Figura 3 – *Layout* do Modelo Computacional do projeto de simulação da praça de pedágio

Cada tipo de veículo possui um ajuste de distribuição mostrado na Tabela 1, e esses valores são inseridos no modelo computacional por meio da função *source*. De acordo com as informações passadas pelos supervisores, considerou-se que os guichês de "Atendimento Manual" operam segundo uma distribuição uniforme com valor mínimo igual a 18 segundos e valor máximo igual a 35 segundos. Já o atendimento eletrônico opera com tempo de processamento igual a taxa média de 5 segundos (valor informado pela supervisão) valor próximo ao apresentado por Sadoun [2005]. O modelo foi construído para operar segundo alguns paradigmas, que são:

a) Os tempos de atendimento e a taxa de chegadas;
b) As cabines trabalharam de acordo com o fluxo de veículos, portanto pode ocorrer de em dado momento todas estarem trabalhando, ou não;

c) O tamanho máximo da fila é definido por regras estabelecidas pela ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres), e é o principal critério para acionar o funcionamento das cabines.

2.5 Cálculo do número de replicações

O indicador criado é chamado de "veículos" que indica a quantidade de veículos atendidos durante um espaço de tempo, independentemente do tipo de atendimento e do tipo de automóvel. Antes de realizar o cálculo utilizou-se a função *Experimenter*, onde foram inseridos um tempo de teste igual a 5000 segundos para um tempo de aquecimento igual a 250 segundos, com 5 replicações, como é mostrado na Figura 4.

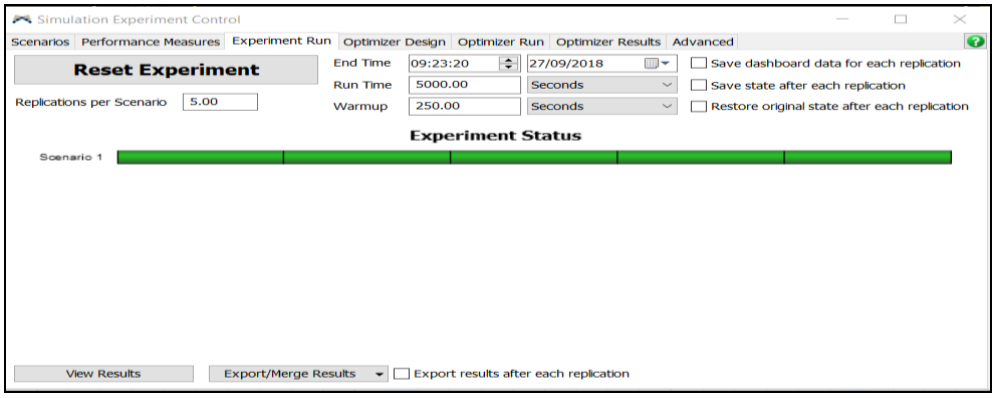


Figura 4 - Configuração do *Experimenter* para o 1º teste

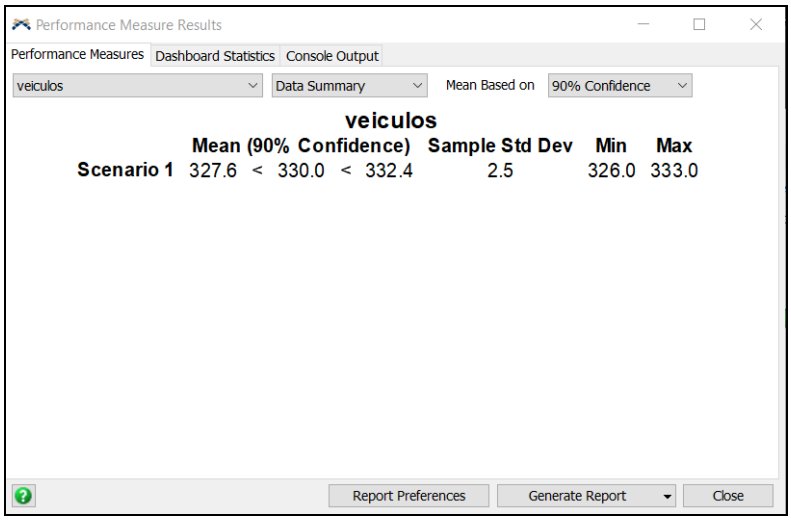


Figura 5 - Resultados para o primeiro teste de replicações

Para o 1º teste obteve-se um intervalo de confiança (IC) entre 327,6 e 333,4 (número de veículos), e a variação é aproximadamente igual a 3, com nível de confiança igual a 90%. Esse valor de variação é pequeno o que permite o modelo obter valores bem próximos da média. Os resultados são mostrados na Figura 5.

Diante do primeiro cenário do número de replicações, não seria necessário realizar o cálculo para encontrar o número de replicações necessárias para aumentar a precisão da simulação. Apenas para demonstrar como esse cálculo deve ser feito, devolveu-se as operações a seguir para obter uma variação de no máximo 2, com 90% de confiança. O cálculo é dado pela fórmula:

$$n \geq \left(\frac{t_{\frac{\alpha}{2}, n_0 - 1} S}{\varepsilon} \right)^2 \qquad (1)$$

Dados de entrada para a fórmula:

- Desvio (S) = 3;
- Número de amostras Inicial (n_0) = 5;
- Nível de confiança (1 - α) = 0,90 (90%);
- Variação desejada (ε) = 2.

Obteve-se o valor de $t_{\frac{\alpha}{2},n_0-1}$, e calculou-se o parâmetro (α/2):

- 1 – α = 0,90;
- α = 0,10;
- α/2 = 0,05.

Calculou-se o segundo parâmetro, que é o grau de liberdade ($n_0 - 1$):

- n_0 = 5;
- n_0 - 1 = 4.

Encontramos o valor de referência utilizando a função INV.T () do Excel para o valor de $t_{0,025\ ;4}$ encontrando um valor igual a 2,13. Calculamos o valor do número de replicações mínimo necessário para obter dados com a precisão requerida:

- $n \geq \left(\frac{t_{\frac{\alpha}{2},n_0-1} S}{\varepsilon}\right)^2$;
- $n \geq \left(\frac{2{,}13*3}{2}\right)^2$;
- $n \geq 10{,}2$;
- $n \geq 11$.

Com esse número de replicações igual a 11 (onze) é possível recalcular e testar se o resultado será aderente ao pretendido (variação de no máximo 2 e nível de confiança igual a 90%).

3. Análise dos resultados

Em suma o modelo mostra que a capacidade da praça de pedágio é maior que a demanda, e essa característica do sistema de fato é comprovada ao observar o funcionamento da praça de pedágio *in loco*. Outra observação é com relação a variabilidade dos dados. Os dados coletados no site do DNIT mostram que a variabilidade em torno da média da quantidade de veículos que passam pela praça é muito pequena (valor dado pela Figura 5) de acordo com o período analisado.

De acordo com os dados coletados e a análise no *Experimenter*, o sistema real da praça de pedágio analisada é superdimensionado para o fluxo de veículos nos dias analisados (18 a 24/11/2017), e não foram constatadas ocorrências de congestionamentos ou filas com mais de 10 veículos por cabine de atendimento.

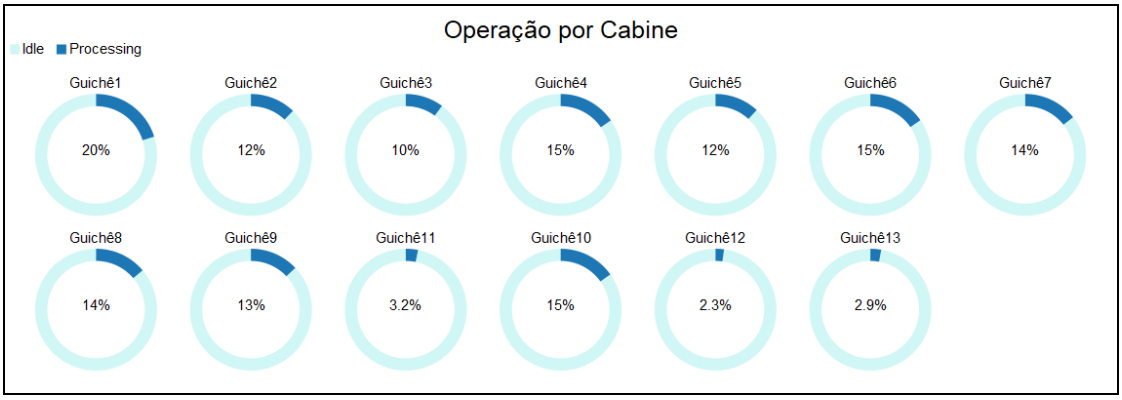


Figura 6 - Taxa de processamento por cabine

Na Figura 6, é mostrado os resultados do percentual de processamento de cada cabine, e evidencia um sistema com grandes períodos de ociosidade nas datas analisadas. Os guichês 11, 12, 13 por se tratar de atendimento eletrônico possui um menor tempo de processamento e as maiores taxas de ociosidade. Na figura 7-a, o número de veículos do tipo "carros" representa 64,17% do fluxo no sistema, os caminhões correspondem por 34,04%, e, ônibus e motos totalizam 1,79%.

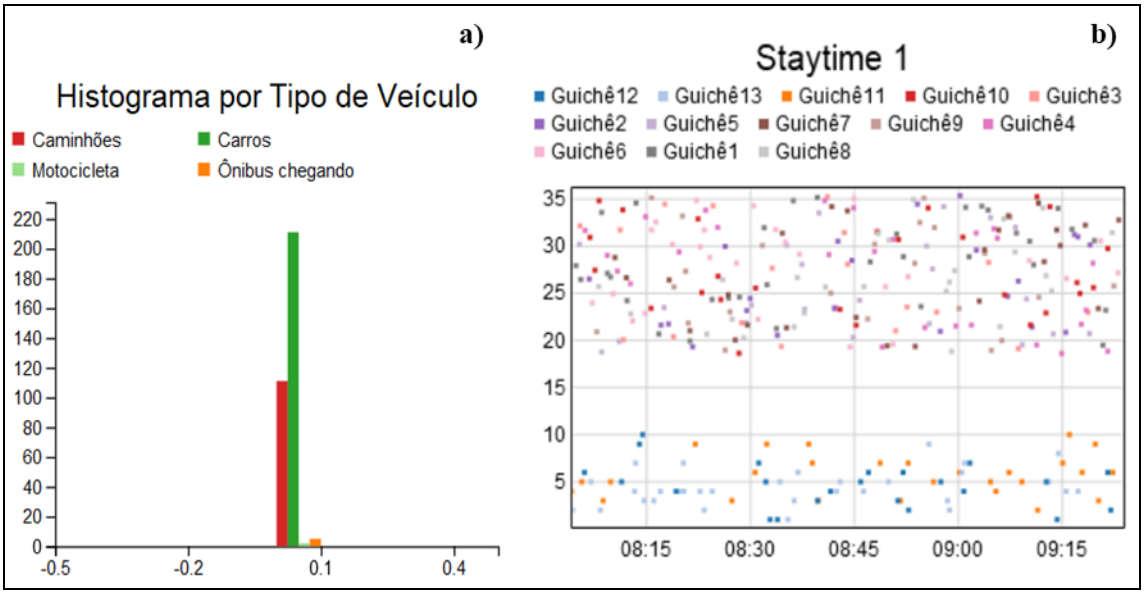


Figura 7 – Gráficos: a) Distribuição dos tipos de veículos; b) Distribuição do tempo de permanência nos guichês

Na Figura 7-b, é mostrado a distribuição do tempo de permanência de cada veículo em sua respectiva cabine. O tempo de permanência dos veículos nos guichês se comporta dentro da faixa do tempo de atendimento informado pelo supervisor. Este fato associado com a taxa de ociosidade mostrada na Figura 6, sugere que não há existência de congestionamentos diante dos cenários simulados.

3.1 C**enários simulados**

A Tabela 2, tem os valores encontrados por meio de duas outras simulações com 7 e 6 Guichês de atendimento respectivamente. A medida que o número de cabines diminui, os valores de média de veículos na fila, o tempo médio na fila e no sistema tendem a aumentar. Em contrapartida, o percentual de utilização das cabines de atendimento aumenta, e na Figura 8 é possível observar que quando o número de cabines é igual a 6, o percentual de processamento é aproximadamente 100% (em algumas chega a exatamente 100%).

Tabela 2 - Valores obtidos para os novos cenários

Variáveis	**Cenário Atual**	**Cenário 1**	**Cenário 2**
Quantidade de cabines	10	7	6
Média de veículos na fila (Atendimento manual) - unidades	0,44	2,24	13,01
Tempo médio na fila (Atendimento manual) - segundos	19,66	70,23	343,65
Tempo médio no Sistema (via atendimento manual) - segundos	35	97	372
Total e veículos atendidos (atendimento manual) - unidades	2396	2374	2358

É importante relatar sobre o aumento de dois tempos, são eles o tempo médio na fila o tempo médio no sistema, com valores de 5,73 minutos e 6,2 minutos, respectivamente. Estes

números parecem altos se comparados com os valores médios encontrados quando comparados com os valores encontrados na etapa de coleta de dados. No entanto, por lei o tempo máximo na fila pode ultrapassar 15 minutos (segundo informações da supervisão), e, portanto, os valores obtidos possuem dentro do limite estabelecidos por lei.

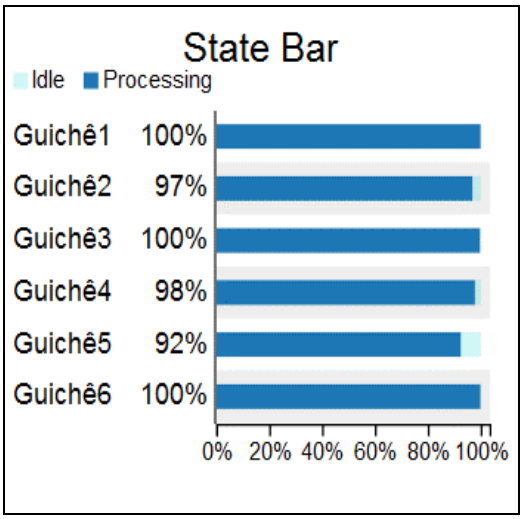


Figura 8 - Gráfico do percentual de utilização dos guichês no cenário 2

Poder-se-ia diminuir mais uma cabine para efeitos de redução de recursos para executar o mesmo trabalho, no entanto, embora seja possível conseguir valores dentro do limite estabelecido por lei, valores acima de 6 minutos na fila podem gerar insatisfação dos clientes usuários da praça.

4. Conclusões

O trabalho cumpriu com o objetivo de criar um modelo computacional que permitisse aos gestores dimensionar número de cabines a serem utilizadas de acordo com o fluxo de veículos. O modelo se mostrou eficiente nesse sentido e possibilitou a análise de algumas variáveis como quantidade de veículos, tempo de atendimento, e o cálculo do número de replicações para simular cenários diante da variabilidade pretendida.

Foi feito a simulação de uma praça de pedágio localizada em uma rodovia federal no estado de Goiás, e considerou-se 4 tipos de veículos (carros, caminhões, motocicletas e ônibus) e a operação dos guichês em um único fluxo (sentido). Os gráficos gerados nas análises evidenciam um superdimensionamento do sistema de acordo com os dados coletados, e estes representam o fluxo de veículos entre os dias 18 e 24 de novembro de 2017 (no período compreendido entre as 6 horas e 17 horas).

Para melhoria do atendimento da praça de pedágio, sugere-se a criação de um mecanismo visual que indicasse ao usuário o momento de sua chegada à praça, qual seria a melhor cabine de cobrança que ele deveria se direcionar de modo que, a quantidade de veículos seja distribuída uniformemente entre as filas. Filas balanceadas trazem resultados positivos para a empresa, uma vez que a carga de trabalho é melhor distribuída entre os funcionários, além do que um sistema balanceado é mais fácil de ser administrado, manutenido e até mesmo compreendido pelos gestores.

Como limitações tem-se o fato de que os dados referentes a tempo de atendimento e a contagem de veículos terem sido obtidas por meio de informações prontas (obtidas em sites) ou repassadas pelos supervisores. Embora essas pessoas tenham experiência sobre o assunto, o fato de não saber como esses dados foram obtidos, pode ser considerada uma oportunidade de melhoria, já que os dados obtidos por meio pelos próprios pesquisadores seriam mais confiáveis.

Novos trabalhos podem ser desenvolvidos para mostrar os impactos (positivos e negativos da desativação de algumas cabines, ou simular o aumento da taxa de chegada de veículos de forma que seja possível analisar o comportamento do modelo diante da existência de acidentes por exemplo.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) por subsidiar essa pesquisa.

Referências

Agência CNT de Notícias, 26 out. 2018. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/Imprensa/noticia/pesquisa-cnt-aponta-58-das-rodovias-com-problemas> Acesso em: 30 set. 2018.

Araújo, J. J. de e Setti, J. R. (2006). Caracterização operacional de praças de pedágio do estado de São Paulo. *Transportes*, v. 14, n. 1.

Aycin, M. (2006). Simple Methodology for Evaluating Toll Plaza Operations, *Journal of the Transportation Research Board.* v. 1988, p. 92-101.

Azeez, O., Pradhan, B. e Shafri, H. (2018). Vehicular CO Emission Prediction Using Support Vector Regression Model and GIS. *Sustainability*, v. 10, n. 10, p. 3434.

Bertrand, J. M. e Fransoo, J. C. (2002). Operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations and Production Management*, v.22, p.241-264.

Cai, Z., Hu, J., Liu, X., e Li, X. (2017). Evaluation Model and Simulation of High Efficient Toll Plaza. In *2017 International Conference on Applied Mathematics, Modeling and Simulation (AMMS 2017)*. Atlantis Press.

Chwif, L., Medina, A. C. (2015). *Modelagem e simulação de eventos discretos: teorias & aplicações*. 4.ed. – Rio de Janeiro: Elsevier.

Dubedi, A., Chakroborty, P., Kundu, D., e Reddy, K. H. (2012). Modeling Automobile Drivers' Toll-Lane Choice Behavior at a Toll Plaza. *Journal of Transportation Engineering,* 138(11), 1350–1357. doi:10.1061/(asce)te.1943-5436.0000440.

Flexsim 3D Simulation Software User Manual (Version Flexsim 7.3.0), 2014. Flexsim Software Products Inc.

Hu, F. (2017). *Operation and Improvement on Highway Toll Plaza*. 3rd International Symposium on Social Science (ISSS 2017) Operation. *Anais*...

Kim, B. J. (2011). Conceptualization Of Traffic Flow For Designing Toll Plaza Configuration: A Case Study Using Simulation With Estimated Traffic Volume. *International Journal of Industrial Engineering*, v. 18, n. 1.

Law, A. M. e Kelton, D. W. (1991). *Simulation, modeling & analysis*. 2. ed., Nova York: McGraw-Hill.

Leal, F., Almeida, D. de e Montevechi, J. A. B. (2008). Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual para a Simulação através de elementos do IDEF. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Anais... João Pessoa, PB.*

Leemis, L. (1997). Seven habits of highly successful input modelers. *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, p.39-46.

Lin, F. B. e Su, C. W. (1994). Level of service analysis of toll plaza on freeway mainlines. *J. Transp. Eng.*, 120(2), 119–127.

Lin, H., Zhu, J., Xiao, Y., e Luo, H. (2017). Optimal Design of Toll Plaza Based on Traffic Flow Cellular Automata. In *2017 4th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE)* (pp. 1066-1072). IEEE.

Liu, X. (2017). The Application of Cellular Automaton in the Barrier Tolls. In *2017 5th International Conference on Frontiers of Manufacturing Science and Measuring Technology (FMSMT 2017)*. Atlantis Press.

Munawar, A., e Andriyanto, A. (2013). Predicting Queues and Delays at Toll Plazas by Computer Simulation (Case Study: Cililitan Toll Plaza, Jakarta). In *Proceedings of the World Congress on Engineering* (Vol. 1).

Obelheiro, M. R., de Oliveira, M. L., e Cybis, H. B. B. (2010). Avaliação da influência do tipo de cobrança e da composição do tráfego sobre o desempenho operacional de praças de pedágio. *TRANSPORTES*, *18*(3).

Sadoun, B. (2005). Optimizing the operation of a toll plaza system using simulation: A methodology. *Simulation*, *81*(9), 657-664.

SILVA, E. M., SILVA, E. M., GONÇALVES, V., e MUROLO, A. C. (2010). Pesquisa operacional para os cursos de administração e engenharia. *São Paulo: Atlas*, 1.

Tôrres, O. F. (1966). Elementos da teoria das filas. *Revista de Administração de Empresas*, *6*(20), 111-127.

Vidanapathirana, C., e Pasindu, H. (2017). Analysis of toll station operations in Sri Lanka using a micro-simulation technique. In *2017 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon)* (pp. 321-324). IEEE.

Wang, Y., Ning, J., & Li, S. (2017, July). Research on Merging Pattern after Toll Based on Simulation. In *2017 3rd International Conference on Economics, Social Science, Arts, Education and Management Engineering (ESSAEME 2017)*. Atlantis Press.