

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO OPERACIONAL DE PRAÇAS DE PEDÁGIO USANDO SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

1. Introdução

Enquanto pedágio é a tarifa cobrada pelo direito de passagem por uma via de transporte terrestre, a praça de pedágio é a estrutura pela qual o veículo é obrigado a passar e efetuar a transação utilizando-se de alguma forma de pagamento (Aycin, 2006). Uma praça de pedágio é composta por estruturas, cabines ou barreiras físicas, que interagem com os veículos que por elas passam (Leitão, 2007). Essas interações são necessárias para a realização do processo de cobrança na via, podendo ter as modalidades de pagamento manual, automática ou eletrônica (Harb *et al.*, 2010).

Na cobrança manual, existe interação entre motoristas e arrecadadores com parada do veículo. Na cobrança automática, os motoristas interagem com máquinas leitoras, consoles ou outros dispositivos que realizam o recolhimento automático da tarifa (Araújo, 2001; Tiefensee, 2005). Já na modalidade eletrônica, os veículos não apresentam a necessidade de efetuar a parada, pois sistemas de identificação automática de veículos (AVI, do inglês *Automatic Vehicle Identification*) já permitem a cobrança de pedágio em trechos urbanos e rodoviários com altos volumes de tráfego ou até mesmo cobrar dos usuários uma tarifa proporcional à distância percorrida (Barbosa, 2013). Esses sistemas são formados por um conjunto de componentes e processos para a identificação do veículo e de seus proprietários, sendo utilizados não somente para a cobrança de pedágio, mas também para a coleta de dados importantes para a gestão do tráfego (US DOT, 1998).

Ultimamente, autoridades tem buscado meios de implementar sistemas de cobrança eletrônica de pedágio (ETC, do inglês *Electronic Toll Collection*) em sua configuração mais avançada: os sistemas de rodovia de pedágio aberto ou *free-flow*. O *free-flow* é uma adequação dos sistemas eletrônicos de identificação automática dos veículos, no qual pórticos instalados ao longo de uma via com pedágio reconhecem os veículos que os atravessam e os tarifam de forma eletrônica (Barbosa, 2013). A implantação deste sistema pode trazer não só ganhos de produtividade na cobrança do pedágio, mas também ser uma alternativa viável para a redução das tarifas praticadas.

De modo geral, a operação das praças de pedágio pode ser definida com base em três processos, na seguinte ordem: processo de chegada, processo de atendimento e processo de

saída. O primeiro processo (Chegada) demanda serviço, expresso pelo carregamento de tráfego, podendo ser representado pelo fluxo de veículos por hora ou pelo intervalo entre chegadas dos veículos, por sua distribuição aleatória e composição. Já o segundo processo (Atendimento) compreende a prestação de serviço e é categorizado por atributos de praças de pedágio tais como: número de cabines, modalidade de pagamento, tempo de atendimento e capacidade. E o último processo (Saída), resultante da interação entre os processos de chegada e de atendimento, reflete o desempenho das praças de pedágio, podendo ser expresso pelo nível de serviço, tempo gasto no sistema ou na fila, bem como pelo comprimento da fila.

A partir dos critérios de aferição de desempenho, estratégias deverão ser levadas em consideração caso os resultados encontrados não forem satisfatórios. Segundo Araújo (2001), a melhoria da qualidade do serviço em uma praça de pedágio pode ser alcançada de acordo com três tipos de gerenciamento: da demanda, da oferta ou de ambos os casos. O gerenciamento da demanda pode ser verificado pela redução da demanda que chega (o fluxo e o tipo de veículos que chegam à praça), enquanto que o gerenciamento da oferta pode ser verificado pelo aumento da capacidade de atendimento (a taxa de atendimento de veículos na praça de pedágio).

O objetivo deste trabalho é o de apresentar um modelo de simulação computacional do desempenho de praças de pedágio, de modo a obter algumas medidas de desempenho, tais como: comprimento de fila, tempo gasto no sistema ou na fila e taxa de ocupação dos arrecadadores. Tal modelo de simulação baseia-se na dissertação de mestrado do autor deste trabalho.

Para tanto, um estudo de caso é proposto por meio da análise de uma das seis praças de pedágio da concessão patrocinada das rodovias MG-050, BR-265 e BR-491, destacando-se a praça de pedágio de Itaúna/MG, que possui maior fluxo de tráfego dentre as demais praças de pedágio existentes na concessão. Esta concessão é uma parceria público-privada (PPP) licitada pelo Governo do Estado de Minas Gerais, cuja operação teve início em junho de 2007 e tem por objeto a exploração das rodovias em um período de 25 anos.

O conteúdo deste trabalho inclui essa introdução e outras quatro seções. A segunda seção trata das técnicas de modelagem, ressaltando, sobretudo, as técnicas de simulação. Na terceira seção está detalhado o modelo de simulação desenvolvido do desempenho de praças de pedágio. A aplicação do modelo em um estudo de caso é apresentada na quarta seção. E a quinta e última seção aborda as considerações finais.

2. Técnicas de modelagem

Segundo Portugal (2005), as técnicas de modelagem podem ser classificadas em dois grupos: Técnicas Analíticas e Técnicas de Simulação. A abordagem analítica admite um comportamento estático do fenômeno estudado em relação ao tempo. Por outro lado, a técnica da simulação procura replicar em um computador uma sequência de eventos hipotéticos do sistema estudado ao longo do tempo.

O trabalho fica restrito à modelagem da praça de pedágio por simulação, excluindo a modelagem da praça de pedágio por abordagem analítica, uma vez que com a simulação tem-se maior liberdade para modelar situações reais que não seguem os modelos tradicionais da Teoria de Filas, por exemplo.

Além do mais, a maioria dos sistemas complexos do mundo real, com elementos estocásticos, não pode ser descrita com precisão por um modelo matemático para ser avaliado analiticamente (Law, 2014). Para tais sistemas, a simulação permite estimar o desempenho existente por meio de um modelo que se aproxima da realidade.

De acordo com Prado (2014), a simulação é uma técnica de solução de um problema pelo fato de permitir a análise de diversas alterações no cenário virtual, sem o custo e o risco de atuar no cenário real. Por outro lado, Chwif e Medina (2014) apontam que simulação não é um instrumento para prever o futuro, mas sim para prever o comportamento de um sistema. Além do mais, simulação não é um modelo matemático pois não há uma expressão analítica fechada e nem uma ferramenta de otimização, visto que é uma ferramenta de comparação de cenários. Um modelo de simulação é construído a partir dos objetivos da simulação, que podem ser traduzidos pelas medidas de desempenho do sistema, ou seja, as variáveis de saída de interesse de um modelo de simulação (Chwif, 1999).

Alguns autores (Miyagi, 2006; Ribeiro, 2015) apresentam as seguintes vantagens da simulação: simula sistemas complexos que envolvem filas, realiza experimentos computacionais sem ter que implementar fisicamente as alterações previstas, e analisa muito rapidamente os parâmetros do processo e propõe alterações de modo a melhorar o problema simulado.

De modo geral, o processo de simulação pode ser dividido em três etapas: concepção, implementação e análise. A primeira etapa é o ponto de partida de um estudo de simulação e se deve decidir qual é a abrangência do modelo e o nível de detalhe, sendo que as hipóteses devem ser claramente estabelecidas. Após estas decisões, o modelo abstrato deve ser

representado de acordo com alguma técnica de representação de modelo de simulação, com a intenção de torná-lo um modelo conceitual. Os dados de entrada também devem ser coletados nesta fase (Chwif, 1999; Pereira e Chwif, 2010).

Na segunda etapa, o modelo conceitual é convertido em um modelo computacional, com a utilização de um simulador comercial na maioria das vezes. O modelo computacional deve, ainda, ser verificado contra o modelo conceitual, a fim de avaliar se está operando de acordo com o pretendido. Alguns resultados devem ser gerados para validar o modelo computacional, observando se o modelo é uma representação precisa da realidade (Chwif, 1999; Pereira e Chwif, 2010).

Por último, os autores afirmam que é na terceira etapa que o modelo computacional estará pronto para a realização dos experimentos, após a verificação e validação, dando origem ao modelo operacional. Dessa forma, são efetuadas várias instâncias de simulação e os resultados da simulação são analisados, utilizando-se diversas técnicas estatísticas e os resultados documentados. A partir destes resultados, as análises sobre o sistema podem ser geradas e, caso estes não forem satisfatórios, o modelo poderá ser modificado, reiniciando o ciclo de vida do modelo de simulação.

A simulação de eventos discretos foi utilizada neste trabalho para a criação do modelo de simulação computacional do desempenho de praças de pedágio. Segundo Ribeiro (2015), toda simulação de eventos discretos descreve, de modo direto ou indireto, situações de fila nas quais entidades chegam, esperam em uma fila, se necessário, e então são atendidas antes de saírem do sistema. Utiliza-se, portanto, de eventos discretos (chegadas e partidas) e de dados estatísticos do processo para a simulação. A próxima seção apresenta o modelo de simulação desenvolvido, com o propósito de se atingir o objetivo previamente estabelecido.

3. Modelo de simulação desenvolvido

Em uma simulação, é construído um modelo lógico-matemático que representa a dinâmica do sistema em estudo. Oliveira (2013) afirma que este modelo normalmente incorpora valores para tempos, distâncias, recursos disponíveis, etc.

Para a construção do modelo foi utilizado o *software* de simulação *Arena*, na versão 14.0, um ambiente que engloba lógica e animação com ferramentas poderosas de análise estatística, além de toda potencialidade com o ambiente operacional do *Windows*.

O processo de modelagem (construção do modelo) é a tradução do funcionamento do sistema ao *software* de simulação *Arena*, realizado por meio de um fluxograma, constituído de formas

geométricas que representam procedimentos, decisões, início e término de processos, etc. No *Arena*, estas formas geométricas são substituídas pelos elementos dos *templates*. Cabe destacar que esses *templates* são denominados módulos e possuem dois tipos distintos: módulos de fluxograma e módulos de dados.

Ao construir um fluxograma, é usado o ponto de vista da parte dinâmica do sistema, ou seja, aquilo que se movimenta dentro do sistema (veículos, no caso de praças de pedágio). Ao sistema são anexados dados *inputs* (para alimentar o modelo), que apresente a relação entre as entidades e atividades envolvidas, envolvendo os atributos e as variáveis associadas às praças de pedágio. Os atributos, como um todo, apresentam valores bem determinados, como por exemplo, extensão da praça de pedágio, número de cabines, etc. Já as variáveis possuem valores que envolvem tempo, podendo ter variações em torno de um valor médio, sendo recomendada a utilização de distribuições estatísticas.

No *Arena* podem ser utilizados valores médios para os parâmetros no modelo, assim como distribuições estatísticas geradas a partir de um tratamento de dados sobre o parâmetro a ser inserido. Vale ressaltar que as distribuições são determinadas através da coleta de dados do parâmetro de interesse. Em seguida, os dados são agrupados por classes em um histograma, e a partir de então, uma distribuição estatística é adequada ao histograma. Neste ponto, a simulação no *Arena* se diferencia, pois, o *software* possui a ferramenta *Input Analyzer*, que pode ser usada para determinar a qualidade do ajuste das funções de distribuição de probabilidade aos dados de entrada.

Somando-se os dados e o modelo lógico-matemático, tem-se uma representação do sistema no computador. De posse do sistema, pode-se realizar vários cenários de simulação e coletar dados de resultados que irão mostrar o comportamento do sistema bem próximos do real.

A Figura 1 apresenta o esquema geral do fluxograma utilizado no *Arena* para representar o processo de modelagem do funcionamento do sistema de praça de pedágio. O modelo de simulação desenvolvido foi dividido em dez partes e a Tabela 1 informa a descrição e a função de cada parte identificada no modelo de simulação desenvolvido.

O fluxograma do *Arena* apresentado na Figura 1 é compatível com diversas configurações de praças de pedágio, visto que o mesmo é flexível quanto ao número de categoria de veículos, número de cabines AVI ou cabines manuais, entre outros aspectos. É importante enfatizar que, para este fluxograma, alguns dados sobre o sistema (tempo entre chegadas, tempo de atendimento e percentagem de escolha de cabines) são cadastrados em planilha eletrônica (em

ambiente Excel), com o objetivo de concatenar as informações coletadas, produzir as variáveis sobre o sistema e, por fim, serem importados para o *Arena*, de forma a auxiliar na modelagem por simulação.

No fluxograma apresentado, a modelagem é feita visualmente com objetos orientados à simulação e com o auxílio da importação das variáveis especificadas sobre o sistema em ambiente Excel, não havendo a necessidade da digitação dos comandos das mesmas na lógica de programação. Ao executar a simulação, o *Arena* coleta estatísticas padrão sobre os vários elementos do modelo, como tempo de espera na fila, número de entidades (veículos) na fila, utilização dos recursos (ou arrecadadores), entre outros. A verificação e validação do modelo de simulação é feita por meio da comparação entre as estimativas de desempenho do modelo de simulação e das estimativas de desempenho nos registros da concessionária. As principais estimativas a serem comparadas são: o fluxo médio de veículos por hora, o comprimento médio de fila e o tempo médio gasto na fila.

Caso as estimativas do modelo de simulação não estejam consistentes com as estimativas reais, se faz necessário a calibração do modelo, no qual as estimativas de desempenho a serem comparadas deverão ser obtidas por meio de instâncias de simulação do mesmo cenário, variando-se os valores do tempo de aquecimento (adotado o intervalo de 30 em 30 segundos), com o propósito de obter o menor erro médio.

4. Aplicação do modelo: Estudo de caso

Neste trabalho, utilizou-se como estudo de caso uma das seis praças de pedágio da concessão patrocinada das rodovias MG-050, BR-265 e BR-491, com a ressalva de que o critério de decisão adotado para a escolha da praça de pedágio a ser analisada baseou-se naquela que possui maior fluxo de tráfego.

O projeto de Parceria Público-Privada (PPP) da rodovia MG-050 teve seu contrato de concessão patrocinada assinado em 21 de julho de 2007 entre a Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas – SETOP e a Concessionária da Rodovia MG-050 (SETOP, 2016a).

O edital de concessão patrocinada, elaborado para a recuperação da infraestrutura da rodovia MG-050, foi o primeiro projeto de PPP do país na área de infraestrutura rodoviária, sendo fruto de um esforço conjunto de vários órgãos e entidades do estado.

O projeto de PPP da MG-050, cuja operação teve início em junho de 2007 e tem por objeto a exploração das rodovias em um período de 25 anos, prevê a recuperação, ampliação e

manutenção da rodovia até 2032. Essa rodovia conta com uma extensão de 371,4 km, interligando a região metropolitana de Belo Horizonte à divisa com o Estado de São Paulo. A Figura 2 ilustra o mapa do sistema concedido, contendo as seis praças de pedágio assim como as demais bases de apoio da concessionária.

De modo a verificar a evolução do fluxo de tráfego nas praças de pedágio, foram utilizadas informações fornecidas pela SETOP relativas aos dados de tráfego das seis praças de pedágio, no período de 2008 a 2014, em ambos sentidos de tráfego, sendo que:

- **Sentido Leste:** São Sebastião do Paraíso/MG (na divisa de Minas Gerais e São Paulo) à Juatuba/MG (na região metropolitana de Belo Horizonte); e
- **Sentido Oeste:** Juatuba/MG (na região metropolitana de Belo Horizonte) à São Sebastião do Paraíso/MG (na divisa de Minas Gerais e São Paulo).

A praça de pedágio de Itaúna/MG é a que apresenta o maior fluxo de tráfego (ver Figura 3). O fluxo de tráfego nas praças de pedágio, sobretudo na praça de Itaúna/MG, pode ser categorizado como fluxo pendular, na medida em que o tráfego é semelhante em ambos sentidos de tráfego, ou seja, é esperado a viagem de ida e da volta da maioria dos usuários ao longo do dia. Dessa forma, optou-se por analisar apenas um sentido de tráfego neste estudo de caso, tendo em vista que o fluxo é pendular. As próximas subseções apresentam a aplicação do modelo de simulação desenvolvido na praça de pedágio de Itaúna/MG, no sentido leste.

4.1. Caracterização da praça de pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste

Na concessão patrocinada do sistema MG-050, o sentido leste vai desde São Sebastião do Paraíso, na divisa de Minas Gerais e São Paulo, até Juatuba, na região metropolitana de Belo Horizonte. A praça de pedágio de Itaúna/MG possui uma extensão de aproximadamente 485 metros, sendo essa a região compreendida pelos pontos de alargamento e de estreitamento da praça. No sentido leste há cinco cabines manuais, das quais três são de faixas reversíveis, ou seja, atendem nos dois sentidos. Há também duas cabines AVI, com leitores automáticos de cartão de pedágio, onde não há intervenção humana.

Com base em consultas a especialistas e visitas em campo, foi observado que a praça de pedágio de Itaúna/MG possui, no sentido leste, horário de pico durante o período da manhã. Nesse período, seis cabines costumam ficar disponíveis no sentido leste, sendo que: quatro cabines são manuais e duas cabines são AVI (ver Figura 4).

Vale ressaltar que todas as cabines manuais da praça de pedágio de Itaúna/MG possuem modalidade de pagamento manual, ou seja, apresentam a interação entre motoristas e arrecadadores com parada do veículo e as transações são feitas somente em dinheiro.

4.2. Coleta, tabulação e análise dos dados

Para a composição do banco de dados usado neste trabalho, foram agregadas informações de diversas fontes de dados. A lista a seguir contém as principais informações utilizadas e suas respectivas fontes:

- Visita em campo a praça de pedágio de Itaúna/MG;
- Banco de dados fotográfico disponibilizado pela Google;
- Informações fornecidas pela Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas de Minas Gerais – SETOP/MG, incluindo: (i) Dados de tráfego horário da praça de pedágio de Itaúna/MG (2008 a 2014); (ii) Dados de tráfego diário da praça de pedágio de Itaúna/MG (2015); (iii) Filmagens da praça de pedágio de Itaúna/MG no sentido leste (entre 17h e 19h do dia 23/08/2015); e
- Informações complementares obtidas no *website* da Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas de Minas Gerais – SETOP/MG, incluindo: (i) Relatório Executivo MG-050; (ii) Edital MG-050; (iii) Contrato MG-050.

Os dados coletados foram tratados com o objetivo de se obter as variáveis associadas às praças de pedágio, destacando-se: chegadas de veículos, tempo de atendimento, percentual de escolha de cabines e tempo de deslocamento. Tanto o tempo entre chegada de veículos quanto o percentual de escolha de cabines foram obtidos através dos dados de demanda de tráfego. Já o tempo de atendimento nas cabines foi obtido através das filmagens da praça de pedágio de Itaúna/MG.

Convém realçar que este trabalho apresenta apenas uma compilação dos principais dados da tabulação e análise dos dados de cada uma das variáveis associadas às praças de pedágio, tendo em vista que os detalhes dos tratamentos dos dados encontram-se disponíveis na dissertação de mestrado do autor deste trabalho (Santos, 2017). Essas variáveis sobre o sistema devem indicar as distribuições estatísticas de acordo com o tipo de veículo e do respectivo número de eixos. Para tanto, foi utilizada a mesma classificação de veículos da concessão patrocinada da rodovia MG-050 (ver Tabela 2).

Para o cálculo da variável do tempo entre chegadas de veículos na entrada do sistema, foram utilizados os dados de tráfego horário da praça de pedágio de Itaúna/MG (no período de 2008 a 2014). Optou-se por utilizar os dados de tráfego do ano de 2014, visto que são os dados de tráfego disponibilizados mais recentes. O maior fluxo de tráfego se deu no mês de dezembro de 2014, num total de 167.476 veículos e o maior volume diário ocorreu no dia 08 de dezembro de 2014 (segunda-feira), num total de 6.816 veículos. No entanto, os estudos de simulação geralmente são feitos em um período limitado de tempo ou em um conjunto de períodos idênticos (Oliveira, 2013). Dessa forma, resolveu-se considerar os dados de tráfego de todas as segundas-feiras do mês de dezembro de 2014 e foi observado que o horário de pico, no sentido leste, se deu entre 07h às 08h da manhã, com um volume médio horário de 395 veículos, de acordo com a classificação dos veículos, sendo este o intervalo adotado para o modelo de simulação (ver Figura 5).

Segundo Oliveira (2013) a distribuição exponencial é uma das mais utilizadas em modelos de simulação e o principal uso é na modelagem de tempo entre dois acontecimentos quaisquer, independentes entre si, como, por exemplo, tempos entre chegadas de entidades em um sistema. Neste estudo de caso, foram utilizados o tempo entre chegadas de veículos e a distribuição de probabilidade representados pela distribuição exponencial.

Para o cálculo da variável do tempo de atendimento dos veículos nas cabines, foram utilizados os dados das filmagens disponibilizadas da praça de pedágio de Itaúna/MG, entre 17h e 19h do dia 23 de agosto de 2015. Os dados das filmagens foram cadastrados em planilha eletrônica com o objetivo de concatenar as informações coletadas e gerar a variável de tempo de atendimento. Com o objetivo de aumentar a amostra e abranger todas as categorias de veículos, os dados foram agrupados em veículos leves e pesados, de acordo com a seguinte configuração:

- **Veículos leves:** automóvel, caminhoneta, automóvel com semirreboque, caminhonete com semirreboque, automóvel com reboque, caminhonete com reboque, motocicleta, motoneta e bicicleta a motor; e
- **Veículos pesados:** caminhão, ônibus, caminhão-trator, furgão, caminhão-trator com semirreboque e caminhão com reboque.

Em seguida, utilizou-se o *Input Analyzer*, aplicativo do software de simulação Arena, para gerar um ranking das distribuições de probabilidade que mais se ajustam aos dados reais. O

aplicativo do Arena, baseado no erro quadrático médio, apresenta os resultados dos testes qui-quadrado e Kolmogorov-Smirnov (ver Figura 6).

Para os veículos leves, o aplicativo do *Arena* exibe o histograma dos dados e a curva teórica de Lognormal. Segundo Oliveira (2013), a distribuição Lognormal é empregada em situações em que a quantidade é o produto de um número grande de quantidades aleatórias e é frequentemente utilizada para representar tempos de atividades com distribuição não simétrica. O teste qui-quadrado foi usado, a um nível de significância de 5%, com as seguintes hipóteses: (i) H_0 : Lognormal é um modelo apropriado; e (ii) H_1 : Lognormal não é um modelo apropriado. Os resultados do *Input Analyzer* apresentam 22 graus de liberdade e a estatística teste igual a $\chi^2 = 33,8$. O valor crítico é de $\chi^2_{0,05;22} = 33,924$. Dessa forma, o resultado do teste de aderência mostra que não se rejeita a hipótese nula (H_0) e a distribuição de probabilidade do tempo de atendimento para veículos leves é igual a $1,5 + LOGN(11, 9.12)$.

No caso dos veículos pesados, o aplicativo do *Arena* exibe o histograma dos dados e a curva teórica de Erlang com $k = 3$. Segundo Oliveira (2013), a distribuição Erlang é empregada para modelar processos compostos por fases sucessivas nas quais cada fase tem uma distribuição exponencial. O teste qui-quadrado foi usado, a um nível de significância de 5%, com as seguintes hipóteses: (i) H_0 : Erlang é um modelo apropriado; e (ii) H_1 : Erlang não é um modelo apropriado. Os resultados do *Input Analyzer* apresentam 25 graus de liberdade e a estatística teste igual a $\chi^2 = 27,3$. O valor crítico é de $\chi^2_{0,05;25} = 37,652$. Dessa forma, o resultado do teste de aderência mostra que não se rejeita a hipótese nula (H_0) e a distribuição de probabilidade do tempo de atendimento para veículos pesados é igual a $5 + ERLA(20, 3)$.

Em seguida, os dados das distribuições de probabilidade do tempo de atendimento de veículos leves e pesados foram reagrupados e distribuídos de acordo com as respectivas categorias de veículos, tendo em vista que no modelo de simulação é usual empregar essa variável de acordo com a classificação de veículos.

Para o cálculo da variável do percentual de escolha de cabines (manuais e AVI), foram utilizados os dados de tráfego diário da praça de pedágio de Itaúna/MG (ano de 2015). Os dados obtidos estão divididos de acordo com o tipo de arrecadação: manual, AVI, isentos e evasão. De acordo com a SETOP (2016b), terão livre passagem na praça de pedágio, e ficam, portanto, isentos do pagamento da tarifa de pedágio, os seguintes veículos:

- Veículos de propriedade do DER/MG e da Polícia Rodoviária;

- Veículos de propriedade das forças policiais, quando em serviço;
- Veículos de atendimento público de emergência, tais como do Corpo de Bombeiros e ambulâncias, quando em serviço;
- Veículos das forças militares, quando em instrução ou manobra;
- Veículos oficiais, desde que credenciados pelo DER/MG e pela Concessionária; e
- Outros veículos, a critério e por conta em risco da concessionária.

Os dados de tráfego da praça de pedágio de Itaúna/MG foram tratados com o propósito de se obter o percentual de escolha de cabines (manuais e AVI), de acordo com as categorias de veículos e por tipo de arrecadação (ver Tabela 3).

É importante ressaltar que a concessionária da rodovia não considera os dados de evasão nos relatórios consolidados de resumo mensal do movimento de tráfego. Dessa forma, e considerando que os dados de evasão correspondem a apenas 0,09% do total, foi desconsiderado este valor para o cálculo da variável de percentual de escolha de cabine. Observa-se ainda que não houve fluxo de veículos especiais no período analisado. Com base em consultas a especialistas e visita em campo, e para efeitos da modelagem por simulação, foi adotado um valor de 50% tendo em vista as singularidades da categoria (sobretudo, o tamanho do veículo).

Para o cálculo da variável de tempo de deslocamento foram analisados os tempos médios de desaceleração (entrada no sistema até o instante que o veículo assume uma posição lateral à alguma cabine) e aceleração (saída do veículo de alguma cabine até o instante da saída do sistema). Os dados das filmagens obtidas da praça de pedágio de Itaúna/MG não foram capazes de mostrar os veículos cruzando toda a região da praça de pedágio com interferência no fluxo de velocidade, sendo essa a região de alargamento e estreitamento da pista. Sendo assim, e com base em (Cunha, 2007), optou-se por adotar a aceleração média de 1,04 m/s² para calcular os tempos de deslocamentos deste estudo de caso.

Conforme já foi exposto, a região de interferência no fluxo dos veículos causada pela instalação das cabines de cobrança possui extensão de aproximadamente 485 metros, sendo que essa região compreende os pontos de alargamento e de estreitamento da praça de pedágio. A velocidade de fluxo dos veículos fora dos limites da praça de pedágio é de 80 km/h (velocidade limite estabelecida). A praça de pedágio de Itaúna/MG consta apenas de cabines manuais e AVI. Para as cabines manuais, os veículos deslocam-se até a cabine para efetuar o pagamento da tarifa reduzindo a velocidade até 0 km/h. Por outro lado, nas cabines AVI, os

veículos passam pelas faixas dedicadas à cobrança eletrônica da tarifa, desacelerando em torno da velocidade de 30 a 40 km/h, sendo a velocidade de 40 km/h a máxima recomendada pela concessionária da rodovia (ver Tabela 4).

4.3. Aplicação do modelo e resultados encontrados

A definição dos cenários para simulação da situação atual baseou-se, fundamentalmente, no tratamento dos dados da variável de chegadas de veículos. Foi visto que o horário de pico, no sentido leste, se deu entre 07h às 08h da manhã, com um volume médio horário de 395 veículos, sendo este o intervalo adotado para a modelagem por simulação.

A determinação deste cenário levou em conta o fluxo médio observado nos períodos em que a solicitação pela via é máxima. Para a praça de pedágio de Itaúna/MG, estes períodos ocorreram nas segundas-feiras de dezembro de 2014 (no sentido leste).

Esses dados foram incorporados ao modelo de simulação proposto de modo a mostrar o comportamento do sistema bem próximos do real. Cabe ressaltar que três variáveis do sistema foram cadastradas em planilha eletrônica e, em seguida, anexadas ao modelo de simulação (ver Tabela 5).

Essas variáveis, geradas a partir de uma atribuição de dados sobre o parâmetro a ser inserido, foram utilizadas como dados do sistema para analisar o horário de pico deste cenário. Com base no fluxograma apresentado na seção anterior (ver Figura 1) e no que foi exposto até então, foram anexados dados sobre o sistema da praça de pedágio de Itaúna/MG, destacando-se os atributos e as variáveis associadas às praças de pedágio.

Para este cenário, foram utilizados os dados do sistema para o horário de pico analisado (07h às 08h) e, como pontapé inicial da simulação, um tempo de aquecimento (*warm-up*) de zero minutos. A fim de obter as medidas de desempenho e de acordo com o Teorema do Limite Central, foi assumido neste procedimento que os resultados da simulação devem ter pelo menos 30 replicações.

Antes de analisar os resultados obtidos, são apresentadas as principais estimativas obtidas por meio do modelo de simulação, que serão comparadas no passo seguinte com as estimativas nos registros da concessionária, de modo a verificar a consistência do modelo de simulação.

Para este cenário, as principais estimativas do modelo de simulação são listadas a seguir:

- Fluxo médio de veículos: 401 veículos por hora;
- Comprimento médio da fila: 0,3 metros ($\approx 0,1$ veículos na fila); e

- Tempo médio gasto na fila: 3,2 segundos.

As estimativas de desempenho nos registros da concessionária foram obtidas através do levantamento de dados do órgão gestor da concessão patrocinada e em visitas em campo através de consultas a especialistas da concessionária. Para o cenário atual, foi observado um fluxo médio de veículos no horário de pico (07h às 08h) de 395 veículos por hora, no sentido leste. Com relação às filas, a concessionária informou apenas que não deve superar o limite máximo de espera de 15 minutos na fila ou 150 metros. Nenhum dado sobre o tamanho da fila observado nos picos foi informado por parte dos operadores, da mesma forma que não foi possível identificá-lo com base nas filmagens obtidas.

Convém ressaltar que das três estimativas a serem comparadas para a análise de consistência do cenário atual, somente foi possível comparar a estimativa do fluxo de veículos por hora, resultando num erro médio de 1,62%. No entanto, optou-se pela necessidade de calibração do modelo, sendo que novas execuções da simulação variando-se o *warm-up* foram feitas a fim de se obter o menor erro médio para esta estimativa.

Para esta estimativa, foram feitas algumas instâncias de simulação do mesmo cenário, variando-se o tempo de aquecimento (*warm-up*) de 30 em 30 segundos, com a intenção de se obter o menor erro médio e se atinja a consistência dos dados (ver Tabela 6).

A instância de simulação que apresentou o menor erro médio da estimativa de fluxo de veículos por hora foi a instância com um tempo de aquecimento de um minuto, com fluxo de 395 veículos por hora e erro médio de apenas 0,10%. Portanto, a análise dos resultados da simulação foi feita para essa instância de simulação. A Tabela 7 apresenta a representação de cada categoria e os resultados de tempos para cada categoria de veículo.

Os tempos médios de atendimento, espera na fila, deslocamento e tempo total no sistema são, respectivamente de: 14,87; 3,27; 46,64 e 64,78 segundos. Além do mais, verifica-se que carros de passeio (CAT_01) são os mais representativos (em torno de 300 veículos), representando 76% dos veículos no horário de pico analisado (total de 395 veículos), enquanto que os veículos especiais não foram observados neste cenário.

Os resultados mostram ainda que os tempos médios total no sistema variam de acordo com as categorias. De modo geral, os veículos leves levam 61,59 segundos em todo o sistema, enquanto que os veículos pesados levam 79,86 segundos (cerca de 23% a mais que os veículos leves). Com relação às filas formadas na praça de pedágio, a Tabela 8 apresenta os tempos de espera e tamanho das filas por cabine de atendimento.

Verifica-se que os veículos esperam nas filas nas cabines manuais (Manual 3, 4, 5 e 6) um tempo médio de 4,12 segundos, sendo que o tempo máximo de espera possui um valor médio de 184,69 segundos (3,08 minutos). O número máximo de veículos (entidades) na fila é de 3 veículos para todas as cabines manuais. Para as cabines do tipo AVI, tanto o tempo médio de espera na fila quanto o número médio de veículos na fila são nulos, pois não há parada do veículo para a cobrança do pedágio.

Os recursos da praça de pedágio são definidos apenas pelos arrecadadores das cabines manuais, já que nas cabines AVI não há interferência humana. A Figura 7 apresenta o número de veículos atendidos por cabine no horário de pico da manhã e a taxa de ocupação do operador de cada cabine.

Dentre as cabines manuais, a cabine mais central (Manual 6) é a que possui a maior taxa de ocupação (53,6%), pois atende um número maior de veículos no intervalo do horário de pico (07h às 08h). No caso das cabines do tipo AVI, não existem arrecadadores disponíveis e o número máximo de veículos atendidos foi de 62 veículos por hora.

Vale ressaltar que na modelagem da simulação foi utilizado o tempo de atendimento de um segundo nas cabines AVI apenas para representar o efeito de abertura da cancela, quando na verdade, não existe recurso ou interferência humana. Portanto, apesar dos resultados encontrados não serem nulos, não se espera formação de fila e taxa de ocupação dos arrecadadores nestas cabines.

De modo geral, os resultados encontrados na simulação mostram que a praça de pedágio de Itaúna/MG encontrava-se em boas condições de operação no horário de pico analisado (07h às 08h). Foi visto que os tempos médios total no sistema variam de acordo com as categorias. De modo geral, os veículos leves levam 61,59 segundos em todo o sistema, enquanto que os veículos pesados levam 79,86 segundos (cerca de 23% a mais que os veículos leves). Além disso, o número máximo de veículos nas filas não ultrapassa 3 (três) veículos e as taxas de ocupação dos arrecadadores das cabines manuais estão abaixo de 60%, o que resulta em ociosidade por parte de alguns operadores.

No entanto, e apenas como comparação de cenários, foi calculado o tempo total médio na praça de pedágio de Itaúna/MG caso a cobrança fosse realizada mediante rodovias de pedágio aberto ou *free-flow*. Dentre as intervenções alternativas possíveis, escolheu-se as rodovias de pedágio aberto ou *free-flow* pelo fato de que possuem a maior capacidade de realização de operações de cobrança.

Sendo assim, foi considerada a extensão da praça de pedágio (485 metros) e a velocidade limite estabelecida fora dos limites da área de pedágio (80km/h) para calcular o tempo necessário para percorrer essa distância em velocidade constante, ou seja, o tempo necessário para cruzar essa região caso a cobrança fosse realizada mediante o *free-flow*.

Foi visto que a redução proporcionada pela utilização do *free-flow* no cenário atual seria de 43 segundos, ou seja, uma redução de 66,3%. Por outro lado, para garantir o sucesso da implantação e operação de uma rodovia de pedágio aberto ou *free-flow*, é necessário verificar os custos de implantação associados ao sistema, bem como dispor de uma correta fiscalização de possíveis violações ao sistema.

5. Conclusões

Ao longo deste trabalho foi apresentado um modelo de simulação computacional do desempenho de praças de pedágio, a fim de gerar as principais medidas de desempenho relacionadas às praças de pedágio, tais como: comprimento de fila, tempo total gasto no sistema ou fila e taxa de ocupação dos arrecadadores. A partir dos critérios de aferição de desempenho são identificadas as possíveis falhas passíveis de melhorias.

Para tanto, foi feita a aplicação do modelo de simulação desenvolvido em um estudo de caso, com a intenção de reforçar o entendimento e a aceitação pelos órgãos gestores de transportes e concessionárias em geral. O estudo de caso foi feito no sentido leste da praça de pedágio de Itaúna/MG, uma das 6 (seis) praças de pedágio da concessão patrocinada das rodovias MG-050, BR-265 e BR-491.

Os resultados encontrados no modelo de simulação do desempenho de praças de pedágio apontam que a praça de pedágio analisada estava em boas condições de operação no horário de pico considerado. Dessa forma, o estudo desenvolvido contribui no sentido de auxiliar na tomada de decisão dos gestores das praças de pedágio, tendo em vista a necessidade de cumprir com as medidas de eficiência operacional acordadas em contrato de concessão.

Em seguida, com o propósito de comparação dos cenários, foi calculado o tempo total médio na praça de pedágio de Itaúna/MG caso a cobrança fosse realizada mediante rodovias de pedágio aberto ou *free-flow*. Dentre as intervenções alternativas possíveis, escolheu-se as rodovias de pedágio aberto ou *free-flow* pelo fato de que possuem a maior capacidade de realização de operações de cobrança.

Os resultados mostram que o sistema *free-flow* reduz significativamente o tempo necessário para cruzar a praça de pedágio. A redução proporcionada pela utilização do *free-flow* no cenário atual seria de 66,3%, uma diferença de 43 segundos.

Dessa forma, a utilização do sistema de rodovias de pedágio aberto ou *free-flow* se apresenta como a forma mais eficiente do ponto de vista operacional para a cobrança da tarifa em concessões de rodovias. Entretanto, para garantir o sucesso da implantação e operação de uma rodovia de pedágio aberto, é necessário verificar os custos de implantação associados ao sistema, bem como dispor de uma correta fiscalização de possíveis violações e de alternativas para lidar eficazmente com operações que não sejam AVI, ou seja, de pagamento em espécie.

Agradecimentos

O presente trabalho é um excerto da dissertação de mestrado do autor deste trabalho e foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências bibliográficas

- Araújo, J. J. De. (2001). *Características Operacionais de Praças de Arrecadação de Pedágio*. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.
- Aycin, M. (2006). Simple Methodology for Evaluating Toll Plaza Operations. *Transportation Research Record*, 1988(1), 92–101.
- Barbosa, S. H. (2013). *Rodovias de pedágio aberto ou free-flow: perspectivas para a implantação no Brasil*. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Chwif, L., & Medina, A. C. (2014). *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*. (Elsevier Brasil (ed.); 4ª edição).
- Chwif, Leonardo. (1999). *Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção: Uma abordagem causal*. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo.
- Cunha, A. L. B. N. da. (2007). *Avaliação do impacto da medida de desempenho no equivalente veicular de caminhões*. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- Harb, R., Xiaogang Su, & Radwan, E. (2010). Empirical Analysis of Toll-Lane Processing Times Using Proportional Odds Augmented MARS. *Journal of Transportation*

Engineering, 136(11), 1039–1048.
http://www.engineeringvillage.com/blog/document.url?mid=inspec_ef550213089dc87f6M52d72061377553&database=ins

- Law, A. M. (2014). *Simulation modeling and analysis* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Leitão, L. J. S. (2007). *Análise do efeito das motocicletas no desempenho operacional de cabines manuais em praças de pedágio*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo.
- Miyagi, P. E. (2006). *Introdução a Simulação Discreta*.
- Oliveira, F. C. de. (2013). *Simulação de Projetos com utilização do software ARENA*.
- Pereira, W. I., & Chwif, L. (2010). Especificação do modelo conceitual em simulação de eventos discretos: Aplicação em um caso real. *XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*.
- Portugal, L. S. (2005). *Simulação de Tráfego - Conceitos e Técnicas de Modelagem*. (Ed. Interciência. (ed.)).
- Prado, D. (2014). *Usando o Arena em Simulação. Série Pesquisa Operacional* (5^a).
- PwC. (2016). *Sumário Executivo da Concessão de Rodovias de Outubro/2016*.
http://transportes.mg.gov.br/images/documentos/mg050/relatorio_executivo/2016/2016-010-Relatorio-Executivo-Outubro2016.pdf
- Ribeiro, G. M. (2015). *Simulação em Transportes. Notas de aula*.
- Santos, T. S., 2017. Procedimento metodológico para avaliação de desempenho de praças de pedágio com uso de simulação. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil.
- Santos, T. S., & Mourão, R. N. (2013). Estudo do nível de serviço da concessão sob parceria público-privada da rodovia MG-050 / BR-265 / BR-491. *Revista Dos Transportes Públicos*, 135, 49–60.
- SETOP. (2016a). *Anexo VIII - Estrutura tarifária. Edital N° 070/06 para concessão rodoviária da MG-050*.
[http://www.transportes.mg.gov.br/images/documentos/mg050/edital/Anexo VIII - ESTRUTURA TARIFRIA.pdf](http://www.transportes.mg.gov.br/images/documentos/mg050/edital/Anexo_VIII_-_ESTRUTURA_TARIFRIA.pdf)
- SETOP. (2016b). *Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas de Minas Gerais*.
<http://www.transportes.mg.gov.br/component/gmg/program/1477-mg-050>
- Tiefensee, M. D. (2005). *Dimensionamento de cabines de cobrança em praças de pedágio*.

Anexos

Figuras

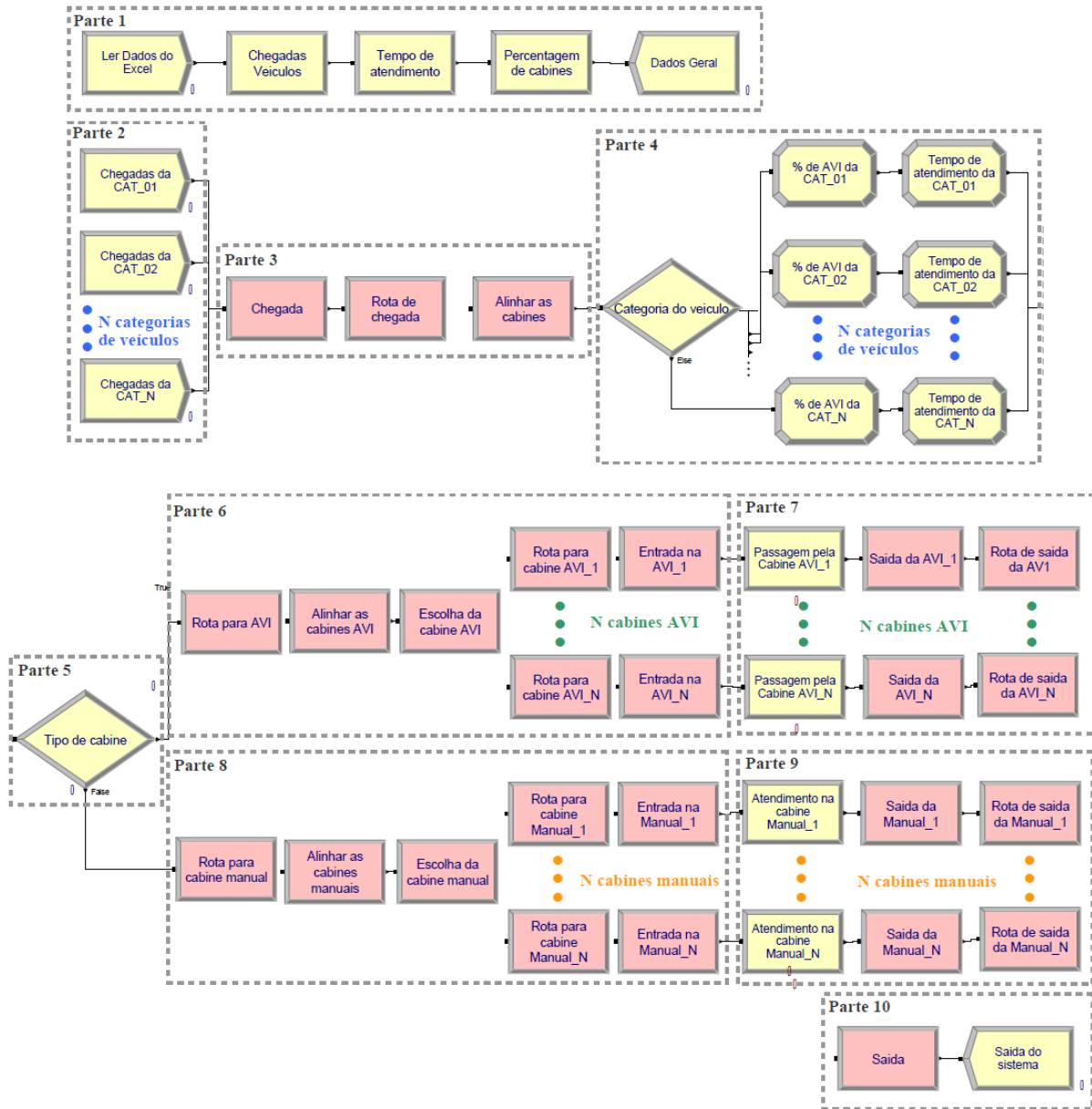


Figura 1: Sequência de dez partes do modelo de simulação desenvolvido no Arena.

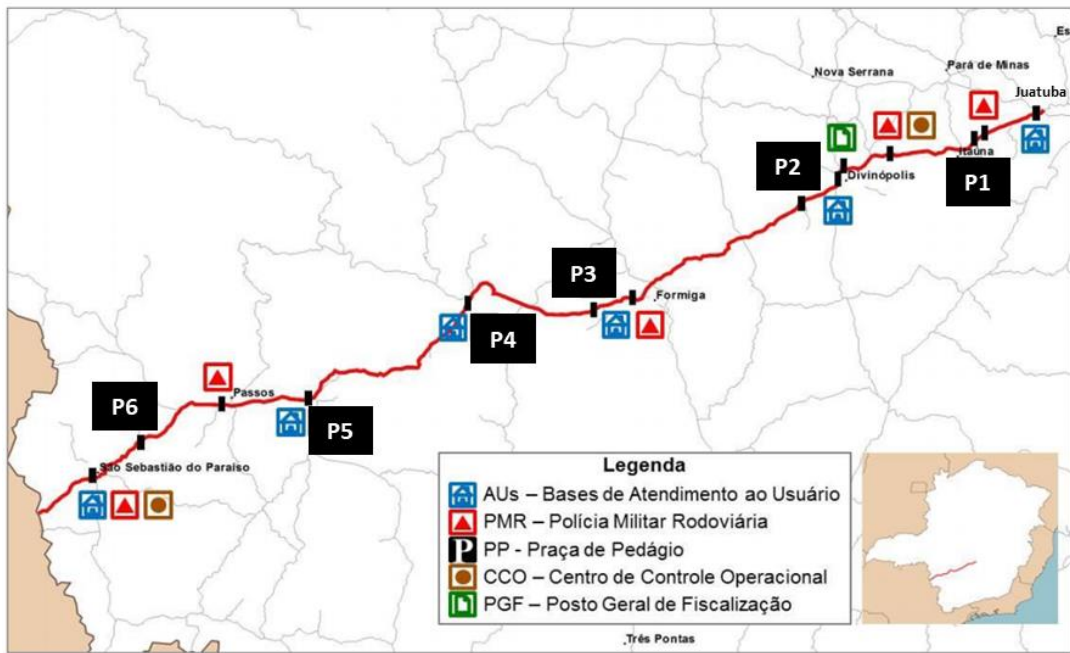


Figura 2: Mapa do sistema concedido (Adaptação de PwC, 2016 e Santos e Mourão, 2013).

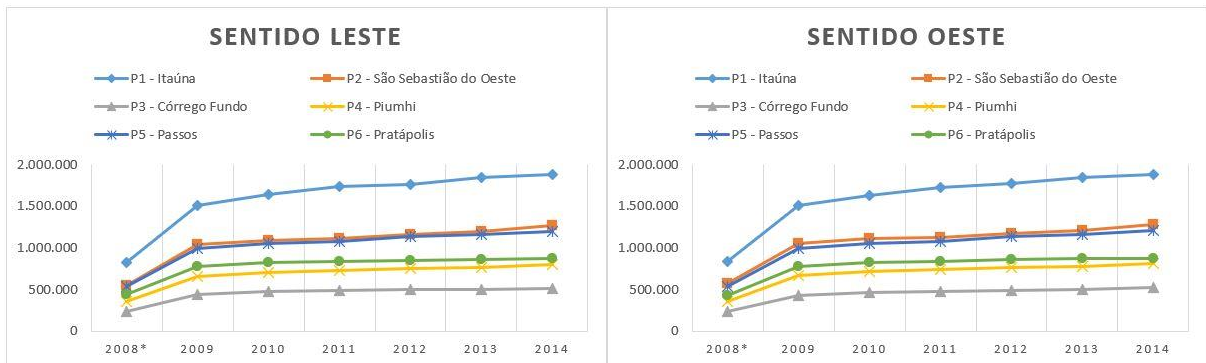


Figura 3: Evolução do tráfego nas praças de pedágio (*A partir de 13/06/2008).

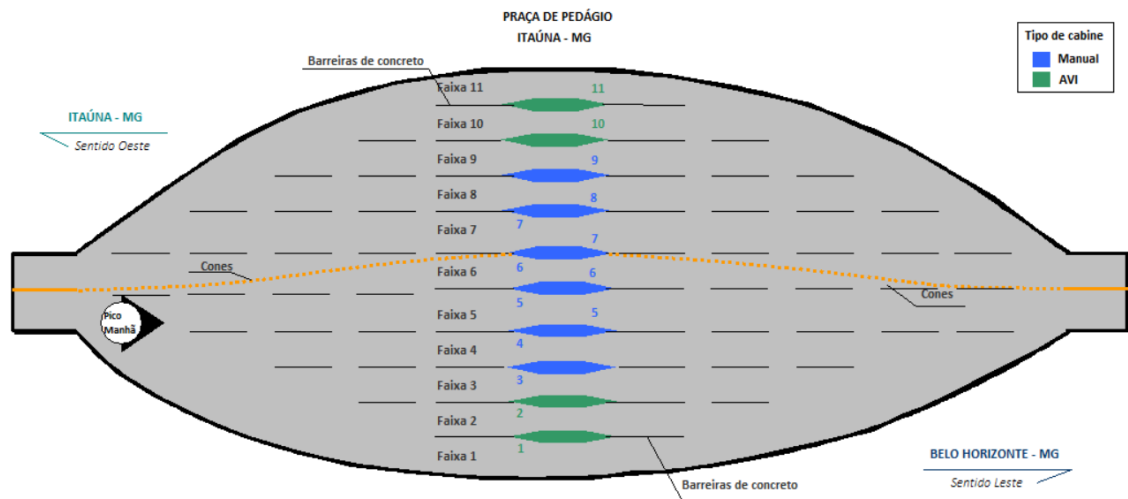


Figura 4: Configuração da praça de pedágio de Itaúna/MG no pico da manhã.

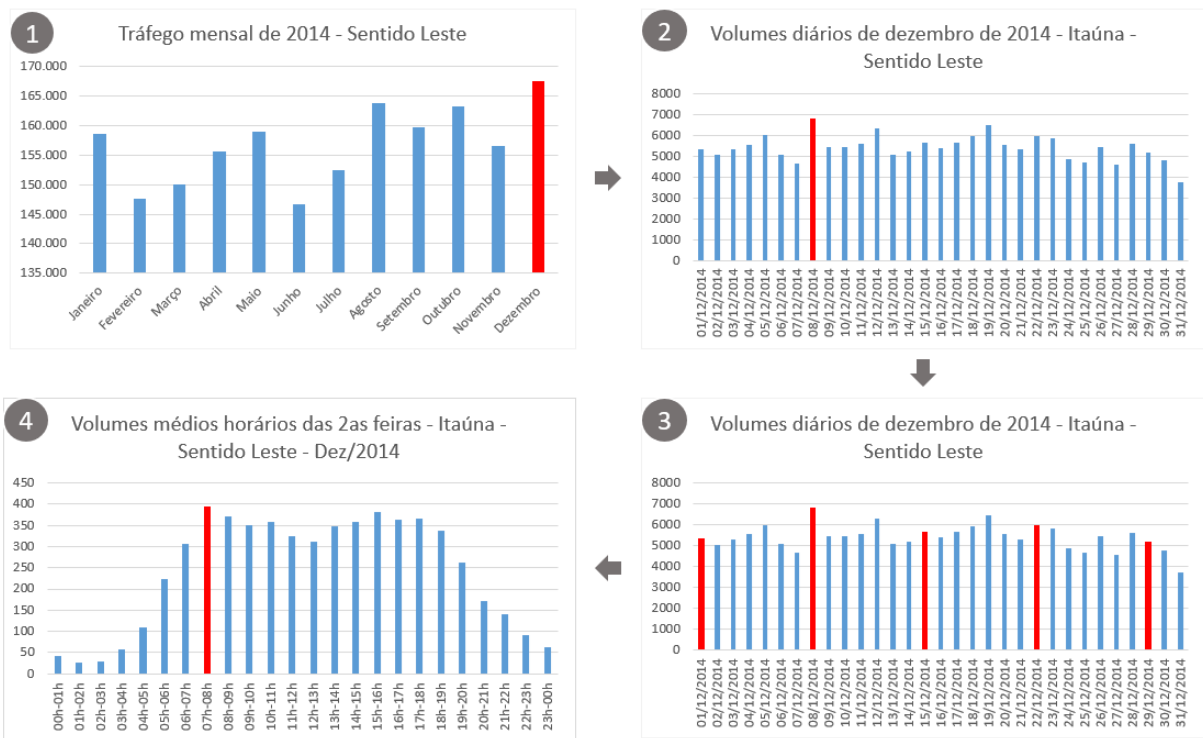


Figura 5: Dados de tráfegos considerados (com destaque em cor vermelha).

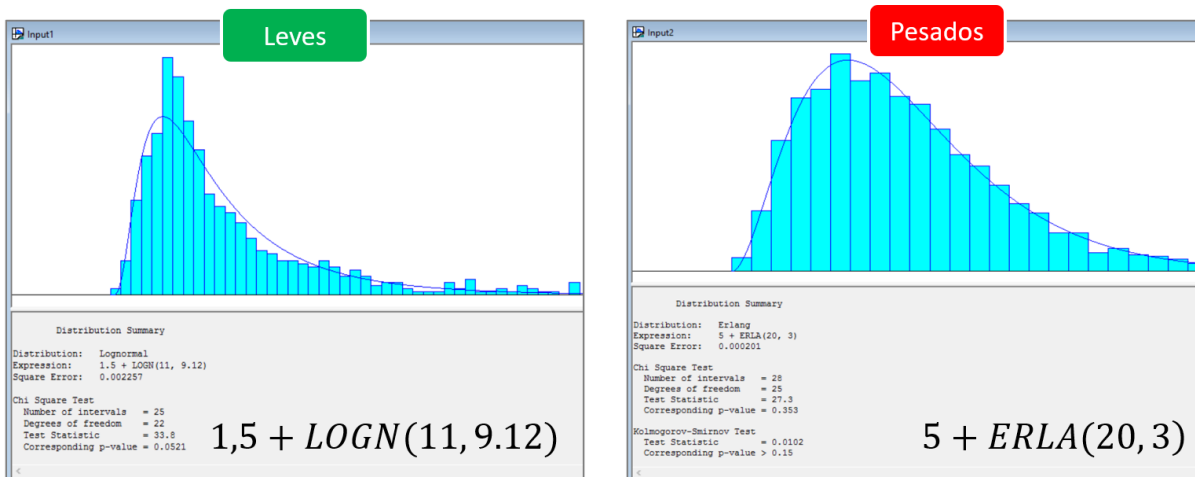


Figura 6: Dados dos tempos de atendimentos de veículos leves e pesados.

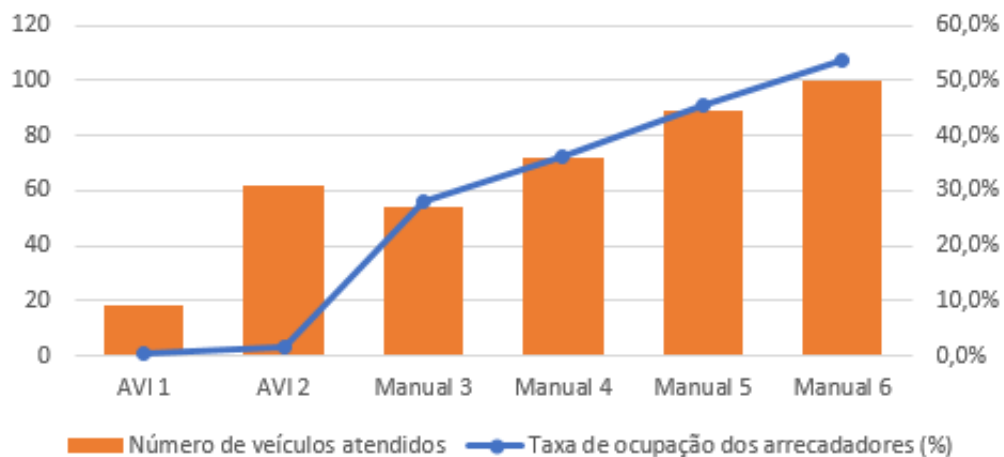


Figura 7: Ocupação das cabines e número de veículos atendidos.

Tabelas

Tabela 1: Descrição e função das partes identificadas no modelo de simulação desenvolvido.

Partes	Descrição	Função
1	Obtenção de dados do arquivo de entrada (Excel)	Representa o ponto de partida no modelo de simulação e é usado para ler os dados de um arquivo de entrada e atribuir os valores de dados a uma lista de atributos.
2	Entrada de veículos na praça de pedágio	Permite a criação de entidades para todos os tipos de veículos e dos respectivos números de eixos usando as distribuições de probabilidade da variável de tempo entre chegadas de veículos.
3	Deslocamento de entidade até um ponto de alinhamento com as cabines manuais e AVI	Transfere uma entidade do ponto de partida no modelo de simulação para a estação seguinte, onde se tem o alinhamento as cabines manuais e AVI. Neste passo é definido um tempo de atraso para transferir a entidade para a próxima estação.
4	Atribuição dos valores de tempo de atendimento e percentual de escolha às cabines manuais e AVI	Permite processos de tomada de decisão no sistema com base na condição do tipo de veículo. Em seguida é atribuído para cada tipo de veículos as respectivas distribuições de probabilidade das variáveis tempo de atendimento na cabine e percentagem de escolha de cabines manuais e AVI.
5	Ponto de escolha das cabines manuais ou AVI	Esta parte permite processos de tomada de decisão no sistema com base em uma ou mais probabilidades.
6	Deslocamento de entidade até um ponto de alinhamento com as cabines AVI	Transfere uma entidade do ponto de alinhamento com as cabines manuais e AVI para a estação seguinte, onde se tem o alinhamento as cabines AVI. Em seguida a entidade é transferida para alguma das cabines AVI existentes com base na lógica de seleção definida com o módulo. O processo de seleção da cabine AVI é baseado no valor mínimo de uma variedade de variáveis: número de veículos nas filas, número de veículos nas rotas para as cabines e do número de recursos ocupados. Vale ressaltar que nessas cabines AVI, com leitores automáticos de cartão de pedágio, não há intervenção humana ou recursos ocupados.
7	Passagem de entidade pela cabine AVI	Representa a passagem da entidade por alguma cabine AVI, em que não há intervenção humana ou recursos ocupados. Portanto, não haverá tempo de atendimento e, conseqüentemente, não se espera veículos nas filas.
8	Deslocamento de entidade até um ponto de alinhamento com as cabines manuais	Transfere uma entidade do ponto de alinhamento com as cabines manuais e AVI para a estação seguinte, onde se tem o alinhamento às cabines manuais. Em seguida a entidade é transferida para alguma das cabines manuais existentes com base na lógica de seleção definida com o módulo. O processo de seleção da cabine manual é baseado no valor mínimo de uma variedade de variáveis: número de veículos nas filas, número de veículos nas rotas para as cabines e número de recursos ocupados.
9	Passagem de entidade pela cabine manual	Representa a passagem da entidade por alguma cabine manual. As opções para apreender e liberar restrições de recursos estão disponíveis e o tempo de processo é alocado à entidade, sendo considerado como o tempo de atendimento na cabine.
10	Saída de veículos da praça de pedágio	Após a saída das cabines manuais ou AVI, esta parte representa o ponto final para as entidades num modelo de simulação. As estatísticas de entidade são então registradas antes que a entidade seja descartada.

Tabela 2: Classificação dos veículos da PPP da MG-050 (Adaptação de SETOP, 2016b).

Categoria	Tipo de Veículos	Nº de Eixos
CAT_1	Automóvel e caminhoneta	2
CAT_2	Caminhão leve, ônibus, caminhão-trator e furgão	2
CAT_3	Automóvel com semirreboque e caminhonete com semirreboque	3
CAT_4	Caminhão, caminhão-trator, caminhão-trator com semirreboque e ônibus	3
CAT_5	Automóvel com reboque e caminhonete com reboque	4
CAT_6	Caminhão com reboque e caminhão-trator com semirreboque	4
CAT_7	Caminhão com reboque e caminhão-trator	5
CAT_8	Caminhão com reboque e caminhão-trator com semirreboque	6
CAT_9	Motocicleta, motoneta e bicicleta a motor	2
VEIC_ESP	Veículos especiais	Mais de 6

Tabela 3: Percentual de escolha de cabines por categoria e tipo de arrecadação.

Arrecadação	Categoria									Total	Percentual
	Cat1	Cat2	Cat3	Cat4	Cat5	Cat6	Cat7	Cat8	Cat9		
AVI	532	192	1	111	0	61	156	226	0	1279	24,77%
Evasão	1	0	0	0	0	0	2	1	0	5	0,09%
Isentos	31	3	0	0	0	0	0	0	0	34	0,65%
Manual	3073	320	9	139	1	44	65	45	149	3846	74,48%
Total	3637	515	11	250	2	106	223	271	149	5163	100,00%

Tabela 4: Tempo de deslocamento no sistema.

Cabine	Tempo de deslocamento (s)		
	Desaceleração	Aceleração	Total
Manual	21,3	21,3	42,5
AVI	13,3	13,3	26,6

Tabela 5. Variáveis do sistema.

Categoria de veículos	Tempo entre chegadas (minutos por veículo)	Tempo de atendimento (segundos por veículo)	Porcentagem para cabines AVI (% True)
CAT_01	EXPO(0.19)	1.5 + LOGN(11, 9.12)	15
CAT_02	EXPO(2.14)	5 + ERLA(20, 3)	37
CAT_03	EXPO(150)	1.5 + LOGN(11, 9.12)	11
CAT_04	EXPO(2.83)	5 + ERLA(20, 3)	44
CAT_05	EXPO(300)	1.5 + LOGN(11, 9.12)	25
CAT_06	EXPO(30)	5 + ERLA(20, 3)	58
CAT_07	EXPO(9.09)	5 + ERLA(20, 3)	70
CAT_08	EXPO(5.45)	5 + ERLA(20, 3)	83
CAT_09	EXPO(2.65)	1.5 + LOGN(11, 9.12)	0
VEIC_ESP	EXPO(6000000)*	5 + ERLA(20, 3)	50

*Não houve fluxo de veículos especiais no horário de pico analisado, sendo adotada uma distribuição de probabilidade que indica um tempo entre chegadas que tende ao infinito.

Tabela 6: Calibração do cenário atual.

Instância	Tempo de aquecimento (minutos)	Fluxo de veículos (veículos por hora)		
		Simulação	Real	Erro médio
1	0,0	401	395	1,62%
2	0,5	400	395	1,37%
3	1,0	395	395	0,10%
4	1,5	391	395	0,91%
5	2,0	386	395	2,18%

Tabela 7: Resultados de tempos para cada categoria de veículo.

Categoria	Número de veículos	Tempo de atendimento (s)	Tempo de espera na fila (s)	Tempo de deslocamento (s)	Tempo total (s)
CAT_01	300,63	10,69	3,36	47,23	61,27
CAT_02	27,80	41,96	2,20	44,34	88,50
CAT_03	0,93	12,90	12,26	37,10	62,26
CAT_04	22,43	37,28	3,32	44,74	85,33
CAT_05	0,77	6,57	5,42	35,32	47,32
CAT_06	2,53	29,99	3,66	44,91	78,56
CAT_07	6,33	21,37	0,94	39,34	61,65
CAT_08	10,43	13,38	0,73	40,82	54,93
CAT_09	22,70	12,60	4,50	49,19	66,29
VEIC_ESP	0,60	41,90	8,51	33,69	84,10

Tabela 8: Tempos de espera e tamanho das filas por cabine de atendimento.

Cabine	Nº de veículos atendidos	Tempo médio de espera na fila (s)	Tempo máximo de espera na fila (s)	Número médio de veículos na fila	Número máximo de veículos na fila
AVI 1	18	0,00	2,43	0,00	1
AVI 2	62	0,00	2,27	0,00	1
Manual 3	54	2,27	141,37	0,03	3
Manual 4	72	2,65	150,29	0,05	3
Manual 5	89	3,92	226,81	0,10	3
Manual 6	100	6,36	195,37	0,18	3