



PROCEDIMENTO METODOLÓGICO PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE PRAÇAS DE PEDÁGIO COM USO DE SIMULAÇÃO

Túlio Silveira Santos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientadores: Licínio da Silva Portugal

Paulo Cezar Martins Ribeiro

Rio de Janeiro

Junho de 2017

PROCEDIMENTO METODOLÓGICO PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE
PRAÇAS DE PEDÁGIO COM USO DE SIMULAÇÃO

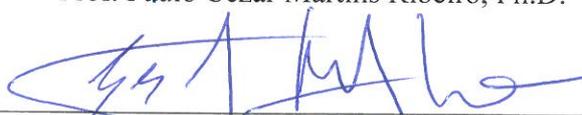
Túlio Silveira Santos

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Examinada por:



Prof. Paulo Cezar Martins Ribeiro, Ph.D.



Prof. Glaydston Mattos Ribeiro, D.Sc.



Prof. Elton Fernandes, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JUNHO DE 2017

Santos, Túlio Silveira

Procedimento metodológico para avaliação de desempenho de praças de pedágio com uso de simulação/
Túlio Silveira Santos. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

XVII, 189 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Licínio da Silva Portugal

Paulo Cezar Martins Ribeiro

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 127-132.

1. Praças de pedágio. 2. Modelagem por simulação. 3. Nível de serviço. I. Portugal, Licínio da Silva *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Antônio e Regina, por todo amor, pela confiança em mim depositada e, sobretudo, por terem se empenhado tanto para proporcionar-me a realização deste sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me abençoar sempre. A ele toda gratidão por ser o pai nos momentos de alegria, por ser o caminho nos momentos de incertezas e por ser o refúgio nos momentos necessários.

Aos meus pais, Antônio e Regina, obrigado pelos ensinamentos diários, pelas palavras de amor e compreensão nos momentos mais difíceis. Não conseguiria sem o auxílio de vocês. Aos meus irmãos, Tony e Taciana, pelo carinho e companheirismo em todos os momentos, fundamentais nessa caminhada. A toda minha família por acreditar no meu esforço e me confortar com palavras de incentivo.

Aos professores Licínio da Silva Portugal e Paulo Cezar Martins Ribeiro, pela orientação na realização deste trabalho. A vocês, especiais em sua singularidade, porém, sempre empenhados em transmitir uma das maiores virtudes humanas: o conhecimento.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) pelo apoio, convívio e amizade.

Ao professor Glaydston Mattos Ribeiro e aos mestrandos Ígor Maranhão e Verônica Ghisolfi, pelo apoio e pelas sugestões dadas à pesquisa.

Aos amigos de mestrado, que foram companheiros nessa conquista pelas palavras de incentivo e pelos momentos de descontração.

À equipe do Projeto PNCT, por toda a amizade, companheirismo e conhecimento adquirido. Ao professor Rômulo Dante Orrico Filho e ao engenheiro Saul Germano Rabello Quadros, pela confiança e por todo conhecimento transmitido.

À Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas de Minas Gerais – SETOP/MG, especialmente ao administrador público Felipe Melo, pela gentileza de prover todas as informações para a aplicação do estudo de caso desta pesquisa.

À concessionária AB Nascentes das Gerais pelo auxílio durante visitas em campo para coleta de dados.

À engenheira Raquel Mourão pela amizade e pela predisposição de coletar dados em campo. Sua ajuda foi imprescindível em todas as vezes que eu não podia ir à Minas Gerais.

Aos professores Glaydston Mattos Ribeiro e Elton Fernandes por aceitarem participar da banca e por toda contribuição para aprimoramento da pesquisa.

À CAPES pelo suporte financeiro sob a forma de bolsas de mestrado e de produtividade em pesquisa.

À cidade do Rio de Janeiro pela hospitalidade e a todos os amigos que conheci nessa cidade.

EPÍGRAFE

“O SENHOR é o meu pastor, nada me faltará.”

Salmo 23.1

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

PROCEDIMENTO METODOLÓGICO PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE
PRAÇAS DE PEDÁGIO COM USO DE SIMULAÇÃO

Túlio Silveira Santos

Junho/2017

Orientadores: Lício da Silva Portugal

Paulo Cezar Martins Ribeiro

Programa: Engenharia de Transportes

As praças de pedágio são frequentemente caracterizadas como um trecho potencial de gargalo, devido ao processo de cobrança em pontos específicos da via. No contrato de concessão de rodovias, o gestor público requer o cumprimento de medidas de eficiência do concessionário. No entanto, nem todas concessões de rodovias vigentes no Brasil possuem aferição de medidas de desempenho relacionadas às praças de pedágio. Além do mais, a bibliografia de Engenharia de Tráfego não aborda de forma específica conceitos relacionados às praças de pedágio. Dessa forma, foi criado um procedimento metodológico para avaliar o desempenho de praças de pedágio e as perspectivas para implantação (ou não) de intervenções alternativas no sistema. Esse procedimento conta, fundamentalmente, com a técnica de modelagem por simulação e a medida de desempenho de nível de serviço. O procedimento foi aplicado em um estudo de caso, envolvendo a praça de pedágio de Itaúna/MG, e os resultados indicam que a praça de pedágio analisada se encontra em boas condições de operação, visto que o nível de serviço obtido reflete que o fluxo veicular é ainda inferior a capacidade do sistema. Entretanto, a possibilidade do pagamento da tarifa mediante o conceito de rodovias de pedágio aberto ou *free-flow* apresentaria grandes vantagens aos usuários, na qual se pode observar uma significativa redução do tempo necessário para cruzar a praça de pedágio em estudo.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

METHODOLOGICAL PROCEDURE FOR THE EVALUATION OF
PERFORMANCE OF TOLL PLAZAS WITH SIMULATION USE

Túlio Silveira Santos

June/2016

Advisors: Licinio da Silva Portugal

Paulo Cezar Martins Ribeiro

Department: Transportation Engineering

Toll plazas are often characterized as a potential stretch of bottleneck, due to the tariff collection process at specific points of the road. In the highway concession contract, the public manager requires compliance with efficiency measures of the concessionaire. However, not all highway concessions in Brazil have an evaluation system of performance measures related to toll plazas. In addition, the Traffic Engineering literature does not specifically approach concepts related to toll plazas. Thus, a methodological procedure was created to evaluate the performance of toll plazas and the prospects for the implementation (or not) of alternative interventions in the system. This procedure relies essentially on the simulation modeling technique and the performance measure of level of service. The procedure was applied in a case study, involving the toll plaza of Itaúna/MG, and the results indicate that the toll plaza is in good operating condition, since the level of service obtained reflects that the vehicular flow is still lower than the capacity of the system. However, the possibility of paying the toll rate through the concept of open road tolling or free-flow would present great advantages to users, in which a significant reduction of the time needed to cross the toll plaza under study can be observed.

SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
1.1	Objetivos	4
1.2	Justificativa.....	5
1.3	Estrutura da dissertação	6
2	Conceitos e caracterização de praças de pedágio.....	9
2.1	Tipos e configurações de praças de pedágio.....	12
2.1.1	Métodos convencionais de cobrança de pedágio.....	12
2.1.2	Sistema AVI	13
2.1.3	Rodovias de pedágio aberto ou free-flow.....	15
2.2	Atributos de praças de pedágio	18
2.2.1	Extensão da praça de pedágio.....	19
2.2.2	Número de cabines	20
2.2.3	Modalidade de cobrança.....	22
2.2.4	Capacidade.....	22
2.3	Variáveis associadas às praças de pedágio	24
2.3.1	Chegada de veículos	26
2.3.2	Tempo de atendimento	26
2.3.3	Percentual de escolha de cabines.....	30
2.3.4	Tempo de deslocamento	30
2.4	Medidas de desempenho.....	32
2.4.1	Tempo gasto no sistema ou na fila	33
2.4.2	Comprimento da fila.....	34
2.4.3	Nível de Serviço	34
3	Modelagem por simulação.....	39
3.1	Caracterização da simulação	40
3.2	Modelos para a simulação	41
3.3	Vantagens e desvantagens da simulação.....	43
3.4	Metodologia da simulação.....	44
3.5	Simulação de eventos discretos	45
3.5.1	Considerações iniciais	45
3.5.2	Ferramentas de simulação de eventos discretos	46
3.5.3	Coleta, tabulação e análise dos dados de entrada	49

3.5.4	Criação de modelos de simulação	50
3.6	O simulador Arena	53
4	Procedimento metodológico proposto	55
4.1	Passo I – Caracterização da praça de pedágio e análise dos dados.....	57
4.1.1	Caracterização da praça de pedágio.....	57
4.1.2	Levantamento de dados	58
4.1.3	Tabulação e análise dos dados.....	58
4.2	Passo II – Modelagem da praça de pedágio por simulação	59
4.2.1	Definição dos cenários para simulação da situação atual.....	59
4.2.2	Modelo de simulação.....	60
4.2.3	Estimativas de desempenho do modelo de simulação.....	73
4.3	Passo III – Verificação e validação do modelo de simulação	74
4.3.1	Estimativas de desempenho nos registros da concessionária	74
4.3.2	As estimativas são consistentes?	74
4.3.3	Necessidade de calibração do modelo	75
4.3.4	Análise dos resultados parciais.....	75
4.4	Passo IV – Verificação quanto ao atendimento ao nível de serviço	75
4.4.1	Nível de serviço de praças de pedágio.....	76
4.4.2	Os resultados atendem ao nível de serviço?	76
4.4.3	Definição de cenários futuros com projeção do tráfego	76
4.4.4	Proposição de intervenções alternativas e criação de novos cenários.....	77
4.5	Passo V – Perspectivas para implantação de intervenções alternativas ...	78
4.5.1	Modelo de simulação com os novos cenários	78
4.5.2	Relatório gerencial com análise dos resultados.....	78
5	Aplicação do procedimento: Estudo de caso.....	80
5.1	Praça de Pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste.....	86
5.1.1	Passo I – Caracterização da praça de pedágio e análise dos dados	86
5.1.2	Passo II – Modelagem da praça de pedágio por simulação.....	104
5.1.3	Passo III – Verificação e validação do modelo de simulação	108
5.1.4	Passo IV – Verificação quanto ao atendimento ao nível de serviço.....	113
5.1.5	Passo V – Perspectivas de implantação de intervenções alternativas	118
5.2	Considerações finais	121
6	Conclusões e recomendações	123
6.1	Conclusões	123

6.2	Recomendações	125
	Referências bibliográficas.....	127
	Anexos.....	133
	Anexo A – Liberação do pagamento do pedágio (ANTT).....	133
	Anexo B – Testes de Aderência.....	134
	Anexo C – Valores de Distribuição Qui-Quadrado	135
	Apêndices.....	137
	Apêndice A – Dados de tráfego de junho de 2008 a dezembro de 2014.....	137
	Apêndice B – Dados de tráfego mensal de 2014.....	144
	Apêndice C – Dados de tráfego diário de dezembro de 2014.....	145
	Apêndice D – Dados de tráfego das segundas-feiras de dezembro/2014	146
	Apêndice E – Tempo de atendimento com base nas filmagens.....	147
	Apêndice F – Dados de tráfego por categoria e por tipo de arrecadação.....	164
	Apêndice G – Simulação do cenário atual (Tempo de aquecimento de 0 min.)	169
	Apêndice H – Simulação do cenário atual (Tempo de aquecimento de 1 min.)	176
	Apêndice I – Simulação do cenário futuro (Tempo de aquecimento de 1 min.)	183

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Processos existentes na operação de praças de pedágio	10
Figura 2.2: Cabine com coleta manual em espécie	13
Figura 2.3: Identificação automática de veículo (AVI).....	14
Figura 2.4: Rodovias de pedágio aberto ou free-flow	16
Figura 2.5: Elementos de projeto do layout de uma praça de pedágio	19
Figura 2.6: Dimensionamento do número de cabines	21
Figura 2.7: Capacidade por faixa e por tipo de cobrança	24
Figura 2.8: Limites adotados para os valores de aceleração.....	32
Figura 3.1: Classificação dos modelos usados em simulação	42
Figura 3.2: Etapas de um estudo de simulação.....	44
Figura 3.3: Técnicas de simulação usadas na literatura.....	46
Figura 3.4: Exemplo de modelo conceitual de simulação	51
Figura 4.1: Esquema geral do procedimento metodológico proposto	56
Figura 4.2: Exemplo de estrutura de praça de pedágio	58
Figura 4.3: Esquema geral do fluxograma utilizado no Arena.....	64
Figura 4.4: Parte 1 do fluxograma utilizado no Arena	65
Figura 4.5: Parte 2 do fluxograma utilizado no Arena	66
Figura 4.6: Parte 3 do fluxograma utilizado no Arena	67
Figura 4.7: Parte 4 do fluxograma utilizado no Arena	68
Figura 4.8: Parte 5 do fluxograma utilizado no Arena	69
Figura 4.9: Parte 6 do fluxograma utilizado no Arena	69
Figura 4.10: Parte 7 do fluxograma utilizado no Arena	70
Figura 4.11: Parte 8 do fluxograma utilizado no Arena	71
Figura 4.12: Parte 9 do fluxograma utilizado no Arena	72
Figura 4.13: Parte 10 do fluxograma utilizado no Arena	72
Figura 4.14: Parâmetros de projeto e coleta de estatísticas	73
Figura 5.1: Concessão patrocinada das rodovias MG-050, BR-265 e BR-491	81
Figura 5.2: Mapa do sistema concedido e bases de apoio da concessionária.....	82
Figura 5.3: Evolução do tráfego nas praças de pedágio no sentido leste	84
Figura 5.4: Evolução do tráfego nas praças de pedágio no sentido oeste	84
Figura 5.5: Tráfego total nas 06 praças de pedágio	85
Figura 5.6: Tráfego na praça de pedágio de Itaúna/MG.....	85

Figura 5.7: Localização da praça de pedágio de Itaúna/MG	87
Figura 5.8: Praça de pedágio de Itaúna/MG no sentido leste	88
Figura 5.9: Configuração da praça de pedágio de Itaúna/MG no pico da manhã	88
Figura 5.10: Tráfego mensal da praça de pedágio de Itaúna/MG em 2014.....	91
Figura 5.11: Volumes diários da praça de pedágio de Itaúna em dezembro de 2014	92
Figura 5.12: Segundas-feiras de dezembro de 2014.....	92
Figura 5.13: Volumes médios horários das segundas-feiras de dezembro de 2014.....	93
Figura 5.14: Ajuste de distribuição para o tempo de atendimento de veículos leves.....	97
Figura 5.15: Ajuste de distribuição para o tempo de atendimento de veículos pesados	98
Figura 5.16: Sinalização vertical para veículos isentos.....	100
Figura 5.17: Sinalização vertical para evasão de pedágio	101
Figura 5.18: Velocidade limite fora dos limites da praça de pedágio	103
Figura 5.19: Fluxograma utilizado no Arena para a praça de pedágio de Itaúna/MG .	106
Figura 5.20: Animação de um dos instantes da simulação do cenário atual	107
Figura 5.21: Representação de cada categoria.....	110
Figura 5.22: Ocupação das cabines e número de veículos atendidos.....	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Comprimento mínimo das áreas de transição e da zona de afastamento.....	20
Tabela 2.2: Categoria de veículos da ANTT	25
Tabela 2.3: Métodos utilizados para aferição do tempo de atendimento	26
Tabela 2.4: Valores típicos de tempo de atendimento.....	28
Tabela 2.5: Influência de diversos fatores no tempo de atendimento	29
Tabela 2.6: Nível de serviço relativo às praças de pedágio.....	35
Tabela 2.7: Evolução do HCM.....	36
Tabela 2.8: Escalas de níveis de serviço em praças de pedágio	37
Tabela 3.1: Algumas ferramentas de simulação disponíveis.....	48
Tabela 4.1: Elementos utilizados no fluxograma utilizado no Arena.....	62
Tabela 5.1: Praças de pedágio da PPP da rodovia MG-050	82
Tabela 5.2: Tráfego anual das praças de pedágio por sentido de tráfego.....	83
Tabela 5.3: Classificação dos veículos na concessão patrocinada da rodovia MG-050.	90
Tabela 5.4: Volumes médios horários no pico da manhã (07h-08h).....	94
Tabela 5.5: Tempo entre chegadas e distribuição de probabilidade.....	95
Tabela 5.6: Tempo de atendimento por categoria	96
Tabela 5.7: Tempo de atendimento por veículos leves e pesados	96
Tabela 5.8: Distribuição de probabilidade do tempo de atendimento por categoria	99
Tabela 5.9: Percentual de escolha de cabines por categoria e tipo de arrecadação.....	101
Tabela 5.10: Percentual de escolha de cabines sem os dados de evasão.....	102
Tabela 5.11: Tempo de deslocamento no sistema	103
Tabela 5.12: Variáveis do sistema para o cenário atual	105
Tabela 5.13: Análise de consistência do cenário atual	109
Tabela 5.14: Calibração do cenário atual	109
Tabela 5.15: Resultados de tempos para cada categoria de veículo.....	111
Tabela 5.16: Tempos de espera e tamanho das filas por cabine de atendimento	111
Tabela 5.17: Número de veículos atendidos e taxa de ocupação dos arrecadadores....	112
Tabela 5.18: Aferição do nível de serviço para o cenário atual	114
Tabela 5.19: Dados de tráfego existentes e fatores de expansão.....	115
Tabela 5.20: Projeção do tráfego no horário de pico.....	116
Tabela 5.21: Tempo entre chegadas no cenário futuro.....	117
Tabela 5.22: Variáveis do sistema para o cenário futuro	118

Tabela 5.23: Aferição do nível de serviço para o cenário futuro	119
Tabela 5.24: Compilação dos dados de aferição do nível de serviço	121
Tabela 5.25: Resultados obtidos com o free-flow e comparação de cenários.....	122

LISTA DE SIGLAS

ACD – *Activity Cycle Diagram*
ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
AVI – *Automatic Vehicle Identification*
CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CNT – Confederação Nacional do Transporte
CODEMIG – Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais
COPPE – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
DER – Departamento de Estradas de Rodagem
ETC – *Electronic Toll Collection*
HCM – *Highway Capacity Manual*
HOV – *High Occupancy Vehicle*
ITS – *Intelligent Transportation Systems*
LOS – *Level of Service*
MG – Minas Gerais
OBU – *On-board Unit*
OCR – *Optical Character Recognition*
ORT – *Open Road Tolling*
PNCT – Plano Nacional de Contagem de Tráfego
PPP – Parceria Público-Privada
RFID – *Radio-Frequency Identification*
SETOP – Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas
TRB – *Transportation Research Board*
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

1 INTRODUÇÃO

A história do setor de infraestrutura rodoviária, utilizando rodovias pavimentadas, teve início no ano de 1861 com a inauguração da primeira estrada de rodagem do Brasil, intitulada Estrada União Indústria, ligando o estado do Rio de Janeiro ao de Minas Gerais. Desde então o modo rodoviário vem liderando a matriz de transportes no Brasil e tem afetado diretamente a acessibilidade de regiões e a mobilidade de pessoas e bens, contribuindo para o acesso a trabalho e renda (CNT, 2014).

Segundo Nabhan (2004), o governo buscou a associação com o setor privado, como uma alternativa para a viabilização de obras públicas, visando alocar os recursos técnicos, materiais e financeiros da iniciativa privada para a implementação de obras e serviços de interesse público. As diversas formas de envolvimento entre governo e iniciativa privada deram origem a vários modelos de parcerias, destacando-se o modelo de concessão. As concessões rodoviárias têm sido a alternativa estratégica mais viável para a manutenção das estradas em nível apropriado aos volumes de tráfego e abrangem diferentes formas de relacionamento entre o governo e a iniciativa privada com vistas ao desenvolvimento de infraestrutura e de serviços de interesse público.

De modo geral, a concessão de infraestrutura de transporte rodoviário engloba a construção total ou parcial de obras rodoviárias de interesse público, além de sua conservação, reforma, ampliação ou melhoramento. No final do prazo da concessão, os bens e a propriedade reverterem ao domínio público (Nabhan, 2004).

Segundo Neto (2009), a receita da concessionária vem de diferentes fontes de acordo com o tipo de concessão. Enquanto em uma concessão comum a receita vem diretamente da tarifa do pedágio, numa concessão administrativa a receita é toda repassada pelo próprio poder concedente. Já no caso da concessão patrocinada, comumente associada ao conceito de parceria público-privada (PPP) no Brasil, tem-se parte da receita advinda da tarifa do pedágio e a outra parte através de uma contraprestação pecuniária, que é o valor mensal a ser pago pelo poder concedente a concessionária em função de uma sistemática de indicadores de desempenho aplicados a concessionária.

Enquanto pedágio é o tributo cobrado 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 uma transação utilizando-se de alguma forma de pagamento (Aycin, 2006).

Leitão (2007) afirma que esse processo de cobrança em pontos específicos da via faz com que a praça de pedágio seja frequentemente caracterizada como um trecho potencial de gargalo. No contrato de concessão da operação dessas praças, o gestor público requer o cumprimento de medidas de eficiência do concessionário. Os requisitos de qualidade dos serviços prestados são variáveis de acordo com cada situação e conforme os termos estabelecidos nos contratos.

Para os usuários, Alvarenga (2010) afirma que o custo total associado ao pedágio vai além da tarifa. O autor informa que se deve levar em conta o custo adicional do tempo gasto na espera das filas, acarretando aumento do tempo de viagem, e ainda o gasto excedente com combustível proveniente do aumento de energia necessário para cruzar a região de interferência no perfil de velocidade dos veículos.

Observa-se ser crescente a implantação de praças de pedágio aliadas ao aumento exagerado da frota veicular circulante. Os concessionários se empenham no sentido de manter condições adequadas de serviço dessas estruturas, mas há uma necessidade crescente de mais estudos e informações que possibilitem operações mais eficientes aos seus gestores e usuários.

Face a esse aparecimento das concessões de rodovias como opção de Governo e da sociedade para fazer frente à vastidão de demandas de infraestrutura, verifica-se a necessidade de uma análise crítica do que poderá representar a técnica de compatibilizar interesses públicos e privados para estimular o desenvolvimento do país, de forma responsável e sustentável.

Segundo Barbosa (2013), a ampliação dos programas de concessão rodoviária sinaliza a tendência de se financiar as rodovias através da cobrança direta aos usuários. Apesar de promoverem substancial melhoria na conservação e operação das rodovias, os programas de concessão sempre foram questionados em relação às tarifas praticadas. Na busca por um modelo de cobrança de pedágio mais igualitário, avanços tecnológicos nos sistemas de arrecadação vêm sendo empregados ao redor do mundo. Embora o pagamento da tarifa

através de dinheiro nas praças de pedágio tenha sido a prática usual ao longo da história, com a evolução tecnológica, surgiram novas alternativas que a evidenciaram como uma forma lenta e pouco eficiente de cobrança de pedágio. As praças envolvem componentes numerosos e incluem: atendentes de pedágio, equipes de suporte, edificações de operação e administração, contagem de cédulas e moedas, dentre outros.

O autor afirma que 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. 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 têm 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. 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 (Barbosa, 2013).

Para Gallagher e Worrall (2005), a cobrança eletrônica de pedágio mudou drasticamente as operações de coleta de pedágio modernas. O sistema de cobrança eletrônica de pedágio faz parte das inúmeras inovações tecnológicas disponíveis atualmente no mercado, associadas aos sistemas de transportes inteligentes (ITS, do inglês *Intelligent Transportation Systems*). As tecnologias de ITS são capazes de melhorar a segurança do transporte e mobilidade, reduzir os impactos ambientais, e aumentar a produtividade através da integração de informações de meio de comunicações avançadas e de tecnologias eletrônicas na infraestrutura de transporte e veículos (Barbaresso *et al.*, 2014).

Nesta dissertação são abordados os principais conceitos e características de praças de pedágio e da simulação de praças de pedágio, além da criação de um procedimento metodológico que permite a avaliação de desempenho de praças de pedágio e das

perspectivas de implantação (ou não) de intervenções alternativas no sistema, a fim de possibilitar operações mais eficientes aos gestores de transportes e usuários da via.

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 contratos de concessão.

Ao final, um estudo de caso é proposto por meio da análise de uma das 6 (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, localizada no Km 81 da rodovia MG-050, 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 de Minas Gerais, que teve início de operação em junho de 2007, e tem por objeto a exploração das rodovias em um período de 25 anos.

A seguir, são apresentados os objetivos e a justificativa da pesquisa, seguindo-se da estrutura da dissertação.

1.1 Objetivos

O objetivo principal desta dissertação é o de avaliar o desempenho de praças de pedágio e as perspectivas para implantação (ou não) de intervenções alternativas no sistema. Para tanto, foi criado um procedimento metodológico para avaliar o desempenho operacional de praças de pedágio, a partir da técnica de modelagem por simulação discreta e da comparação dos resultados do modelo de simulação, devidamente calibrados, com as medidas de desempenho de praças de pedágio presentes na literatura, sobretudo o nível de serviço.

Nesse sentido, os objetivos específicos que esta pesquisa compreende são:

- Identificar na literatura os principais tipos e configurações de praças de pedágio, bem como dos principais atributos, variáveis e medidas de desempenho associados às praças de pedágio, com vistas a verificar os dados *input* e *output* do processo de modelagem por simulação de uma praça de pedágio;
- Analisar e comparar as diversas intervenções alternativas no sistema de praças de pedágio;

- Relacionar as ferramentas computacionais com potencial de análise de simulação de eventos discretos, bem como verificar a coleta de observações estatísticas, as técnicas de modelagem e os critérios de verificação e validação de modelos de simulação;
- Aplicar o procedimento metodológico em um estudo de caso com a intenção de reforçar o entendimento e a aceitação pelos órgãos gestores de transportes e concessionárias em geral; e
- Verificar, no estudo de caso proposto, os benefícios causados no sistema pela possibilidade de implantação de rodovias de pedágio aberto ou *free-flow*.

1.2 Justificativa

Conforme mencionado anteriormente, as praças de pedágio são frequentemente caracterizadas como um trecho potencial de gargalo, devido ao processo de cobrança em pontos específicos da via. Ao mesmo tempo, observa-se ser crescente a implantação de praças de pedágio aliadas ao aumento exagerado da frota veicular circulante.

Em um contrato de concessão rodoviária, espera-se que o gestor público requeira o cumprimento de medidas de eficiência operacional do concessionário e os concessionários devem se empenhar no sentido de manter condições adequadas de serviço dessas estruturas.

No entanto, nem todas as concessões de rodovias vigentes no país possuem aferição de medidas de desempenho operacional relacionadas às praças de pedágio. Na concessão sob Parceria Público-Privada da MG-050, por exemplo, os indicadores de desempenho estão divididos em quatro áreas (operacional, ambiental, social e financeira), entretanto, não se observa nenhum indicador de desempenho específico para aferição de desempenho operacional das praças de pedágio.

Por outro lado, a bibliografia de Engenharia de Tráfego está repleta de estudos sobre capacidade viária, tal como o Manual de Capacidade Rodoviária (HCM, do inglês *Highway Capacity Manual*), principal referência em diversos países para a análise da capacidade e do nível de serviço em rodovias, mas que, no entanto, não aborda de forma específica conceitos relacionados às praças de pedágio (Leitão, 2007). Além disso, verifica-se a necessidade crescente de mais estudos e informações que possibilitem operações mais eficientes aos gestores de transportes e usuários da via.

A questão relatada anteriormente intensifica a importância de perceber o sistema de pedágio como um instrumento complexo. Neste sentido, torna-se importante avaliar o desempenho de uma praça de pedágio, por meio da aplicação de um procedimento metodológico em um estudo de caso, reforçando o entendimento e a aceitação pelos órgãos gestores de transportes e concessionárias em geral.

Para a execução da modelagem por simulação do procedimento metodológico proposto, foi utilizado o *software* de simulação *Arena*, com a ressalva de que este é o simulador mais utilizado na simulação de eventos discretos no mundo e os conceitos de simulação são entendidos através da abordagem de uma simples modelagem por fluxogramas (PARAGON, 2017). Além do mais, o procedimento enfoca no objetivo da pesquisa, baseando-se em todo o referencial teórico apresentado, e aplica os processos relevantes para a avaliação de desempenho operacional de praças de pedágio e as perspectivas de implantação (ou não) de intervenções alternativas ao sistema. Tal procedimento tem relevância, na medida em que possui a capacidade de ser aplicável no contexto das rodovias sob concessão, ao mesmo tempo em que pode servir como um guia prático para as concessionárias de rodovias no que se refere a avaliação de desempenho operacional de praças de pedágio nas rodovias concedidas sob suas operações.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em 6 (seis) capítulos. No primeiro capítulo, apresenta-se esta introdução, que discorre sobre as considerações iniciais da pesquisa, envolvendo o tema e o problema desta dissertação, ao mesmo tempo em que são apresentados os objetivos e a justificativa da pesquisa.

No Capítulo 2 são feitas considerações sobre as praças de pedágio por meio de uma revisão bibliográfica acerca dos tipos e configurações de praças de pedágio existentes, envolvendo os métodos convencionais de cobrança de pedágio, sistemas equipados com AVI e as rodovias de pedágio aberto ou *free-flow*. Além disso, são apresentados os principais atributos, variáveis e medidas de desempenho associados às praças de pedágio. A análise ou avaliação de um sistema ou serviço de transporte, a partir de consideração e exame de seus atributos, dá-se pela consideração de medidas de desempenho calculados a partir do emprego de variáveis. É comum empregar essas variáveis de acordo com a

classificação de veículos, sendo apresentadas as entidades e respectivas classes, bem como da interferência dessas entidades nas atividades desenvolvidas na praça de pedágio.

A revisão da bibliografia segue no Capítulo 3, sendo apresentadas diversas considerações sobre modelagem por simulação. Neste capítulo são apresentadas as técnicas de modelagem disponíveis, bem como da caracterização da simulação, dos modelos para a simulação e as vantagens e desvantagens da simulação. As etapas da metodologia de simulação são expostas com a intenção de que um estudo de simulação seja bem sucedido. Em seguida, são feitas considerações sobre a simulação de eventos discretos, principalmente, relacionadas às ferramentas de simulação disponíveis, da coleta, tabulação e análise dos dados de entrada no sistema, além de um detalhamento dos modelos de simulação. Por fim, são apresentadas as funcionalidades do *software* de simulação *Arena*, que foi utilizado no modelo de simulação do procedimento metodológico proposto nesta dissertação.

O procedimento metodológico proposto para esta dissertação, que permite avaliar o desempenho operacional de praças de pedágio e identificar a necessidade de implantação (ou não) de intervenções alternativas no sistema, é descrito no Capítulo 4. Todo o referencial teórico foi utilizado como embasamento para a criação do procedimento metodológico proposto, a fim de se atingir os objetivos desta dissertação. O procedimento proposto consiste em uma série de etapas, representado por meio de 5 (cinco) passos, envolvendo: a caracterização da praça de pedágio e análise dos dados, a modelagem da praça de pedágio por simulação, a verificação e validação do modelo de simulação, a verificação quanto ao atendimento ao nível de serviço, seguindo-se das perspectivas para implantação de intervenções alternativas.

O Capítulo 5 dedica-se a aplicação do procedimento metodológico proposto 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 envolve a praça de pedágio de Itaúna/MG, seguindo-se da análise dos resultados encontrados para diferentes cenários analisados.

No Capítulo 6 são feitas as considerações finais do trabalho, com foco na avaliação de cumprimento dos objetivos propostos e nos principais resultados obtidos, além de

considerações e recomendações para trabalhos futuros. Por último, apresentam-se as referências bibliográficas utilizadas.

2 CONCEITOS E CARACTERIZAÇÃO DE PRAÇAS DE PEDÁGIO

Uma praça de pedágio compreende toda a região de interferência no fluxo dos veículos causada pela instalação das cabines de cobrança. Essa região é compreendida pelos pontos de alargamento e de estreitamento da pista e considera-se que a velocidade de fluxo dos veículos fora dos limites da praça de pedágio é a velocidade limite estabelecida (Alvarenga, 2010).

As praças de pedágio são, geralmente, construídas em vias expressas com fluxo de tráfego ininterrupto e de alta velocidade. No entanto, pela sua própria concepção, as praças de pedágio criam interrupções no fluxo e são potenciais pontos de estrangulamento ocorrendo desacelerações, acelerações e as vezes formação de filas (Dubedi *et al.*, 2012).

Cada praça de pedágio apresenta um projeto único que reflete, além das características locais, fatores operacionais e peculiares de cada concessionária. Essas características das praças de pedágio são definidas de acordo com as particularidades do tráfego que por ela passa e do tipo da via na qual é implantada (Schaufler, 1997; Faria e Campos, 2012). Para Leitão (2007), uma praça de pedágio é composta por estruturas, geralmente cabines ou barreiras físicas, que interagem com os veículos que por elas passam. Essas interações são necessárias para a realização do processo de cobrança na via, podendo ter as modalidades de cobrança manual, automática ou eletrônica (Harb *et al.*, 2010). A caracterização das modalidades de cobrança será vista em tópico mais adiante, relativo aos atributos das praças de pedágio.

Os processos operacionais que envolvem os veículos que passam por uma praça de pedágio, podem ser assim descritos: os veículos, ao se aproximarem da praça de pedágio, desaceleram até parar na cabine escolhida (para efetuar o pagamento, no caso das cabines manuais) ou até atingir uma velocidade de segurança (para o caso das cabines eletrônicas exclusivas e de certas cabines automáticas). Depois de interagirem com a cabine, os veículos voltam a acelerar e deixam a praça (Alvarenga, 2010).

Essas paradas impedem o fluxo contínuo do tráfego, aumentam o tempo total de viagem e potencialmente podem reduzir o nível de serviço da rodovia (Araújo, 2001). No entanto, diversas tecnologias têm sido implementadas com a intenção de reduzir o tempo gasto no pagamento da tarifa nas cabines, destacando-se as que identificam os veículos por meio

da leitura de *tags* por radiofrequência ou pelo reconhecimento ótico da placa do veículo. Nesses casos, os motoristas pagam as tarifas com os veículos em movimento, através do registro automático de sua passagem, resultando em benefícios econômicos e ambientais significativos.

O desempenho de uma praça de pedágio pode ser afetado por diversos fatores, destacando-se: capacidade de atendimento, distribuição de chegada de veículos, número de cabines disponíveis, comportamento dos motoristas, projeto geométrico da praças, dentre outros (Lin e Su, 1994).

De modo geral, a operação das praças de pedágio pode ser definida com base em 03 (três) processos, conforme ilustra a Figura 2.1.

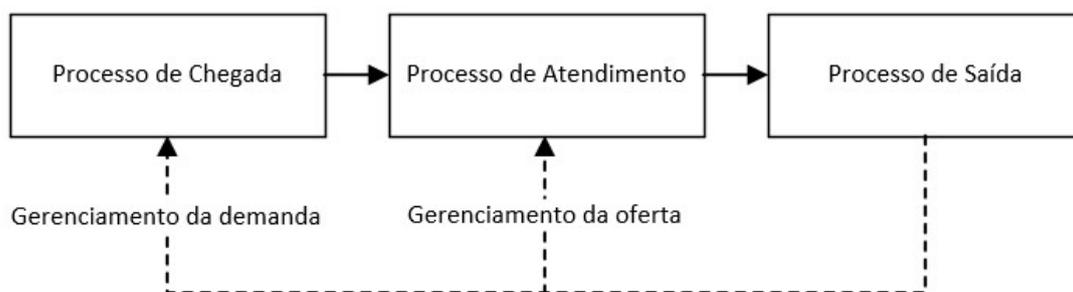


Figura 2.1: Processos existentes na operação de praças de pedágio

Fonte: Elaboração própria.

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.

O segundo processo (atendimento) compreende a prestação de serviço e é categorizado, principalmente, por atributos de praças de pedágio, tais como: número de cabines, modalidade de cobrança e capacidade.

De modo geral, os fatores intervenientes em entidades e atividades no modelo de simulação de praças de pedágio podem ser descritos da seguinte forma: os fluxos veiculares, classificados de acordo com a composição do tráfego, determinam padrões (distribuições e parâmetros estatísticos) distintos quanto às atividades de chegada e de atendimento. Por outro lado, cabines classificadas pela modalidade de cobrança, por

exemplo, participam e influenciam na realização de atividades desenvolvidas na praça de pedágio.

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 3 (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).

De acordo com Dahlgren (1999) e Cruz (2006), a redução de congestionamento através do controle da demanda tem sido feita pela cobrança de tarifas diferenciadas de acordo com o período do dia e a isenção da cobrança para veículos com alta ocupação (HOV, do inglês *High Occupancy Vehicle*). Nos Estados Unidos, essa cobrança de tarifas diferenciadas cumpre a função de limitar a utilização das rodovias nos horários de pico, e com isso, aumenta a eficácia do sistema, já que a taxa sobre congestionamentos é defendida pelos economistas e especialistas em transportes como uma ferramenta útil para aliviar o congestionamento do tráfego (Adler e Cetin, 2001). A restrição de tráfego, sobretudo de veículos de carga, tem sido uma medida de gestão de transportes que proporciona a redução de congestionamentos durante alguns períodos do dia ou em alguns dias da semana (Porto, 2015). Tal medida é aplicada geralmente em ambiente urbano, podendo ser útil no controle de demanda de rodovias pedagiadas.

Por outro lado, o aumento da capacidade de atendimento pode ser realizado pelo incremento do número de cabines ou da implantação de outras intervenções alternativas no sistema, permitindo assim que mais veículos atravessem os locais de pedágio. Segundo Araújo (2001), existem 3 (três) alternativas básicas para aumentar a capacidade sem aumentar a largura da praça existente, a constar da construção de cabines ramificadas, da construção de cabines reversíveis e da construção de cabines em tandem, que consiste no

alinhamento de duas cabines em uma mesma faixa de tráfego. Além do mais, o aumento da capacidade de atendimento pode ser feito através da alteração da modalidade de cobrança de uma ou mais cabines de pedágio.

A seguir são apresentados os tipos e configurações de praças de pedágio existentes, seguindo-se dos principais atributos, variáveis e medidas de desempenho associados às praças de pedágio.

2.1 Tipos e configurações de praças de pedágio

As praças de pedágio possuem diferentes tipos, principalmente, no que diz respeito às modalidades de pagamento, e com base em diferentes autores (Gallagher e Worrall, 2005; Barbosa, 2013), podem assumir as seguintes configurações tecnológicas:

- Coleta manual em espécie.
- Pagamento automático.
- Mix de coleta manual e sistema AVI.
- Apenas sistema AVI com cancela.
- Rodovias de pedágio aberto ou *free-flow*.

Antes de caracterizar as modalidades de pagamento, se faz necessário descrever os métodos convencionais de cobrança de pedágio, o sistema AVI e o sistema de rodovias de pedágio aberto (ou *free-flow*), de acordo com os subitens a seguir.

2.1.1 Métodos convencionais de cobrança de pedágio

Os métodos convencionais de cobrança de pedágio incorporam as cabines com coleta manual e as cabines com pagamento automático. As cabines com coleta manual em espécie (Figura 2.2) são aquelas que precisam de um arrecadador para realizar o processamento dos veículos, enquanto que as cabines com pagamento automático são aquelas em que o pagamento é feito através de uma máquina que aceita fichas, moedas ou cartão, não havendo a necessidade de um arrecadador (Araújo, 2001; Tiefensee, 2005).



Figura 2.2: Cabine com coleta manual em espécie

Fonte: G37 (2012).

De acordo com Oliveira (2004), quanto maior for o envolvimento humano no processo de pagamento de pedágios, maior será o tempo de atendimento dos veículos.

2.1.2 Sistema AVI

Conforme já foi mencionado, os sistemas de identificação automática de veículos (AVI) 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. Esses sistemas são formados por um conjunto de componentes e processos para a identificação do veículo e de seus proprietários, conforme ilustra a Figura 2.3.

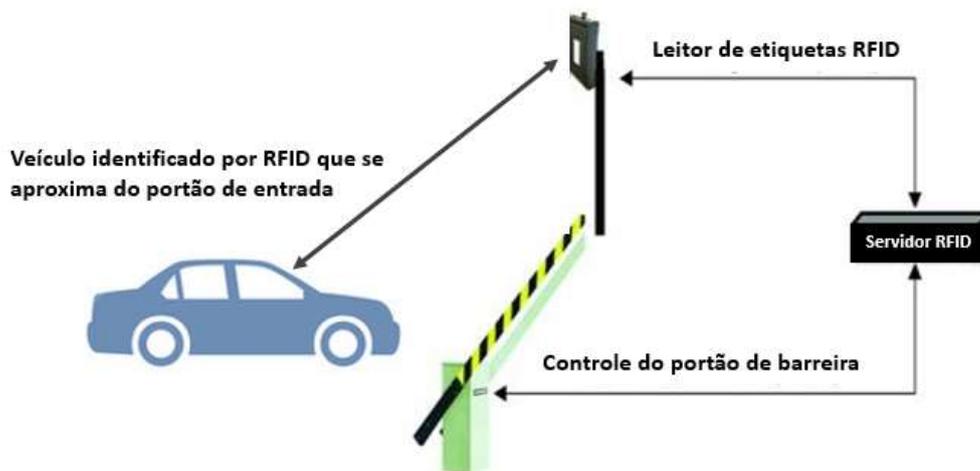


Figura 2.3: Identificação automática de veículo (AVI)

Fonte: Adaptação de *Auto Rental* (2010).

A identificação dos veículos em rodovias com AVI teve início nos Estados Unidos, em meados de 1986. No Brasil, o Estado de São Paulo iniciou a fase de testes em junho de 2000, quando deu-se início à fase de operação comercial controlada. Durante essa fase, veículos comerciais previamente selecionados foram equipados com etiquetas eletrônicas (*tags*) com a intenção de testar a tecnologia escolhida, e com isso ajustar alguns parâmetros técnicos operacionais necessários para torná-la disponível para outras praças de pedágio (Alvarenga, 2010).

A identificação dos veículos em rodovias com AVI pode ser conduzida de duas maneiras diferentes, seja através da leitura de *tags* por radiofrequência, seja pelo reconhecimento ótico da placa do veículo. Em ambos os sistemas, após a identificação do veículo, um sistema computacional automaticamente deduz o pedágio de contas cadastradas pelos condutores, ou emite uma fatura para pagamento posterior do valor devido (Barbosa, 2013).

A tecnologia RFID, do inglês *Radio-Frequency Identification*, é usada em todas as áreas que necessitam da captura automática de dados, permitindo a identificação de objetos sem contato físico, via radiofrequência, com aplicações que variam de sistemas de pagamento

via internet, seguros, a automatização industrial e o controle de acesso (Finkenzeller, 2003).

Segundo o autor, essa tecnologia já se tornou comum nos pedágios de algumas rodovias. Ao invés de os carros pararem, uma etiqueta eletrônica (*transponder* ou OBU, do inglês *On-board Unit*) é colocada no para-brisa do veículo, enviando seu código de identificação para as antenas ou leitores eletrônicos localizados na cabine de cobrança.

Dessa forma, o termo RFID é um termo genérico para as tecnologias que utilizam frequências de rádio para captura de dados. Os sistemas RFID atuam quando uma *tag* entra no campo de atuação da antena do leitor que a energiza. Ao término da energização da *tag*, forma-se o sinal de rádio frequência que permite o envio dos dados para a antena do leitor que capta o sinal (Finkenzeller, 2003). A transação completa ocorre quando os veículos percorrem a área de cobertura do sistema e passam pela abertura da cancela. O comprimento dessa área e a distância de comunicação são determinados pela sensibilidade do receptor, pelo tipo de antena, pelo local e pela potência transmitida, não sendo maior que 40 metros (Alvarenga, 2010).

Segundo Alvarenga (2010), a utilização de sistemas de transportes inteligentes (ITS) na identificação automática dos veículos (AVI) tem se mostrado um interessante meio de pagamento da tarifa de pedágio. No Brasil, o uso dessa tecnologia, aplicada na forma de cobrança eletrônica do pedágio (ETC), permite que o usuário realize o pagamento da tarifa em movimento, a uma velocidade recomendada, não sendo necessária a parada para que seja efetuada a cobrança.

A velocidade de cobrança recomendada para operação de cobrança eletrônica no Brasil é de 40 km/h (Alvarenga, 2010). Isso se dá pela localização próxima entre as faixas AVI e as cabines de cobrança manual, o que envolve o risco de acidentes, pois essa tecnologia possibilita o reconhecimento de veículos a velocidades superiores a 200 km/h.

2.1.3 Rodovias de pedágio aberto ou *free-flow*

A incorporação de novas tecnologias e a utilização de sistemas de transportes inteligentes (ITS) têm sido largamente utilizadas para monitoramento e melhoria do tráfego (Alvarenga, 2010). Uma dessas tecnologias tem sido empregada na forma de passagem livre, denominada rodovias de pedágio aberto (ORT, do inglês *Open Road Tolling*) ou

free-flow, na qual a identificação é realizada com o veículo na velocidade normal de tráfego.

A Figura 2.4 ilustra um exemplo de sistema de cobrança eletrônica (ETC) de pedágio realizado através de rodovias de pedágio aberto ou *free-flow*.



Figura 2.4: Rodovias de pedágio aberto ou *free-flow*

Fonte: ITS International (2009).

Segundo Barbosa (2013), os sistemas ORT ou *free-flow* são mais do que uma simples evolução da identificação automática de veículos (AVI) atualmente disponível nas praças de pedágio do país, que possibilita a cobrança eletrônica da tarifa com pagamento posterior através de boleto ou débito em conta. Além do mais, esses sistemas oferecem a oportunidade para os operadores de infraestrutura de pedágio de fornecer uma quantidade substancialmente maior de capacidade de tráfego do que qualquer outra forma atualmente disponível de cobrança de pedágio.

O autor afirma que uma das principais diferenças do sistema ORT para o sistema AVI atualmente em uso está na necessidade de garantia da captura contínua, estando o veículo em qualquer posição dentro da zona de coleta, geralmente com mais de uma faixa de tráfego. Esta necessidade se dá devido à inexistência de canalização do fluxo de veículo, como ocorre nas praças de pedágio, uma vez que a identificação e a tarifação do veículo ocorrem em seção típica da via.

Em um ambiente aberto e de fácil acesso como rodovias com sistemas *free-flow*, é importante que as autoridades entendam os aspectos técnicos, da legislação e das necessidades dos operadores e usuários com a intenção de alcançar melhor segurança da receita (menor evasão de renda), de uma adequada mobilidade, da satisfação do usuário quanto ao serviço prestado e do financiamento da infraestrutura rodoviária disponibilizada (Barbosa, 2013).

A instalação do *free-flow* gera ganhos consideráveis para toda a cadeia de envolvidos nesse sistema (Alvarenga, 2010). Os usuários são beneficiados diretamente pela redução do tempo de espera para pagamento da tarifa e pela redução do consumo de combustível, enquanto que as concessionárias são beneficiadas pela redução dos custos operacionais e administrativos envolvidos na manutenção da praça de pedágio. Klodzinski *et al.* (2008) afirmam que os índices de acidentes na região da praça de pedágio e o número de emissões de poluentes provenientes da queima do combustível também são menores.

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.

Barbosa (2013) informa que a identificação dos veículos pelos pórticos do sistema ORT pode ser realizada através da utilização de duas tecnologias diferentes: (1) identificação por frequência de rádio de etiquetas eletrônicas instaladas em cada veículo; (2) reconhecimento da placa do veículo através de *softwares* especializados na leitura de algarismos em imagens capturadas. Em ambos os sistemas, após a identificação do veículo, um sistema computacional automaticamente deduz o pedágio de contas cadastradas pelos condutores, ou emite uma fatura para pagamento posterior do valor devido. Entretanto, independentemente da forma de identificação adotada, devido à inexistência de uma cancela ou barreira fixa e, conseqüentemente, maior possibilidade de violação, o sistema ORT precisa de um mecanismo de coleta de imagem multiangular para fotografar veículos irregulares (sem *tag*, por exemplo) que atravessarem os pórticos de cobrança.

O autor informa ainda que em cada pórtico de cobrança ocorrem três processos diferentes: (1) inicialmente, o leitor de radiofrequência (RFID) ou a câmera de reconhecimento ótico

de caracteres (OCR, do inglês *Optical Character Recognition*) identifica o veículo, associando data e hora da passagem; (2) em seguida, sensores detectam o número de eixos do veículo ou sua altura e comprimento e determinam o valor do pedágio a ser pago; (3) por fim, caso o veículo não porte um *tag* ou esteja irregular, câmeras fotografam a placa para envio ao sistema de fiscalização.

As coletas de pedágio em sistemas *free-flow* de pedágio eletrônico existentes pelo mundo são geralmente conduzidas por radiofrequência através do uso do *tag* pelos veículos. Embora raramente utilizado como o método primário de identificação, o reconhecimento automático do número da placa também tem sido vastamente utilizado em diversos sistemas *free-flow*, porém, principalmente, para a fiscalização de infratores (Barbosa, 2013).

De modo geral, os sistemas eletrônicos de pedágio, além de trazerem benefícios gerados pela cobrança automática da tarifa, eliminam a necessidade de paradas dos veículos nas praças de pedágio reduzindo os conflitos e congestionamentos nos pedágios, melhoram a segurança do sistema de pedágio, aumentam a mobilidade do sistema através do fluxo livre de veículos, reduzem custos de manutenção e operação de pedágios, e elevam a capacidade do sistema de pedágios.

2.2 Atributos de praças de pedágio

Pela definição, um atributo é aquilo que é próprio ou peculiar de alguém ou de alguma coisa, podendo ser uma condição, propriedade, qualidade ou predicado.

De acordo com Nassi e Bonis (2015), os atributos, no tocante aos transportes, podem ser divididos em:

- **Físicos** – Exemplos: extensão da malha, número de estações e terminais, etc; e
- **Comportamentais ou de desempenho** – Exemplos: capacidade, custo, eficiência, regularidade, segurança, confiabilidade, consumo, rapidez, etc.

Os próximos subitens apresentam os principais atributos relacionados às praças de pedágio (extensão da praça de pedágio, número de cabines, modalidade de pagamento e capacidade).

2.2.1 Extensão da praça de pedágio

A extensão da praça de pedágio abrange toda a região de interferência no fluxo dos veículos causada pela instalação das cabines de cobrança (Alvarenga, 2010). Essa extensão pode ser medida pelo ponto inicial de alargamento (entrada no sistema) e pelo ponto final de estreitamento (saída do sistema).

Tal região tem início onde a estrada se alarga o suficiente para que sejam instalados quantos postos de cobrança sejam necessários para o atendimento da demanda do tráfego, continua pelas ilhas de cobrança e termina onde a rodovia volta à sua largura original (Schaufler, 1997).

A Figura 2.5 ilustra os elementos de projeto do *layout* de uma praça de pedágio, que abrangem toda a extensão de uma praça de pedágio.

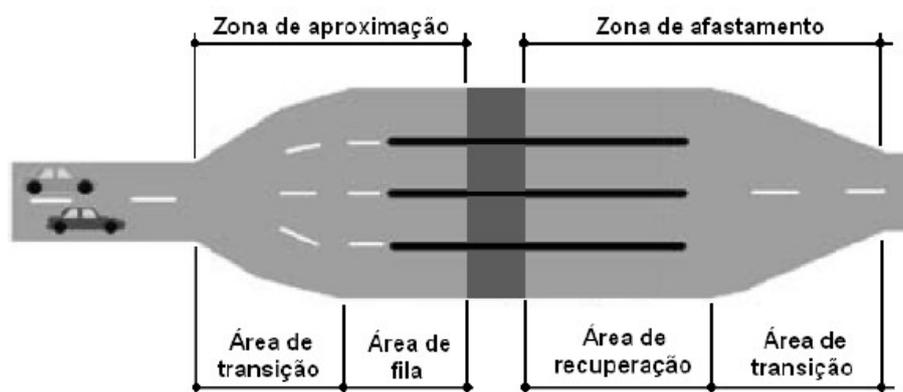


Figura 2.5: Elementos de projeto do layout de uma praça de pedágio

Fonte: Faria e Campos (2012)

Faria e Campos (2012) informam que a zona de aproximação é a região da praça de pedágio localizada antes das cabines de cobrança e é dividida em área de transição e área de filas. A área de transição é o trecho em que a rodovia se alarga até atingir uma largura suficiente para abrigar todas as cabines de cobrança, enquanto que a área de filas é o trecho de largura constante entre a área de transição e as cabines.

Por outro lado, a zona de afastamento é a região após as cabines de cobrança, na qual a rodovia precisa voltar à largura original. A zona de afastamento inclui a área de recuperação, que é uma área de largura constante usada para que os motoristas possam

acelerar seus veículos sem que haja interferência de veículos em outras faixas, assim como uma área de transição, região na qual o pavimento volta à largura original.

A Tabela 2.1 apresenta algumas extensões típicas de algumas áreas em função da velocidade de projeto ou de aproximação.

Tabela 2.1: Comprimento mínimo das áreas de transição e da zona de afastamento

Velocidade de projeto (Km/h)	Velocidade de aproximação (Km/h)	Comprimento mínimo da área de transição (m)	Comprimento mínimo da zona de afastamento (m)
80	70	137	223
96	82	198	335
112	93	259	457

Fonte: Adaptação de Schaufler (1997).

Alvarenga (2010) apresentou em um estudo que a extensão da praça de pedágio interfere diretamente no tempo de deslocamento. Esse, por sua vez, sofre influência de diversos fatores e é tratado separadamente em tópico mais adiante.

2.2.2 Número de cabines

Conforme já foi mencionado, uma praça de pedágio é composta por estruturas, geralmente cabines ou barreiras físicas, que interagem com os veículos que por elas passam. Essas interações são necessárias para a realização do processo de cobrança na via, podendo ter as modalidades de pagamento manual, automática ou eletrônica.

Segundo Faria e Campos (2012), são necessárias as seguintes informações para definição do número de cabines:

- Volume de tráfego esperado na hora de pico;
- Percentual dos veículos que efetuam pagamento manual;
- Percentual dos veículos que efetuam pagamento eletrônico;
- Taxa de atendimento das cabines manuais; e
- Taxa de atendimento das cabines com cobrança eletrônica.

De posse desses dados, o número de cabines pode ser determinado com base em um procedimento, conforme ilustra a Figura 2.6.

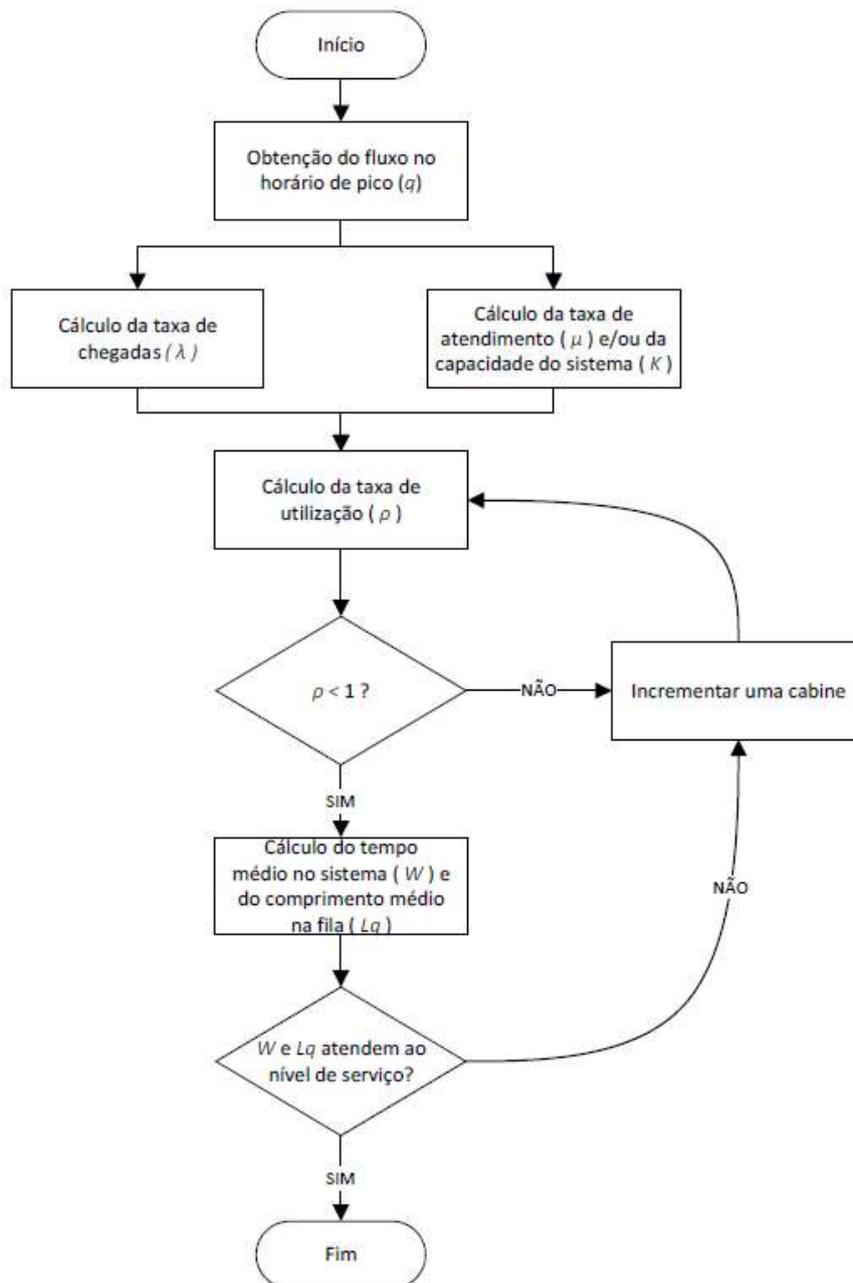


Figura 2.6: Dimensionamento do número de cabines

Fonte: Adaptação de Faria e Campos (2012).

Uma vez que o número de cabines foi definido e com vistas a modelagem por simulação, o atributo número de cabines (em um determinado sentido de tráfego) é igual a soma das cabines disponíveis, destacando-se: as cabines com coleta manual ou pagamento automático; as cabines do sistema AVI; e as rodovias de pedágio aberto ou *free-flow*, que não possuem cabines físicas.

2.2.3 Modalidade de cobrança

Segundo Aycin (2006), uma praça de pedágio é a estrutura pela qual o veículo é obrigado a passar e efetuar uma transação utilizando-se de alguma forma de pagamento.

Segundo diferentes autores (Leitão, 2007; Faria e Campos, 2012), as modalidades de cobrança ou de pagamento podem ser classificadas como:

- **Manual:** apresenta a interação entre motoristas e arrecadadores com parada do veículo, como, por exemplo, transações em dinheiro. De acordo com a classificação do veículo, uma determinada tarifa é cobrada;
- **Automática:** não apresenta interação entre motoristas e arrecadadores, podendo haver parada ou não do veículo. Geralmente os motoristas interagem com máquinas leitoras, consoles ou outros dispositivos que realizam o recolhimento automático de tarifa, como por exemplo, transação com cartões; e
- **Eletrônica:** nesta modalidade, também conhecida por ETC, os veículos não apresentam a necessidade de efetuar a parada com o propósito de pagar a tarifa, pois são equipados com AVI. Quando há a presença física de uma praça de pedágio são chamadas de eletrônicas exclusivas e quando não há a presença física de praças de pedágio são chamadas de eletrônicas expressas, que é o caso do *free-flow*.

A modalidade de cobrança é denominada mista nos casos em que a cobrança eletrônica for realizada em paralelo com outro tipo de cobrança, podendo ser manual ou automática (Barbosa, 2013).

A escolha da forma de pagamento por parte do usuário depende, dentre outros fatores, da frequência em que é utilizada a rodovia (Faria e Campos, 2012).

2.2.4 Capacidade

A capacidade de estruturas de transporte tem sido estudada por vários organismos de pesquisa desde os meados do século XX. No entanto, entidades tal como o *Transportation Research Board* (TRB), dos Estados Unidos, tem produzido manuais de capacidade que contemplam diversas estruturas viárias, não incluindo uma abordagem específica relativa às praças de pedágio.

A análise da capacidade permite estimar a taxa máxima de fluxo que uma determinada seção da rodovia pode acomodar, sendo geralmente definida em termos de veículos. A capacidade de uma instalação varia de acordo com suas características geométricas, a variedade de veículos que a utilizam e todas as ações de controle aplicadas a ela (por exemplo, semáforos). Diante disso, a capacidade só pode ser definida para trechos uniformes ou homogêneos em que os diversos fatores que a afetam permaneçam inalterados (Hoel *et al.*, 2011).

Como o HCM não prevê um método para análise de capacidade e nível de serviço em praças de pedágio, a sua capacidade tem sido estabelecida através de observações empíricas de seu desempenho ou de suposições acerca do fluxo máximo que uma cabine pode atender (Woo e Hoel, 1991).

Lin e Su (1994), de forma similar às definições de outras estruturas rodoviárias, definiram a capacidade de uma praça de pedágio como sendo o fluxo máximo horário de veículos que pode atravessá-la em um determinado período de tempo, sob as condições prevalentes de tráfego e controle.

Essa é uma definição muito parecida às definições já existentes para outras estruturas de transportes. O fluxo máximo, de acordo com Neto e Setti (1995), não deve representar um evento único, mas um evento possível de ser medido novamente se todas as condições reinantes permanecerem inalteradas.

Verifica-se que diversos autores (Araújo, 2001; Klodzinski e Al-Deek, 2002; Aycin, 2006) tem obtido a capacidade de uma praça, não por meio de um fluxo máximo observado, mas por meio de um fluxo médio, resultado da utilização de um tempo médio de atendimento ou de uma taxa média de fluxo, geralmente obtidos em condições de formação fila.

De modo geral, uma cabine está funcionando na capacidade quando há uma demanda contínua na qual se verifica a formação de fila e operadores ocupados durante todo instante (Araújo, 2001).

Sob o ponto de vista da engenharia de tráfego, a capacidade das praças de pedágio costuma ser menor do que a capacidade das rodovias onde estas praças estão inseridas, o que torna a praça de pedágio um gargalo ao fluxo nas rodovias (Obelheiro *et al.*, 2010).

Por esse motivo, é importante que o planejamento de uma praça de pedágio seja feito de forma a minimizar, dentre outros fatores, o tempo de espera do usuário, tanto na fila quanto durante o pagamento.

A capacidade resulta de intervenções ou estratégias implementadas na oferta do serviço (ou estrutura do pedágio). O tempo de atendimento, junto com outras estratégias (como o número de cabines e a modalidade de cobrança), influenciam na capacidade do pedágio.

A Figura 2.7 compara o volume de veículos por hora por faixa de tráfego atendido nos diferentes métodos de coleta de tarifa existentes.

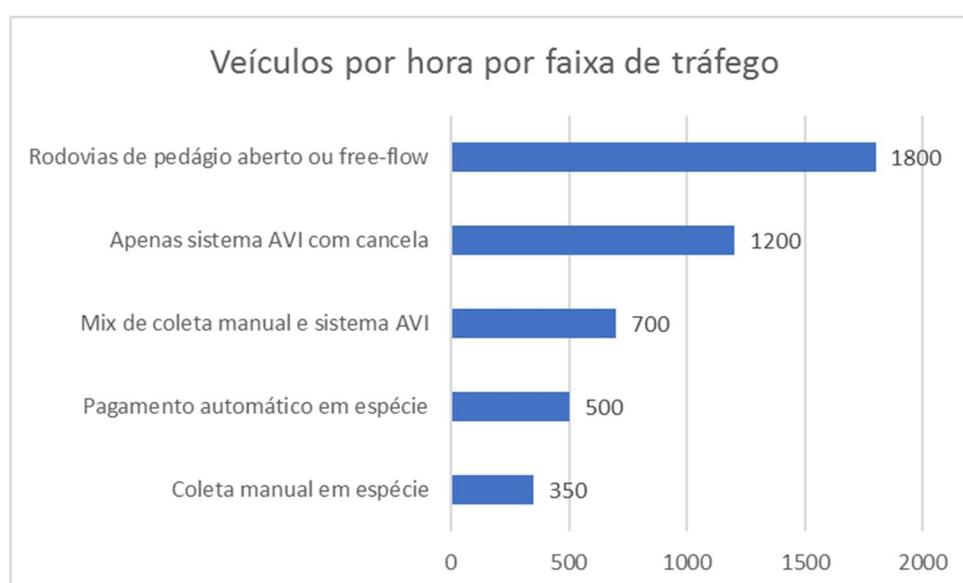


Figura 2.7: Capacidade por faixa e por tipo de cobrança

Fonte: Adaptação de Barbosa (2013).

Da Figura 2.7, observa-se que as rodovias de pedágio aberto ou *free-flow* fornecem uma quantidade substancialmente maior de capacidade de tráfego do que qualquer outra forma atualmente disponível de cobrança de pedágio.

2.3 Variáveis associadas às praças de pedágio

A análise ou avaliação de um sistema ou serviço de transporte, a partir de consideração e exame de seus atributos, dá-se pela consideração de indicadores calculados a partir do emprego de variáveis (Nassi e Bonis, 2015).

De modo geral, as variáveis associadas às praças de pedágio seguem processos estocásticos e aleatórios e é usual empregar essas variáveis de acordo com a classificação de veículos.

Segundo a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT, 2013), os veículos podem ser categorizados conforme a quantidade de eixos que possuem e a presença de eixo duplo, conforme mostra a Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Categoria de veículos da ANTT

Categoria de veículo	Tipo de veículo	Número de eixos	Rodagem	Multiplicador da tarifa	Esquema ilustrativo
1	Automóvel, caminhonete e furgão	2		1	
2	Caminhão leve, ônibus, caminhão-trator e furgão	2		2	
3	Automóvel e caminhonete com semirreboque	3		1,5	
4	Caminhão, caminhão-trator, caminhão-trator com semirreboque e ônibus	3		3	
5	Automóvel e caminhonete com reboque	4		2	
6	Caminhão com reboque e caminhão-trator com semirreboque	4		4	
7	Caminhão com reboque e caminhão-trator com semirreboque	5		5	
8	Caminhão com reboque e caminhão-trator com semirreboque	6		6	
9	Motocicletas, motonetas e bicicletas motorizadas	2	Simple	0,5	

Fonte: Adaptação de ANTT (2013).

É com base na categoria de cada veículo que é utilizado o fator multiplicador para calcular a tarifa a ser paga por cada veículo.

Os próximos subitens apresentam as principais variáveis associadas às praças de pedágio (chegada de veículos, tempo de atendimento, percentual de escolha de cabines e tempo de deslocamento), que são utilizadas no modelo de simulação do procedimento metodológico proposto.

2.3.1 Chegada de veículos

Segundo Cunha (2007), a chegada de veículos ou lógica de geração dos veículos permite que os veículos sejam gerados com *headways* distribuídos de forma determinística ou estocástica.

Na distribuição determinística, o *headway* entre veículos h (em minutos) é uniforme, definido em função da demanda de tráfego q (em veículos/hora.faixa), conforme mostra a Equação 2.1.

$$h = \frac{60}{q} \quad (2.1)$$

Na forma estocástica ou probabilística, os *headways* podem seguir diversas funções de distribuição de probabilidade. A distribuição exponencial é uma das mais utilizadas em modelos de simulação e o seu principal uso é na modelagem de tempo entre dois acontecimentos quaisquer, como, por exemplo, tempos entre chegadas de entidades em um sistema. Se o tempo entre ocorrências sucessivas de um evento é exponencialmente distribuído, então o número de eventos que ocorrem em um certo intervalo de tempo é um processo de Poisson (Oliveira, 2013).

2.3.2 Tempo de atendimento

Diferentes métodos e autores podem ser encontrados na literatura quanto às formas de medição de tempos de atendimento nas cabines. A Tabela 2.3 apresenta alguns métodos utilizados para aferição do tempo de atendimento.

Tabela 2.3: Métodos utilizados para aferição do tempo de atendimento

Estudos	Métodos utilizados
Lin e Su (1994)	Período entre a posição de pagamento até a passagem do eixo traseiro por uma linha de referência.
Araújo (2001)	Em situação de fila: período entre descidas consecutivas de cancelas. Na ausência de fila: período entre a posição de pagamento e a descida da cancela.
Oliveira (2004)	Embasado no método de Araújo (2001): período entre a posição de pagamento e a descida da cancela.
Inácio <i>et al.</i> (2016)	Período entre a parada completa ou início da transação do indivíduo com o arrecadador até o instante em que o veículo ultrapassa por completo a cancela.

Fonte: Elaboração própria.

A coleta do tempo de atendimento com referência na descida da cancela, a exemplo de Oliveira (2004), demonstra um tempo de atendimento superdimensionado quando comparado aos tempos médios encontrados na literatura. Outro inconveniente de tomar a descida da cancela como referência é que às vezes podem ser verificadas situações em que a cancela não chega a descer completamente, pois sensores de presença podem detectar a aproximação de um novo veículo impedindo que a cancela abaixe.

Embora tenha utilizado um método similar ao de Araújo (2001), Oliveira (2004) recomenda a utilização de procedimentos similares ao de Lin e Su (1994), ou seja, a medição dos tempos de atendimento nas cabines deve corresponder ao período de tempo em que veículos assumem a posição de pagamento, em frente à cabine de coleta, até o momento que o último eixo do veículo cruze uma linha imaginária definida e padronizada pelo responsável da coleta.

Já Inácio *et al.* (2016) utilizaram um método similar ao de Oliveira (2004), no entanto, os autores observaram que certo número de motoristas oferecem o pagamento ao arrecadador enquanto o veículo ainda está lentamente em movimento. Neste caso, o tempo de chegada foi classificado como o instante em que o indivíduo começa a transação com o arrecadador e o tempo de saída ocorreu no instante em que o veículo ultrapassa por completo a cancela.

O tempo de atendimento pode variar de acordo com a categoria de veículo (Oliveira, 2004). Isso pode ocorrer devido ao comprimento dos veículos, sendo que quanto maior for o seu valor demandará mais tempo para sair da cabine de atendimento. O autor afirma ainda que a aceleração dos veículos pesados é menor que a de veículos menores e mais leves.

A Tabela 2.4 apresenta alguns valores típicos de tempo de atendimento observados na literatura.

Tabela 2.4: Valores típicos de tempo de atendimento

Estudos	Praça de pedágio analisada	Tempo de atendimento (s)	
		Veículos leves	Veículos pesados
Araújo (2001)	Araraquara/SP, Campo Lindo/SP, Limeira/SP, Nova Odessa/SP e Sertãozinho/SP	18,9	30,2
Leitão (2007)	Vitória/ES	12,1	-
Alvarenga (2010)	Jacareí/SP	12,8	19,1

Fonte: Elaboração própria.

Araújo (2001) obteve o tempo de atendimento médio de 5 (cinco) praças de pedágio, todas localizadas no Estado de São Paulo. Foram obtidos dados de filmagens nas praças e o tempo de atendimento foi considerado como sendo o tempo compreendido entre duas descidas sucessivas da cancela que libera os veículos nas cabines, quando havia fila. Quando não existia fila, o tempo de atendimento foi considerado como o tempo compreendido entre o momento em que o veículo parava na cabine para ser atendido e o momento em que a cancela descia após a sua passagem, liberando a cabine para outro veículo.

Já Leitão (2007) obteve o tempo médio de atendimento de uma praça de pedágio, localizada em Vitória/ES (Terceira Ponte), de acordo com classificação dos veículos leves (automóveis e motocicletas). O tempo de atendimento foi obtido como sendo o tempo compreendido entre o instante em que o veículo assumia a posição de pagamento e o instante em que a extremidade traseira do mesmo veículo passasse por uma linha de referência pré-determinada. Da amostra coletada pelo autor, foi verificado uma média de 11,9 segundos para o tempo de atendimento de automóveis e 12,9 segundos para o tempo de atendimento de motocicletas.

Por outro lado, Alvarenga (2010) calculou o tempo de atendimento na cabine, que corresponde ao tempo médio necessário para que os veículos efetuem o pagamento da tarifa na cabine manual de cobrança, e a análise dos dados mostra que os valores encontrados se encontram um pouco abaixo dos encontrados para a maioria das praças de pedágio estudadas por Araújo (2001). Uma possível explicação que justifique essa diferença nos valores encontrados dá-se pela metodologia adotada na coleta do tempo de atendimento, já que Araújo (2001) utilizou o tempo existente entre dois fechamentos sucessivos da cancela. Em contrapartida, o tempo médio de atendimento obtido por

Alvarenga (2010) para veículos leves é bem próximo do valor encontrado por Leitão (2007).

Segundo Alvarenga (2010), a capacidade de uma praça de pedágio está intimamente associada ao tempo de atendimento e verifica-se que o tempo de atendimento nas cabines sofre influência de diversos fatores humanos (motoristas e arrecadadores) e fatores não humanos (classe veicular, intensidade do fluxo de tráfego, forma de pagamento, valor da tarifa, características geométricas da praça, períodos do dia e condições meteorológicas).

A parcela de envolvimento de cada um desses fatores tem impacto direto com o desempenho da praça de pedágio (Oliveira, 2004). A Tabela 2.5 mostra que existe variação do tempo de atendimento na cabine em função de diversos fatores.

Tabela 2.5: Influência de diversos fatores no tempo de atendimento

Fator	Influência no tempo de atendimento
Classe veicular	Automóveis tem tempo de atendimento menor que caminhões e ônibus, em função do baixo poder de aceleração desses veículos e da dificuldade na transação gerada devido à altura dos caminhões e ônibus.
Valor da tarifa	A cobrança da tarifa inteira leva a redução do tempo de cobrança devido ao fato de agilizar o atendimento e a verificação do troco.
Intensidade do fluxo de tráfego	O aumento do fluxo de tráfego reduz o tempo de atendimento, pois os operadores das cabines se sentem pressionados pela fila crescente e executam a transação com maior rapidez. Além disso, os usuários dispõem de mais tempo para disponibilizar uma quantia tal que minimize seu tempo de atendimento.
Tipo de usuário	Os usuários que viajam regularmente procuram reduzir o seu tempo de viagem, e apresentam tempos de atendimentos inferiores do que aqueles que viajam esporadicamente.
Forma de pagamento	A utilização de diferentes formas de pagamento (dinheiro, cupom, cartão de débito ou crédito, etc.) interfere no tempo de atendimento.

Fonte: Adaptação de Araújo (2001).

Ultimamente, alguns autores têm utilizado a influência de novos fatores no tempo de atendimento, tal como o sexo do arrecadador. Inácio *et al.* (2016), por exemplo, verificaram que a média do tempo de atendimento para o arrecadador do sexo masculino é aproximadamente 14% inferior ao sexo feminino.

Segundo Araújo (2001), o procedimento para a coleta de dados dos tempos de atendimento nas cabines dotadas com AVI deve ser diferente das cabines com cobrança tradicionais (coleta manual ou pagamento automático). Ao contrário dos métodos convencionais de cobrança de pedágio, verifica-se que nas cabines equipadas com AVI

não existem diferenças significativas com relação ao atendimento das categorias de veículos.

2.3.3 *Percentual de escolha de cabines*

O percentual de escolha de cabines depende, fundamentalmente, de uma regra de decisão que permita a escolha entre os diversos tipos de cabines a cada uma das categorias de veículos. Essa variável auxilia no processo de tomada de decisão no sistema com base em uma ou mais probabilidades (por exemplo, o percentual de escolha de cabines manuais ou AVI para cada categoria de veículo).

Uma vez escolhido o tipo de cabine, o processo de seleção de escolha de cabine deve levar em conta o emprego de alguma técnica de otimização, com o propósito de escolher as melhores alternativas.

Nesta dissertação, o processo de seleção de cabine foi baseado no valor mínimo de uma variedade de variáveis, listadas a seguir:

- Número de veículos nas filas;
- Número de veículos nas rotas para as cabines; e
- Número de recursos ocupados.

Vale ressaltar que as cabines equipadas com AVI não possuem arrecadadores ou recursos ocupados, ao mesmo tempo que não se espera formação de filas. No caso das rodovias de pedágio aberto ou *free-flow*, que não possuem cabines físicas, não se faz necessário o uso desse processo de seleção de cabine.

2.3.4 *Tempo de deslocamento*

O tempo de deslocamento ou tempo de rota diz respeito ao tempo de deslocamento que um veículo ou entidade leva desde a entrada no sistema até o instante em que este deixe o sistema, sendo que neste intervalo o veículo assume uma posição lateral à alguma cabine. Para determinação dos tempos de rota, os dados devem ser coletados em períodos fora do horário de pico ou em condições próximas a de fluxo livre, evitando-se assim a interferência do processo de filas no tempo de rota (Leitão, 2007).

O tempo de deslocamento avalia o tempo médio necessário para os veículos cruzarem a região da praça de pedágio, sendo que essa região é definida pelos pontos de alargamento e de estreitamento da pista. Além disso, o tempo necessário para cruzar a região de interferência no fluxo de veículos deve considerar os dois tipos de cobrança possíveis: manual e eletrônica. Isso se justifica, pois, o tempo necessário para cruzar a praça optando pelo pagamento eletrônico da tarifa é inferior quando comparado ao tempo optando pelo pagamento manual. Essa diferença pode oscilar quando se compara o tempo de deslocamento de veículos leves e veículos pesados (Alvarenga, 2010).

O autor afirma ainda que 3 (três) perfis de velocidade interferem no tempo de deslocamento e que estão atrelados ao tipo de arrecadação: manual, eletrônica e passagem livre. Na cabine manual o veículo desloca-se até a cabine para efetuar o pagamento da tarifa reduzindo a velocidade até 0 km/h, podendo parar o veículo por completo ou não. Por outro lado, na cabine eletrônica, o veículo passa pelas pistas dedicadas à cobrança eletrônica da tarifa, realizada através do AVI, desacelerando em torno da velocidade de 40 km/h. E no caso da passagem livre, não é considerado interferência na velocidade dos veículos, utilizando-se os conceitos da rodovia de pedágio aberto ou *free-flow*.

As pesquisas de modelagem do comportamento da desaceleração e aceleração dos motoristas, de acordo com Bennett e Dunn (1995), se dividem em quatro áreas distintas: modelos constantes, modelos linearmente decrescentes, modelos polinomiais e modelos baseados nas potências dos veículos. Além disso, observa-se que a taxa de desaceleração é um pouco maior que a de aceleração (Araújo, 2001).

Em um estudo, Cunha (2007) apresenta os limites máximos e mínimos adotados de aceleração para velocidades de 0 a 110 ft/s (120 km/h), conforme ilustra a Figura 2.8.

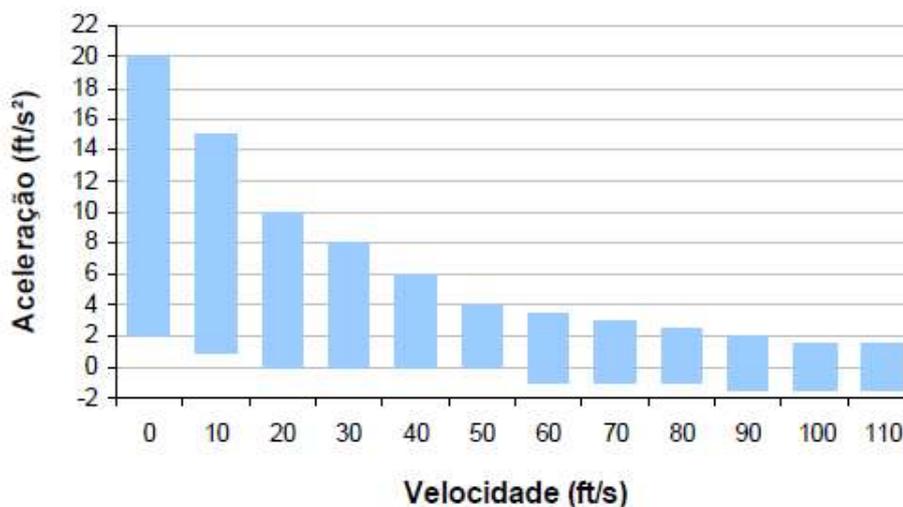


Figura 2.8: Limites adotados para os valores de aceleração

Fonte: Cunha (2007).

Da Figura 2.8, observa-se que a aceleração em função da velocidade obedece à função decrescente e as acelerações devem estar dentro dessas faixas de valores, sendo que um valor médio de aceleração gira em torno de $3,43 \text{ ft/s}^2$ ($1,04 \text{ m/s}^2$).

2.4 Medidas de desempenho

As medidas de desempenho ou indicadores de desempenho são uma forma para se analisar a verificação dos objetivos previamente projetados pelo planejamento estratégico (Ângelo, 2005). Tais medidas são destinadas a aferir o desempenho da concessionária, permitindo ao poder concedente monitorar a qualidade do serviço prestado, mensurar o valor mensal a ser pago à concessionária (quando for o caso), e aplicar, quando cabível, as sanções pertinentes.

Segundo Obelheiro *et al.* (2011), a qualidade do serviço em praças de pedágio está relacionada a diversos elementos, listados a seguir:

- Tempo de espera do usuário na fila;
- Condições de infraestrutura da praça, tais como qualidade do pavimento, largura de faixas, número de cabines, iluminação, etc;
- Forma com que o usuário é atendido nas cabines manuais, tais como rapidez, cortesia, etc; e
- Sinalização informativa sobre valores de tarifas e formas de pagamento.

Nesta dissertação, a qualidade do serviço (diferente de nível de serviço) percebida nas praças está relacionada somente aos fatores que interferem no tempo de espera do usuário na fila. Os próximos subitens apresentam as principais medidas de desempenho de praças de pedágio, envolvendo o tempo gasto no sistema ou na fila, comprimento da fila e o nível de serviço.

2.4.1 Tempo gasto no sistema ou na fila

O tempo médio gasto no sistema (soma do tempo de atendimento e do tempo de espera na fila) ou o tempo médio na fila são capazes de refletir a qualidade do serviço. Essas medidas são facilmente percebidas pelos usuários, além de serem úteis para avaliar a necessidade e o efeito de melhorias específicas ou para estabelecer a qualidade do serviço sob as diversas condições encontradas durante a operação da praça de pedágio (Woo e Hoel, 1991). Os autores afirmam que essas medidas podem ser utilizadas para a análise do nível de serviço de praças de pedágio, cuja descrição é tratada em tópico mais adiante.

A concentração de veículos à espera de atendimento, especialmente em horários de pico da via, é um sinal que pode tomar proporções gigantescas nas praças de pedágio. Uma das medidas mitigadoras, voltadas para a manutenção de um bom nível de serviço, é a utilização dos funcionários da concessionária, denominados “papa-filas”. Esses, por sua vez, têm a função de agilizar o tráfego na praça de pedágio a fim de evitar congestionamentos, principalmente em dias ou horários de grande movimento. Dessa forma, os papa-filas recebem o dinheiro das tarifas dos motoristas e dão a eles um *ticket*, que é entregue nas cabines do pedágio, assegurando a diminuição das filas (RodoSol, 2012).

Entretanto, mesmo medidas operacionais inovadoras e de comprovada eficiência, podem se mostrar insuficientes para levar o ritmo de atendimento a padrões aceitáveis em determinadas ocasiões. A ANTT, por exemplo, estabelece que a concessionária deverá suspender a cobrança de tarifa e liberar a passagem de veículos, sem direito a ressarcimento, nos casos em que as esperas na fila são superiores a um tempo limite de espera, que varia de acordo com cada lote rodoviário concedido pela agência, conforme mostra o Anexo A – Liberação do pagamento do pedágio (ANTT).

2.4.2 Comprimento da fila

O comprimento médio da fila (em metros) ou o número médio de veículos na fila (em veículos) são utilizados para refletir a qualidade do serviço sob as diversas condições encontradas durante a operação de praças de pedágio (Woo e Hoel, 1991).

Assim como foi mencionado no subitem anterior, o Anexo A – Liberação do pagamento do pedágio (ANTT) informa que a ANTT estabelece liberação da passagem de veículos todas as vezes em que as filas diante das cabines da praça de pedágio ultrapassarem um determinado comprimento limite, que varia de acordo com cada lote rodoviário concedido pela ANTT.

Vale ressaltar que os limites apresentados nos contratos de concessão, para a liberação do pagamento de pedágio, devem ser atendidos para os casos de normalidade de tráfego, não sendo aplicáveis em situações excepcionais de difícil previsão ou fora do controle das concessionárias, como manifestações populares e bloqueio de pista devido a acidentes.

2.4.3 Nível de Serviço

Intimamente associado ao conceito de capacidade está o indicador de desempenho nível de serviço, que por sua vez, é uma medida qualitativa que descreve as condições operacionais da corrente de tráfego, tais como velocidade e tempo de viagem, liberdade de manobra, interrupções de tráfego, conforto e conveniência (TRB, 2000).

No caso de segmentos de infraestrutura rodoviária, existem seis níveis de serviço denominados pelas letras de “A” a “F”. O nível de serviço “A” satisfaz ao regime de escoamento livre com condições de circulação muito satisfatórias. À medida que as condições de circulação se degradam, faz-se satisfazer aos níveis “B” e “C”, ainda, um escoamento estável, sendo o nível “D” atribuído quando o escoamento se aproxima da instabilidade. O nível de serviço “E” representa condições de escoamento já muito próximas do regime instável, no qual o fluxo veicular representa a capacidade do sistema. Ao escoamento em regime de sobressaturação, correspondente a situações de congestionamento é designado o nível de serviço “F” (Costa e Macedo, 2008).

Por outro lado, a análise de praças de pedágio pode subsidiar decisões quanto ao gerenciamento e operações destes sistemas, afetando diretamente no serviço prestado,

bem como no conforto e na satisfação dos usuários (Obelheiro *et al.*, 2011). Sendo assim, a Tabela 2.6 apresenta algumas condições gerais de operação para cada nível de serviço relativo às praças de pedágio.

Tabela 2.6: Nível de serviço relativo às praças de pedágio

Nível de serviço	Condições gerais
A	Existe uma baixa densidade de tráfego e pouco atraso. O comportamento dos veículos não é afetado pela presença dos demais, apesar de a desaceleração ser necessária. Não há formação de filas e o nível geral de conforto é excelente.
B	Os veículos começam a desacelerar mais cedo do que quando o nível de serviço é “A”. A presença de outros veículos no fluxo de tráfego começa a ser notada, porém, há considerável mudança de faixa. O nível de conforto ainda é alto, no entanto, é menor que no nível de serviço “A”.
C	O número de veículos parados é significativo. Os atrasos são resultantes de uma antecipação na desaceleração. As filas começam a se formar. Há uma queda considerável de conforto neste nível de serviço.
D	Os veículos possuem pouca liberdade de manobra para escolha da cabine. O comprimento da fila se torna significativo e as condições de fluxo interrompido se tornam inevitáveis.
E	Todos os veículos enfrentam filas antes de chegar às cabines. O tráfego de fluxo interrompido é um fenômeno típico. Manobras nas aproximações das cabines são quase impossíveis.
F	Há uma relação volume-capacidade (V/C) maior que 1, condição que geralmente ocorre quando a taxa de chegada excede a taxa de atendimento. As filas continuam a crescer, avançando até alcançarem a rodovia.

Fonte: Adaptação de Woo e Hoel (1991).

O nível de serviço “E” depende da definição da capacidade da praça de pedágio. Uma das formas de definir essa capacidade seria, por exemplo, determinar o fluxo de chegada que corresponde a uma situação tal que a fila fique contida no limite da praça de pedágio, sem estender-se pelo trecho de rodovia à montante da entrada da praça de pedágio (Araújo, 2001).

Woo e Hoel (1991) e Obelheiro *et al.* (2011) afirmam que o nível de serviço deve ser quantificado por diversas razões, conforme listadas a seguir:

- Fornecer meios para avaliar cenários (antes e depois) de alguma alteração na operação das praças de pedágio e determinar a eficiência dessa alteração;
- Prover uma base sólida para comparação das condições operacionais de várias praças de pedágio;
- Possibilitar a avaliação de alternativas operacionais e de projeto através de um padrão aceitável;

- Dar aos usuários e operadores uma medida palpável do desempenho global do sistema; e
- Análise de inclusão de parâmetros de desempenho, nos contratos de concessão, compatíveis com a qualidade de serviço esperada nas praças de pedágio.

Os itens expostos contribuem para uma melhora no serviço prestado aos usuários, na medida em que os técnicos das concessionárias poderão otimizar o seu funcionamento e os órgãos gestores poderão fiscalizar a qualidade do serviço prestado de forma mais clara e eficaz.

O *Highway Capacity Manual* – HCM teve sua primeira versão em 1950 e atualmente está em sua quinta edição (HCM 2010). A Tabela 2.7 mostra a evolução dos métodos do HCM e suas principais alterações.

Tabela 2.7: Evolução do HCM

Versão	Método	Principais alterações
1ª	HCM 1950	Concebido como referência para o projeto de rodovias a partir de estudos realizados nas duas décadas anteriores.
2ª	HCM 1965	Definiu a capacidade viária e nível de serviço, com enfoque na operação rodoviária de <i>freeways</i> .
3ª	HCM 1985 (Revisões em 1992 e 1994)	Introduziu o conceito de segmentos homogêneos, com base nas características físicas e de volume de tráfego.
4ª	HCM 2000	Evolução dos métodos para avaliação do nível de serviço. Orientações sobre análise global de corredores e redes viárias regionais Aplicação de ferramentas auxiliares, como simuladores microscópicos de tráfego.
5ª	HCM 2010	Atualizações dos parâmetros empregados em seus métodos. Delimitou claramente o escopo de sua metodologia, apresentando orientações suplementares em relação à aplicação de seus conceitos em ferramentas auxiliares.

Fonte: Adaptação de Andrade *et al.* (2011).

O HCM define nível de serviço para diversas estruturas viárias, no entanto, não consta ainda de uma definição para o nível de serviço de praças de pedágio. Embora não exista uma forma padrão adotada para avaliação do nível de serviço de uma praça de pedágio, alguns autores propuseram sua determinação com base em diferentes medidas de desempenho, como pode ser verificado na Tabela 2.8.

Tabela 2.8: Escalas de níveis de serviço em praças de pedágio

Autor	Método	Nível de serviço					
		A	B	C	D	E	F
Woo e Hoel (1991)	D: Densidade (veic/milha/faixa)	≤ 12	≤ 20	≤ 30	≤ 42	≤ 67	> 67
	V/C: Relação volume-capacidade	0,24	0,40	0,57	0,74	1,00	-
Lin e Su (1994)	Lq: Comprimento médio da fila (veic)	≤ 1	≤ 2	≤ 3	≤ 6	≤ 10	> 10
	W: Tempo médio no sistema (s/veic)	≤ 15	≤ 30	≤ 45	≤ 60	≤ 80	> 80
Danko e Gulewicz (1994)	Lq: Comprimento médio da fila (veic)	≤ 1	≤ 3	≤ 5	≤ 8	≤ 11	> 11
	Wq: Tempo médio na fila (s/veic)	≤ 5	≤ 15	≤ 25	≤ 40	≤ 60	> 60
Klodzinski e Al-Deek (2002)	W: Tempo médio no sistema (s/veic)	≤ 14	≤ 28	≤ 49	≤ 77	≤ 112	> 112
Obelheiro <i>et al.</i> (2011)	Nota do cenário (com base na fila, percentual de caminhões e número de cabines)	≥ 6	≥ 5	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 1

Fonte: Elaboração própria.

Da Tabela 2.8, observa-se que os estudos divergem com relação aos métodos utilizados que melhor representem a operação de praças de pedágio. Esses métodos são relacionados a atrasos e tempos de espera em fila, tamanhos de fila e a relação volume-capacidade. Além do mais, os métodos são obtidos por meio de observações empíricas ou simulação, possuindo diferentes níveis de agregação.

Woo e Hoel (1991) verificaram que havia similaridade estatística entre a relação volume-capacidade e densidades apresentadas no HCM para níveis de serviço em rodovias e as mesmas relações obtidas nas áreas de chegada e saída das praças de pedágio.

O comprimento médio da fila em número de veículos e o tempo médio no sistema, obtido como a soma do tempo de atendimento mais o tempo de espera em fila, foram utilizados por Lin e Su (1994) como medida de desempenho para avaliação do nível de serviço de uma praça de pedágio, enquanto Danko e Gulewicz (1994) utilizaram o comprimento médio da fila aliado às definições de tempo médio de espera em fila definida pelo HCM 1994.

Para Klodzinski e Al-Deek (2002), a definição de níveis de serviço foi baseada na comparação de atrasos em cabines de pedágio com atrasos em interseções semaforizadas, segundo critérios estabelecidos pelo HCM 2000.

Já o método proposto por Obelheiro *et al.* (2011) é baseado na percepção de usuários de praças de pedágio acerca da qualidade do tráfego em praças de pedágio e a percepção dos

usuários foi captada através de pesquisa qualitativa, que envolveu o uso de cenários microssimulados representativos de situações de tráfego em praças de pedágio. O indicador de desempenho utilizado foi o comprimento médio de filas nas cabines, quantificado através do número médio de veículos em fila. Tal método relaciona a qualidade percebida pelos usuários com os fatores intervenientes e ressalta que o comprimento de filas nas cabines exerce forte influência sobre a qualidade percebida nas praças.

De acordo com os conceitos e caracterização de praças de pedágio apresentados, o próximo capítulo apresenta diversas considerações sobre modelagem por simulação. Em um modelo de simulação de uma praça de pedágio, os atributos e variáveis associados às praças de pedágio possuem relação com as entidades e as atividades envolvidas, representando os dados *inputs* para alimentar o modelo, enquanto que as medidas de desempenho das praças de pedágio possuem relação com os dados *outputs*, necessários para calibrar o modelo.

3 MODELAGEM POR SIMULAÇÃO

Antes de caracterizar a simulação, é importante ressaltar que outras técnicas alternativas também podem ser usadas num processo de análise e de resolução de problemas. 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. Fundamenta-se em formulações matemáticas e frequentemente é determinística. Apresenta a vantagem de possibilitar menores custos computacionais no tocante a tempo e memória de execução. Enquadram-se nesse grupo as técnicas determinísticas, de programação matemática, Inteligência Artificial e Teoria de Filas.

Por outro lado, a técnica da simulação procura replicar em um computador uma sequência de eventos hipotéticos do sistema estudado ao longo do tempo. Tais programas têm sido utilizados na formulação e validação de expressões analíticas aproximadas, bem como na representação de sistemas complexos com características aleatórias.

Esta dissertação fica restrita 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.

A seguir são apresentados vários subitens, na seguinte ordem: caracterização da simulação; os modelos para a simulação; as vantagens e desvantagens da simulação; a metodologia da simulação; a caracterização da simulação de eventos discretos; e as funcionalidades do *software* de simulação *Arena*, que foi utilizado no procedimento metodológico proposto.

3.1 Caracterização da simulação

Segundo Shannon (1998), simulação é um processo de construção de um modelo de um sistema real e condução de experimentos com o propósito do entendimento do comportamento do sistema e/ou a evolução de várias estratégias para a operação do sistema.

Para Banks (1999), a simulação se trata de uma operação de imitação de um processo do mundo real que envolve a geração de uma história artificial de um sistema e possibilita inferências na operação de características existentes no mundo real.

Já Prado (2014) afirma que 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.

De modo geral, observa-se que a simulação é uma imitação computadorizada do comportamento aleatório de um sistema com a finalidade de estimar suas medidas de desempenho (Ribeiro, 2015).

Segundo Miyagi (2006), a maior disponibilidade de ferramentas de simulação, bem como a crescente capacidade computacional e os avanços nas metodologias de simulação fizeram da simulação uma das técnicas mais usadas e aceitas em tarefas de análise e desenvolvimento de sistemas.

O autor afirma que a simulação pode ser usada principalmente para as seguintes finalidades:

- Estudar as interações internas de um sistema complexo;
- Realizar alterações nas informações, na organização e no ambiente do sistema para observar seus efeitos;

- Experimentar novos projetos ou novos procedimentos antes de implementá-las;
- Identificar as variáveis mais importantes de um sistema e como elas interagem através do estudo dos sinais de entrada e das saídas resultantes;
- Verificar soluções analíticas, sendo neste caso utilizado como um instrumento de validação; e
- Adquirir maior conhecimento sobre o modelo de simulação e sobre o processo de desenvolvimento do modelo para melhorias do sistema.

No caso específico de sistemas de transportes, Miyagi (2006) informa que as áreas de aplicação da simulação são muito amplas e variadas, destacando-se: transferência de cargas; operações de *containers* em portos; e operação de praças de pedágio.

3.2 Modelos para a simulação

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).

A Figura 3.1 apresenta, de forma esquemática, a classificação dos modelos usados em simulação, com destaque para os aspectos que são abordados com maior ênfase nesta dissertação.

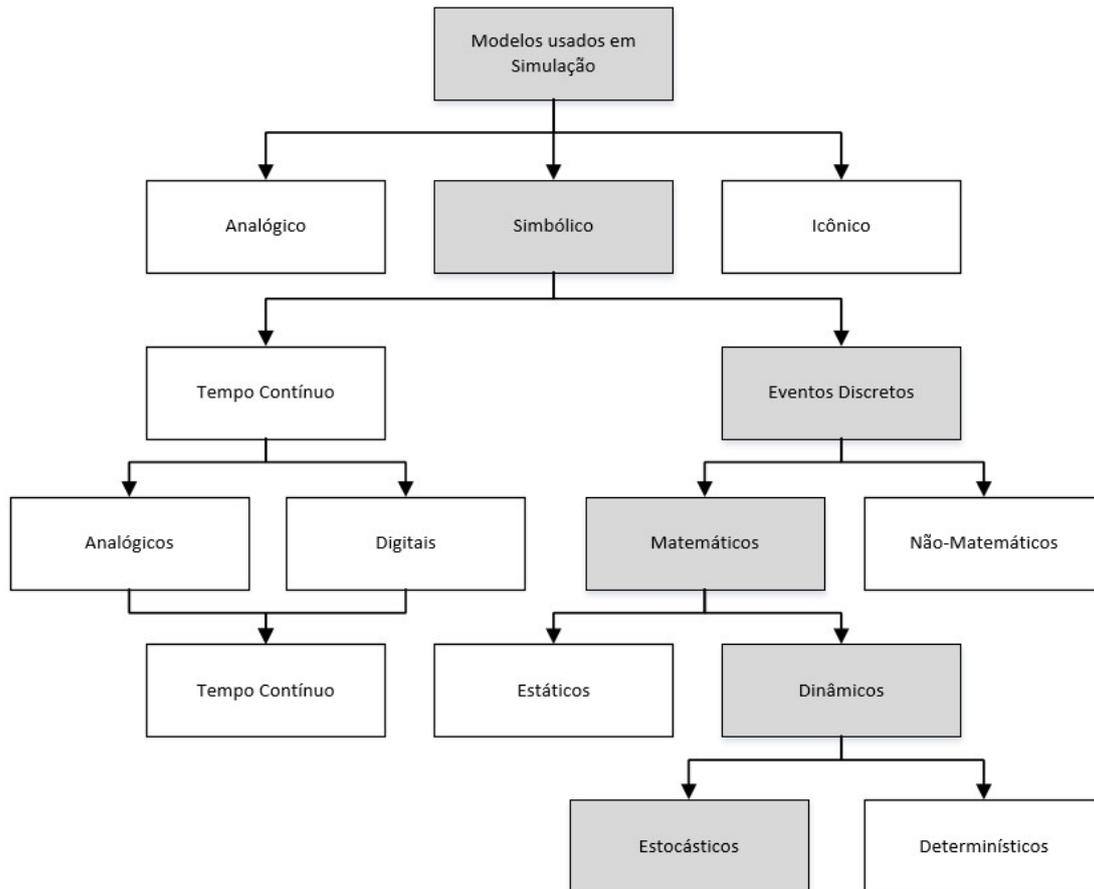


Figura 3.1: Classificação dos modelos usados em simulação

Fonte: Portugal (2005).

Enquanto os modelos icônicos fazem a representação fiel do sistema geralmente em escala diferente da realidade, nos modelos analógicos as propriedades do sistema são representadas por outras equivalentes. Já nos modelos simbólicos as propriedades do sistema são representadas por símbolos, tal como um diagrama de blocos.

Quanto à investigação, os modelos discretos sofrem alterações repentinas no tempo e utiliza eventos discretos (chegadas e partidas), ao passo que um modelo contínuo sofre constantes e suaves alterações no tempo e usa equações diferenciais. Uma situação bastante comum é tratar um sistema contínuo como sendo uma sequência de pequenas alterações discretas no tempo. Nesta dissertação são abordados os modelos discretos por se tratar de filas de espera e tem como objetivo determinar medidas como o tempo médio de espera, o comprimento médio da fila e o tempo médio que uma entidade permanece no sistema.

Os modelos estáticos não consideram explicitamente a variável tempo e são, normalmente, tratados por técnicas analíticas. Já os modelos dinâmicos tratam com interações que se alteram no tempo.

E quanto às leis que regem os elementos do sistema e as suas interações, tem-se que os modelos determinísticos não tratam variáveis aleatórias e envolvem relações funcionais exatas. Quando pelo menos uma variável do sistema recebe valores segundo uma distribuição probabilística, trata-se de um modelo estocástico.

3.3 Vantagens e desvantagens da simulação

A simulação é vantajosa quando ela imita com menor custo ou menos recursos o que acontece num sistema real. Os dados de saída de uma simulação devem corresponder diretamente às saídas que seriam obtidas do sistema real. Em contraste com as técnicas analíticas, a simulação de modelos é executada ao invés de ser resolvida. Dado um conjunto particular de entradas o modelo é executado e o comportamento do sistema é estudado. Este processo de alteração de variáveis do modelo resulta em um conjunto de cenários a serem avaliados (Miyagi, 2006).

Alguns autores (Miyagi, 2006; Ribeiro, 2015) apresentam as seguintes vantagens da simulação:

- Simula complexos sistemas que envolvem filas;
- Realiza experimentos computacionais sem ter que implementar fisicamente as alterações previstas;
- Analisa muito rapidamente os parâmetros do processo e propõe alterações de modo a melhorar o problema simulado;
- Novas políticas, procedimentos operacionais, regras de decisão, fluxos de informação, procedimentos organizacionais, dentre outros experimentos, podem ser estudados sem interferência nas operações do sistema real;
- Novos equipamentos, arranjos físicos, sistemas de transporte, dentre outros cenários, podem ser testados antes de se investir recursos com as aquisições envolvidas;
- Hipóteses de como e por que certos fenômenos ocorrem podem ser avaliados; e
- O tempo pode ser comprimido ou expandido, permitindo que o fenômeno em estudo possa ser acelerado ou retardado.

As principais desvantagens da simulação, segundo Miyagi (2006), são:

- A construção de modelos requer um treinamento especial, podendo ser considerada uma arte que se aprende ao longo do tempo e que envolve o bom uso da experiência;
- Os resultados da simulação podem ser difíceis de interpretar, na medida em que as saídas da simulação podem incluir variáveis aleatórias. Dessa forma não é tão trivial determinar se os resultados observados resultam de inter-relações efetivas das partes do sistema ou se são oriundos da aleatoriedade do sistema; e
- A modelagem do sistema e a análise dos dados podem consumir muito tempo e muitos recursos.

3.4 Metodologia da simulação

Segundo Pereira e Chwif (2010), para que um estudo de simulação seja bem sucedido é necessário aplicar uma metodologia de simulação de forma adequada. De modo geral, o processo de simulação pode ser dividido em 3 (três) etapas: concepção, implementação e análise. A Figura 3.2 ilustra estas etapas.

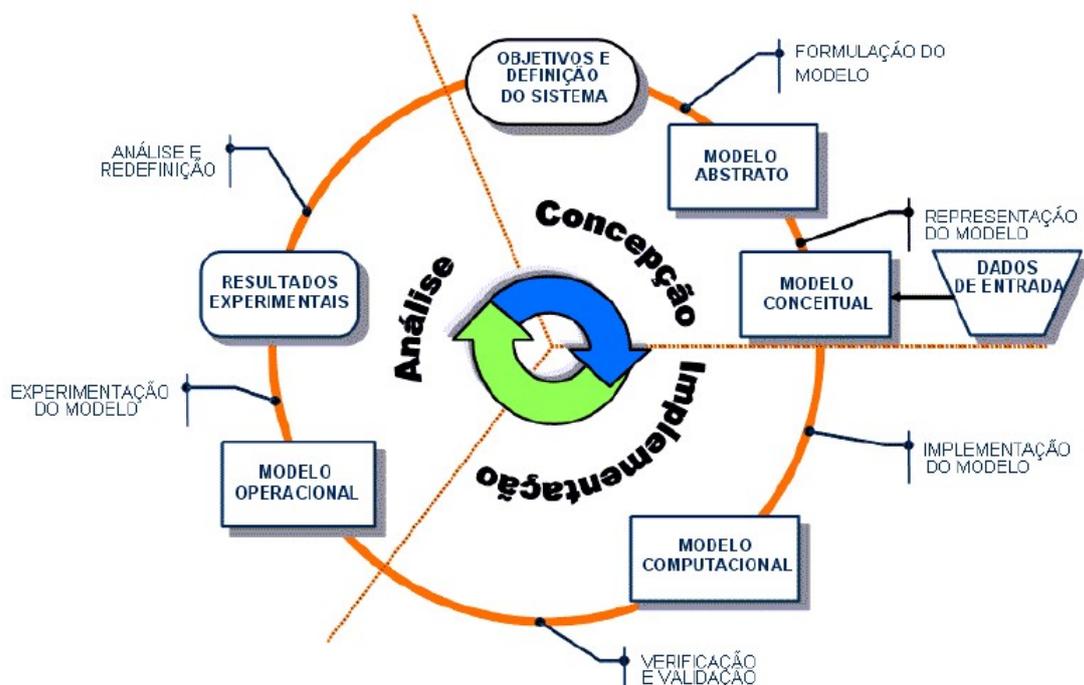


Figura 3.2: Etapas de um estudo de simulação

Fonte: Pereira e Chwif (2010).

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.

3.5 Simulação de eventos discretos

A simulação de eventos discretos é detalhada nos próximos subitens, com o propósito de ser utilizada no procedimento metodológico proposto.

3.5.1 Considerações iniciais

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 simulação de eventos discretos possibilita o uso de valores aleatórios que representem o desempenho do sistema, condições do ambiente, eventos inesperados etc. Ao mesmo tempo, esses valores são próximos aos reais na medida em que são usados métodos estatísticos para coleta de dados, representação e análise SimuCAD (2002a).

De acordo com um estudo de Alrabghi e Tiwari (2015), a simulação de eventos discretos é a técnica mais utilizada na literatura sobre simulação, conforme ilustra a Figura 3.3.

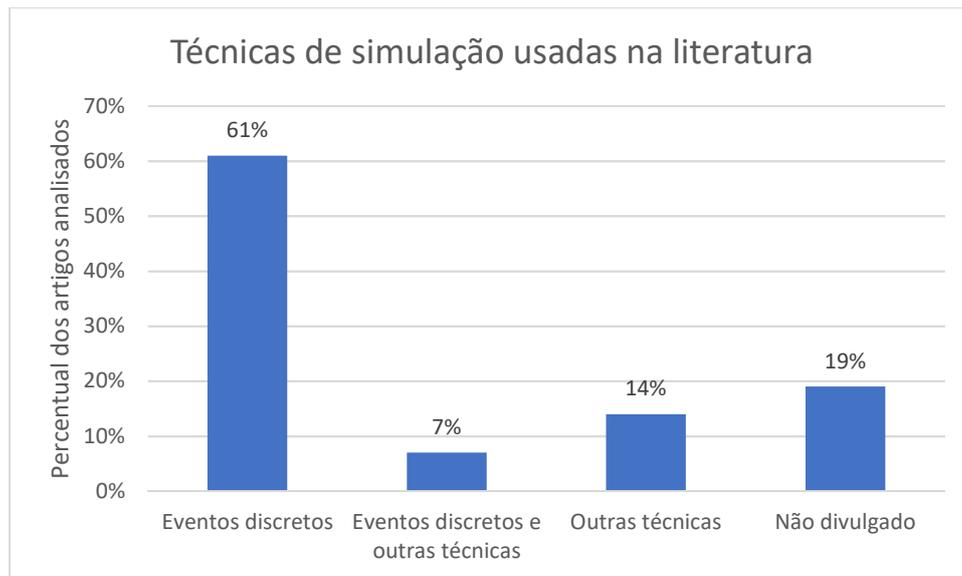


Figura 3.3: Técnicas de simulação usadas na literatura

Fonte: Adaptação de Alrabghi e Tiwari (2015).

Ao analisar um modelo de simulação, pode-se distinguir, basicamente, 5 (cinco) elementos: entidade, atributo, atividade, evento e estado. Uma entidade é qualquer objeto de interesse do modelo, enquanto que um atributo é uma propriedade desta entidade. Qualquer processo que pode causar uma mudança no modelo é denominado de atividade. Um evento, por sua vez, é uma ocorrência que altera o estado do sistema. Por fim, um estado descreve uma situação do sistema e é identificado pelos valores das suas variáveis num determinado instante (Miyagi, 2006).

3.5.2 Ferramentas de simulação de eventos discretos

Os modelos de simulação são uma ferramenta extremamente difundida e poderosa para a análise operacional de correntes de tráfego rodoviário. Os modelos de simulação têm desempenhado um papel importante no desenvolvimento do HCM desde a edição de

1985. Uma das maiores vantagens da simulação, é a de oferecer ao usuário a oportunidade de avaliar estratégias no sistema de transportes sem interferência no tráfego real (Egami *et al.*, 2004).

As ferramentas de simulação estão disponíveis mundialmente sob várias formas, desde os simples e os complexos, os baratos e os caros, os gerais e os específicos, os de duas dimensões ou de três dimensões (SimuCAD, 2002b).

A simulação de sistemas pode envolver vários níveis de complexidade e assim *softwares* específicos têm sido desenvolvidos para diferentes casos. O uso de simulação requer do usuário conhecimento das limitações do modelo e, principalmente, das teorias de fluxo de tráfego. A Tabela 3.1 apresenta algumas ferramentas de simulação disponíveis.

Tabela 3.1: Algumas ferramentas de simulação disponíveis

Simulador	Descrição
<i>Arena</i>	O <i>Arena</i> é um pacote de simulação extensível e com recursos de animação. O modelo de simulação é construído selecionando módulos que contêm características do processo. Por exemplo, um módulo de inspeção pode modelar a tarefa de inspeção de um processo. Depois da escolha e especificação dos parâmetros dos módulos, o <i>Arena</i> executa uma animação do processo.
<i>AutoMod</i>	O <i>AutoMod</i> combina as características de uma linguagem de simulação para fins gerais e um simulador de sistemas específico. Possui recursos de programação gerais incluindo a especificação de processos e procedimentos, recursos, filas e variáveis. Processos são especificados em termos de fluxo de entidades (itens), conexões de entrada e saída para estações do sistema e lógica do processo. Recursos são especificados em termos de suas capacidades, tempo de processamento, tempo entre falhas e tempo para reparo. Entidades (itens) são definidas por sua forma e tamanho, atributos, taxas de geração e prioridades. O simulador é voltado para análise de sistemas de movimentação de materiais, tais como: esteiras, veículos transportadores, pontes rolantes, etc.
<i>CORSIM</i>	O <i>CORSIM</i> , consiste em um conjunto integrado de dois modelos microscópicos de simulação que representam o comportamento do tráfego em função do tempo. Como modelo microscópico, o <i>CORSIM</i> descreve o comportamento da corrente de tráfego a partir das respostas individuais de cada veículo. O modelo também é estocástico, pois atribui características aleatórias aos motoristas, aos veículos e aos processos de tomada de decisão, permitindo uma representação mais realista da corrente de tráfego simulada. As características atribuídas aos motoristas definem seu comportamento (passivo ou agressivo) e as aplicadas aos veículos caracterizam seu desempenho (aceleração e velocidade).
<i>INTEGRATION</i>	O <i>INTEGRATION</i> é um modelo de simulação de tráfego que traça os movimentos individuais dos veículos da sua origem até o seu destino, atualizando suas posições na rede viária simulada a cada décimo de segundo. Embora sua abordagem seja essencialmente microscópica, o modelo é calibrado de forma que o comportamento emergente do fluxo de veículos como um todo, em condições de equilíbrio, satisfaça também relações macroscópicas de tráfego, tal como a relação fluxo-velocidade.
<i>ProModel</i>	No <i>ProModel</i> um modelo é construído definindo-se os seguintes componentes: caminho ou rota para uma entidade; as capacidades de cada um dos pontos (estações) ao longo de uma rota destas entidades; os recursos envolvidos, tais como os operadores; o sistema de movimentação das entidades; o agendamento das chegadas de entidades; e a especificação dos parâmetros de simulação. Este pacote permite ao usuário a inclusão de subrotinas em C ou Pascal.
<i>SIMFACTORY</i>	O <i>SIMFACTORY</i> é um simulador de sistemas escrito em SIMSCRIPT e MODSIM para profissionais que não possuem muita experiência nas técnicas de análise de sistemas. Um modelo é construído em etapas: definindo primeiramente o layout (arranjo físico do sistema) que consiste em estações de processamento, buffers, áreas de recepção de partes e caminhos dos transportadores, definição do produto (partes, itens, etc.), recursos e finalmente as interrupções.
<i>TPSIM</i>	O <i>TPSIM</i> é um modelo estocástico de simulação microscópica de eventos discretos orientado a objetos e foi desenvolvido para avaliar as mudanças de impacto que as configurações de uma praça de pedágio poderiam ter nas condições de tráfego. O <i>TPSIM</i> tem a capacidade de simular praticamente qualquer tipo de configuração de praça de pedágio em um dado sentido de tráfego. As modalidades de cobrança incluem pagamentos convencionais, ETC, e combinações convencionais e ETC. Os resultados produzidos pelo modelo incluem volumes de faixa, comprimentos de fila e atraso.
<i>Taylor</i>	Um modelo em <i>Taylor</i> consiste de quatro entidades fundamentais: <i>elements</i> , <i>jobs</i> , <i>routings</i> e <i>products</i> . Os tipos de <i>elements</i> são classificados em estação de entrada/saída, máquina, buffer, esteira transportadora, transporte, caminho, apoio, estoque. Uma ou mais operações podem envolver um mesmo elemento. As três operações básicas são: processamento, transporte e armazenamento.
<i>VISSIM</i>	O <i>VISSIM</i> é um modelo de simulação de tráfego microscópico estocástico, capaz de representar o comportamento do tráfego em rodovias. O <i>VISSIM</i> permite simular padrões de tráfego, comparando as características geométricas da via, analisando esquemas de prioridade de transporte público ou considerando os efeitos de certas sinalizações. É usado para a simulação de tráfego microscópico e apresenta todas as interações de usuários da via num único modelo, podendo ser usado em transportes privados motorizados, transporte de mercadorias, transportes públicos ferroviários e rodoviários, pedestres e ciclistas.
<i>Witness</i>	O <i>Witness</i> contém elementos próprios para sistema de manufatura e é orientado às máquinas. Por exemplo, máquinas podem ser do tipo: <i>single</i> , <i>batch</i> , <i>production</i> , <i>assembly</i> , <i>multi-station</i> ou <i>multi-cycle</i> . Transportadores podem ser cumulativos ou não cumulativos.

Fonte: Vários autores (Araújo, 2001; Klodzinski e Al-Deek, 2002; Miyagi, 2006; Cunha, 2007; Obelheiro *et al.*, 2011; Inácio *et al.*, 2016).

Segundo Chwif e Medina (2014), a seleção do simulador envolve a análise de características importantes como: preço, tipo de animação, erros e travamentos no sistema, credibilidade do fabricante e facilidade de uso, além de possuir análise de dados de entrada e análise estatística dos resultados.

A escolha de qual ferramenta a ser utilizada depende também dos objetivos e características do projeto a ser feito. Quando se analisa apenas a lógica do processo, pode-se usar uma ferramenta mais simples, mas com características profissionais. Por outro lado, quando se analisa atividades complexas pode ser necessário utilizar um simulador em três dimensões (SimuCAD, 2002b).

Além do mais, a animação é uma ferramenta de análise qualitativa que aumenta a qualidade do modelo, quando se utiliza um simulador que tenha saídas gráficas. As animações vão desde simples implementações com símbolos gráficos até sofisticados recursos de animação em três dimensões (Portugal, 2005).

3.5.3 Coleta, tabulação e análise dos dados de entrada

A coleta, tabulação e análise dos dados de entrada, respectivamente nessa ordem, busca a inferência estatística, ou seja, inferir os parâmetros de um evento aleatório. Segundo Chwif e Medina (2014), o processo de escolher a melhor representação destes eventos é o que define a modelagem de dados. Essa modelagem envolve a coletas dos dados, o tratamento dos dados, seguindo-se da inferência dos dados.

A coleta de dados é o processo de coletas das informações. Os dados usualmente consistem de uma amostra de observações tomadas de uma dada população de interesse, da qual não é economicamente (ou tecnicamente) possível ser observada em sua totalidade. Os projetos de amostragem objetivam assegurar que os dados a serem examinados forneçam o maior número possível de informações úteis sobre a população de interesse ao menor custo (Ribeiro, 2012). Pelo Teorema do Limite Central, uma distribuição amostral é aproximadamente normal se a amostra é grande ($n \geq 30$), qualquer que seja a distribuição original.

O tratamento dos dados busca descrever os dados e identificar as falhas, enquanto que a inferência busca determinar o comportamento da população a partir da amostra.

Segundo Oliveira (2013), o *software* de simulação Arena, por exemplo, considera a variação em suas simulações e possui uma ferramenta específica para auxiliar na determinação das curvas de comportamento, denominada Input Analyzer. Esse aplicativo gera um ranking das distribuições de probabilidade que mais se ajustam aos dados reais e, baseado no erro quadrático médio, apresenta os resultados dos testes de aderência qui-quadrado e Kolmogorov-Smirnov, que são apresentados no Anexo B – Testes de Aderência.

3.5.4 Criação de modelos de simulação

Conforme já foi mencionado, o modelo abstrato é o primeiro passo na criação de um modelo de simulação. Esse modelo representa o fluxo do processo estudado e se deve decidir qual é a abrangência do modelo e o nível de detalhe, sendo que as hipóteses devem ser claramente estabelecidas.

Em seguida, 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, que pode ser registrado através de fluxogramas ou através de Diagramas de Ciclo de Atividades (ACD, do inglês *Activity Cycle Diagram*).

Segundo Chwif e Medina (2014) o modelo conceitual deve conter os seguintes elementos: objetivos e identificação dos problemas; conteúdo, contendo o escopo e nível de detalhamento; parâmetros de entrada que alimentam a simulação; dados de saídas, tal como as medidas de desempenho do sistema; hipóteses; e definições de cenários para a simulação.

Os Diagramas de Ciclo de Atividades podem ser utilizados na modelagem das interações com uma forte estrutura de filas (Portugal, 2005). Na elaboração do ACD, considera-se que todas as entidades envolvidas estarão em uma das duas situações:

- **Estado ativo:** envolve participação da execução de uma atividade; ou
- **Estado passivo:** entidade fica esperando em uma fila.

Nesta dissertação, são adotados os fluxogramas, que são constituídos de formas geométricas que representam procedimentos, decisões, início e término de processos, etc. Ao construir um fluxograma, é usado o ponto de vista da parte dinâmica do sistema, ou

seja, aquilo que se movimenta dentro do sistema. Ao modelo são anexados dados sobre o sistema.

Segundo Oliveira, (2013), um modelo de simulação possui uma parte que representa os recursos ou a estrutura disponível do sistema (máquinas, pessoas, postos de trabalho, etc.), uma parte que representa as regras de trabalho (decisões, procedimentos, tempos de processo, etc.), bem como de entidades (pessoas, veículos, etc.), representadas pela parte circulante do modelo e que percorrem a lógica estabelecida pelo fluxograma interagindo com os recursos.

Em um fluxograma de praças de pedágio, por exemplo, a relação entre as entidades envolvidas e as atividades desenvolvidas dá-se pela movimentação dos veículos, classificados de acordo com a composição do tráfego, que determinam padrões (distribuições e parâmetros estatísticos) distintos quanto às atividades de chegada e de atendimento. Além do mais, as cabines classificadas pela modalidade de cobrança participam e influenciam na realização de atividades desenvolvidas na praça de pedágio.

A Figura 3.4 ilustra um modelo conceitual de um projeto de simulação utilizado em uma praça de pedágio.

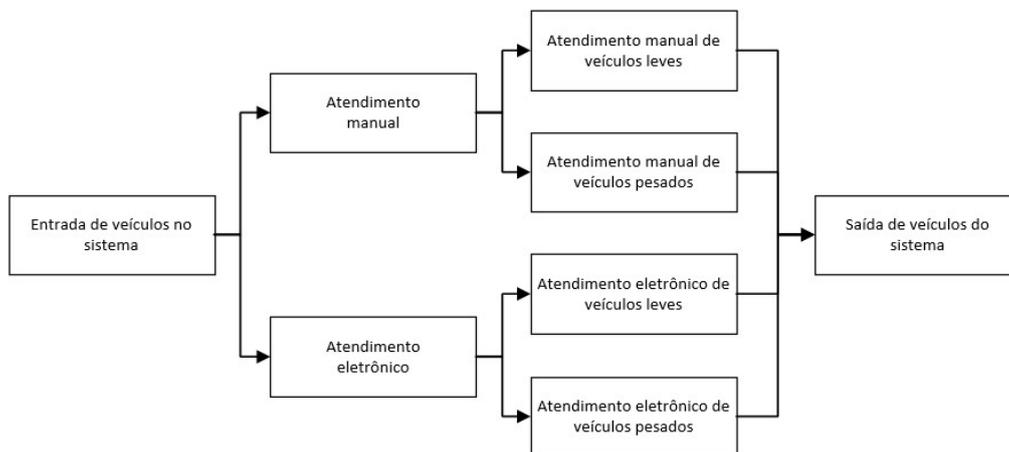


Figura 3.4: Exemplo de modelo conceitual de simulação

Fonte: Adaptação de Inácio *et al.* (2016).

Da Figura 3.4, observa-se que foi criado uma entidade por meio da entrada de veículos no sistema, podendo haver atendimento manual ou eletrônico, dependendo da forma de

pagamento escolhida. Uma vez definida a forma de pagamento, o atendimento de veículos foi diferenciado em veículos leves (por exemplo, automóveis e motos) e pesados (por exemplo, ônibus e caminhões), devido ao fato de existir diferença de processamento entre esses veículos (Inácio *et al.*, 2016).

O modelo computacional é construído a partir do modelo conceitual e pode ser utilizada alguma linguagem de simulação ou por algum simulador. Segundo Miyagi (2006), as linguagens de simulação em computador facilitam o desenvolvimento e execução de simulações de sistemas complexos do mundo real, porém, exige conhecimentos matemáticos e de programação mais profundos. O critério de escolha do simulador vai depender de uma série de critérios, com a intenção de alcançar os objetivos e características do projeto a ser realizado.

Alguns resultados devem ser gerados para validar o modelo computacional, a fim de verificar se o modelo é uma representação precisa da realidade.

O modelo computacional estará pronto para a realização dos experimentos, após a verificação e validação, dando origem ao modelo operacional. Enquanto que a verificação do modelo computacional é a análise da correção da programação computacional em acordo com o modelo conceitual, a validação do modelo conceitual consiste em determinar se as teorias e pressupostos assumidos estão corretos e se a representação do problema está de acordo com o propósito do modelo (Sargent, 2010).

Dessa forma, são efetuadas várias instâncias de simulação e os resultados da simulação são analisados, utilizando-se diversas técnicas estatísticas e os resultados documentados. Segundo Chwif e Medina (2014), para validação do modelo computacional pode ser utilizada análise de sensibilidade de modo a identificar os parâmetros de entrada críticos que influenciam fortemente os resultados do modelo.

De posse do modelo operacional, são gerados resultados experimentais, seguindo-se das análises sobre o sistema. Se os resultados não forem satisfatórios, o modelo poderá ser modificado novamente.

Segundo Ribeiro (2015), as observações do experimento de simulação devem satisfazer 3 (três) condições:

- Observações são retiradas de distribuições estacionárias;
- Observações são amostradas de uma população com distribuição normal; e
- Observações são idênticas.

Na primeira condição, tem-se que a simulação fornece um comportamento errático em todo começo de simulação, sendo usualmente denominado período transiente ou de aquecimento. Nesse caso, uma alternativa que pode ser usada é deixar a simulação ser executada por mais tempo pois não há como identificar o ponto inicial de equilíbrio.

Com relação a segunda condição, tem-se que o requisito de que observações de simulação devem ser retiradas de uma população com distribuição normal, pode ser garantido pelo Teorema do Limite Central. Esse teorema, proveniente da estatística, afirma que a distribuição da média de uma amostra é assintoticamente normal independentemente da população da qual a amostra é retirada.

Por último, a natureza da simulação não garante independência entre as observações de simulações sucessivas. Contudo, se pode amenizar o problema da falta de independência usando a média das amostras para representar uma observação de simulação.

3.6 O simulador Arena

O *software* de simulação *Arena* é o mais utilizado na simulação de eventos discretos no mundo e os conceitos de simulação são entendidos através da abordagem de uma simples modelagem por fluxogramas (PARAGON, 2017). O *Arena* foi o *software* utilizado no modelo de simulação, constante do procedimento metodológico proposto nesta dissertação.

O *Arena* conta com um ambiente gráfico integrado e possui recursos para análise estatística, modelagem de processos, animação, e análise de resultados. Além do mais, a versão grátis do *Arena Student* fornece as funcionalidades da versão *Professional*, com restrição apenas no tamanho do modelo que pode ser criado.

O *Arena* é uma poderosa ferramenta para análise de cenários e simulações dos seus processos. À medida que aumenta a complexidade, a aleatoriedade passa a ser um componente essencial para entender o desempenho do sistema. Através da utilização de

fluxogramas, é muito mais fácil modelar os projetos, assim não é necessário escrever linhas de código (programação).

As principais vantagens desta ferramenta de simulação são listadas a seguir:

- Melhorar a visibilidade de um sistema ou da mudança de um processo;
- Explorar oportunidades para novos procedimentos e métodos sem precisar parar a operação atual;
- Diagnosticar e resolver problemas;
- Reduzir ou eliminar gargalos;
- Reduzir custos operacionais;
- Melhorar a previsão financeira;
- Reduzir tempos de entrega;
- Administrar melhores níveis de inventário, equipamentos, maquinários, etc; e
- Aumentar o lucro através de operações melhoradas.

Um dos diferenciais do *Arena* é a possibilidade de criação de *templates*, ou seja, uma coleção de objetos e/ou ferramentas de modelagem, que permitem ao usuário, descrever o comportamento do processo em análise, através de respostas às perguntas pré-elaboradas, sem programação, de maneira visual e interativa.

Pela utilização de *templates* (personalização), o *Arena* pode transformar-se facilmente em um simulador específico, podendo ser utilizado nas seguintes áreas: engenharias, transportes, manufatura, mineração, etc.

De acordo com os resultados da revisão bibliográfica (Capítulos 2 e 3) e com o propósito de se atingir os objetivos desta dissertação, o próximo capítulo apresenta o procedimento metodológico proposto para esta dissertação, que permite avaliar o desempenho operacional de praças de pedágio e identificar a necessidade de implantação (ou não) de intervenções alternativas no sistema.

4 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO PROPOSTO

O procedimento metodológico proposto para esta dissertação, que permite avaliar o desempenho operacional de praças de pedágio e identificar a necessidade de implantação (ou não) de intervenções alternativas no sistema, consiste em uma série de etapas, representado por meio de 5 (cinco) passos, sendo apresentados a seguir:

- **Passo I** – Caracterização da praça de pedágio e análise dos dados;
- **Passo II** – Modelagem da praça de pedágio por simulação;
- **Passo III** – Verificação e validação do modelo de simulação;
- **Passo IV** – Verificação quanto ao atendimento ao nível de serviço; e
- **Passo V** – Perspectivas para implantação de intervenções alternativas.

A Figura 4.1 apresenta o procedimento metodológico proposto com todas as etapas de cada um dos 5 passos pré-definidos.

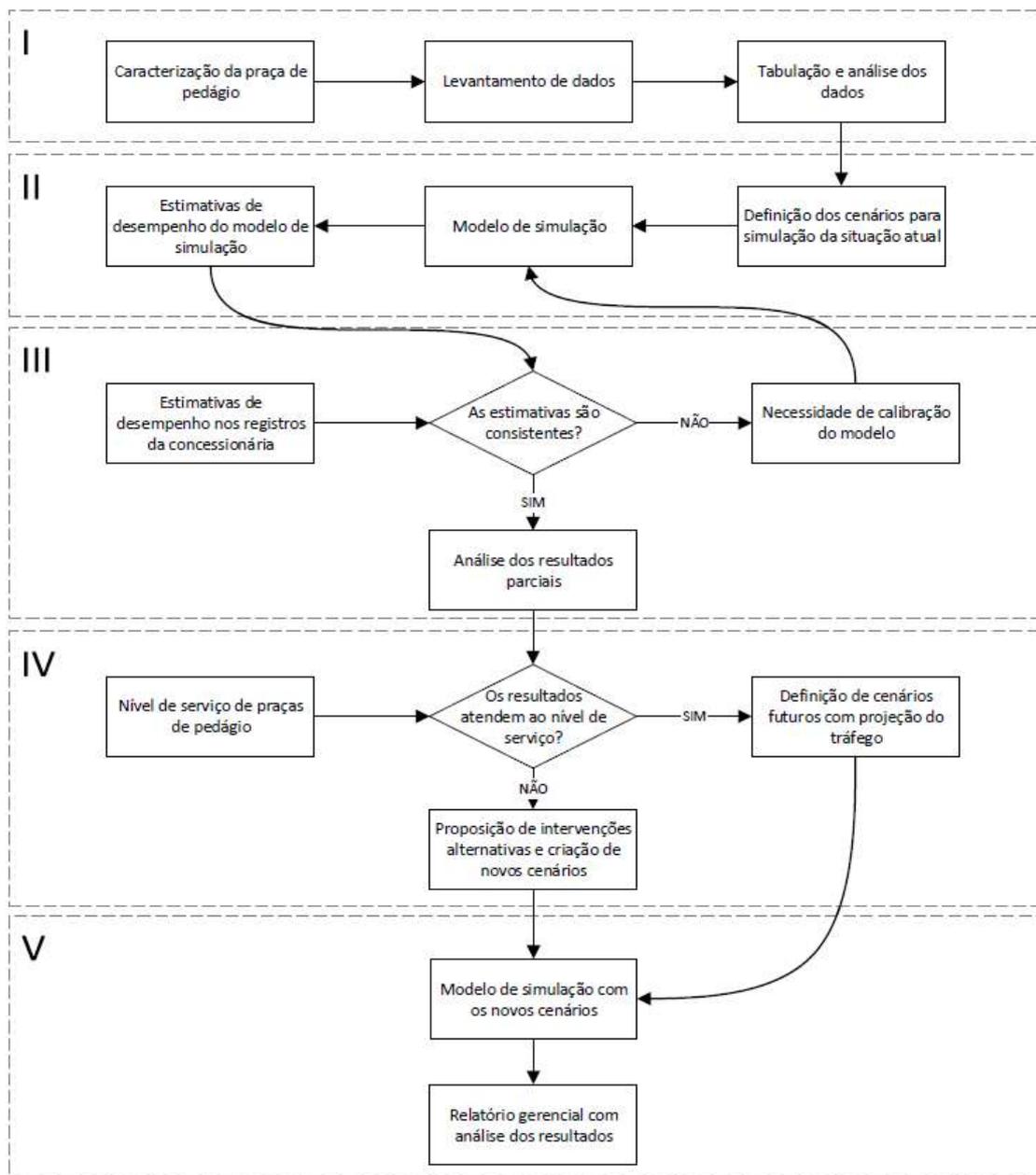


Figura 4.1: Esquema geral do procedimento metodológico proposto

Fonte: Elaboração própria.

O procedimento metodológico proposto possui a capacidade de ser aplicável no contexto das rodovias sob concessão. Almeja-se que o procedimento metodológico proposto possa servir como um guia prático para as concessionárias de rodovias no que se refere a avaliação de desempenho operacional de praças de pedágio nas rodovias concedidas sob suas operações. Tal procedimento enfoca no objetivo da pesquisa e aplica os processos relevantes para a avaliação de desempenho operacional de praças de pedágio e as perspectivas de implantação (ou não) de intervenções alternativas ao sistema, porém, é

flexível, na medida em que permite que a concessionária adote, por exemplo, diferente técnica de modelagem do que é abordado nesta dissertação.

A seguir, são expostos os diversos passos e cada uma das respectivas etapas do esquema geral do procedimento metodológico proposto para o desenvolvimento dos objetivos.

4.1 Passo I – Caracterização da praça de pedágio e análise dos dados

Este passo visa a caracterização da praça de pedágio e o reconhecimento do local onde será aplicado o procedimento. Para tanto, faz-se necessária uma coleta de dados e a tabulação e análise dos dados a fim de obter os dados *input* (de entrada do modelo) e *output* (para calibrar o modelo) da modelagem por simulação, que são apresentados no próximo passo.

4.1.1 Caracterização da praça de pedágio

Esta etapa visa estabelecer a caracterização da praça de pedágio e o reconhecimento do local em que será realizado o estudo e coleta de informações com a intenção de permitir um melhor planejamento dos métodos a serem utilizados e melhor uso dos recursos.

Deverão ser coletadas informações preliminares, relativas aos dados *input* do modelo de simulação, destacando-se nesta etapa os atributos de praças de pedágio (extensão da praça de pedágio, número de cabines disponíveis, modalidade de pagamento, capacidade, entre outros).

De posse dos dados citados, será possível representar a estrutura da praça de pedágio analisada, que pode ser usada para testar o modelo de simulação proposto e fazer apresentação de seus resultados através de recursos de animação. Os recursos de animação são utilizados para apresentar a relação entre as entidades e atividades envolvidas no modelo. Além do mais, esses recursos podem ser mostrados de várias formas, tais como: variáveis, ocupação de recursos ou outras expressões (Oliveira, 2013).

A Figura 4.2 ilustra um exemplo de estrutura de praça de pedágio comumente utilizada em concessões de rodovias.

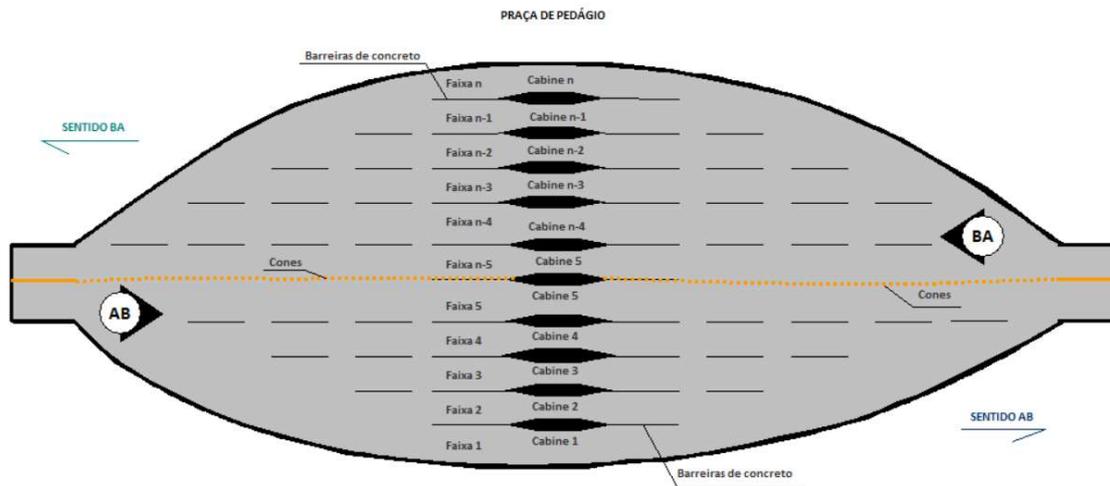


Figura 4.2: Exemplo de estrutura de praça de pedágio

Fonte: Elaboração própria.

Da Figura 4.2, observa-se que podem haver (ou não) diferentes dados *input* para alimentar o modelo de simulação, sobretudo de atributos nos dois sentidos de tráfego (Sentidos AB e BA). Diante disto, o procedimento metodológico proposto leva em consideração a modelagem por simulação de um sentido de tráfego, por vez.

4.1.2 Levantamento de dados

A etapa de levantamento de dados deve ser composta da etapa anterior relativa a informações preliminares, coleta de campo e coleta baseada nos registros da concessionária.

Deverão ser coletados dados *input* para alimentar o modelo de simulação, sobretudo para obtenção das variáveis associadas às praças de pedágio (chegada de veículos, tempo de atendimento, percentual de escolha de cabines e tempo de deslocamento), tais como: dados das características físicas da praça de pedágio, dados de demanda de tráfego, filmagens de cabines e da praça de pedágio, etc.

4.1.3 Tabulação e análise dos dados

Ao padronizar e codificar as respostas obtidas com a aplicação da etapa de levantamento de dados, a tabulação facilita a leitura e análise dos dados coletados.

Nesta etapa são obtidas as variáveis associadas às praças de pedágio, que são dados sobre o sistema a serem anexados ao modelo de simulação. A essas variáveis, são utilizadas distribuições estatísticas geradas a partir de uma colocação de dados sobre o parâmetro a ser inserido.

4.2 Passo II – Modelagem da praça de pedágio por simulação

Este passo visa a definição dos cenários para simulação da situação atual, que serão analisados por meio de modelagem por simulação usando o *Arena*. Em seguida são obtidas estimativas de desempenho do modelo de simulação, que serão verificadas como consistentes (ou não) no próximo passo.

4.2.1 Definição dos cenários para simulação da situação atual

Esta etapa visa a definição dos cenários para simulação, que será desenvolvida no passo seguinte. Os estudos de simulação geralmente são feitos em um período limitado de tempo ou em um conjunto de períodos idênticos (Oliveira, 2013).

Neste estudo, os cenários são definidos para a situação atual, distinguidos de acordo com o sentido de tráfego, para o qual podem ser feitas estimativas de medidas de desempenho.

Para estes cenários, e de acordo com o sentido de tráfego, devem ser analisados os dados do sistema para o respectivo horário de pico (duração total de 60 minutos) e, como pontapé inicial, um tempo de aquecimento (*warm-up*) de 0 (zero) minutos. Segundo Chwif e Medina (2014), o número de replicações necessárias depende do número de replicações da amostra, da precisão da amostra e da precisão desejada. 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. Essas medidas de desempenho serão representadas pela média das amostras para representar uma observação de simulação que amenize o problema da falta de independência entre as observações de simulações sucessivas.

A determinação destes cenários deve levar em conta o fluxo médio observado nos períodos em que a solicitação pela via é máxima (no caso das praças de pedágio, quando a demanda por atendimento gera a formação de filas). Além do mais, na formulação de tais cenários, deverão ser anexados ao sistema todos os dados obtidos das etapas do Passo

I – Caracterização da praça de pedágio e análise dos dados, que incorpora as informações das entidades e atividades que devem ser contempladas.

4.2.2 Modelo de simulação

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 de simulação foi utilizado o *software* de simulação *Arena*, na versão 14.0, que possui um ambiente que engloba lógica e animação com ferramentas poderosas de análise estatística, além de toda potencialidade com o ambiente operacional 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 *input* (de entrada do modelo), que apresenta 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 uma atribuição de dados sobre o parâmetro a ser inserido.

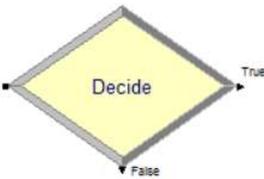
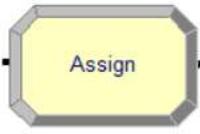
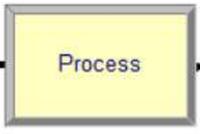
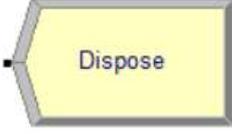
Vale ressaltar que as distribuições são determinadas através da coleta de dados do parâmetro de interesse. Em seguida, os dados são agrupados por classes em um histograma, e a partir de então, uma distribuição estatística é adequada ao histograma.

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. Essa ferramenta também pode ser usada para ajustar funções de distribuição específicas a um arquivo de dados para permitir a comparação entre funções de distribuição ou para exibir os efeitos de alterações em parâmetros utilizando-se da mesma distribuição.

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 mostrarão o comportamento do sistema bem próximos do real.

Antes de caracterizar o fluxograma utilizado para representar o processo de modelagem do funcionamento do sistema de praça de pedágio, é importante ressaltar os elementos que foram usados, conforme mostra a Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Elementos utilizados no fluxograma utilizado no *Arena*

Elemento	Forma geométrica	Função
<i>Create</i>		Este módulo representa o ponto de partida para entidades em um modelo de simulação. As entidades são criadas usando um fluxo de veículos por hora ou pelo intervalo entre chegadas dos veículos. As entidades deixam o módulo para iniciar o processamento através do sistema. O tipo de entidade é especificado neste módulo.
<i>Decide</i>		Este módulo permite processos de tomada de decisão no sistema. Inclui opções para tomar decisões com base em uma ou mais condições (por exemplo, se o tipo de entidade é Carro) ou com base em uma ou mais probabilidades (por exemplo, 90% verdadeiro e 10% falso). As condições podem ser baseadas em valores de atributo, valores de variáveis, tipo de entidade ou uma expressão.
<i>Assign</i>		Este módulo é usado para atribuir novos valores a variáveis, atributos de entidade, tipos de entidade, imagens de entidade ou outras variáveis de sistema.
<i>Process</i>		Este módulo representa o principal método de processamento na simulação. As opções para apreender e liberar restrições de recursos estão disponíveis. O tempo de processo é alocado à entidade e pode ser considerado como valor adicionado, transferência, espera ou outro.
<i>Dispose</i>		Este módulo representa o ponto final para entidades num modelo de simulação. As estatísticas de entidade podem ser registradas antes que a entidade seja descartada.
<i>ReadWrite</i>		Este módulo é usado para obter dados de um arquivo de entrada e atribuir os valores de dados a uma lista de variáveis ou atributos (ou outra expressão). Este módulo também é usado para gravar dados em um dispositivo de saída.
<i>Station</i>		Este módulo define uma estação correspondente a uma localização física ou lógica onde o processamento ocorre. A estação tem uma área de atividade correspondente que é usada para relatar todos os tempos e custos acumulados pelas entidades nesta estação.
<i>Route</i>		Este módulo transfere uma entidade para uma estação especificada ou a estação seguinte na sequência de visita da estação definida para a entidade. Pode ser definido um tempo de atraso para transferir para a próxima estação.
<i>PickStation</i>		Este módulo permite que uma entidade selecione uma determinada estação a partir das várias estações especificadas. Este módulo escolhe entre o grupo de estações baseado na lógica de seleção definida com o módulo. O processo de seleção da estação é baseado no valor mínimo ou máximo de uma variedade de variáveis e expressões do sistema.

Fonte: Elaboração própria a partir do *software* de simulação *Arena*.

Esses módulos foram usados para construir o fluxograma dentro da área de trabalho. Cada módulo pôde ser repetidamente colocado quantas vezes foram necessárias para a construção do modelo. Tais módulos foram utilizados como postos de entrada e saída, usados para estabelecer interconexões, assim como para a criação do fluxo do processo.

Portanto, o esquema geral do fluxograma utilizado no *software* de simulação *Arena* para representar o processo de modelagem do funcionamento do sistema de praça de pedágio, é apresentado na Figura 4.3.

Da Figura 4.3, observa-se que o modelo de simulação desenvolvido foi dividido em 10 (dez) partes, conforme apresentado a seguir:

- **Parte 1** – Obtenção de dados do arquivo de entrada (Excel);
- **Parte 2** – Entrada de veículos na praça de pedágio;
- **Parte 3** – Deslocamento de veículos até um ponto de alinhamento com as cabines manuais e AVI;
- **Parte 4** – Atribuição dos valores de tempo de atendimento e percentual de escolha às cabines manuais e AVI;
- **Parte 5** – Ponto de escolha entre cabines manuais ou AVI;
- **Parte 6** – Deslocamento de veículos até um ponto de alinhamento com as cabines AVI;
- **Parte 7** – Passagem de veículos pela cabine AVI;
- **Parte 8** – Deslocamento de veículos até um ponto de alinhamento com as cabines manuais;
- **Parte 9** – Passagem de veículos pela cabine manual; e
- **Parte 10** – Saída de veículos da praça de pedágio.

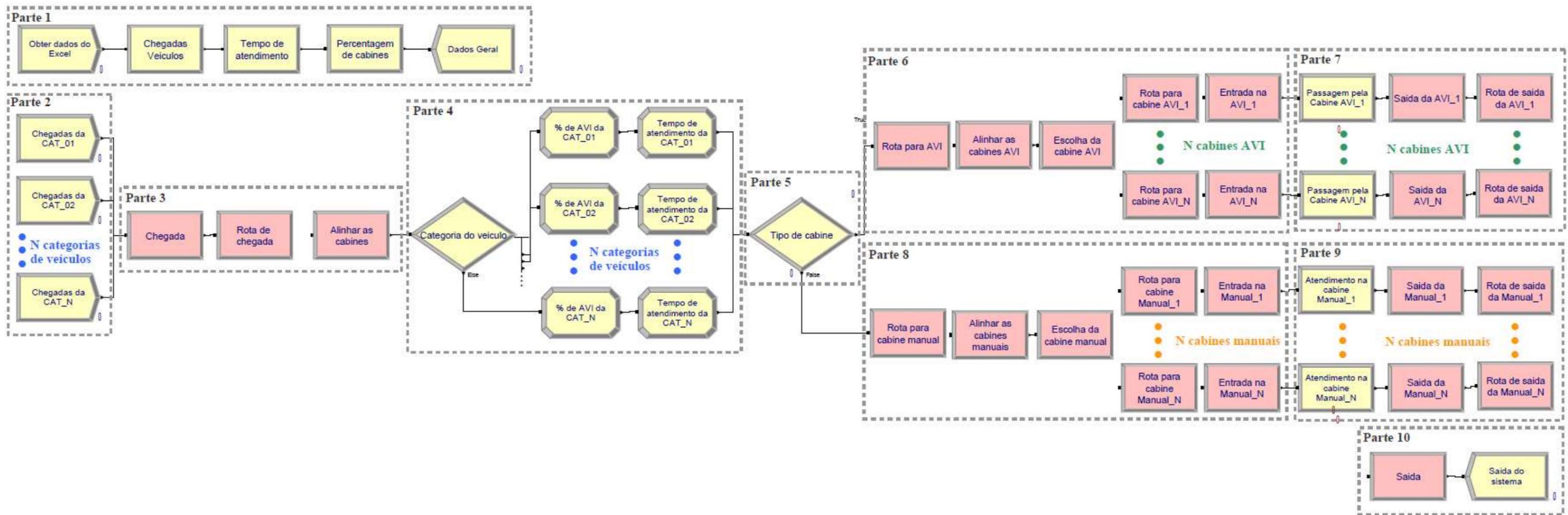


Figura 4.3: Esquema geral do fluxograma utilizado no *Arena*

Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que o fluxograma do *Arena* apresentado na Figura 4.3 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, número de 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.

A seguir são expostas as descrições e funções de cada uma das 10 (dez) partes do fluxograma utilizado no *Arena* (Figura 4.3) para a modelagem por simulação.

Parte 1 – Obtenção de dados do arquivo de entrada (Excel)

A Parte 1 visa a obtenção de dados do arquivo de entrada (Excel) e possui 5 (cinco) módulos de fluxograma, conforme ilustra a Figura 4.4.

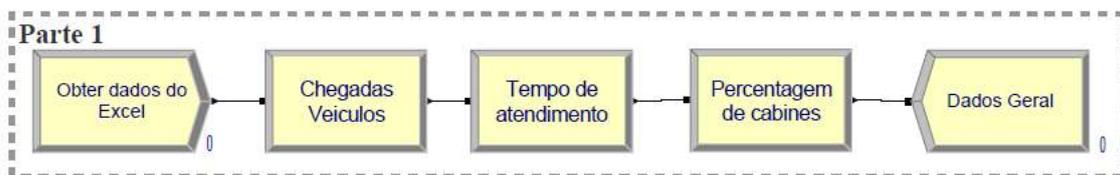


Figura 4.4: Parte 1 do fluxograma utilizado no *Arena*

Fonte: Elaboração própria.

Para o modelo de simulação proposto, alguns dados sobre o sistema são cadastrados em planilha eletrônica (em ambiente Excel), com o objetivo de concatenar as informações coletadas e produzir as variáveis sobre o sistema. Essas variáveis são calculadas de acordo com a categoria do veículo (tipo de veículo e do respectivo número de eixos), sendo

utilizadas as distribuições estatísticas e, em seguida, são importadas para o *software* de simulação *Arena*, de forma a auxiliar na modelagem por simulação.

Para o fluxograma proposto, 3 (três) importantes variáveis de entrada sobre o sistema são cadastradas em planilha eletrônica, de acordo com a categoria do veículo, nesta ordem:

- Tempo entre chegadas dos veículos na entrada do sistema (em minutos/veículo);
- Tempo de atendimento na cabine (em segundos/veículo); e
- Percentagem de escolha de cabines manuais e AVI (em valores percentuais).

Esta parte representa, portanto, o ponto de partida no modelo de simulação e é usada para obter os dados de um arquivo de entrada (no caso, Excel) e atribuir os valores de dados (as 3 variáveis sobre o sistema) a uma lista de atributos ou outra expressão do *software* de simulação *Arena*.

Parte 2 – Entrada de veículos na praça de pedágio

A Parte 2 permite a criação de entidades (veículos) e o número de módulos de fluxograma (*Create*, neste caso) vai depender do número de categorias de veículos, conforme ilustra a Figura 4.5.



Figura 4.5: Parte 2 do fluxograma utilizado no *Arena*

Fonte: Elaboração própria.

Esta parte permite, portanto, a criação de entidades (Veículos), 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 (em minutos/veículo) na entrada do sistema.

Parte 3 – Deslocamento de veículos até um ponto de alinhamento com as cabines manuais e AVI

A Parte 3 permite o deslocamento de entidade (veículo) até um ponto de alinhamento com as cabines manuais e AVI e possui 3 (três) módulos de fluxograma, conforme ilustra a Figura 4.6.



Figura 4.6: Parte 3 do fluxograma utilizado no *Arena*

Fonte: Elaboração própria.

Esta parte transfere uma entidade (veículo) do ponto de partida no modelo de simulação para a estação seguinte, onde se tem o alinhamento com as cabines manuais e AVI. Nesta parte é ainda definido um tempo de atraso para transferir a entidade para a próxima estação. Segundo Alvarenga (2010), esse tempo de atraso depende de vários parâmetros, destacando-se a categoria veicular e as modalidades de cobrança possíveis, com interferência no fluxo de velocidade. Entretanto, para os módulos de rota (*Route*) do fluxograma apresentado nesta dissertação, foram incorporados apenas os tempos de atraso em função da modalidade de cobrança da praça de pedágio.

Parte 4 – Atribuição dos valores de tempo de atendimento e percentual de escolha às cabines manuais e AVI

A Parte 4 permite a atribuição, a cada uma das categorias de veículos ou entidades, dos valores de tempo de atendimento e percentual de escolha às cabines manuais e AVI. É composta de um módulo de regra de decisão (*Decide*) e o número de módulos de

atribuições (*Assign*) vai depender do número de categorias de veículos, conforme ilustra a Figura 4.7.

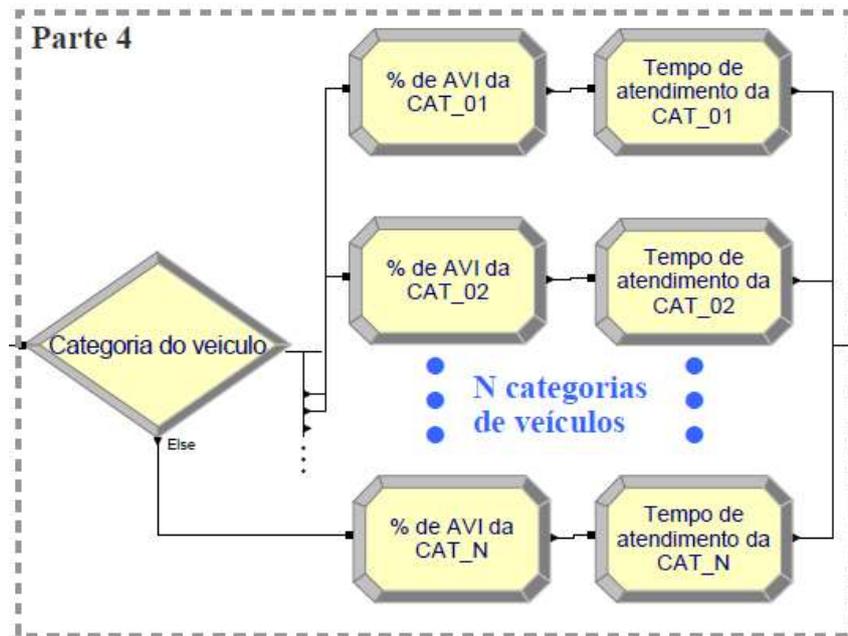


Figura 4.7: Parte 4 do fluxograma utilizado no *Arena*

Fonte: Elaboração própria.

Esta parte permite, primeiramente, processos de tomada de decisão no sistema com base na condição da categoria de veículo, que vai depender do tipo de veículo e do respectivo número de eixos. Em seguida é atribuído para cada categoria de veículo as respectivas distribuições de probabilidade das variáveis de tempo de atendimento na cabine (em segundos por veículos) e percentagem de escolha de cabines manuais e AVI (em valores percentuais).

Parte 5 – Ponto de escolha entre cabines manuais ou AVI

A Parte 5 consta de um módulo de decisão (*Decide*) que permite a escolha entre cabines manuais ou AVI a cada uma das categorias de veículos, e é representada na Figura 4.8.

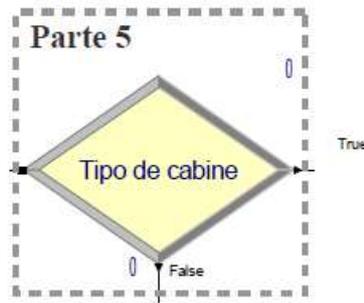


Figura 4.8: Parte 5 do fluxograma utilizado no *Arena*

Fonte: Elaboração própria.

Esta parte permite, portanto, processos de tomada de decisão no sistema com base em uma ou mais probabilidades (por exemplo, o percentual de escolha de cabines manuais ou AVI para cada categoria de veículo). Neste estudo, foi adotado o percentual de escolha de cabines AVI como verdade (*True*) e o percentual de escolha de cabines manuais como falso (*False*).

Parte 6 – Deslocamento de veículos até um ponto de alinhamento com as cabines AVI

A Parte 6 permite o deslocamento de uma entidade (veículo) até um ponto de alinhamento com a cabine AVI escolhida, sendo que o número total de cabines AVI vai variar de acordo com a praça de pedágio analisada. Em decorrência disto, o número de módulos do fluxograma desta parte é variável de acordo com o estudo de caso, conforme ilustra a Figura 4.9.

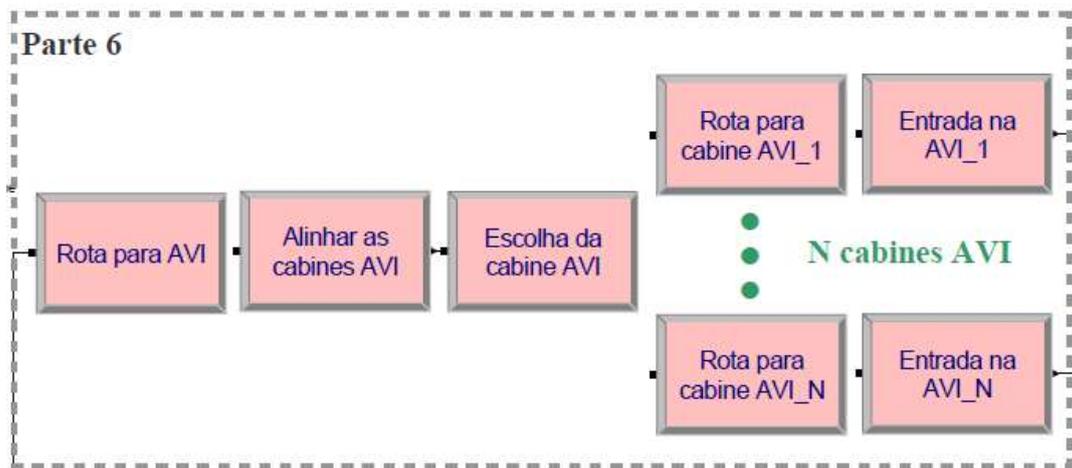


Figura 4.9: Parte 6 do fluxograma utilizado no *Arena*

Fonte: Elaboração própria.

Esta parte transfere uma entidade (veículo) 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 foi 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.

Parte 7 – Passagem de veículos pela cabine AVI

A Parte 7 permite a passagem de uma entidade (veículo) por uma das cabines AVI escolhida, sendo que o número total de cabines AVI vai variar de acordo com a praça de pedágio analisada. Em decorrência disto, o número de módulos do fluxograma desta parte é variável de acordo com o estudo de caso, conforme ilustra a Figura 4.10.

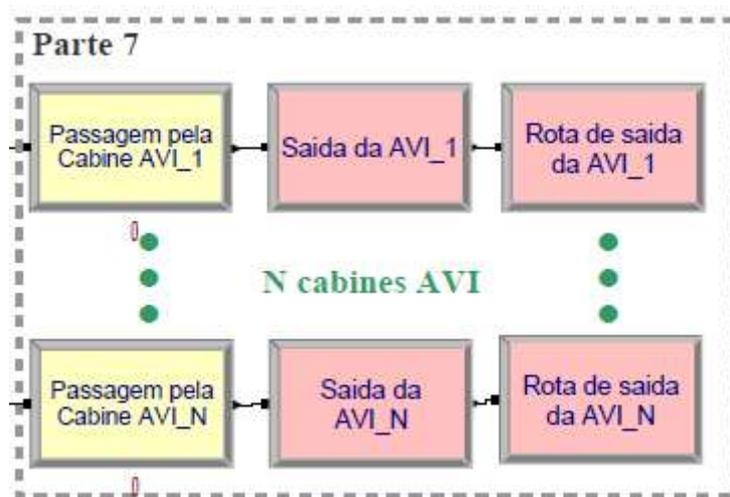


Figura 4.10: Parte 7 do fluxograma utilizado no *Arena*

Fonte: Elaboração própria.

Esta parte representa a passagem da entidade (veículo) 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.

Parte 8 – Deslocamento de veículos até um ponto de alinhamento com as cabines manuais

A Parte 8 permite o deslocamento de uma entidade (veículo) até um ponto de alinhamento com a cabine manual escolhida, sendo que o número total de cabines manuais vai variar de acordo com a praça de pedágio analisada. Em decorrência disto, o número de módulos do fluxograma desta parte é variável de acordo com o estudo de caso, conforme ilustra a Figura 4.11.

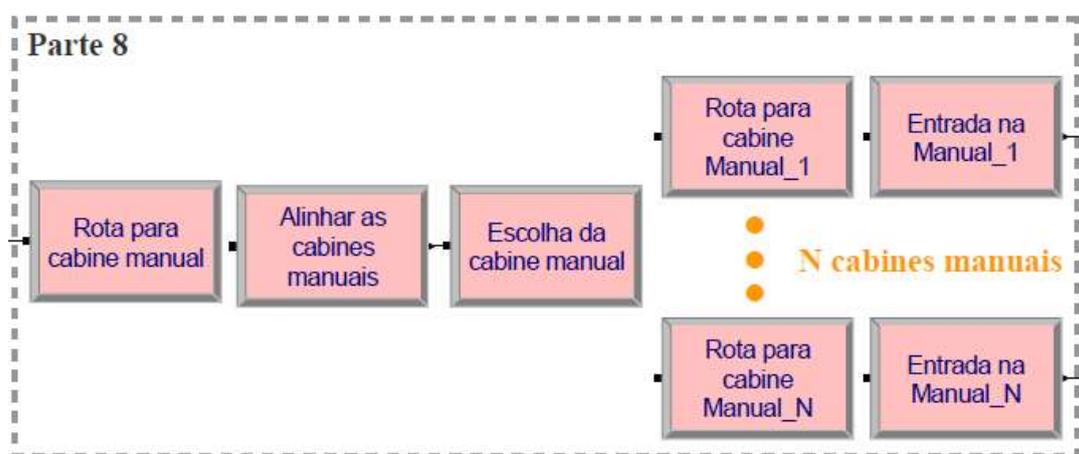


Figura 4.11: Parte 8 do fluxograma utilizado no *Arena*

Fonte: Elaboração própria.

Esta parte transfere uma entidade (veículo) 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 foi 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.

Parte 9 – Passagem de veículos pela cabine manual

A Parte 9 permite a passagem de uma entidade (veículo) por uma das cabines manuais escolhida, sendo que o número total de cabines manuais vai variar de acordo com a praça de pedágio analisada. Em decorrência disto, o número de módulos do fluxograma desta parte é variável de acordo com o estudo de caso, conforme ilustra a Figura 4.12.

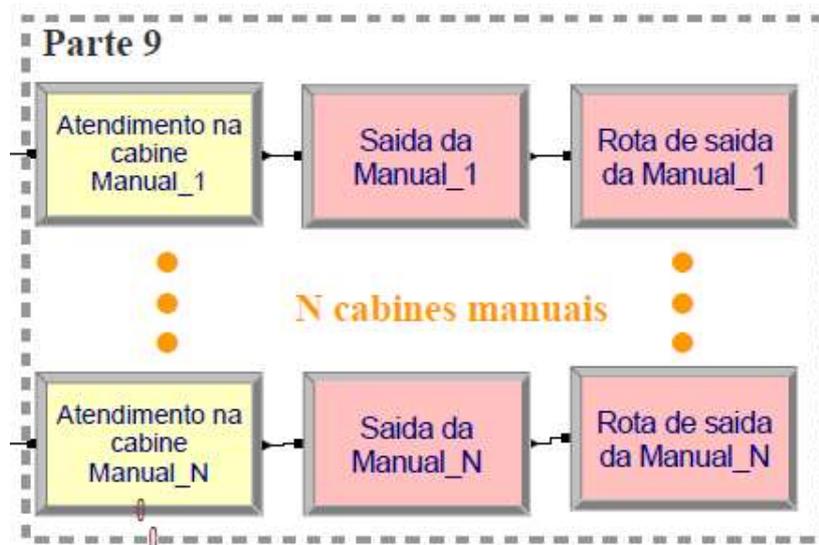


Figura 4.12: Parte 9 do fluxograma utilizado no *Arena*

Fonte: Elaboração própria.

Esta parte consiste no principal método de processamento da simulação e 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.

Parte 10 – Saída de veículos da praça de pedágio

A parte 10 representa a saída de uma entidade (veículo) do sistema da praça de pedágio, conforme ilustra a Figura 4.13.

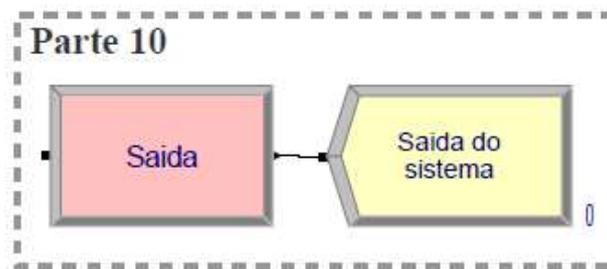


Figura 4.13: Parte 10 do fluxograma utilizado no *Arena*

Fonte: Elaboração própria.

Após a saída das cabines manuais ou AVI, esta parte representa, portanto, o ponto final para as entidades (veículos) num modelo de simulação. As estatísticas de entidade são então registradas antes que a entidade seja descartada.

4.2.3 Estimativas de desempenho do modelo de simulação

Esta etapa se dá pela obtenção do relatório de dados de estimativas de desempenho gerados pelo simulador.

Ao executar a simulação, o *Arena* coleta estatísticas padrão sobre os vários elementos do modelo, como tempo de espera na fila, número de entidades na fila, utilização dos recursos (ou arrecadadores), entre outros.

Os dados coletados constituem um relatório ao término da simulação e são apresentadas estatísticas dos dados de entidade (veículos), fila e recursos disponíveis (arrecadadores), que são fixadas nos parâmetros de projeto, conforme ilustra a Figura 4.14.

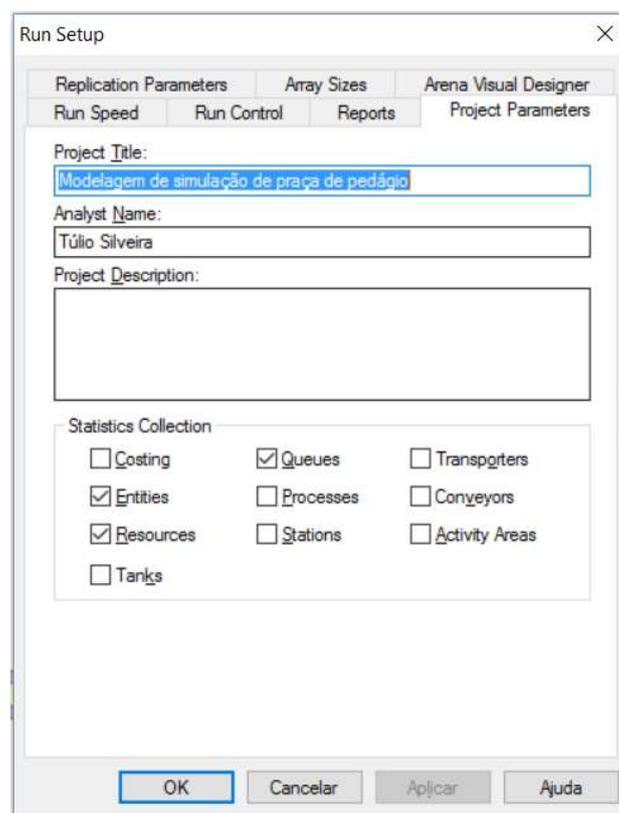


Figura 4.14: Parâmetros de projeto e coleta de estatísticas

Fonte: Elaboração própria.

O relatório gerado ao término da simulação apresenta as medidas de desempenho de praças de pedágio de tempo gasto no sistema ou na fila e do comprimento da fila, a exceção da medida de desempenho de nível de serviço, que deve ser mensurada com base na revisão bibliográfica (por meio da Tabela 2.8).

De modo geral, o relatório gerado ao término da simulação apresenta os resultados de: tempos para cada categoria de veículo (tempo de atendimento, tempo de espera na fila, tempo de deslocamento e tempo total no sistema da praça de pedágio); tempos de espera e tamanho das filas (por tipo de cabine de atendimento e modalidade de cobrança); e do número de veículos atendidos no horário de pico e da taxa de ocupação dos arrecadadores nesse período (por tipo de cabine de atendimento e modalidade de cobrança).

4.3 Passo III – Verificação e validação do modelo de simulação

Este passo visa a verificação de consistência do modelo de simulação, por meio da comparação entre as estimativas de desempenho do modelo de simulação e das estimativas de desempenho nos registros da concessionária.

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, com o propósito de obter o menor erro médio.

Uma vez que se atinja a consistência dos dados, segue a análise dos resultados parciais oriundos do relatório do simulador, que serão verificados quanto ao atendimento ao nível de serviço no próximo passo.

4.3.1 Estimativas de desempenho nos registros da concessionária

Esta etapa deve permitir a obtenção de dados relativos ao fluxo médio de veículos da hora de pico analisada, bem como do valor médio do tempo e comprimento de fila. Para tanto, os dados devem ser obtidos a partir dos registros da concessionária ou por meio de seus funcionários.

4.3.2 As estimativas são consistentes?

Esta etapa inclui uma regra de decisão, oriunda do procedimento metodológico proposto, que avalia se as estimativas de desempenho do modelo de simulação são consistentes ou não. De posse dos dados das estimativas de desempenho do modelo de simulação e das estimativas de desempenho nos registros da concessionária, é verificado se as estimativas

da modelagem são consistentes (ou não) frente às estimativas reais, obtidas por meio da concessionária da rodovia.

Nesta etapa 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.

4.3.3 Necessidade de calibração do modelo

Caso as estimativas do modelo de simulação não estejam consistentes com as estimativas reais, obtidas por meio da concessionária da rodovia, haverá a necessidade de calibração do modelo e serão retomadas as etapas de Modelo de simulação, em diante.

Para este procedimento, as estimativas de desempenho a serem comparadas devem ser obtidas por meio de instâncias (cenários) de simulação do horário de pico analisado, variando-se o tempo de aquecimento (*warm-up*) de 30 em 30 segundos, a fim de se obter o menor erro médio e se atinja a consistência dos dados.

4.3.4 Análise dos resultados parciais

Uma vez que as estimativas do modelo de simulação estiverem consistentes com as estimativas reais, obtidas por meio da concessionária da rodovia, segue-se para análise dos resultados obtidos com o modelo de simulação.

Estes resultados, considerados parciais, são obtidos por meio de relatório final do simulador, e serão verificados quanto ao atendimento da medida de desempenho de nível de serviço no passo seguinte.

4.4 Passo IV – Verificação quanto ao atendimento ao nível de serviço

Este passo visa a verificação dos resultados do modelo de simulação quanto ao atendimento ao nível de serviço. O motivo da escolha do nível de serviço fundamenta-se na revisão bibliográfica tendo em vista que as demais medidas de desempenho (tempo gasto no sistema ou na fila e comprimento da fila) podem ser utilizadas para a análise do nível de serviço de praças de pedágio (Woo e Hoel, 1991).

Dessa forma, os dados dos resultados parciais do modelo de simulação são analisados com o objetivo de se gerar o nível de serviço do sistema, para o qual foi definido o cenário de simulação.

Em seguida, é verificado se o nível de serviço obtido reflete se o fluxo veicular é menor (ou não) que a capacidade do sistema (relativo ao LOS “E”), com a intenção de determinar se será necessária a proposição de intervenções alternativas no sistema ou da definição de cenários futuros com projeção do tráfego analisado.

Em seguida, são gerados novos cenários de simulação, que serão utilizados no próximo passo através da etapa de Modelo de simulação com os novos cenários.

4.4.1 Nível de serviço de praças de pedágio

Esta etapa é baseada na revisão da literatura no que se refere à aferição do nível de serviço em praças de pedágio e serve como auxílio na etapa seguinte, na medida em que é verificado se os resultados do modelo de simulação atendem (ou não) ao nível de serviço.

Dessa forma, as medidas de desempenho derivadas da modelagem por simulação são analisadas por meio da Tabela 2.8, com o propósito de se gerar o nível de serviço do sistema, para o qual foi definido o cenário de simulação.

4.4.2 Os resultados atendem ao nível de serviço?

Esta etapa inclui uma regra de decisão que verifica o atendimento dos resultados do modelo de simulação quanto a medida de desempenho de nível de serviço (LOS).

De posse dos critérios de aferição do nível de serviço do sistema, é verificado se o mesmo reflete se o fluxo veicular é menor que a capacidade do sistema (relativo ao LOS “E”), ou seja, níveis de serviço iguais a “A”, “B”, “C” ou “D”.

4.4.3 Definição de cenários futuros com projeção do tráfego

Verifica-se que a praça de pedágio em estudo estará em boas condições de operação para o cenário em que foi analisado, uma vez que o nível de serviço obtido refletir que o fluxo veicular é menor que a capacidade do sistema (relativo ao LOS “E”). Neste caso, não haverá a necessidade de implantação imediata de intervenções alternativas no sistema.

Em contrapartida, são definidos cenários futuros com projeção do tráfego analisado (com base nos dados de tráfego existentes ou por meio de séries históricas de rodovias com características semelhantes). Para estes cenários, serão previstos na próxima etapa o nível de serviço futuro da praça de pedágio (por exemplo, no final da concessão ou em algum momento em que o nível de serviço mostre que o fluxo veicular é igual a capacidade do sistema, relativo ao LOS “E”).

Pela revisão da literatura, observou-se que simulação não é um instrumento para prever o futuro, mas sim para prever o comportamento de um sistema (Chwif e Medina, 2014). Porém, entende-se que esta etapa é uma importante estratégia de planejamento na qual possibilita operações mais eficientes aos gestores de transportes e a concessionária da rodovia nos cenários futuros.

4.4.4 Proposição de intervenções alternativas e criação de novos cenários

Caso o nível de serviço obtido, no cenário em que foi realizada a simulação, refletir que o fluxo veicular é igual a capacidade do sistema (relativo ao LOS “E”) ou pior (LOS “F”), verificar-se-á que a praça de pedágio estará operando na situação em que todos os veículos enfrentam filas antes de chegar às cabines. Nesses casos, o tráfego de fluxo interrompido é um fenômeno típico e as manobras nas aproximações das cabines são quase impossíveis.

Dessa forma, a praça de pedágio estará em más condições de operação e será necessária a proposição de intervenções alternativas no sistema, bem como a criação de novos cenários.

Os novos cenários devem estar de acordo com o que foi apresentado no Item 2.1, sendo que as intervenções alternativas a serem testadas são apresentadas abaixo:

- Aumento de capacidade ou adição de novas cabines de pedágio;
- Sistema misto de coleta manual e sistema AVI;
- Apenas sistema AVI com cancela;
- Sistema misto de coleta manual e *free-flow*; e
- Rodovias de pedágio aberto ou *free-flow*.

4.5 Passo V – Perspectivas para implantação de intervenções alternativas

Este passo visa auxiliar os órgãos gestores ou as concessionárias de rodovias na tomada de decisão com relação as perspectivas de implantação de intervenções alternativas no sistema.

Dessa forma, o modelo de simulação com novos cenários estabelecidos no passo anterior e a elaboração de um relatório gerencial com análise dos resultados finais devem ser considerados, a fim de possibilitar operações mais eficientes no sistema.

4.5.1 Modelo de simulação com os novos cenários

Esta etapa refere-se ao modelo de simulação com os novos cenários, estipulados nas etapas anteriores, cujos cenários podem ser de:

- Proposição de intervenções alternativas no sistema; ou
- Projeção futura do tráfego analisado.

Quando se tratar dos cenários com a proposição de intervenções alternativas no sistema, deverão ser testadas todas as medidas viáveis para o local, com a intenção de se verificar as estimativas de desempenho de cada uma delas, bem como da aferição do nível de serviço.

Por outro lado, quando se tratar dos cenários futuros com projeção do tráfego analisado, deverão ser previstos os níveis de serviço futuro do sistema, variando-se o fluxo de chegada ou o intervalo entre chegadas dos veículos.

4.5.2 Relatório gerencial com análise dos resultados

Ao final, um relatório gerencial com análise de todos os resultados deve ser gerado, tendo como referência os novos cenários que foram analisados na etapa anterior.

Como diferentes intervenções alternativas no sistema apresentam diferentes benefícios identificados via simulação da operação (melhora no nível de serviço), ficará a cargo do órgão gestor ou da concessionária decidir qual delas deve ser selecionada, seja em função da capacidade, dos custos associados, ou de algum outro critério estabelecido.

Em contrapartida, quando se tratar dos cenários futuros com projeção do tráfego analisado, deverão ser previstos os níveis de serviço futuro do sistema, com o propósito de possibilitar operações mais eficientes aos gestores de transportes e a concessionária da rodovia.

Dessa forma, o relatório gerencial com análise dos resultados realça as contribuições do procedimento proposto, em que se diferencia e agrega as abordagens disponíveis. O próximo capítulo dedica-se a aplicação do procedimento metodológico proposto em um estudo de caso, com a intenção de reforçar o entendimento e a aceitação pelos órgãos gestores de transportes e concessionárias em geral.

5 APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO: ESTUDO DE CASO

Conforme já foi mencionado, foi criado um procedimento metodológico para avaliar o desempenho operacional de praça de pedágio, a partir da técnica de modelagem por simulação e da comparação dos seus resultados com as medidas de desempenho de praças de pedágio presentes na literatura, sobretudo o nível de serviço. Para tanto, se faz necessária a aplicação do procedimento metodológico proposto em um estudo de caso.

Nesta dissertação, utilizou-se como estudo de caso uma das 6 (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, tendo como intervenientes o Departamento de Estradas de Rodagem – DER/MG e a Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais – CODEMIG, conforme licitação por concorrência realizada em 07 de agosto de 2006, homologada em 09 de maio de 2007 (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 entre o DER/MG, a SETOP, a Unidade PPP, a Advocacia-Geral do Estado, a CODEMIG, e vários outros técnicos 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, conforme ilustra a Figura 5.1.

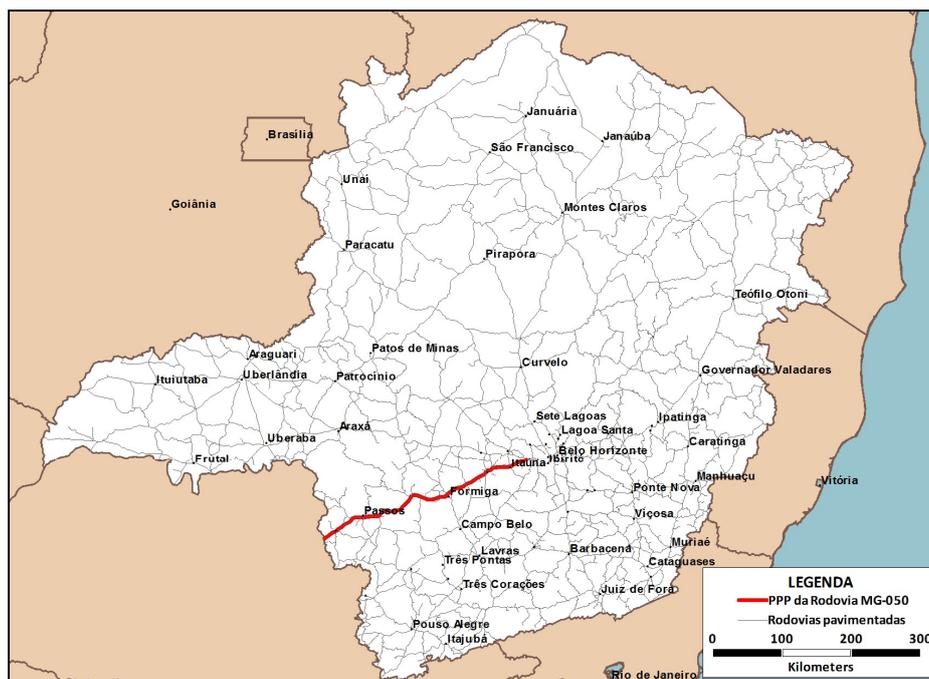


Figura 5.1: Concessão patrocinada das rodovias MG-050, BR-265 e BR-491

Fonte: Santos e Mourão (2013).

O trecho sob responsabilidade da concessionária AB Nascentes das Gerais, cruza 22 municípios diretamente, mas influencia 50 cidades, cuja população é de 1,3 milhões de habitantes ou 7,4% da população mineira. Estima-se que 7,7% do PIB mineiro esteja concentrado na área de influência do Sistema MG-050, que liga Juatuba, na Região Metropolitana de Belo Horizonte, a São Sebastião do Paraíso, na divisa entre Minas Gerais e São Paulo (AB Concessões, 2016).

A extensão da malha viária concedida compreende os segmentos:

- **MG-050:** entre o Km 57,6 e o Km 402 – Total: 344,4 quilômetros;
- **BR-265:** entre o Km 637,2 e o Km 659,5 – Total: 22,3 quilômetros; e
- **BR-491:** entre o Km 0 e o Km 4,7 – Total: 4,7 quilômetros.

A Figura 5.2 ilustra o mapa do sistema concedido, contendo as 6 (seis) praças de pedágio assim como as demais bases de apoio da concessionária.

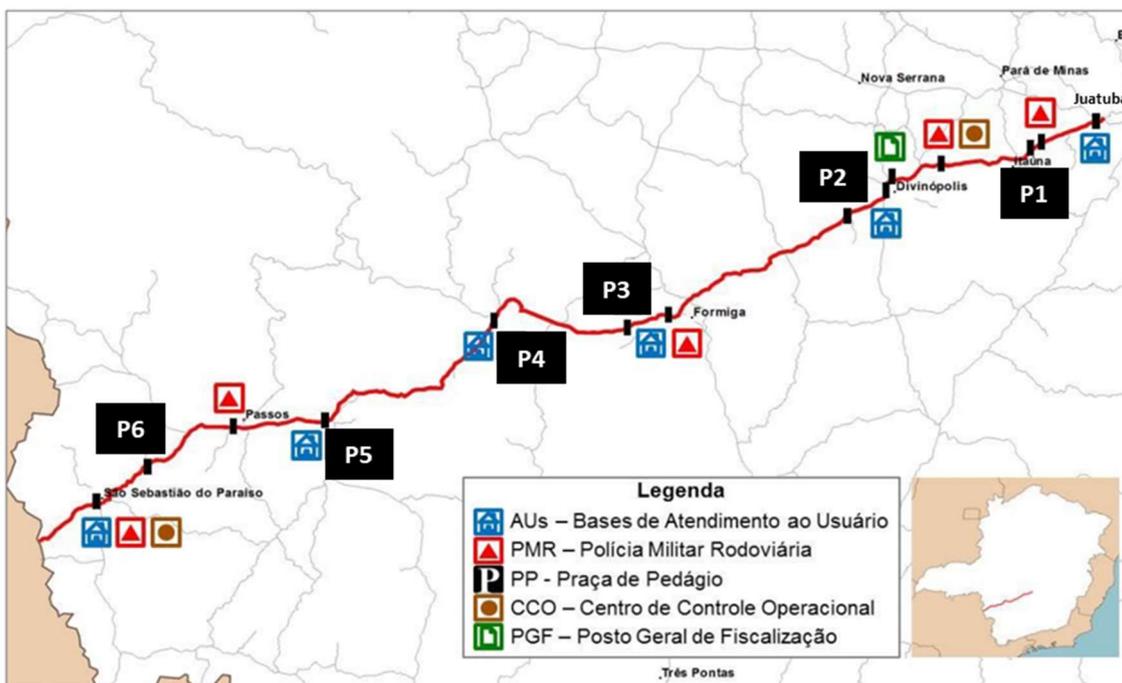


Figura 5.2: Mapa do sistema concedido e bases de apoio da concessionária

Fonte: Adaptação de PwC (2016).

A Tabela 5.1 mostra a localização das 6 (seis) praças de pedágio existentes na concessão do sistema MG-050.

Tabela 5.1: Praças de pedágio da PPP da rodovia MG-050

Praça de Pedágio	Cidade	Localização (km)
P1	Itaúna	81
P2	São Sebastião do Oeste	141
P3	Córrego Fundo	219
P4	Piumhi	270
P5	Passos	333
P6	Pratápolis	389

Fonte: Santos e Mourão (2013).

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 6 (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) → Juatuba/MG (na região metropolitana de Belo Horizonte); e

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

Os dados de tráfego foram tratados, em ambos os sentidos de tráfego, a fim de obter o fluxo de tráfego de cada praça de pedágio. O Apêndice A – Dados de tráfego de junho de 2008 a dezembro de 2014 mostra os fluxos de tráfego consolidados (mensal e anual) desde o início de operação das praças de pedágio (junho de 2008) até dezembro de 2014.

A Tabela 5.2 mostra os dados de tráfego anual de cada praça de pedágio, em ambos sentidos de tráfego, durante o período analisado.

Tabela 5.2: Tráfego anual das praças de pedágio por sentido de tráfego

Sentido	Praças de pedágio	2008*	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Leste	1 - Itaúna	822.575	1.505.488	1.639.009	1.733.698	1.768.931	1.843.596	1.880.557
	2 - São Sebastião do Oeste	551.094	1.038.691	1.093.528	1.113.415	1.157.490	1.194.976	1.268.644
	3 - Córrego Fundo	242.976	448.862	475.763	488.746	501.337	503.303	520.742
	4 - Piumhi	361.057	662.346	712.617	731.565	756.278	770.132	804.176
	5 - Passos	538.997	991.330	1.055.068	1.080.373	1.134.677	1.157.865	1.200.565
	6 - Pratápolis	438.484	784.128	829.599	836.759	853.894	865.844	869.650
	TOTAL	2.955.183	5.430.845	5.805.584	5.984.556	6.172.607	6.335.716	6.544.334
Oeste	1 - Itaúna	833.696	1.509.725	1.626.928	1.726.754	1.772.634	1.850.243	1.887.386
	2 - São Sebastião do Oeste	569.734	1.057.387	1.111.368	1.125.049	1.171.921	1.210.077	1.284.006
	3 - Córrego Fundo	236.101	436.247	468.632	480.312	495.760	503.404	521.660
	4 - Piumhi	363.362	665.848	721.360	741.249	765.150	783.134	817.649
	5 - Passos	537.095	991.010	1.055.637	1.081.139	1.137.977	1.163.992	1.206.756
	6 - Pratápolis	429.353	781.281	826.202	838.682	857.712	872.504	874.552
	TOTAL	2.969.341	5.441.498	5.810.127	5.993.185	6.201.154	6.383.354	6.592.009

*A partir de 13/06/2008.

Fonte: Elaboração própria.

As Figura 5.3 e Figura 5.4 ilustram a evolução do fluxo de tráfego no período analisado (junho de 2008 a dezembro de 2014) para as 6 (seis) praças de pedágio, nos sentidos leste e oeste, respectivamente.

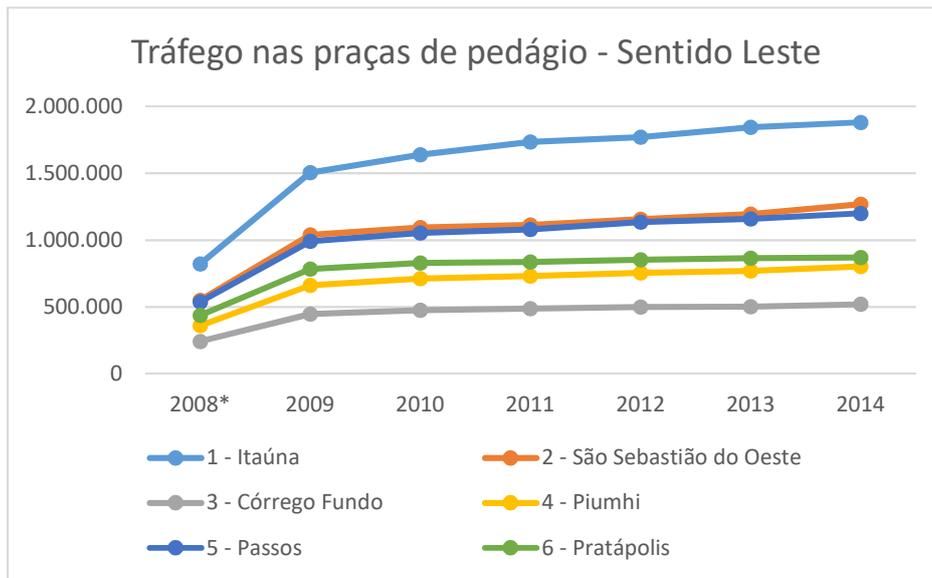


Figura 5.3: Evolução do tráfego nas praças de pedágio no sentido leste

Fonte: Elaboração própria.

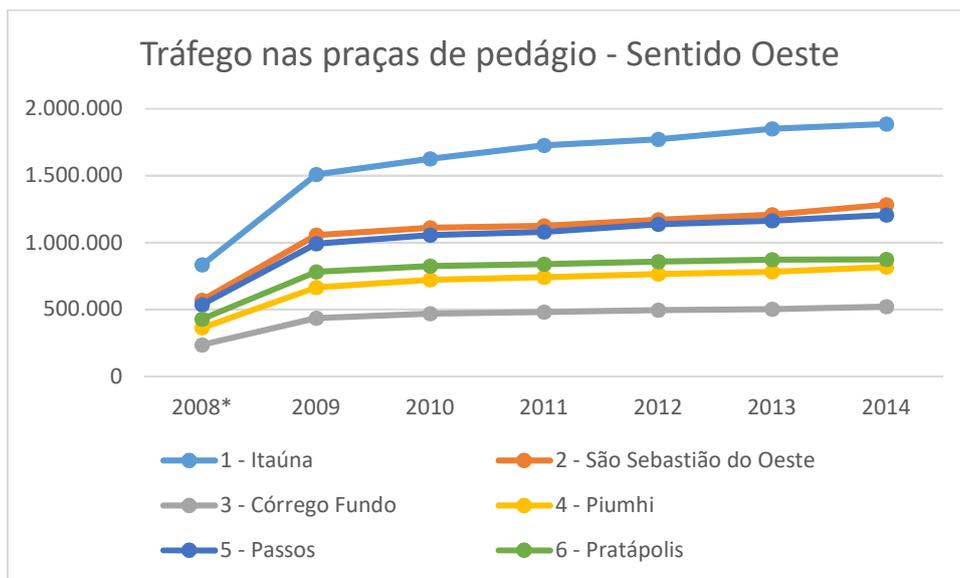


Figura 5.4: Evolução do tráfego nas praças de pedágio no sentido oeste

Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que a praça de pedágio de Itaúna/MG é a que apresenta o maior fluxo de tráfego, nos dois sentidos de tráfego, e esta foi a praça de pedágio escolhida para o estudo de caso desta dissertação.

De modo geral, o tráfego total nas 6 (seis) praças de pedágio existentes na MG-050 e o tráfego na praça de pedágio de Itaúna/MG, por sentido de tráfego, são ilustrados, respectivamente, pelas Figura 5.5 e Figura 5.6.

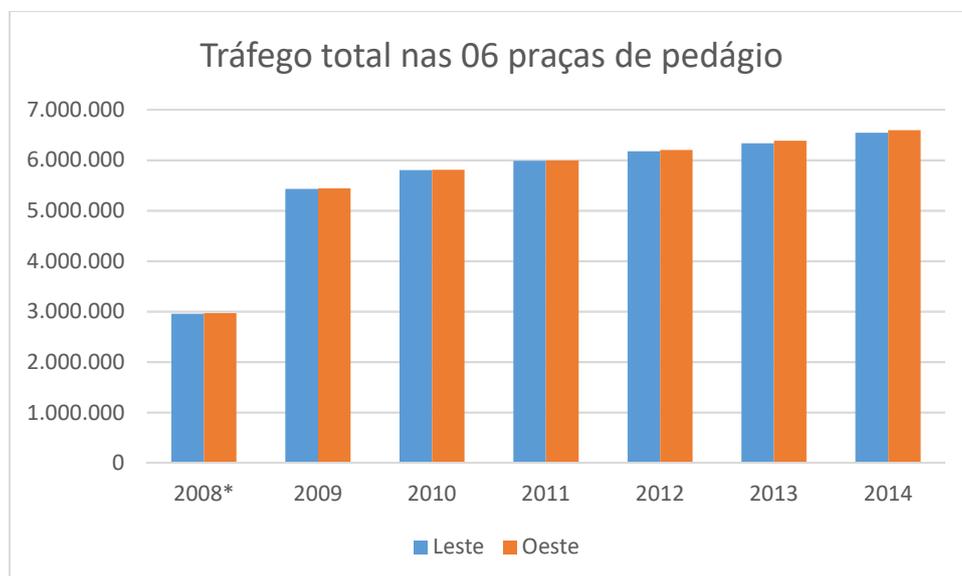


Figura 5.5: Tráfego total nas 06 praças de pedágio

Fonte: Elaboração própria.

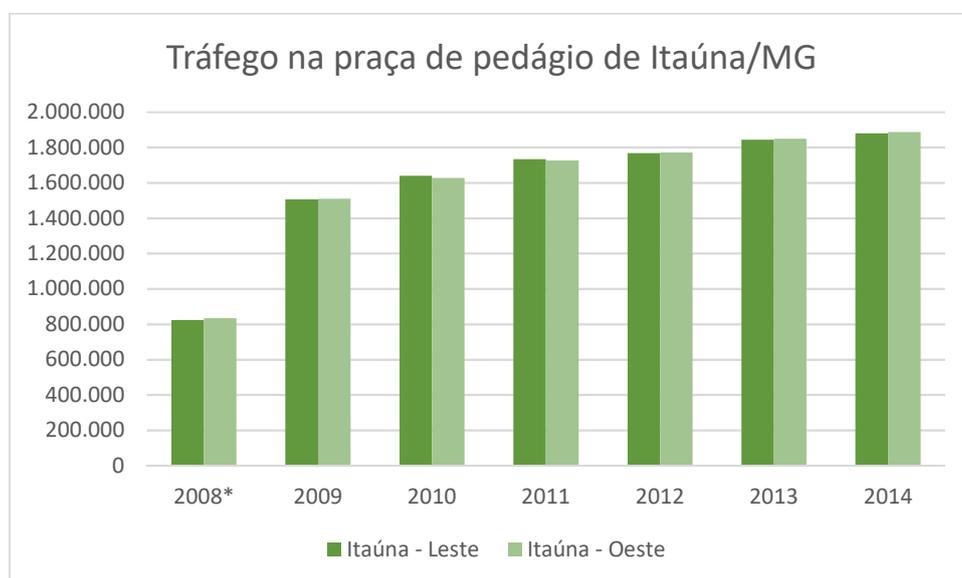


Figura 5.6: Tráfego na praça de pedágio de Itaúna/MG

Fonte: Elaboração própria.

Observa-se, de acordo com a Figura 5.5, que os fluxos de tráfego nas 6 (seis) praças de pedágio são praticamente idênticos em ambos os sentidos de tráfego. A Figura 5.6 mostra

que, para a praça de pedágio de Itaúna/MG, o fluxo de tráfego 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.

Os próximos subitens apresentam a aplicação do procedimento metodológico proposto na praça de pedágio de Itaúna/MG, no sentido leste (São Sebastião do Paraíso/MG → Juatuba/MG), seguindo-se das considerações finais.

5.1 Praça de Pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste

Foi visto que, 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.

Para este sentido de tráfego e considerando a praça de pedágio de Itaúna/MG como estudo de caso, é apresentado a aplicação do procedimento metodológico proposto, que consiste em uma série de etapas, representado por meio de 5 (cinco) passos, conforme os próximos subitens.

5.1.1 Passo I – Caracterização da praça de pedágio e análise dos dados

Caracterização da praça de pedágio

A praça de pedágio de Itaúna/MG, localizada no Km 81 da rodovia MG-050, próxima à região metropolitana de Belo Horizonte/MG, pode ser vista conforme ilustra a Figura 5.7.



Figura 5.7: Localização da praça de pedágio de Itaúna/MG

Fonte: Adaptação de *Google Earth* (Data da imagem: 17/06/2016).

Da Figura 5.7, observa-se que a região de interferência no fluxo dos veículos causada pela instalação das cabines de cobrança possui uma extensão de aproximadamente 485 metros. Essa região compreende os pontos de alargamento e de estreitamento da praça de pedágio.

No sentido leste há 5 (cinco) cabines manuais, das quais 3 (três) são de faixas reversíveis, ou seja, atendem nos dois sentidos. Há também 2 (duas) cabines AVI, com cobrança automática, onde não há intervenção humana. A Figura 5.8 ilustra a configuração da praça de pedágio de Itaúna/MG, no sentido leste, datada de 22 de julho de 2016.



Figura 5.8: Praça de pedágio de Itaúna/MG no sentido leste

Fonte: Visita em campo (22/07/2016).

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, 6 (seis) cabines costumam ficar disponíveis no sentido leste, sendo que: 4 (quatro) cabines são manuais e 2 (duas) cabines são AVI.

A Figura 5.9 ilustra a estrutura da praça de pedágio de Itaúna/MG e a devida configuração no período do pico da manhã.

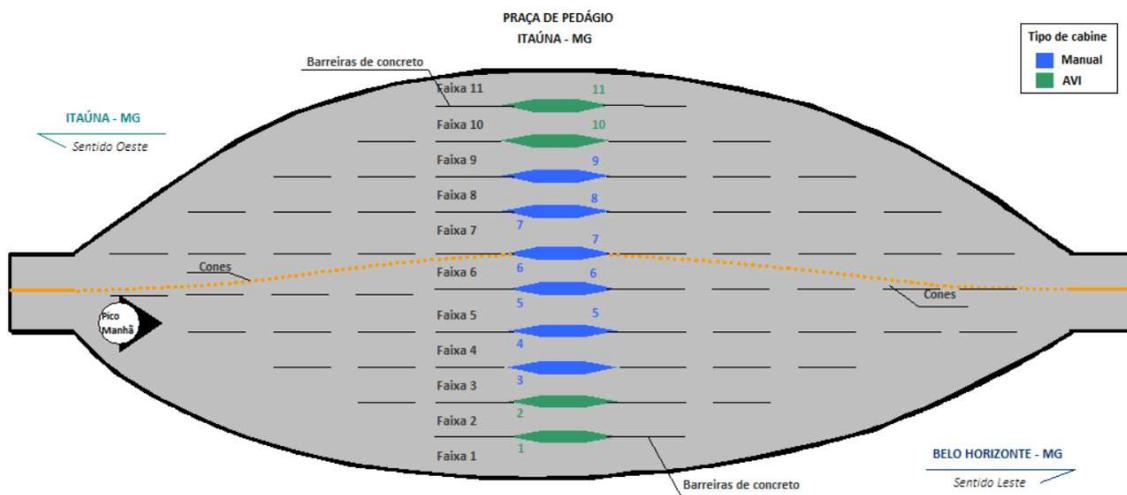


Figura 5.9: Configuração da praça de pedágio de Itaúna/MG no pico da manhã

Fonte: Elaboração própria.

Da Figura 5.9, observa-se que no sentido leste, durante o período do pico da manhã, são utilizadas 2 (duas) cabines AVI (AVI 1 e 2) e 4 (quatro) cabines manuais (Manual 3, 4, 5 e 6).

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.

Com base no que foi apresentado na Figura 2.7, a capacidade da praça de pedágio, no sentido leste, pode ser estimada em até 2.800 veículos por hora.

Levantamento de dados

Para a composição do banco de dados, relativo ao sentido leste, 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 (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 da MG-050; (ii) Edital MG-050; (iii) Contrato MG-050.

Tabulação e análise dos dados

Os dados coletados na etapa anterior 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.

Essas variáveis sobre o sistema devem estar atreladas com a classificação dos veículos. Para tanto, foi utilizada a mesma classificação de veículos da concessão patrocinada da rodovia MG-050, conforme mostra a Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Classificação dos veículos na concessão patrocinada da rodovia MG-050

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

Fonte: Adaptação de SETOP (2016b).

Da Tabela 5.3, observa-se que a classificação dos veículos utilizada na concessão patrocinada da rodovia MG-050 se assemelha muito com a classificação dos veículos preconizada pela ANTT (Tabela 2.2), constando de uma categoria a mais, denominada veículos especiais (veículos com mais de 6 eixos).

Os próximos subitens apresentam a tabulação e análise dos dados de cada uma das variáveis associadas às praças de pedágio.

Chegadas de veículos

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.

Em seguida, os dados de tráfego do ano de 2014 foram tratados com a intenção de se obter o fluxo de tráfego mensal, de acordo com as categorias de veículos, conforme mostra o Apêndice B – Dados de tráfego mensal de 2014.

A Figura 5.10 ilustra o tráfego mensal da praça de pedágio de Itaúna/MG, no sentido leste, para o ano de 2014.

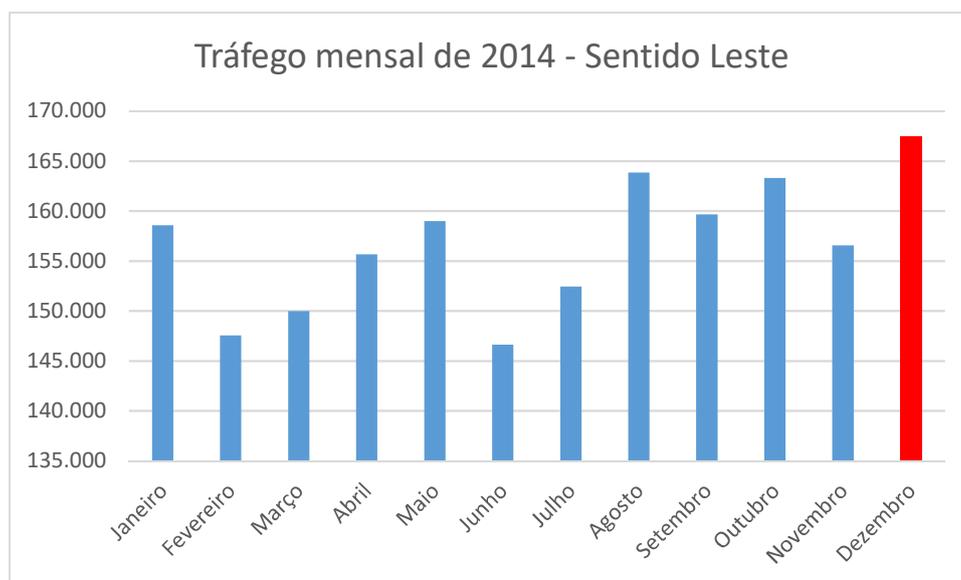


Figura 5.10: Tráfego mensal da praça de pedágio de Itaúna/MG em 2014

Fonte: Elaboração própria.

Da Figura 5.10, observa-se que o maior fluxo de tráfego se deu no mês de dezembro de 2014, num total de 167.476 veículos.

Para o mês de dezembro de 2014, foi verificado o dia da semana com o maior fluxo de tráfego, conforme mostra o Apêndice C – Dados de tráfego diário de dezembro de 2014.

A Figura 5.11 ilustra os volumes diários da praça de pedágio de Itaúna/MG, no sentido leste, para o mês de dezembro de 2014.

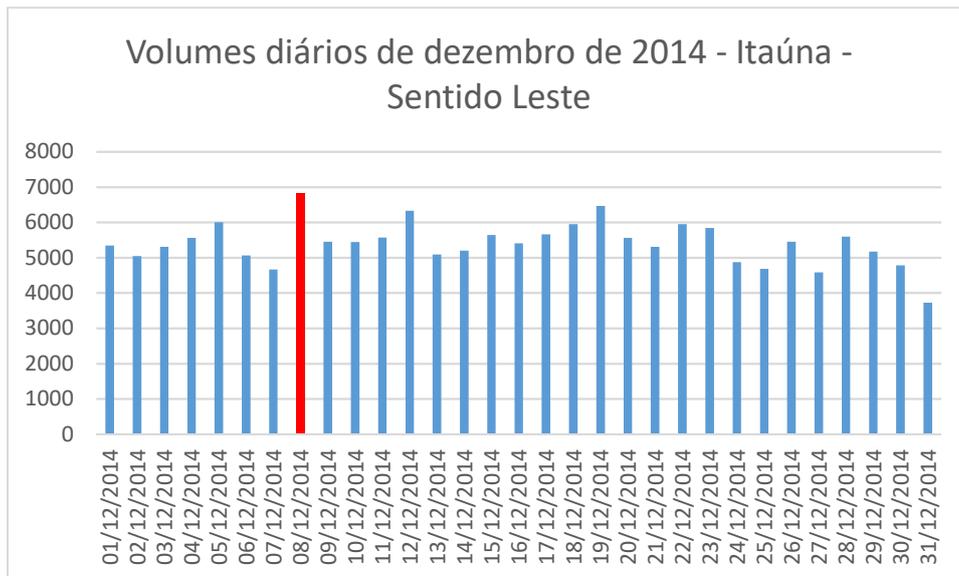


Figura 5.11: Volumes diários da praça de pedágio de Itaúna em dezembro de 2014

Fonte: Elaboração própria.

Da Figura 5.11, observa-se que o maior volume diário ocorreu no dia 08 de dezembro de 2014 (segunda-feira), num total de 6.816 veículos.

Conforme já foi mencionado, 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 (Figura 5.12) com o objetivo de obter um volume médio horário que melhor represente o horário de pico no sentido leste (Apêndice D – Dados de tráfego das segundas-feiras de dezembro/2014).



Figura 5.12: Segundas-feiras de dezembro de 2014

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 5.13 ilustra os volumes médios horários (em veículos) das segundas-feiras de dezembro de 2014, no sentido leste, da praça de pedágio de Itaúna/MG.

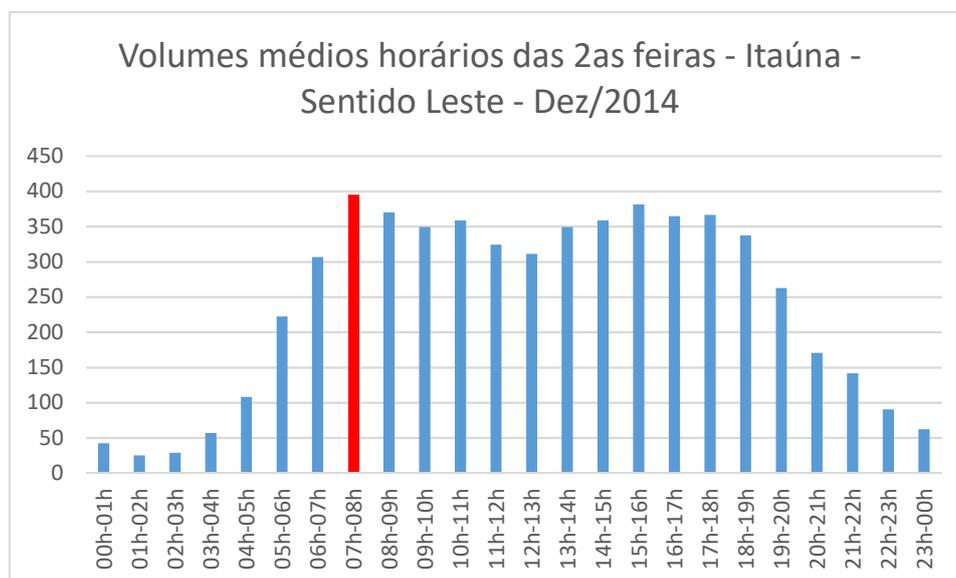


Figura 5.13: Volumes médios horários das segundas-feiras de dezembro de 2014

Fonte: Elaboração própria.

Da Figura 5.13, observa-se 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 o modelo de simulação.

Em seguida, verificou-se os volumes médios horários no período de pico (07h-08h) das segundas-feiras de dezembro de 2014 de acordo com a classificação dos veículos, conforme mostra a Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Volumes médios horários no pico da manhã (07h-08h)

Categoria	Volume médio horário no pico da manhã (07h-08h) das 2as feiras de dezembro/2014					Volume médio (Veículos / hora)
	01/12/2014	08/12/2014	15/12/2014	22/12/2014	29/12/2014	
CAT_01	336	228	334	358	257	303
CAT_02	31	26	32	22	29	28
CAT_03	0	0	2	0	0	0
CAT_04	22	12	23	29	20	21
CAT_05	0	0	1	0	0	0
CAT_06	1	1	2	3	3	2
CAT_07	6	4	4	9	10	7
CAT_08	19	9	9	8	10	11
CAT_09	16	22	21	31	23	23
CAT_10	0	0	0	0	0	0
Total	431	302	428	460	352	395

Fonte: Elaboração própria.

Conforme verificado na revisão da literatura, 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 (Oliveira, 2013).

Dessa forma, a Tabela 5.5 mostra, para o horário de pico analisado, o tempo entre chegadas de veículos e a distribuição de probabilidade, de acordo com a classificação dos veículos.

Tabela 5.5: Tempo entre chegadas e distribuição de probabilidade

Categoria	Tempo entre chegadas (Minutos / veículo)	Distribuição de probabilidade
CAT_01	0,20	EXPO(0.20)
CAT_02	2,14	EXPO(2.14)
CAT_03	150,00	EXPO(150)
CAT_04	2,83	EXPO(2.83)
CAT_05	300,00	EXPO(300)
CAT_06	30,00	EXPO(30)
CAT_07	9,09	EXPO(9.09)
CAT_08	5,45	EXPO(5.45)
CAT_09	2,65	EXPO(2.65)
VEIC_ESP	-	EXPO(6000000)

Fonte: Elaboração própria.

Da Tabela 5.5, observa-se que não houve fluxo de veículos especiais (Categoria VEIC_ESP) no horário de pico analisado, sendo adotada, portanto, uma distribuição de probabilidade que indica um tempo entre chegadas que tende ao infinito.

Tempo de atendimento

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. Esses dados são apresentados no Apêndice E – Tempo de atendimento com base nas filmagens, tendo em vista que foram excluídos da amostra os pontos discrepantes.

A Tabela 5.6 apresenta os resultados obtidos para a variável de tempo de atendimento de acordo com a classificação de veículos.

Tabela 5.6: Tempo de atendimento por categoria

Categoria	Quantidade	Média	Menor valor	Maior valor	Desvio padrão	Erro
CAT_01	648	12	02	77	09	0,7
CAT_02	20	18	05	61	15	6,6
CAT_03	4	18	09	31	09	8,8
CAT_04	6	44	17	78	23	18,4
CAT_05	-	-	-	-	-	-
CAT_06	1	53	53	53	-	-
CAT_07	3	21	17	26	05	5,7
CAT_08	2	31	16	46	21	29,1
CAT_09	14	24	04	46	12	6,3
VEIC_ESP	-	-	-	-	-	-
Total	698	13	02	78	10	0,7

Fonte: Elaboração própria.

Da Tabela 5.6, observa-se que 8 (oito) das 10 (dez) categorias de veículos foram contempladas durante o período analisado, excetuando-se os automóveis com reboque (CAT_05) e os veículos especiais (VEIC_ESP).

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.

Dessa forma, os resultados obtidos para a variável de tempo de atendimento, de acordo com a classificação de veículos em leves e pesados, são apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7: Tempo de atendimento por veículos leves e pesados

Veículos	Quantidade	Média	Menor valor	Maior valor	Desvio padrão	Erro
Leves	666	13	02	77	09	0,7
Pesados	32	25	05	78	19	6,6
Total	698	13	02	78	10	0,7

Fonte: Elaboração própria.

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.

Para os veículos leves, a Figura 5.14 apresenta os resultados gerados pelo *Input Analyzer*.

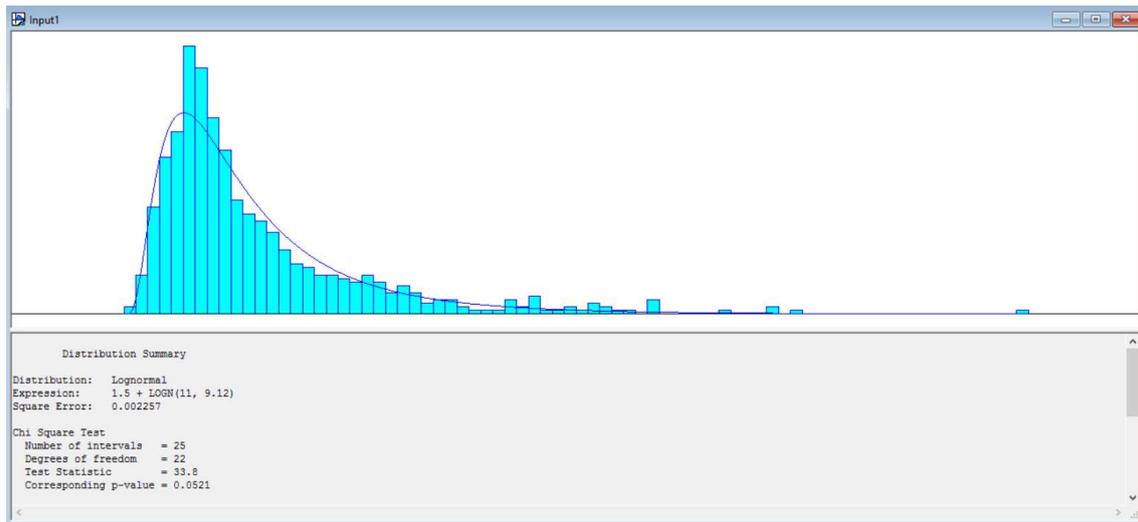


Figura 5.14: Ajuste de distribuição para o tempo de atendimento de veículos leves

Fonte: Elaboração própria.

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:

- H_0 : Lognormal é um modelo apropriado; e
- 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 $\chi^2_{0,05;22} = 33,924$, conforme pode ser verificado no Anexo C – Valores de Distribuição Qui-Quadrado.

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, a Figura 5.15 apresenta os resultados gerados pelo *Input Analyzer*.

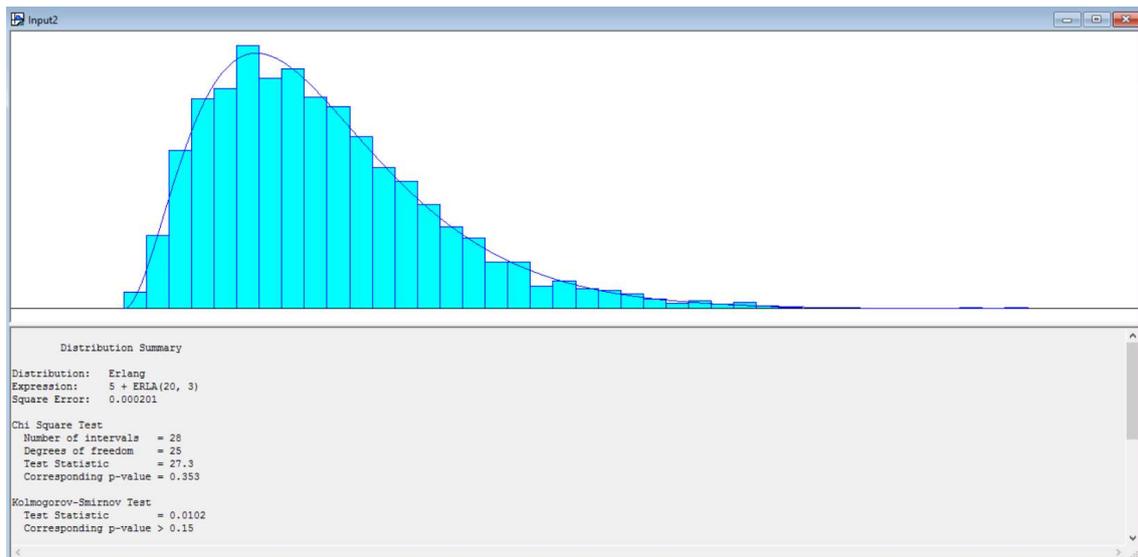


Figura 5.15: Ajuste de distribuição para o tempo de atendimento de veículos pesados

Fonte: Elaboração própria.

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:

- H_0 : Erlang é um modelo apropriado; e
- 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 $\chi^2_{0,05;25} = 37,652$, conforme pode ser verificado no Anexo C – Valores de Distribuição Qui-Quadrado.

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 $5 + ERLA(20, 3)$.

Por fim, a Tabela 5.8 apresenta as distribuições de probabilidade para a variável de tempo de atendimento de acordo com a classificação de veículos.

Tabela 5.8: Distribuição de probabilidade do tempo de atendimento por categoria

Categoria	Distribuição de probabilidade
CAT_01	$1.5 + LOGN(11, 9.12)$
CAT_02	$5 + ERLA(20, 3)$
CAT_03	$1.5 + LOGN(11, 9.12)$
CAT_04	$5 + ERLA(20, 3)$
CAT_05	$1.5 + LOGN(11, 9.12)$
CAT_06	$5 + ERLA(20, 3)$
CAT_07	$5 + ERLA(20, 3)$
CAT_08	$5 + ERLA(20, 3)$
CAT_09	$1.5 + LOGN(11, 9.12)$
VEIC_ESP	$5 + ERLA(20, 3)$

Fonte: Elaboração própria.

Da Tabela 5.8, observa-se que os dados das distribuições de probabilidade do tempo de atendimento de veículos leves e pesados foram desagrupados 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.

Percentual de escolha de cabines

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. Os tipos de arrecadação manual e AVI são os mesmos já discutidos no Item 2.1.

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 em conjunto, pelo DER/MG e pela Concessionária; e
- Outros veículos, a critério e por conta em risco da concessionária.

Os veículos isentos devem passar pelas cabines manuais, onde terão a liberação, conforme ilustra a sinalização vertical da Figura 5.16.



Figura 5.16: Sinalização vertical para veículos isentos

Fonte: *Google Earth* (Data da imagem: novembro de 2015).

Na concessão patrocinada do sistema MG-050 há fiscalização fotográfica de evasão de pedágio, conforme ilustra a sinalização vertical da Figura 5.17.



Figura 5.17: Sinalização vertical para evasão de pedágio

Fonte: *Google Earth* (Data da imagem: novembro de 2015).

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. Para tanto, foram considerados os mesmos critérios utilizados para o cálculo do tempo entre chegadas, conforme mostra o Apêndice F – Dados de tráfego por categoria e por tipo de arrecadação.

A Tabela 5.9 apresenta os resultados obtidos para a variável de percentual de escolha de cabines de acordo com a classificação de veículos e do tipo de arrecadação.

Tabela 5.9: 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%

Fonte: Elaboração própria.

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.

Sendo assim, a Tabela 5.10 apresenta os resultados da variável de percentual de escolha de cabines, de acordo com a classificação de veículos e do tipo de arrecadação, desconsiderando os dados de evasão.

Tabela 5.10: Percentual de escolha de cabines sem os dados de evasão

Arrecadação	Cat1	Cat2	Cat3	Cat4	Cat5	Cat6	Cat7	Cat8	Cat9	Veic_Esp*
Manual e Isentos	3104	323	9	139	1	44	65	45	149	-
AVI	532	192	1	111	0	61	156	226	0	-
Total	3636	515	11	250	2	106	221	270	149	-
% AVI	15%	37%	11%	44%	25%	58%	70%	83%	0%	50%

*Com base em consultas a especialistas e visita em campo.

Fonte: Elaboração própria.

Foi adotado o percentual de escolha de cabines AVI como verdade (*True*), conforme mencionado no procedimento metodológico proposto.

Da Tabela 5.10, observa-se 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).

Tempo de deslocamento

Para o cálculo da variável de tempo de deslocamento foram utilizados os dados do referencial teórico para calcular 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 $1,04 \text{ m/s}^2$ 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), conforme ilustra a Figura 5.18.



Figura 5.18: Velocidade limite fora dos limites da praça de pedágio

Fonte: *Google Earth* (Data da imagem: novembro de 2015).

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 à 40 km/h, sendo a velocidade de 40 km/h a máxima recomendada pela concessionária da rodovia.

Dessa forma, os resultados obtidos para a variável de tempo de deslocamento, de acordo com o tipo de cabine, são apresentados na Tabela 5.11.

Tabela 5.11: 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

Fonte: Elaboração própria.

Da Tabela 5.11, observa-se que os valores de tempo de deslocamento consideram os dois tipos de cobranças vigentes na praça de pedágio de Itaúna/MG. Com base no modelo de simulação proposto, esses valores de tempo de deslocamento são os mesmos a serem utilizados para todas as categorias de veículos.

5.1.2 Passo II – Modelagem da praça de pedágio por simulação

Definição dos cenários para simulação da situação atual

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).

Para este cenário, foram utilizados todos os dados do sistema obtidos no Passo I – Caracterização da praça de pedágio e análise dos dados. Esses dados foram incorporados ao modelo de simulação proposto de modo a mostrar o comportamento do sistema bem próximos do real.

Cabe ressaltar que 3 (três) variáveis do sistema foram cadastradas em planilha eletrônica e, em seguida, anexadas ao modelo de simulação, conforme mostra a Tabela 5.12.

Tabela 5.12: Variáveis do sistema para o cenário atual

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

Fonte: Elaboração própria.

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.

Modelo de simulação

Com base no fluxograma apresentado no capítulo anterior (Figura 4.3) e no que foi exposto até então, o fluxograma utilizado no software *Arena* para representar o processo de modelagem do funcionamento do sistema da praça de pedágio de Itaúna/MG, no sentido leste, é apresentado na Figura 5.19.

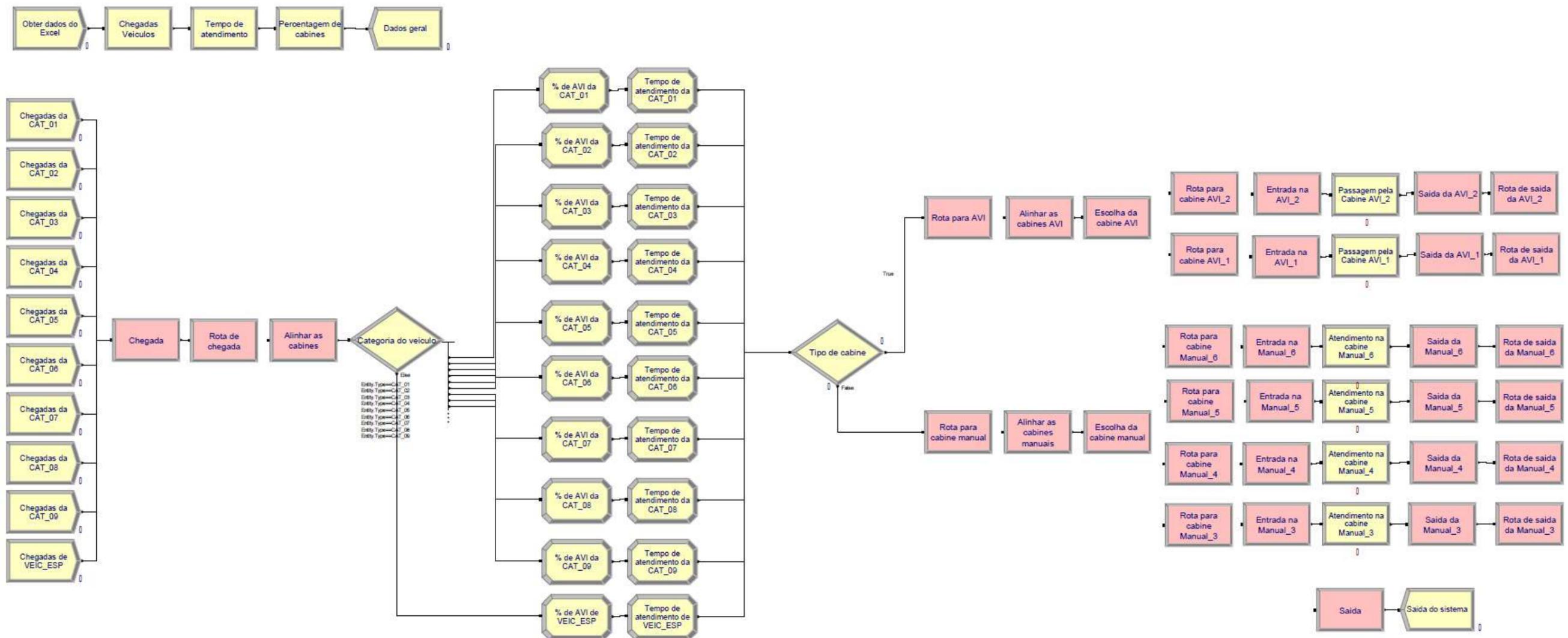


Figura 5.19: Fluxograma utilizado no *Arena* para a praça de pedágio de Itaúna/MG

Fonte: Elaboração própria.

Ao modelo 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.

De posse dos dados e do modelo lógico-matemático, tem-se a representação do sistema no computador. A Figura 5.20 ilustra a animação de um dos instantes da simulação para o cenário atual da praça de pedágio de Itaúna/MG, no sentido leste.

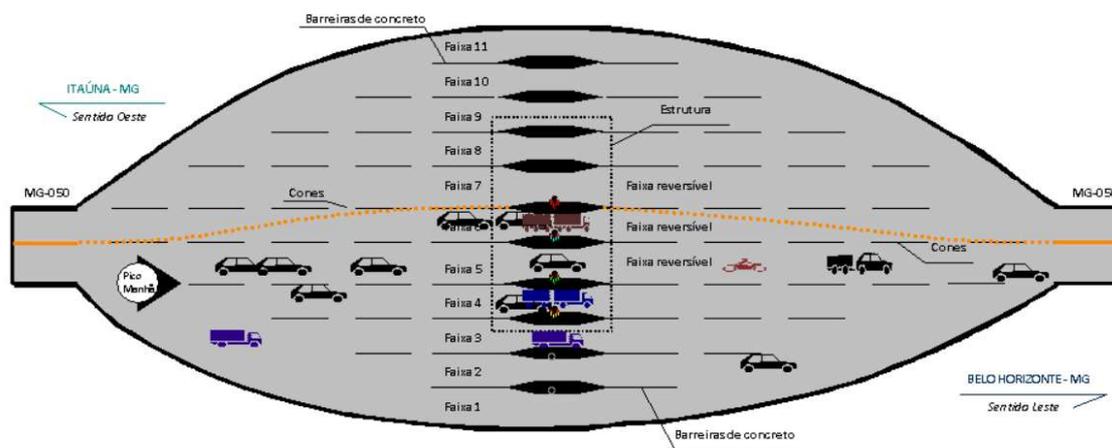


Figura 5.20: Animação de um dos instantes da simulação do cenário atual

Fonte: Elaboração própria.

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 0 (zero) minutos e 30 replicações, conforme descrito no procedimento metodológico proposto. Os resultados da simulação são apresentados no próximo subitem.

Estimativas de desempenho do modelo de simulação

Os resultados da simulação da praça de pedágio de Itaúna/MG, no sentido leste, para o cenário atual encontram-se no Apêndice G – Simulação do cenário atual (Tempo de aquecimento de 0 min.)

Os dados coletados constituem um relatório ao término da simulação e são apresentadas estatísticas dos dados de entidade (veículos), fila e recursos disponíveis (arrecadadores).

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.

5.1.3 Passo III – Verificação e validação do modelo de simulação

Estimativas de desempenho nos registros da concessionária

A estimativas de desempenho nos registros da concessionária foram obtidas através do levantamento de dados do órgão gestor da concessão patrocinada (no caso, a SETOP) e em visitas em campo através de consultas a especialistas da concessionária AB Nascentes das Gerais.

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.

As estimativas são consistentes?

Esta etapa inclui uma regra de decisão que avalia se as estimativas do modelo de simulação são consistentes ou não.

Para tanto, as principais estimativas a serem comparadas são apresentadas na Tabela 5.13, que contém os valores obtidos por meio da simulação e dos valores reais, bem como os respectivos erros médios.

Tabela 5.13: Análise de consistência do cenário atual

Estimativas	Simulação	Real	Erro médio
Fluxo de veículos (veículos por hora)	401	395	1,62%
Comprimento de fila (metros)	0,3	-	-
Tempo gasto na fila (segundos)	3,2	-	-

Fonte: Elaboração própria.

Da Tabela 5.13, observa-se que das 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.

Necessidade de calibração do modelo

Da etapa anterior, foi observado que a análise de consistência do cenário atual baseou-se apenas na estimativa de fluxo de veículos, tendo em vista que foi a única estimativa que pôde ser comparada por meio da simulação e dos dados reais.

Para esta estimativa, foram feitas 5 (cinco) 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, conforme mostra a Tabela 5.14.

Tabela 5.14: 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%

Fonte: Elaboração própria.

Da Tabela 5.14, observa-se que a instância de número 3 (três) foi a que apresentou o menor erro médio da estimativa de fluxo de veículos por hora, num valor de apenas

0,10%. Portanto, essa foi a configuração adotada neste procedimento e a análise dos resultados da simulação é feita na próxima etapa.

Análise dos resultados parciais

A análise dos resultados da simulação foi feita para a instância de número 3 (três) da simulação, conforme foi definido na etapa anterior.

Os resultados da simulação da praça de pedágio de Itaúna/MG, no sentido leste, para o cenário atual e com um tempo de aquecimento de 1 (um) minuto, encontram-se no Apêndice H – Simulação do cenário atual (Tempo de aquecimento de 1 min.).

Ao todo foram contabilizados 395 veículos e a Figura 5.21 ilustra a representação de cada categoria neste cenário.

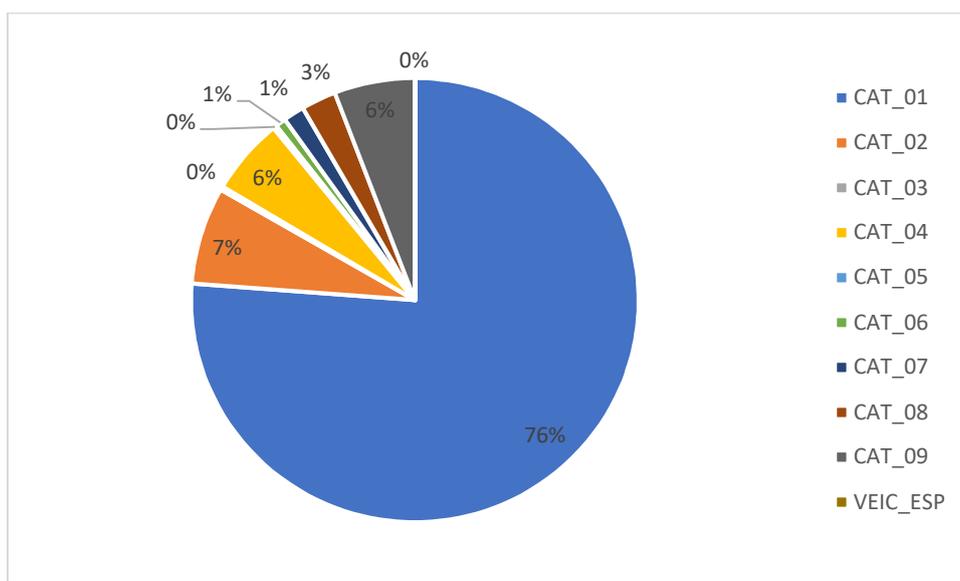


Figura 5.21: Representação de cada categoria

Fonte: Elaboração própria.

Verifica-se que carros de passeio (CAT_01) são os mais representativos, representando 76% dos veículos no horário de pico analisado, enquanto que os veículos especiais não foram observados neste cenário.

A Tabela 5.15 apresenta os resultados do tempo de atendimento, tempo de espera na fila, tempo de deslocamento e tempo total no sistema da praça de pedágio de Itaúna/MG, no sentido leste e por categoria veicular.

Tabela 5.15: 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

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com os dados da Tabela 5.15, verifica-se que 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.

Os resultados mostram 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 30% a mais que os veículos leves).

Com relação às filas formadas na praça de pedágio, a Tabela 5.16 apresenta o tempo médio e máximo de espera em cada fila e o número médio e máximo de veículos (entidades) em cada fila, de acordo com o número e o tipo de cabine (manual e AVI).

Tabela 5.16: Tempos de espera e tamanho das filas por cabine de atendimento

Cabine	Número de veículos atendidos no horário de pico da manhã	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

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com os dados da Tabela 5.16, 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, sendo um valor muito baixo. 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 pelos arrecadadores das cabines manuais, porém, nas cabines AVI não há interferência humana. A Tabela 5.17 apresenta o número de veículos atendidos por cabine no horário de pico da manhã e a taxa de ocupação do operador de cada cabine.

Tabela 5.17: Número de veículos atendidos e taxa de ocupação dos arrecadadores

Cabine	Número de veículos atendidos no horário de pico da manhã	Taxa de ocupação dos arrecadadores (%)
AVI 1	18	0,6%
AVI 2	62	1,8%
Manual 3	54	28,0%
Manual 4	72	36,1%
Manual 5	89	45,6%
Manual 6	100	53,6%

Fonte: Elaboração própria.

Vale ressaltar que no modelo de simulação foi utilizado o tempo de atendimento de 1 (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.

Tais resultados também podem ser analisados graficamente por meio da Figura 5.22.

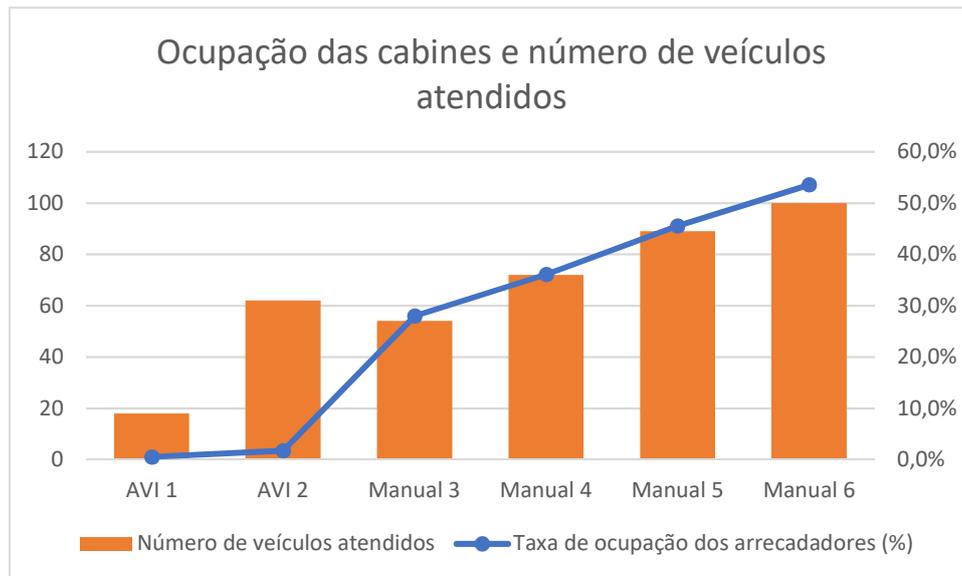


Figura 5.22: Ocupação das cabines e número de veículos atendidos

Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que 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 recursos disponíveis (arrecadadores) e o número máximo de veículos atendidos foi de 62 veículos por hora.

5.1.4 Passo IV – Verificação quanto ao atendimento ao nível de serviço

Nível de serviço de praças de pedágio

Nesta etapa foi usada a Tabela 2.8 com o propósito de aferir o nível de serviço do sistema, que serve como auxílio na etapa seguinte, na medida em que é verificado se os resultados do modelo de simulação atendem (ou não) ao nível de serviço.

Os resultados atendem ao nível de serviço?

Esta etapa inclui uma regra de decisão que verificou o atendimento dos resultados do modelo de simulação, no cenário analisado, quanto a medida de desempenho de nível de serviço (LOS).

A Tabela 5.18 apresenta os resultados de aferição do nível de serviço com base em diferentes métodos e diferentes autores.

Tabela 5.18: Aferição do nível de serviço para o cenário atual

Autor	Método	Valor obtido	Nível de serviço
Woo e Hoel (1991)	D: Densidade (veic/milha/faixa)	-	-
	V/C: Relação volume-capacidade	0,14	A
Lin e Su (1994)	Lq: Comprimento médio da fila (veic)	0,10	A
	W: Tempo médio no sistema (s/veic)	18,14	B
Danko e Gulewicz (1994)	Lq: Comprimento médio da fila (veic)	0,10	A
	Wq: Tempo médio na fila (s/veic)	3,27	A
Klodzinski e Al-Deek (2002)	W: Tempo médio no sistema (s/veic)	18,14	B
Obelheiro <i>et al.</i> (2011)	Nota do cenário	-	-

Fonte: Elaboração própria.

Para o cenário analisado, foi visto que a praça de pedágio de Itaúna/MG encontrava-se em boas condições de operação, tendo em vista que o pior nível de serviço encontrado foi “B”, refletindo que o fluxo veicular é menor que a capacidade do sistema (relativo ao LOS “E”). Tal situação se deu no tempo médio no sistema, obtido como a soma do tempo de atendimento mais o tempo de espera na fila. Nessas condições, os veículos começam a desacelerar mais cedo do que quando o nível de serviço é “A” e a presença de outros veículos no fluxo de tráfego começa a ser notada, porém, há considerável mudança de faixa. O nível de conforto ainda é alto, no entanto, é menor que no nível de serviço “A”.

A densidade não pôde ser calculada, porém, assumindo uma capacidade de 2.800 veículos por hora, estima-se um nível de serviço “A” com base na relação volume-capacidade. Observa-se que o comprimento médio da fila possui nível de serviço “A” com base em diferentes autores. O tempo médio na fila possui nível de serviço “A” enquanto que o tempo médio no sistema possui nível de serviço “B”.

O método proposto por Obelheiro *et al.* (2011), que é baseado na percepção de usuários acerca da qualidade do tráfego em praças de pedágio, não foi aferido tendo em vista que não foi possível verificar o método utilizado pelo autor através dos resultados da simulação.

De modo geral, não houve necessidade de implantação imediata de intervenções alternativas no sistema pois a praça de pedágio encontrava-se em boas condições de operação. Por outro lado, foram definidos cenários futuros com projeção do tráfego analisado com o objetivo de prever o nível de serviço futuro da praça de pedágio e

possibilitar operações mais eficientes aos gestores de transportes e a concessionária da rodovia, conforme é apresentado no próximo subitem.

Definição de cenários futuros com projeção do tráfego

Foi visto que a praça de pedágio de Itaúna/MG encontrava-se em boas condições de operação no cenário atual, datado de dezembro de 2014. Neste período, o nível de serviço obtido mostrou que o fluxo veicular é menor que a capacidade do sistema (relativo ao LOS “E”), não havendo a necessidade de implantação imediata de intervenções alternativas no sistema.

No entanto, foram definidos cenários futuros com projeção do tráfego analisado com base nos dados de tráfego existentes, a fim de se prever o nível de serviço futuro da praça de pedágio.

A Tabela 5.19 apresenta os dados de tráfego existentes da praça de pedágio de Itaúna/MG, bem como os fatores de expansão de tráfego.

Tabela 5.19: Dados de tráfego existentes e fatores de expansão

Dados de tráfego	Ano						
	2008*	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Tráfego anual	822.575	1.505.488	1.639.009	1.733.698	1.768.931	1.843.596	1.880.557
Fator de expansão	-	83,02%	8,87%	5,78%	2,03%	4,22%	2,00%

*A partir de 13/06/2008.

Fonte: Elaboração própria.

Da Tabela 5.19, tem-se os dados de tráfego de junho de 2008 a dezembro de 2014, bem como os fatores de expansão de tráfego de cada ano. Optou-se por não considerar o fator de expansão de 2008/2009 pois os dados de tráfego de 2008 não correspondem ao período completo de um ano inteiro. Sendo assim, o fator de expansão médio do tráfego da praça de pedágio de Itaúna/MG, no sentido leste, é de 4,58% ao ano.

Sabe-se que o projeto de parceria público-privada da MG-050 teve início de operação em junho de 2007 e tem por objeto a exploração das rodovias em um período de 25 anos.

Foi visto no cálculo da variável de chegadas de veículos que o horário de pico, no sentido leste, se deu entre 07h às 08h da manhã, com um volume médio horário de 395 veículos para as segundas-feiras de dezembro de 2014.

De posse desses dados, projetou-se os dados de tráfego até o último ano da concessão, conforme mostra a Tabela 5.20.

Tabela 5.20: Projeção do tráfego no horário de pico

Ano da concessão	Período	Tráfego
Ano 8	2014/2015	395
Ano 9	2015/2016	413
Ano 10	2016/2017	432
Ano 11	2017/2018	452
Ano 12	2018/2019	473
Ano 13	2019/2020	494
Ano 14	2020/2021	517
Ano 15	2021/2022	540
Ano 16	2022/2023	565
Ano 17	2023/2024	591
Ano 18	2024/2025	618
Ano 19	2025/2026	647
Ano 20	2026/2027	676
Ano 21	2027/2028	707
Ano 22	2028/2029	739
Ano 23	2029/2030	773
Ano 24	2030/2031	809
Ano 25	2031/2032	845

Fonte: Elaboração própria.

Da Tabela 5.20, observa-se que é previsto um volume médio horário de 845 veículos no horário de pico da manhã (07h às 08h) nas segundas-feiras de dezembro de 2031. Esse volume médio horário foi tratado de acordo com a categoria, com o objetivo de se estimar o tempo entre chegadas e a distribuição de probabilidade neste ano, conforme mostra a Tabela 5.21.

Tabela 5.21: Tempo entre chegadas no cenário futuro

Categoria	Volume médio (veículos / hora)	Tempo entre chegadas (minutos / veículo)	Distribuição de probabilidade
CAT_01	648	0,09	EXPO(0.09)
CAT_02	60	1,00	EXPO(1.00)
CAT_03	1	70,06	EXPO(70.06)
CAT_04	45	1,32	EXPO(1.32)
CAT_05	0	140,12	EXPO(140.12)
CAT_06	4	14,01	EXPO(14.01)
CAT_07	14	4,25	EXPO(4.24)
CAT_08	24	2,55	EXPO(2.55)
CAT_09	48	1,24	EXPO(1.24)
VEIC_ESP	0	-	EXPO(6000000)

Fonte: Elaboração própria.

Tal como no cenário atual, foi utilizada a distribuição exponencial para os tempos entre chegadas no cenário futuro. Da Tabela 5.21, observa-se que não houve fluxo de veículos especiais (Categoria VEIC_ESP) no horário de pico futuro, sendo adotada, portanto, uma distribuição de probabilidade que indicasse um tempo entre chegadas que tende ao infinito.

Para o cenário futuro, consideraram-se todos os dados do sistema obtidos no Passo I – Caracterização da praça de pedágio e análise dos dados, a exceção da variável de chegadas de veículos. Esses dados foram incorporados ao mesmo modelo de simulação proposto no cenário atual.

Cabe ressaltar que 3 (três) variáveis do sistema foram cadastradas em planilha eletrônica e, em seguida, anexadas ao modelo de simulação, conforme mostra a Tabela 5.22.

Tabela 5.22: Variáveis do sistema para o cenário futuro

Categoria de veículos	Tempo entre chegadas (minutos por veículo)	Tempo de atendimento (segundos por veículo)	Porcentagem para cabines AVI (% True)
CAT_01	EXPO(0.09)	1.5 + LOGN(11, 9.12)	15
CAT_02	EXPO(1.00)	5 + ERLA(20, 3)	37
CAT_03	EXPO(70.06)	1.5 + LOGN(11, 9.12)	11
CAT_04	EXPO(1.32)	5 + ERLA(20, 3)	44
CAT_05	EXPO(140.12)	1.5 + LOGN(11, 9.12)	25
CAT_06	EXPO(14.01)	5 + ERLA(20, 3)	58
CAT_07	EXPO(4.24)	5 + ERLA(20, 3)	70
CAT_08	EXPO(2.55)	5 + ERLA(20, 3)	83
CAT_09	EXPO(1.24)	1.5 + LOGN(11, 9.12)	0
VEIC_ESP	EXPO(6000000)	5 + ERLA(20, 3)	50

Fonte: Elaboração própria.

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 do cenário futuro.

5.1.5 Passo V – Perspectivas de implantação de intervenções alternativas

Modelo de simulação com os novos cenários

O fluxograma utilizado no software *Arena* para representar o processo de modelagem por simulação com os novos cenários do funcionamento do sistema da praça de pedágio de Itaúna/MG, no sentido leste, foi o mesmo apresentado na simulação do cenário atual (Figura 5.19).

Ao modelo 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. Vale ressaltar que os devidos ajustes foram feitos na variável chegadas de veículos de modo a representar o tráfego projetado no cenário futuro.

Para o cenário futuro, foram utilizados os dados do sistema para o horário de pico futuro (07h às 08h), com um tempo de aquecimento (*warm-up*) de 1 (um) minuto e 30 replicações. Esse tempo de aquecimento foi o mesmo utilizado no cenário atual, tendo em vista que foi a instância que apresentou o menor erro médio da estimativa de desempenho de fluxo de veículos por hora na etapa de calibração.

Os resultados previstos da simulação da praça de pedágio de Itaúna/MG, no sentido leste, para o cenário futuro e com um tempo de aquecimento de 1 (um) minuto, encontram-se no Apêndice I – Simulação do cenário futuro (Tempo de aquecimento de 1 min.).

Para o sentido leste, foi visto que o intervalo adotado para o modelo de simulação com os novos cenários se deu no horário de pico entre 07h às 08h da manhã, correspondente às segundas-feiras de dezembro de 2031.

Dessa forma, a Tabela 5.23 apresenta os resultados de aferição do nível de serviço com base em diferentes métodos e diferentes autores.

Tabela 5.23: Aferição do nível de serviço para o cenário futuro

Autor	Método	Valor obtido	Nível de serviço
Woo e Hoel (1991)	D: Densidade (veic/milha/faixa)	-	-
	V/C: Relação volume-capacidade	0,30	B
Lin e Su (1994)	Lq: Comprimento médio da fila (veic)	1,20	B
	W: Tempo médio no sistema (s/veic)	39,52	C
Danko e Gulewicz (1994)	Lq: Comprimento médio da fila (veic)	1,20	B
	Wq: Tempo médio na fila (s/veic)	24,76	C
Klodzinski e Al-Deek (2002)	W: Tempo médio no sistema (s/veic)	39,52	C
Obelheiro <i>et al.</i> (2011)	Nota do cenário	-	-

Fonte: Elaboração própria.

Para o cenário futuro, é previsto que a praça de pedágio de Itaúna/MG esteja em boas condições de operação, tendo em vista que o pior nível de serviço encontrado foi “C”, refletindo que o fluxo veicular será menor que a capacidade do sistema (relativo ao LOS “E”). Tal situação se deu no tempo médio da fila, assim como no tempo médio no sistema, obtido como a soma do tempo de atendimento mais o tempo de espera na fila. Nessas condições, haverá uma queda de conforto neste nível de serviço, sendo previstos maior número de veículos parados e as filas começam a ser formadas.

A densidade não pôde ser calculada, porém, estima-se um nível de serviço “B” com base na relação volume-capacidade. Observa-se que o comprimento médio da fila possui previsão de nível de serviço “B” com base em diferentes autores. Já o tempo médio na fila e o tempo médio no sistema possuem estimativa de nível de serviço “C”.

O método proposto por Obelheiro *et al.* (2011), que é baseado na percepção de usuários acerca da qualidade do tráfego em praças de pedágio, não foi aferido tendo em vista que não é possível verificar o método utilizado pelo autor através dos resultados da simulação. Entretanto, como se trata de um cenário futuro, poderão ser utilizados cenários microsimulados representativos de situações de tráfego em praças de pedágio, com o propósito de se utilizar o método utilizado pelo autor.

Relatório gerencial com análise dos resultados

No cenário atual (dezembro de 2014), foi visto que a praça de pedágio de Itaúna/MG encontrava-se em boas condições de operação, tendo em vista que o pior nível de serviço encontrado foi “B”, refletindo que o fluxo veicular é menor que a capacidade do sistema (relativo ao LOS “E”). Dessa forma, não houve necessidade de implantação imediata de intervenções alternativas no sistema.

Por outro lado, foram definidos cenários futuros com projeção do tráfego analisado com o objetivo de prever o nível de serviço futuro da praça de pedágio e possibilitar operações mais eficientes aos gestores de transportes e a concessionária da rodovia.

No cenário futuro (dezembro de 2031), representado pelo último ano da concessão, é previsto que a praça de pedágio de Itaúna/MG esteja em boas condições de operação, tendo em vista que o pior nível de serviço encontrado foi “C”, refletindo que o fluxo veicular será menor que a capacidade do sistema (relativo ao LOS “E”).

A Tabela 5.24 mostra um resumo dos dados dos resultados de aferição do nível de serviço dos cenários atual e futuro.

Tabela 5.24: Compilação dos dados de aferição do nível de serviço

Autor	Método	Nível de serviço	
		Atual	Futuro
Woo e Hoel (1991)	D: Densidade (veic/milha/faixa)	-	-
	V/C: Relação volume-capacidade	A	B
Lin e Su (1994)	Lq: Comprimento médio da fila (veic)	A	B
	W: Tempo médio no sistema (s/veic)	B	C
Danko e Gulewicz (1994)	Lq: Comprimento médio da fila (veic)	A	B
	Wq: Tempo médio na fila (s/veic)	A	C
Klodzinski e Al-Deek (2002)	W: Tempo médio no sistema (s/veic)	B	C
Obelheiro <i>et al.</i> (2011)	Nota do cenário	-	-

Fonte: Elaboração própria.

Da Tabela 5.24, estima-se que o nível de serviço futuro tenha uma piora de pelo menos um nível, quando comparado ao cenário atual. É esperado que o nível de serviço obtido da relação volume-capacidade passe de “A” para “B”. O mesmo acontece para o comprimento médio da fila, sendo esperado que o nível de serviço passe de “A” para “B”. O tempo médio na fila é o que tem a pior previsão de nível de serviço, passando de “A” no cenário atual para “C” no cenário futuro. Já no caso do tempo médio no sistema é esperado a piora de um nível apenas, passando de “B” para “C”. Por último, não foi possível verificar o método utilizado por Obelheiro *et al.* (2011) através dos resultados da simulação, entretanto, tal método poderá ser calculado no cenário futuro com o objetivo de verificar se os resultados da simulação são condizentes (ou não) com a percepção dos usuários.

5.2 Considerações finais

Os piores níveis de serviço encontrados para a praça de pedágio de Itaúna/MG, no sentido leste, para os cenários atual (2014) e futuro (2031) são, respectivamente, “B” e “C”. Sendo assim, a praça de pedágio analisada encontra-se em boas condições de operação no cenário atual e é previsto que essa situação persista até o último ano da concessão, havendo uma pequena queda de conforto no nível de serviço futuro.

Dessa forma, não há a necessidade de implantação de intervenções alternativas no sistema pois os níveis de serviço encontrados, que incorporam métodos de outras medidas de desempenho (por exemplo, comprimento médio da fila e tempo médio no sistema ou na

fila), refletem que o fluxo veicular é menor que a capacidade do sistema (relativo ao LOS “E”).

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*.

A Tabela 5.25 apresenta os resultados obtidos com o *free-flow* e as comparações de cenários através do tempo total médio na praça de pedágio.

Tabela 5.25: Resultados obtidos com o *free-flow* e comparação de cenários

Cenário	Tempo total médio na praça de pedágio (s)		
	Sistema existente	Sistema com <i>free-flow</i>	Diferença
Atual	64,8	21,8	43,0
Futuro	86,0	21,8	64,2

Fonte: Elaboração própria.

Da Tabela 5.25, percebe-se que a cobrança quando efetuada pelo *free-flow* reduz o tempo necessário para cruzar a praça de pedágio. A redução proporcionada pela utilização do *free-flow* no cenário atual seria de 43 segundos, ou seja, uma redução de 66,3%. Se a cobrança puder ser feita através do conceito do *free-flow* no cenário futuro, essa redução chegaria a 64,2 segundos, ou seja, uma redução de 74,6%.

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.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo apresenta as conclusões e as considerações finais desta dissertação, seguindo-se das recomendações e sugestões para trabalhos futuros.

6.1 Conclusões

Os programas de concessão rodoviária tiveram início na década de 90 como alternativa à falta de recursos federais para a recuperação, melhoria, manutenção e expansão da malha rodoviária nacional.

A ampliação dos programas de concessão rodoviária sinaliza a crescente implantação de praças de pedágio aliadas ao aumento exagerado da frota veicular circulante. Apesar de promoverem substancial melhoria na conservação e operação das rodovias, os programas de concessão sempre foram questionados devido ao processo de cobrança em pontos específicos da via.

As praças de pedágio envolvem componentes numerosos e incluem: atendentes de pedágio, equipes de suporte, edificações de operação e administração, contagem de cédulas e moedas, etc. Aliás, as praças de pedágio são frequentemente caracterizadas como um trecho potencial de gargalo, devido ao processo de cobrança direta aos usuários.

Em um contrato de concessão rodoviária, é esperado que a concessionária da rodovia cumpra com as medidas de eficiência operacional acordadas no contrato, no sentido de manter condições adequadas de serviço dessas estruturas. Além disso, verifica-se a necessidade crescente de mais estudos e informações que possibilitem operações mais eficientes aos gestores de transportes e usuários da via.

No Brasil, nem todas as concessões de rodovias vigentes no país possuem aferição de medidas de desempenho operacional relacionadas às praças de pedágio. Além do mais, a bibliografia de Engenharia de Tráfego não aborda de forma específica conceitos relacionados às praças de pedágio.

Dessa forma, foi proposto a criação de um procedimento metodológico para avaliar o desempenho de uma praça de pedágio e das perspectivas para implantação (ou não) de intervenções alternativas no sistema. Tal procedimento é baseado em uma série de etapas

e utiliza a técnica de modelagem por simulação e da comparação dos resultados do modelo de simulação, devidamente calibrado, com as medidas de desempenho de praças de pedágio presentes na literatura, sobretudo o nível de serviço.

Todo o referencial teórico foi utilizado como embasamento para a criação do procedimento metodológico proposto com a finalidade de se atingir os objetivos desta dissertação. Tal procedimento tem suas potencialidades, na medida em que possui a capacidade de ser aplicável no contexto das rodovias sob concessão e pode ser utilizado como um guia prático para as concessionárias de rodovias no que se refere a avaliação de desempenho operacional de praças de pedágio nas rodovias concedidas sob suas operações. As eventuais limitações e pontos a serem aprimorados são apresentados no próximo subitem, referente às recomendações e sugestões para trabalhos futuros.

De modo geral, o procedimento contempla os seguintes passos: caracterização da praça de pedágio e análise dos dados; modelagem da praça de pedágio por simulação; verificação e validação do modelo de simulação; verificação quanto ao atendimento ao nível de serviço; e perspectivas para implantação de intervenções alternativas. Ao final, almeja-se que os resultados encontrados possam ser utilizados como instrumentos de gestão por parte dos órgãos gestores da concessão com a intenção de avaliar a aferição de desempenho do sistema e implantar (ou não) intervenções alternativas no sistema.

Para tanto, foi feita a aplicação do procedimento metodológico proposto 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. A praça de pedágio de Itaúna/MG está localizada no Km 81 da rodovia MG-050 e é a que possui o maior fluxo de tráfego dentre as demais praças de pedágio existentes na concessão.

Os resultados encontrados mostram que, para o cenário atual (dezembro de 2014), a praça de pedágio de Itaúna/MG encontrava-se em boas condições de operação, tendo em vista que o pior nível de serviço encontrado foi “B”, refletindo que o fluxo veicular é menor que a capacidade do sistema (relativo ao LOS “E”). Dessa forma, não houve necessidade de implantação imediata de intervenções alternativas no sistema. Por outro lado, foram definidos cenários futuros com projeção do tráfego analisado com o objetivo de prever o

nível de serviço futuro da praça de pedágio e possibilitar operações mais eficientes aos gestores de transportes e a concessionária da rodovia.

No cenário futuro (dezembro de 2031), representado pelo último ano da concessão, é previsto que a praça de pedágio de Itaúna/MG esteja em boas condições de operação, tendo em vista que o pior nível de serviço encontrado foi “C”, refletindo que o fluxo veicular será menor que a capacidade do sistema (relativo ao LOS “E”). Com relação aos métodos utilizados, estima-se que o nível de serviço futuro tenha uma piora de pelo menos um nível, quando comparado ao cenário atual.

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%, enquanto que no cenário futuro essa redução chegaria a 74,6% caso a cobrança puder ser feita através do conceito do *free-flow*.

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.

6.2 Recomendações

Face as possibilidades de aprimoramento desta dissertação e a necessidade crescente de se realizar estudos em praças de pedágio, faz-se a seguir uma série de recomendações e sugestões para trabalhos futuros:

- Implementar o modelo de simulação com a utilização de outros *softwares* de simulação, com o intuito de verificar as coletas estatísticas padrão sobre os vários elementos do modelo;
- Aplicar o procedimento metodológico proposto para avaliar o desempenho de outras praças de pedágio, de diferentes modalidades de concessão, com o propósito de comparar os resultados;
- Comparar os resultados obtidos no estudo de caso com o sentido oposto de tráfego da praça de pedágio analisada, bem como das demais praças de pedágio existentes na concessão;
- Implementar no fluxograma utilizado na simulação a variável de tempo de deslocamento de entidade de acordo com a classificação veicular;
- Realizar um estudo com os diferentes custos-benefícios das diversas intervenções alternativas no sistema ressaltando a função da capacidade, dos custos associados ou de algum outro critério estabelecido;
- Confrontar os resultados de desempenho operacional de praças de pedágio com as medidas de desempenho do ponto de vista econômico e ambiental; e
- Realizar um estudo com o custo do pedágio, que vai além do pagamento da tarifa, incluindo os seguintes custos: o custo do tempo perdido nas filas, o custo com o combustível e o custo com a emissão de poluentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB Concessões. (2016) AB Nascentes das Gerais. Obtido 10 de dezembro de 2016, de http://www.abnascentesdasgerais.com.br/pt-BR/Institucional_Historico
- Adler, J. L., e Cetin, M. (2001) A direct redistribution model of congestion pricing. *Transportation Research Part B: Methodological*, 35(5), 447–460.
- Alrabghi, A., e Tiwari, A. (2015) State of the art in simulation-based optimisation for maintenance systems. *Computers and Industrial Engineering*, 82, 167–182.
- Alvarenga, G. S. (2010) *Estudo do impacto do pedágio no aumento do tempo de viagem, no consumo de combustível e na emissão de poluentes*. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- Andrade, G. R., Silva, K. C. R., e Filho, S. A. P. (2011) Panorama tecnológico e normativo da avaliação operacional das concessões rodoviárias. *Anais do 7º Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões – CBR&C*.
- Ângelo, L. B. (2005) *Indicadores de Desempenho Logístico*. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC.
- ANTT. (2013) Categorias de veículos e tabela de tarifas de pedágio. *Agência Nacional de Transportes Terrestres*. Obtido 24 de fevereiro de 2017, de <http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/5304.html>
- Araújo, J. J. (2001) *Características Operacionais de Praças de Arrecadação de Pedágio*. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.
- Auto Rental. (2010) Tracking Your Vehicles With RFID. Obtido 17 de fevereiro de 2017, de <http://www.autorentalnews.com/channel/rental-software/article/story/2010/05/tracking-your-vehicles-with-rfid.aspx>
- Aycin, M. (2006) Simple Methodology for Evaluating Toll Plaza Operations. *Transportation Research Record*, 1988(1), 92–101.
- Banks, J. (1999) Introduction To Simulation. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference., 7–13.
- Barbaresso, J., Cordahi, G., Garcia, D., Hill, C., Jendzejec, A. e Wright, K. (2014) USDOT’s Intelligent Transportation Systems (ITS) Strategic Plan 2015-2019.

- 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., Belo Horizonte, MG.
- Bennett, C., e Dunn, R. (1995) Driver Deceleration Behaviour on a Motorway in New Zealand. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1510), 70–74.
- Chwif, L. (1999) *Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção: Uma abordagem causal*. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo.
- Chwif, L., e Medina, A. C. (2014) *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*. Elsevier Brasil, 4ª edição. São Paulo, SP.
- CNT. (2014) *Pesquisa CNT de rodovias 2014*. CNT – SEST – SENAT. Brasília, DF.
- Costa, A. H. P., e Macedo, J. M. G. (2008) *Manual de planejamento das acessibilidades e da gestão viária. Níveis de serviço em estradas e autoestradas*. Portugal.
- Cruz, M. M. L. (2006) *Avaliação dos impactos de restrições ao trânsito de veículos*. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Campinas, SP.
- Cunha, A. L. B. N. (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.
- Dahlgren, J. (1999) High Occupancy Vehicle/Toll Lanes: How Do They Operate and Where Do They Make Sense? *California Partners for Advanced Transit and Highways (PATH)*, June 1999.
- Danko, J., e Gulewicz, V. (1994) Insight through innovation: A dynamic approach to demand based toll plaza lane staffing., 1116–1123.
- Dubedi, A., Chakroborty, P., Kundu, D., e Harikishan Reddy, K. (2012) Modeling automobile drivers' toll-lane choice behavior at a toll plaza. *Journal of Transportation Engineering*, 138(11), 1350–1357.
- Egami, C. Y., Setti, J. R. A., e Rillet, L. R. (2004) Algoritmo genético para calibração automática de um simulador de tráfego em rodovias de pista simples. *TRANSPORTES*, XII, 04–14.
- Faria, B. S. e Campos, V. B. G. (2012) Procedimento e protótipo computacional para

- dimensionamento de uma praça de pedágio. *Journal of Transport Literature*, 6(4), 38–58.
- Finkenzeller, K. (2003) *RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards and identification*.
- G37. (2012) Gazeta do Oeste. Pedágio poderá ser reajustado a partir de junho. Obtido 1 de março de 2017, de <https://g37.com.br/c/ultimas-noticias/pedagio-podera-ser-reajustado-a-partir-de-junho>
- Gallagher, T. O., e Worrall, H. W. (2005) The path to open road tolling., June.
- Harb, R., Xiaogang Su, e Radwan, E. (2010) Empirical Analysis of Toll-Lane Processing Times Using Proportional Odds Augmented MARS. *Journal of Transportation Engineering*, 136(11), 1039–1048.
- Hoel, L. A., Garber, N. J., e Sadek, A. W. (2011) *Engenharia de infraestrutura de transportes – Uma integração multimodal*. Cengage Le. São Paulo, SP.
- Inácio, P. P. A., Barbieri, A. C., e Lima, J. P. (2016) *Análise das características dos veículos e da praça de pedágio na variação do tempo de atendimento*. XXX ANPET. Rio de Janeiro.
- Inácio, P. P. A., Paes, V., Santos, M., Borges, B., e Lima, J. P. (2016) *Dimensionamento de uma praça de pedágio no Brasil: Estudo de caso em um feriado prolongado*. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. Vol. XLVIII SBP. Vitória, ES.
- ITS International. (2009) Transition to all electronic tolling leads to cost savings. Obtido 5 de março de 2016, de <http://www.itsinternational.com/sections/nafta/features/transition-to-all-electronic-tolling-leads-to-cost-savings/>
- Klodzinski, J., e Al-Deek, H. (2002) New Methodology for Defining Level of Service at Toll Plazas. *Transportation Research Record*, 1802(1), 86–96.
- Klodzinski, J., Gordin, E., e Al-Deek, H. M. (2008) Evaluation of Impacts of Open Road Tolling on Main-Line Toll Plaza. *Transportation Research Record*, 2012, 72–83.
- Law, A. M. (2014) *Simulation modeling and analysis*. 5º 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, Vitória, ES.

- Lin, F., e Su, C. (1994) Level-of-service analysis of toll plazas on freeway main lines. *Journal of Transportation Engineering*, 120(2), 246–263.
- Miyagi, P. E. (2006) *Introdução a Simulação Discreta*. São Paulo, SP.
- Nabhan, F. M. (2004) *Principais riscos envolvidos na decisão de investimentos em concessões rodoviárias no Brasil*. Monografia. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo., São Paulo, SP.
- Nassi, C., e Bonis, R. De. (2015) *Planejamento de Transporte. Notas de aula*. Rio de Janeiro.
- Neto, E. F. M., e Setti, J. R. A. (1995) Equivalências veiculares em aclives de rodovias de pista simples no Brasil. *Anais do IX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. IX ANPET São Carlos.*, 3, 856–867.
- Neto, G. M. Q. (2009) *O papel do Verificador Independente como avaliador da performance do concessionário na primeira Parceria Público-Privada (PPP) do país no setor rodoviário: O caso da MG-050. II Congresso Consad de Gestão Pública – Painel 34: Boas práticas em compras e contratações públicas II*. Brasília, DF.
- Obelheiro, M. R., Cybis, H. B. B., Oliveira, M. L. de, e Ribeiro, J. L. D. (2011) Método para análise de níveis de serviço em praças de pedágio. *TRANSPORTES*, 19(3), 18–27.
- Obelheiro, M. R., Oliveira, M. L. De, 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*, XVIII(3), 25–33.
- Oliveira, F. C. (2013) *Simulação de Projetos com utilização do software ARENA*. Juiz de Fora, MG.
- Oliveira, M. L. (2004) *Fatores intervenientes na capacidade de atendimento de praças de pedágio*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- PARAGON. (2017) O software de simulação Arena. Obtido 20 de janeiro de 2017, de <http://www.paragon.com.br/software/arena/>
- Pereira, W. I., e Chwif, L. (2010) Especificação do modelo conceitual em simulação de eventos discretos: Aplicação em um caso real. *XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*.

- Porto, E. R. (2015) *Análise dos impactos gerados pela restrição de tráfego de veículos de carga em ambiente urbano através de microssimulação*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC.
- Portugal, L. S. (2005) *Simulação de Tráfego - Conceitos e Técnicas de Modelagem*. Ed. Interciência.
- Prado, D. (2014) *Usando o Arena em Simulação. Série Pesquisa Operacional*. 5ª ed.
- PwC. (2016) *Sumário Executivo da Concessão de Rodovias de Outubro/2016*. Obtido de 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*. Rio de Janeiro.
- Ribeiro, P. C. M. (2012) *Estatística. Notas de Aula*. Rio de Janeiro.
- RodoSol. (2012) Papa-filas: agilidade na praça de pedágio. Obtido 22 de fevereiro de 2017, de <http://www.rodosol.com.br/blog/2012/04/papa-filas-agilidade-na-praca-de-pedagio.html>
- Santos, T. S., e 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.
- Sargent, R. G. (2010) Verification and validation of simulation models. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*.
- Schaufler, A. E. (1997) *Toll Plaza Design. NCHRP Synthesis of Highway Practice 240*. Transportation Research Board, National Research Council., Washington, D.C.
- SETOP. (2016a) Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas de Minas Gerais. Obtido 10 de dezembro de 2016, de <http://www.transportes.mg.gov.br/component/gmg/program/1477-mg-050>
- SETOP. (2016b) *Anexo VIII - Estrutura tarifária. Edital Nº 070/06 para concessão rodoviária da MG-050*. Obtido de [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)
- Shannon, R. (1998) Introduction To the Art and Science of Simulation. *Proceedings of the 30th conference on Winter simulation*, 7–14.
- SimuCAD. (2002a) Veja o Futuro com a Simulação. Obtido 10 de janeiro de 2017, de

<http://www.simucad.dep.ufscar.br/simucad/ptbmain.html>

SimuCAD. (2002b) Algumas ferramentas de simulação de eventos discretos. Obtido 10 de janeiro de 2017, de <http://www.simucad.dep.ufscar.br/simucad/ptbsim3.htm>

Tiefensee, M. D. (2005) *Dimensionamento de cabines de cobrança em praças de pedágio*. Mestrado profissionalizante. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

TRB. (2000) *Highway Capacity Manual 2000*. Transportation Research Board, National Research Council., Washington D.C., EUA.

US DOT. (1998) *Advanced transportation management technologies*. Washington, USA.

Woo, T. H., e Hoel, L. H. (1991) Toll Plaza Capacity and Level of Service. *Transportation Research Record*, 1320(7), 119–127.

ANEXOS

Anexo A – Liberação do pagamento do pedágio (ANTT)



Cadastrar protocolo | Consultar protocolo | Atendimento por chat |

Número	Situação da Mensagem	Estrutura Organizacional	Data									
3891162	Concluída	SUINF - Superintendência de Exploração de Infra-estrutura Rodoviária	06/03/2017									
<table border="1"><thead><tr><th>Situação da mensagem</th><th>Estrutura organizacional</th><th>Data</th></tr></thead><tbody><tr><td>Cadastrada</td><td>CA - Central de Atendimento</td><td>22/02/2017</td></tr><tr><td colspan="3"><p>Mensagem</p><p>Prezados, Sou aluno de mestrado de Engenharia de Transportes pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e tenho uma dúvida com relação a liberação das cabines de praças de pedágio de rodovias federais. Gostaria de confirmar se a ANTT determina a liberação nessas cabines nos casos em que as filas máximas nas praças de pedágio ultrapassem 300 metros de extensão ou quando o usuário permanece por mais de 10 minutos na fila. Desde já agradeço e aguardo retorno! Att, Túlio Silveira</p></td></tr></tbody></table>				Situação da mensagem	Estrutura organizacional	Data	Cadastrada	CA - Central de Atendimento	22/02/2017	<p>Mensagem</p> <p>Prezados, Sou aluno de mestrado de Engenharia de Transportes pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e tenho uma dúvida com relação a liberação das cabines de praças de pedágio de rodovias federais. Gostaria de confirmar se a ANTT determina a liberação nessas cabines nos casos em que as filas máximas nas praças de pedágio ultrapassem 300 metros de extensão ou quando o usuário permanece por mais de 10 minutos na fila. Desde já agradeço e aguardo retorno! Att, Túlio Silveira</p>		
Situação da mensagem	Estrutura organizacional	Data										
Cadastrada	CA - Central de Atendimento	22/02/2017										
<p>Mensagem</p> <p>Prezados, Sou aluno de mestrado de Engenharia de Transportes pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e tenho uma dúvida com relação a liberação das cabines de praças de pedágio de rodovias federais. Gostaria de confirmar se a ANTT determina a liberação nessas cabines nos casos em que as filas máximas nas praças de pedágio ultrapassem 300 metros de extensão ou quando o usuário permanece por mais de 10 minutos na fila. Desde já agradeço e aguardo retorno! Att, Túlio Silveira</p>												
Concluída	SUINF - Superintendência de Exploração de Infra-estrutura Rodoviária	06/03/2017										
<p>Mensagem</p> <p>Em atenção à mensagem de V. S^ª, registrada sob o protocolo nº. 3780094, retransmitimos os esclarecimentos que esta Ouvidoria obteve da Superintendência de Exploração de Infra- Estrutura Rodoviária – SUINF. Os contratos vêm se modernizando a cada etapa de processos de concessões e existem diferenças entre eles. Dessa forma, o limite de espera não é igual para todas as rodovias. Cada lote rodoviário concedido pela ANTT possui uma regra específica, as quais estão disponibilizadas no nosso site (http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/5261/Concessoes_Rodoviaras.html#). Os limites apresentados nos contratos de concessão devem ser atendidos para os casos de normalidade de tráfego, não se aplicando para situações excepcionais de difícil previsão ou fora do controle das concessionárias, como manifestações populares e bloqueio de pista devido a acidentes. Fora desses casos citados, em algumas rodovias está prevista a liberação do pagamento do pedágio. Finalmente, informamos que os cidadãos podem colaborar com o aprimoramento da atuação da ANTT por meio de contribuições apresentadas presencialmente ou por e-mail nos eventos de participação e controle social realizados pela Agência, tais como audiências e consultas públicas. Sua sugestão é muito importante. Acompanhe os eventos já realizados e os que estão em andamento pelo link: http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/5125.html</p>												

Anexo B – Testes de Aderência

Anexo B.1 – Teste qui-quadrado

O teste qui-quadrado verifica os desvios entre as frequências acumuladas teóricas e as empíricas em cada classe. A estatística a ser usada é dada pela subtração do número de elementos observados (O_k) e o valor esperado da classe (E_k).

A estatística a ser usada é:

$$\sum_{k=1}^n \frac{(O_k - E_k)^2}{E_k}$$

em que:

- O_k : valores observados
- E_k : valores esperados

A hipótese nula é rejeitada quando a estatística a ser usada for maior que o valor crítico, obtido da tabela de distribuição qui-quadrado (Anexo C – Valores de Distribuição Qui-Quadrado).

Anexo B.2 – Teste de Kolmogorov-Smirnov

O teste busca verificar a hipótese nula de que a distribuição da amostra segue uma determinada distribuição selecionada. Verifica a diferença entre a função de distribuição teórica e a empírica. A distância máxima é dada por:

$$D_n = \sup_x |F(x) - F_n(x)|$$

em que:

- $F(x)$: função de distribuição acumulada teórica.
- $F_n(x)$: função de distribuição acumulada empírica.

Quanto menor o valor de D_n mais aderente é a distribuição selecionada.

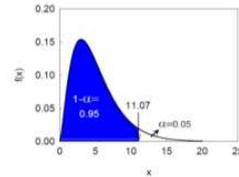
Anexo C – Valores de Distribuição Qui-Quadrado

Distribuição Qui-Quadrado

Valores da Função de Distribuição

$$F(u) = \int_0^u \frac{x^{(n/2)-1} e^{-x/2}}{2^{n/2} \Gamma(n/2)} dx$$

Se $X \sim \chi^2$ então $P(X \leq \chi) = 1 - \alpha$
 Se $X \sim \chi^2_{(s)}$ então $P(X \leq 11,07) = 0,95$
 $\chi^2_{0,95;(s)} = 11,07$



n/F	1-α												
	0,005	0,010	0,025	0,050	0,100	0,250	0,500	0,750	0,900	0,950	0,975	0,990	0,995
1	0,000	0,000	0,001	0,004	0,016	0,102	0,455	1,323	2,706	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,010	0,020	0,051	0,103	0,211	0,575	1,386	2,773	4,605	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,072	0,115	0,216	0,352	0,584	1,213	2,366	4,108	6,251	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	1,064	1,923	3,357	5,385	7,779	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	1,610	2,675	4,351	6,626	9,236	11,070	12,833	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	2,204	3,455	5,348	7,841	10,645	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	2,833	4,255	6,346	9,037	12,017	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	3,490	5,071	7,344	10,219	13,362	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	4,168	5,899	8,343	11,389	14,684	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	4,865	6,737	9,342	12,549	15,987	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	5,578	7,584	10,341	13,701	17,275	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	6,304	8,438	11,340	14,845	18,549	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	7,042	9,299	12,340	15,984	19,812	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	7,790	10,165	13,339	17,117	21,064	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	8,547	11,037	14,339	18,245	22,307	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	9,312	11,912	15,338	19,369	23,542	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	10,085	12,792	16,338	20,489	24,769	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	10,865	13,675	17,338	21,605	25,989	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	11,651	14,562	18,338	22,718	27,204	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	12,443	15,452	19,337	23,828	28,412	31,410	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	13,240	16,344	20,337	24,935	29,615	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	14,041	17,240	21,337	26,039	30,813	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	14,848	18,137	22,337	27,141	32,007	35,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	15,659	19,037	23,337	28,241	33,196	36,415	39,364	42,980	45,559
25	10,520	11,524	13,120	14,611	16,473	19,939	24,337	29,339	34,382	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	17,292	20,843	25,336	30,435	35,563	38,885	41,923	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	18,114	21,749	26,336	31,528	36,741	40,113	43,195	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	18,939	22,657	27,336	32,620	37,916	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	19,768	23,567	28,336	33,711	39,087	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	20,599	24,478	29,336	34,800	40,256	43,773	46,979	50,892	53,672
31	14,458	15,655	17,539	19,281	21,434	25,390	30,336	35,887	41,422	44,985	48,232	52,191	55,003
32	15,134	16,362	18,291	20,072	22,271	26,304	31,336	36,973	42,585	46,194	49,480	53,486	56,328
33	15,815	17,074	19,047	20,867	23,110	27,219	32,336	38,058	43,745	47,400	50,725	54,776	57,648
34	16,501	17,789	19,806	21,664	23,952	28,136	33,336	39,141	44,903	48,602	51,966	56,061	58,964
35	17,192	18,509	20,569	22,465	24,797	29,054	34,336	40,223	46,059	49,802	53,203	57,342	60,275
36	17,887	19,233	21,336	23,269	25,643	29,973	35,336	41,304	47,212	50,998	54,437	58,619	61,581
37	18,586	19,960	22,106	24,075	26,492	30,893	36,336	42,383	48,363	52,192	55,668	59,893	62,883
38	19,289	20,691	22,878	24,884	27,343	31,815	37,335	43,462	49,513	53,384	56,896	61,162	64,181
39	19,996	21,426	23,654	25,695	28,196	32,737	38,335	44,539	50,660	54,572	58,120	62,428	65,476
40	20,707	22,164	24,433	26,509	29,051	33,660	39,335	45,616	51,805	55,758	59,342	63,691	66,766
41	21,421	22,906	25,215	27,326	29,907	34,585	40,335	46,692	52,949	56,942	60,561	64,950	68,053
42	22,138	23,650	25,999	28,144	30,765	35,510	41,335	47,766	54,090	58,124	61,777	66,206	69,336
43	22,859	24,398	26,785	28,965	31,625	36,436	42,335	48,840	55,230	59,304	62,990	67,459	70,616
44	23,584	25,148	27,575	29,787	32,487	37,363	43,335	49,913	56,369	60,481	64,201	68,710	71,893
45	24,311	25,901	28,366	30,612	33,350	38,291	44,335	50,985	57,505	61,656	65,410	69,957	73,166
46	25,041	26,657	29,160	31,439	34,215	39,220	45,335	52,056	58,641	62,830	66,617	71,201	74,437
47	25,775	27,416	29,956	32,268	35,081	40,149	46,335	53,127	59,774	64,001	67,821	72,443	75,704
48	26,511	28,177	30,755	33,098	35,949	41,079	47,335	54,196	60,907	65,171	69,023	73,683	76,969
49	27,249	28,941	31,555	33,930	36,818	42,010	48,335	55,265	62,038	66,339	70,222	74,919	78,231
50	27,991	29,707	32,357	34,764	37,689	42,942	49,335	56,334	63,167	67,505	71,420	76,154	79,490
51	28,735	30,475	33,162	35,600	38,560	43,874	50,335	57,401	64,295	68,669	72,616	77,386	80,747
52	29,481	31,246	33,968	36,437	39,433	44,808	51,335	58,468	65,422	69,832	73,810	78,616	82,001
53	30,230	32,018	34,776	37,276	40,308	45,741	52,335	59,534	66,548	70,993	75,002	79,843	83,253
54	30,981	32,793	35,586	38,116	41,183	46,676	53,335	60,600	67,673	72,153	76,192	81,069	84,502
55	31,735	33,570	36,398	38,958	42,060	47,610	54,335	61,665	68,796	73,311	77,380	82,292	85,749
56	32,490	34,350	37,212	39,801	42,937	48,546	55,335	62,729	69,919	74,468	78,567	83,513	86,994

Distribuição Qui-Quadrado

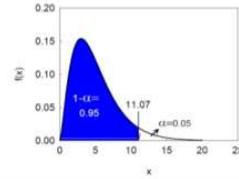
Valores da Função de Distribuição

$$F(u) = \int_0^u \frac{x^{(n-2)/2} e^{-x/2}}{2^{n/2} \Gamma(n/2)} dx$$

Se $X \sim \chi^2$ então $P(X \leq \chi) = 1 - \alpha$

Se $X \sim \chi^2_5$ então $P(X \leq 11.07) = 0.95$

$\chi^2_{0.95,5} = 11.07$



n/F	1 - α												
	0,005	0,010	0,025	0,050	0,100	0,250	0,500	0,750	0,900	0,950	0,975	0,990	0,995
57	33,248	35,131	38,027	40,646	43,816	49,482	56,335	63,793	71,040	75,624	79,752	84,733	88,236
58	34,008	35,913	38,844	41,492	44,696	50,419	57,335	64,857	72,160	76,778	80,936	85,950	89,477
59	34,770	36,698	39,662	42,339	45,577	51,356	58,335	65,919	73,279	77,931	82,117	87,166	90,715
60	35,534	37,485	40,482	43,188	46,459	52,294	59,335	66,981	74,397	79,082	83,298	88,379	91,952
61	36,301	38,273	41,303	44,038	47,342	53,232	60,335	68,043	75,514	80,232	84,476	89,591	93,186
62	37,068	39,063	42,126	44,889	48,226	54,171	61,335	69,104	76,630	81,381	85,654	90,802	94,419
63	37,838	39,855	42,950	45,741	49,111	55,110	62,335	70,165	77,745	82,529	86,830	92,010	95,649
64	38,610	40,649	43,776	46,595	49,996	56,050	63,335	71,225	78,860	83,675	88,004	93,217	96,878
65	39,383	41,444	44,603	47,450	50,883	56,990	64,335	72,285	79,973	84,821	89,177	94,422	98,105
66	40,158	42,240	45,431	48,305	51,770	57,931	65,335	73,344	81,085	85,965	90,349	95,626	99,330
67	40,935	43,038	46,261	49,162	52,659	58,872	66,335	74,403	82,197	87,108	91,519	96,828	100,554
68	41,713	43,838	47,092	50,020	53,548	59,814	67,335	75,461	83,308	88,250	92,689	98,028	101,776
69	42,494	44,639	47,924	50,879	54,438	60,756	68,334	76,519	84,418	89,391	93,856	99,228	102,996
70	43,275	45,442	48,758	51,739	55,329	61,698	69,334	77,577	85,527	90,531	95,023	100,425	104,215
71	44,058	46,246	49,592	52,600	56,221	62,641	70,334	78,634	86,635	91,670	96,189	101,621	105,432
72	44,843	47,051	50,428	53,462	57,113	63,585	71,334	79,690	87,743	92,808	97,353	102,816	106,648
73	45,629	47,858	51,265	54,325	58,006	64,528	72,334	80,747	88,850	93,945	98,516	104,010	107,862
74	46,417	48,666	52,103	55,189	58,900	65,472	73,334	81,803	89,956	95,081	99,678	105,202	109,074
75	47,206	49,475	52,942	56,054	59,795	66,417	74,334	82,858	91,061	96,217	100,839	106,393	110,286
76	47,997	50,286	53,782	56,920	60,690	67,362	75,334	83,913	92,166	97,351	101,999	107,583	111,495
77	48,788	51,097	54,623	57,786	61,586	68,307	76,334	84,968	93,270	98,484	103,158	108,771	112,704
78	49,582	51,910	55,466	58,654	62,483	69,252	77,334	86,022	94,374	99,617	104,316	109,958	113,911
79	50,376	52,725	56,309	59,522	63,380	70,198	78,334	87,077	95,476	100,749	105,473	111,144	115,117
80	51,172	53,540	57,153	60,391	64,278	71,145	79,334	88,130	96,578	101,879	106,629	112,329	116,321
81	51,969	54,357	57,998	61,261	65,176	72,091	80,334	89,184	97,680	103,010	107,783	113,512	117,524
82	52,767	55,174	58,845	62,132	66,076	73,038	81,334	90,237	98,780	104,139	108,937	114,695	118,726
83	53,567	55,993	59,692	63,004	66,976	73,985	82,334	91,289	99,880	105,267	110,090	115,876	119,927
84	54,368	56,813	60,540	63,876	67,876	74,933	83,334	92,342	100,980	106,395	111,242	117,057	121,126
85	55,170	57,634	61,389	64,749	68,777	75,881	84,334	93,394	102,079	107,522	112,393	118,236	122,325
86	55,973	58,456	62,239	65,623	69,679	76,829	85,334	94,446	103,177	108,648	113,544	119,414	123,522
87	56,777	59,279	63,089	66,498	70,581	77,777	86,334	95,497	104,275	109,773	114,693	120,591	124,718
88	57,582	60,103	63,941	67,373	71,484	78,726	87,334	96,548	105,372	110,898	115,841	121,767	125,913
89	58,389	60,928	64,793	68,249	72,387	79,675	88,334	97,599	106,469	112,022	116,989	122,942	127,106
90	59,196	61,754	65,647	69,126	73,291	80,625	89,334	98,650	107,565	113,145	118,136	124,116	128,299
91	60,005	62,581	66,501	70,003	74,196	81,574	90,334	99,700	108,661	114,268	119,282	125,289	129,491
92	60,815	63,409	67,356	70,882	75,100	82,524	91,334	100,750	109,756	115,390	120,427	126,462	130,681
93	61,625	64,238	68,211	71,760	76,006	83,474	92,334	101,800	110,850	116,511	121,571	127,633	131,871
94	62,437	65,068	69,068	72,640	76,912	84,425	93,334	102,850	111,944	117,632	122,715	128,803	133,059
95	63,250	65,898	69,925	73,520	77,818	85,376	94,334	103,899	113,038	118,752	123,858	129,973	134,247
96	64,063	66,730	70,783	74,401	78,725	86,327	95,334	104,948	114,131	119,871	125,000	131,141	135,433
97	64,878	67,562	71,642	75,282	79,633	87,278	96,334	105,997	115,223	120,990	126,141	132,309	136,619
98	65,694	68,396	72,501	76,164	80,541	88,229	97,334	107,045	116,315	122,108	127,282	133,476	137,803
99	66,510	69,230	73,361	77,046	81,449	89,181	98,334	108,093	117,407	123,225	128,422	134,642	138,987
100	67,328	70,065	74,222	77,929	82,358	90,133	99,334	109,141	118,498	124,342	129,561	135,807	140,169

APÊNDICES

Apêndice A – Dados de tráfego de junho de 2008 a dezembro de 2014

Apêndice A.1 – Dados de tráfego de 2008

Sentido	Praças de pedágio	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Leste	1 - Itaúna	-	-	-	-	-	73.948	130.306	128.141	125.125	123.827	119.348	121.880	822.575
	2 - São Sebastião do Oeste	-	-	-	-	-	48.569	87.857	86.022	82.164	82.180	79.727	84.575	551.094
	3 - Córrego Fundo	-	-	-	-	-	21.509	40.748	38.029	36.143	36.039	33.901	36.607	242.976
	4 - Piumhi	-	-	-	-	-	31.549	58.933	55.721	54.214	55.278	50.164	55.198	361.057
	5 - Passos	-	-	-	-	-	45.634	84.852	80.071	79.482	81.891	78.282	88.785	538.997
	6 - Pratápolis	-	-	-	-	-	37.071	68.711	65.312	65.368	65.471	63.780	72.771	438.484
Oeste	1 - Itaúna	-	-	-	-	-	74.982	131.841	129.002	126.630	125.729	120.263	125.249	833.696
	2 - São Sebastião do Oeste	-	-	-	-	-	49.155	90.956	87.720	85.036	84.869	81.215	90.783	569.734
	3 - Córrego Fundo	-	-	-	-	-	20.330	39.632	35.945	34.300	35.020	32.925	37.949	236.101
	4 - Piumhi	-	-	-	-	-	31.264	59.162	55.080	54.434	56.273	50.996	56.153	363.362
	5 - Passos	-	-	-	-	-	45.275	84.756	80.550	80.021	82.391	79.385	84.717	537.095
	6 - Pratápolis	-	-	-	-	-	36.640	67.816	64.918	65.346	64.528	63.911	66.194	429.353

*A partir de 13/06/2008.

Apêndice A.2 – Dados de tráfego de 2009

Sentido	Praças de pedágio	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Leste	1 - Itaúna	120.419	111.248	124.574	120.876	126.730	122.139	132.344	127.091	124.659	130.137	130.198	135.073	1.505.488
	2 - São Sebastião do Oeste	86.977	81.552	83.417	87.554	87.146	84.187	90.538	87.481	84.972	88.515	87.375	88.977	1.038.691
	3 - Córrego Fundo	37.126	33.958	33.920	37.963	37.237	37.152	40.202	37.314	37.222	39.765	37.715	39.288	448.862
	4 - Piumhi	53.818	50.573	49.496	54.718	52.867	53.226	58.676	55.452	57.240	60.815	56.301	59.164	662.346
	5 - Passos	77.950	79.334	76.215	81.294	79.717	74.642	87.225	82.074	84.580	93.063	84.048	91.188	991.330
	6 - Pratápolis	61.805	60.151	61.077	64.825	63.290	60.857	69.362	65.337	66.659	72.583	63.494	74.688	784.128
Oeste	1 - Itaúna	118.636	109.124	122.838	123.130	126.051	122.759	133.876	126.119	125.627	135.148	126.811	139.606	1.509.725
	2 - São Sebastião do Oeste	85.321	82.201	83.055	90.322	87.720	85.208	93.992	87.003	86.910	95.032	84.617	96.006	1.057.387
	3 - Córrego Fundo	34.797	33.096	32.444	37.779	35.651	35.879	39.923	35.005	36.147	40.506	34.149	40.871	436.247
	4 - Piumhi	54.087	50.712	49.337	55.210	53.041	53.320	59.324	54.978	57.905	62.539	55.256	60.139	665.848
	5 - Passos	81.433	79.424	76.934	80.865	80.011	74.592	87.069	81.984	84.635	90.762	86.593	86.708	991.010
	6 - Pratápolis	67.179	59.875	61.672	64.124	63.956	60.683	69.038	64.984	66.341	68.824	66.477	68.128	781.281

Apêndice A.3 – Dados de tráfego de 2010

Sentido	Praças de pedágio	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Leste	1 - Itaúna	129.901	120.513	132.914	135.256	139.791	130.249	139.037	142.939	138.986	140.649	139.415	149.359	1.639.009
	2 - São Sebastião do Oeste	93.207	82.775	85.702	90.914	90.473	86.427	94.506	94.064	93.032	94.396	90.820	97.212	1.093.528
	3 - Córrego Fundo	41.091	36.292	36.766	40.033	39.256	39.097	42.245	40.669	40.193	40.308	38.184	41.629	475.763
	4 - Piumhi	61.434	54.839	53.960	57.667	56.599	56.484	61.912	60.475	61.822	63.538	58.565	65.322	712.617
	5 - Passos	86.888	83.804	85.456	83.802	82.625	80.093	90.740	89.903	90.856	93.325	87.560	100.016	1.055.068
	6 - Pratápolis	64.831	62.679	66.197	67.721	68.334	63.868	73.640	70.607	71.965	73.088	68.125	78.544	829.599
Oeste	1 - Itaúna	125.343	119.247	133.963	133.209	137.518	129.743	142.214	140.397	136.901	140.415	134.694	153.284	1.626.928
	2 - São Sebastião do Oeste	88.795	83.691	88.780	92.203	91.152	88.168	97.948	93.968	95.149	97.608	89.771	104.135	1.111.368
	3 - Córrego Fundo	37.444	35.454	37.025	39.041	37.921	38.251	42.478	39.388	39.745	41.060	37.024	43.801	468.632
	4 - Piumhi	60.201	54.764	55.137	57.817	56.521	56.715	63.246	61.199	63.288	65.515	59.595	67.362	721.360
	5 - Passos	91.704	84.027	84.927	82.976	82.934	80.202	90.374	91.071	91.342	92.259	89.259	94.562	1.055.637
	6 - Pratápolis	70.703	62.725	65.643	67.230	68.160	63.540	72.716	71.085	71.932	71.273	69.736	71.459	826.202

Apêndice A.4 – Dados de tráfego de 2011

Sentido	Praças de pedágio	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Leste	1 - Itaúna	140.492	132.017	139.869	141.600	149.318	144.434	149.795	151.617	147.681	146.472	142.628	147.775	1.733.698
	2 - São Sebastião do Oeste	96.683	84.152	92.169	95.765	93.325	89.078	95.591	96.825	92.979	91.988	90.570	94.290	1.113.415
	3 - Córrego Fundo	42.176	34.699	40.084	44.502	40.271	39.724	43.779	42.278	39.971	40.312	39.285	41.665	488.746
	4 - Piumhi	63.270	52.774	58.988	65.632	57.948	57.801	63.846	63.463	62.624	62.381	59.253	63.585	731.565
	5 - Passos	88.721	80.598	86.465	90.796	86.034	84.515	94.067	93.920	92.221	92.337	91.332	99.367	1.080.373
	6 - Pratápolis	66.665	60.727	68.179	70.244	69.396	66.611	73.138	72.995	71.249	69.845	68.512	79.198	836.759
Oeste	1 - Itaúna	134.746	130.559	138.577	141.311	148.362	144.539	150.823	151.003	148.209	144.892	141.566	152.167	1.726.754
	2 - São Sebastião do Oeste	91.428	84.969	93.268	96.743	93.863	90.441	97.108	98.031	94.045	92.809	91.294	101.050	1.125.049
	3 - Córrego Fundo	38.723	33.856	39.355	43.724	39.296	38.942	43.587	41.390	39.620	39.392	38.613	43.814	480.312
	4 - Piumhi	62.341	53.333	59.852	66.386	59.271	58.422	64.959	64.737	63.585	63.103	59.887	65.373	741.249
	5 - Passos	93.460	80.452	86.779	90.695	86.948	84.891	94.344	94.194	91.937	91.965	91.346	94.128	1.081.139
	6 - Pratápolis	73.819	60.683	67.962	70.253	70.148	66.708	73.232	73.340	70.779	70.102	68.711	72.945	838.682

Apêndice A.5 – Dados de tráfego de 2012

Sentido	Praças de pedágio	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Leste	1 - Itaúna	143.750	136.893	144.360	144.708	150.237	142.000	151.856	151.340	147.446	152.815	147.636	155.890	1.768.931
	2 - São Sebastião do Oeste	98.294	94.421	94.634	99.151	95.414	89.310	99.665	96.273	95.947	100.140	95.770	98.471	1.157.490
	3 - Córrego Fundo	43.895	41.111	40.264	45.378	40.917	37.993	44.841	41.045	40.819	42.530	40.548	41.996	501.337
	4 - Piumhi	62.853	61.045	60.025	66.794	58.607	56.026	65.447	63.642	64.899	68.388	62.501	66.051	756.278
	5 - Passos	90.462	91.868	90.760	93.663	87.807	86.106	96.948	97.583	96.744	102.473	96.663	103.600	1.134.677
	6 - Pratápolis	68.465	68.600	69.718	71.083	68.302	65.490	74.652	72.945	71.874	73.558	71.407	77.800	853.894
Oeste	1 - Itaúna	137.978	137.016	145.941	146.855	147.771	143.515	151.723	152.525	146.298	153.788	149.275	159.949	1.772.634
	2 - São Sebastião do Oeste	93.658	95.403	96.266	101.869	93.653	91.358	100.136	98.085	97.014	101.926	97.192	105.361	1.171.921
	3 - Córrego Fundo	41.209	40.638	39.392	45.173	38.674	37.443	44.295	40.712	40.499	42.765	40.285	44.675	495.760
	4 - Piumhi	62.154	61.637	60.620	67.461	58.651	56.816	66.531	64.128	65.743	69.683	63.683	68.043	765.150
	5 - Passos	94.712	92.007	90.482	93.165	89.197	85.925	98.250	97.644	97.485	102.866	97.158	99.086	1.137.977
	6 - Pratápolis	74.997	69.122	69.586	70.570	70.014	65.268	76.119	72.830	72.118	73.666	71.403	72.019	857.712

Apêndice A.6 – Dados de tráfego de 2013

Sentido	Praças de pedágio	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Leste	1 - Itaúna	149.066	134.025	156.551	151.699	155.675	148.218	156.535	158.817	153.521	159.959	159.097	160.433	1.843.596
	2 - São Sebastião do Oeste	99.972	88.797	99.870	95.240	97.856	95.286	104.190	103.816	101.380	102.954	102.494	103.121	1.194.976
	3 - Córrego Fundo	43.340	37.376	43.315	39.437	40.814	39.698	45.874	43.108	41.193	43.475	42.662	43.011	503.303
	4 - Piumhi	64.136	56.476	66.074	57.530	60.829	59.117	68.395	67.328	66.004	68.429	66.125	69.689	770.132
	5 - Passos	93.377	86.194	94.735	88.764	93.508	88.416	101.029	101.767	98.779	102.011	101.125	108.160	1.157.865
	6 - Pratápolis	69.069	64.902	71.752	67.082	72.650	65.021	76.771	76.560	72.351	75.081	73.785	80.820	865.844
Oeste	1 - Itaúna	144.113	134.773	158.507	152.740	160.779	144.250	157.455	161.508	152.752	160.827	160.227	162.312	1.850.243
	2 - São Sebastião do Oeste	95.303	89.735	101.888	96.411	101.731	93.728	105.787	105.832	101.389	104.437	104.385	109.451	1.210.077
	3 - Córrego Fundo	40.176	37.232	43.582	38.671	42.469	37.761	46.341	43.606	41.142	43.602	43.158	45.664	503.404
	4 - Piumhi	63.998	57.557	67.564	58.241	62.551	59.071	69.711	68.414	67.325	69.600	67.878	71.224	783.134
	5 - Passos	99.207	87.233	95.333	89.039	92.381	90.107	101.906	101.423	100.357	102.091	101.577	103.338	1.163.992
	6 - Pratápolis	77.080	65.690	72.040	68.185	70.135	67.817	77.579	76.531	73.386	75.322	74.357	74.382	872.504

Apêndice A.7 – Dados de tráfego de 2014

Sentido	Praças de pedágio	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Leste	1 - Itaúna	158.572	147.547	149.971	155.646	158.985	146.600	152.432	163.827	159.655	163.306	156.540	167.476	1.880.557
	2 - São Sebastião do Oeste	108.275	94.623	106.582	106.297	106.025	100.844	105.424	109.607	106.607	109.467	103.448	111.445	1.268.644
	3 - Córrego Fundo	46.801	39.370	44.655	46.092	42.476	41.163	43.699	44.457	42.357	43.713	40.337	45.622	520.742
	4 - Piumhi	73.045	60.047	66.543	70.324	64.248	61.662	65.992	69.388	67.945	70.253	63.195	71.534	804.176
	5 - Passos	104.689	93.160	99.264	100.735	96.904	91.541	98.545	104.093	99.971	103.898	96.586	111.179	1.200.565
	6 - Pratápolis	73.780	65.829	71.029	74.579	71.862	68.036	72.251	74.232	72.181	75.555	68.882	81.434	869.650
Oeste	1 - Itaúna	156.482	147.895	152.077	157.074	160.292	145.444	152.895	162.705	159.019	163.837	156.180	173.486	1.887.386
	2 - São Sebastião do Oeste	104.783	97.592	104.169	108.322	106.660	102.666	106.303	111.292	107.995	112.084	103.563	118.577	1.284.006
	3 - Córrego Fundo	45.214	39.955	42.218	46.298	42.475	41.436	43.846	45.132	42.215	44.331	40.021	48.519	521.660
	4 - Piumhi	74.222	61.412	66.303	71.374	65.083	63.039	66.979	70.905	68.819	72.034	64.011	73.468	817.649
	5 - Passos	110.431	91.914	102.616	101.152	96.883	92.562	99.273	104.822	99.798	104.141	97.293	105.871	1.206.756
	6 - Pratápolis	81.419	64.652	73.559	74.551	71.878	68.555	72.343	74.754	72.845	75.625	69.920	74.451	874.552

Apêndice B – Dados de tráfego mensal de 2014

Tráfego mensal de 2014 - Praça de pedágio de Itaúna - MG 050 - Km 81 - Sentido Leste											
Mês	Classificação dos veículos										Total
	CAT 01	CAT 02	CAT 03	CAT 04	CAT 05	CAT 06	CAT 07	CAT 08	CAT 09	CAT 10	
Janeiro	116.873	12.607	333	8.810	31	1.242	5.888	7.714	5.074	0	158.572
Fevereiro	108.152	12.221	322	8.999	41	1.303	4.946	6.646	4.917	0	147.547
Março	111.183	12.177	296	8.732	49	1.207	4.594	6.845	4.888	0	149.971
Abril	114.705	12.678	377	8.969	44	1.333	4.857	7.784	4.899	0	155.646
Maiο	117.982	12.918	313	9.142	45	1.414	4.290	7.623	5.256	2	158.985
Junho	109.678	11.575	328	7.973	37	1.157	4.344	6.919	4.589	0	146.600
Julho	112.541	12.740	290	8.819	52	1.264	5.386	6.809	4.531	0	152.432
Agosto	123.360	12.600	303	9.003	50	1.379	4.687	6.804	5.641	0	163.827
Setembro	117.757	12.894	322	9.815	48	1.476	4.869	7.378	5.096	0	159.655
Outubro	120.523	13.162	286	10.225	49	1.573	5.117	7.392	4.979	0	163.306
Novembro	118.409	12.399	314	8.432	46	1.389	4.622	6.525	4.404	0	156.540
Dezembro	127.705	12.446	325	8.418	50	1.574	5.164	7.140	4.654	0	167.476
Total	1.398.868	150.417	3.809	107.337	542	16.311	58.764	85.579	58.928	2	1.880.557

Apêndice C – Dados de tráfego diário de dezembro de 2014

Data	Volume	Dia da semana
01/12/2014	5340	Segunda-feira
02/12/2014	5044	Terça-feira
03/12/2014	5303	Quarta-feira
04/12/2014	5561	Quinta-feira
05/12/2014	6004	Sexta-feira
06/12/2014	5065	Sábado
07/12/2014	4660	Domingo
08/12/2014	6816	Segunda-feira
09/12/2014	5448	Terça-feira
10/12/2014	5440	Quarta-feira
11/12/2014	5568	Quinta-feira
12/12/2014	6327	Sexta-feira
13/12/2014	5089	Sábado
14/12/2014	5196	Domingo
15/12/2014	5642	Segunda-feira
16/12/2014	5404	Terça-feira
17/12/2014	5661	Quarta-feira
18/12/2014	5943	Quinta-feira
19/12/2014	6463	Sexta-feira
20/12/2014	5554	Sábado
21/12/2014	5306	Domingo
22/12/2014	5948	Segunda-feira
23/12/2014	5837	Terça-feira
24/12/2014	4872	Quarta-feira
25/12/2014	4682	Quinta-feira
26/12/2014	5450	Sexta-feira
27/12/2014	4583	Sábado
28/12/2014	5598	Domingo
29/12/2014	5169	Segunda-feira
30/12/2014	4780	Terça-feira
31/12/2014	3723	Quarta-feira
Total Geral	167476	-

Apêndice D – Dados de tráfego das segundas-feiras de dezembro/2014

Hora	01/12/2014	08/12/2014	15/12/2014	22/12/2014	29/12/2014	Total	Média
00	42	32	46	47	45	212	42
01	18	18	31	28	30	125	25
02	24	35	29	32	23	143	29
03	61	39	59	61	64	284	57
04	108	102	119	112	99	540	108
05	278	148	266	233	187	1112	222
06	354	220	357	339	264	1534	307
07	431	302	428	460	352	1973	395
08	386	298	399	398	370	1851	370
09	349	290	351	418	339	1747	349
10	342	333	365	375	379	1794	359
11	301	344	280	344	352	1621	324
12	271	344	319	347	275	1556	311
13	320	433	329	378	285	1745	349
14	304	487	346	377	279	1793	359
15	319	555	308	390	335	1907	381
16	287	591	341	310	293	1822	364
17	270	594	356	348	263	1831	366
18	274	520	305	278	311	1688	338
19	186	405	230	248	245	1314	263
20	169	245	135	155	149	853	171
21	118	235	117	133	104	707	141
22	79	146	72	88	67	452	90
23	49	100	54	49	59	311	62
Total	5340	6816	5642	5948	5169	28915	5783

Apêndice E – Tempo de atendimento com base nas filmagens

Cabine	Tipo de veículo	Nº de eixos	Chegada	Saída	Δt (s)	Categoria
3	Automóvel	2	16:59:52	17:00:02	10	CAT_01
3	Automóvel	2	17:00:07	17:00:13	06	CAT_01
3	Automóvel	2	17:00:17	17:00:22	05	CAT_01
3	Automóvel	2	17:00:25	17:00:37	12	CAT_01
3	Automóvel	2	17:00:42	17:00:49	07	CAT_01
3	Automóvel	2	17:00:53	17:00:59	06	CAT_01
3	Ônibus	2	17:01:09	17:01:50	41	CAT_02
3	Automóvel	2	17:01:59	17:02:10	11	CAT_01
3	Automóvel	2	17:02:13	17:02:21	08	CAT_01
3	Automóvel	2	17:02:25	17:02:33	08	CAT_01
3	Automóvel	2	17:02:38	17:02:45	07	CAT_01
3	Automóvel	2	17:02:49	17:02:56	07	CAT_01
3	Automóvel	2	17:03:00	17:03:07	07	CAT_01
3	Automóvel	2	17:03:10	17:03:25	15	CAT_01
3	Automóvel	2	17:03:30	17:03:38	08	CAT_01
3	Caminhão	3	17:03:43	17:04:03	20	CAT_04
3	Automóvel	2	17:04:12	17:04:40	28	CAT_01
3	Automóvel	2	17:04:46	17:04:51	05	CAT_01
3	Automóvel	2	17:04:57	17:05:03	06	CAT_01
3	Automóvel	2	17:05:09	17:05:19	10	CAT_01
3	Automóvel	2	17:05:27	17:05:40	13	CAT_01
3	Automóvel	2	17:05:45	17:05:51	06	CAT_01
3	Automóvel	2	17:05:56	17:06:03	07	CAT_01
3	Automóvel	2	17:06:06	17:06:15	09	CAT_01
3	Automóvel	2	17:06:19	17:06:28	09	CAT_01
3	Motocicleta	2	17:06:31	17:07:05	34	CAT_09
3	Automóvel	2	17:07:08	17:07:15	07	CAT_01
3	Automóvel	2	17:07:19	17:07:24	05	CAT_01
3	Automóvel	2	17:07:29	17:07:38	09	CAT_01
3	Automóvel	2	17:07:41	17:07:47	06	CAT_01
3	Automóvel	2	17:07:53	17:08:02	09	CAT_01
3	Automóvel	2	17:08:07	17:08:17	10	CAT_01
3	Automóvel	2	17:08:22	17:08:30	08	CAT_01
3	Automóvel	2	17:08:36	17:08:52	16	CAT_01
3	Automóvel	2	17:09:01	17:09:04	03	CAT_01
3	Automóvel	2	17:09:11	17:09:18	07	CAT_01
3	Automóvel	2	17:09:22	17:09:27	05	CAT_01
3	Automóvel	2	17:09:35	17:09:43	08	CAT_01
3	Automóvel	2	17:09:47	17:10:02	15	CAT_01
3	Automóvel	2	17:10:05	17:10:12	07	CAT_01
3	Automóvel	2	17:10:16	17:10:23	07	CAT_01

Continuação

Cabine	Tipo de veículo	Nº de eixos	Chegada	Saída	Δt (s)	Categoria
3	Automóvel	2	17:10:31	17:10:56	25	CAT_01
3	Automóvel	2	17:10:59	17:11:09	10	CAT_01
3	Caminhão	2	17:11:13	17:11:23	10	CAT_02
3	Caminhão	6	17:11:27	17:11:43	16	CAT_08
3	Motocicleta	2	17:11:53	17:12:16	23	CAT_09
3	Automóvel	2	17:12:20	17:12:23	03	CAT_01
3	Automóvel	2	17:12:28	17:12:34	06	CAT_01
3	Automóvel	2	17:12:38	17:12:48	10	CAT_01
3	Automóvel	2	17:12:53	17:13:02	09	CAT_01
3	Automóvel	2	17:13:07	17:13:18	11	CAT_01
3	Automóvel	2	17:13:23	17:13:30	07	CAT_01
3	Automóvel	2	17:13:36	17:13:47	11	CAT_01
3	Automóvel	2	17:13:52	17:13:58	06	CAT_01
3	Automóvel	2	17:14:02	17:14:10	08	CAT_01
3	Automóvel	2	17:14:15	17:14:33	18	CAT_01
3	Automóvel	2	17:14:38	17:14:44	06	CAT_01
3	Automóvel	2	17:26:53	17:27:29	36	CAT_01
3	Automóvel	2	17:27:32	17:27:39	07	CAT_01
3	Automóvel	2	17:27:43	17:27:47	04	CAT_01
3	Automóvel	2	17:27:50	17:27:58	08	CAT_01
3	Automóvel	2	17:28:04	17:28:33	29	CAT_01
3	Automóvel	2	17:28:37	17:29:05	28	CAT_01
3	Automóvel	2	17:29:11	17:29:27	16	CAT_01
3	Automóvel	2	17:29:31	17:29:38	07	CAT_01
3	Automóvel	2	17:29:41	17:29:49	08	CAT_01
3	Automóvel	2	17:30:08	17:30:13	05	CAT_01
3	Automóvel	2	17:30:26	17:30:31	05	CAT_01
3	Automóvel	2	17:30:41	17:30:50	09	CAT_01
3	Automóvel	2	17:30:54	17:31:01	07	CAT_01
3	Automóvel	2	17:31:10	17:31:17	07	CAT_01
3	Automóvel	2	17:32:07	17:32:24	17	CAT_01
3	Automóvel	2	17:34:11	17:34:35	24	CAT_01
3	Automóvel	2	17:34:46	17:35:04	18	CAT_01
3	Automóvel	3	17:35:10	17:35:41	31	CAT_03
3	Automóvel	2	17:35:45	17:35:50	05	CAT_01
3	Automóvel	2	17:35:55	17:36:02	07	CAT_01
3	Automóvel	2	17:36:06	17:36:13	07	CAT_01
3	Automóvel	2	17:36:17	17:36:22	05	CAT_01
3	Automóvel	2	17:36:26	17:36:33	07	CAT_01
3	Automóvel	2	17:36:37	17:36:42	05	CAT_01
3	Automóvel	2	17:36:50	17:37:07	17	CAT_01
3	Automóvel	2	17:37:10	17:37:18	08	CAT_01
3	Automóvel	2	17:37:21	17:37:33	12	CAT_01

Continuação

Cabine	Tipo de veículo	Nº de eixos	Chegada	Saída	Δt (s)	Categoria
3	Automóvel	2	17:37:38	17:37:50	12	CAT_01
3	Automóvel	2	17:38:14	17:38:35	21	CAT_01
3	Automóvel	2	17:39:10	17:39:34	24	CAT_01
3	Automóvel	2	17:41:25	17:41:38	13	CAT_01
3	Automóvel	2	17:41:41	17:41:51	10	CAT_01
3	Automóvel	2	17:41:55	17:42:04	09	CAT_01
3	Automóvel	2	17:42:10	17:42:21	11	CAT_01
3	Automóvel	2	17:42:47	17:42:55	08	CAT_01
3	Automóvel	2	17:43:00	17:43:16	16	CAT_01
3	Motocicleta	2	17:43:55	17:44:31	36	CAT_09
3	Automóvel	2	17:44:33	17:44:53	20	CAT_01
3	Automóvel	2	17:44:57	17:45:13	16	CAT_01
3	Automóvel	2	17:45:18	17:45:27	09	CAT_01
3	Automóvel	2	17:45:33	17:45:40	07	CAT_01
3	Automóvel	2	17:45:44	17:45:50	06	CAT_01
3	Automóvel	2	17:45:55	17:46:03	08	CAT_01
3	Automóvel	2	17:46:07	17:46:12	05	CAT_01
3	Automóvel	2	17:47:48	17:47:59	11	CAT_01
3	Automóvel	2	17:48:11	17:48:35	24	CAT_01
3	Automóvel	2	17:48:40	17:48:47	07	CAT_01
3	Automóvel	2	17:49:48	17:50:10	22	CAT_01
3	Automóvel	2	17:50:16	17:50:28	12	CAT_01
3	Automóvel	2	17:50:32	17:50:36	04	CAT_01
3	Ônibus	2	17:50:43	17:50:55	12	CAT_02
3	Automóvel	2	17:51:01	17:51:07	06	CAT_01
3	Automóvel	2	17:51:12	17:51:19	07	CAT_01
3	Automóvel	2	17:52:13	17:52:23	10	CAT_01
3	Automóvel	2	17:52:29	17:52:37	08	CAT_01
3	Automóvel	2	17:52:42	17:52:51	09	CAT_01
3	Automóvel	2	17:52:55	17:53:01	06	CAT_01
3	Automóvel	2	17:53:17	17:53:26	09	CAT_01
3	Automóvel	2	17:53:31	17:53:53	22	CAT_01
3	Automóvel	2	17:53:59	17:54:04	05	CAT_01
3	Automóvel	2	17:54:09	17:54:14	05	CAT_01
3	Automóvel	2	17:54:19	17:54:26	07	CAT_01
3	Motocicleta	2	17:54:30	17:54:45	15	CAT_09
3	Automóvel	2	17:54:48	17:55:06	18	CAT_01
3	Automóvel	2	17:55:11	17:55:19	08	CAT_01
3	Automóvel	2	17:55:23	17:55:35	12	CAT_01
3	Motocicleta	2	17:55:38	17:55:42	04	CAT_09
3	Automóvel	2	17:55:46	17:55:54	08	CAT_01
3	Automóvel	2	17:55:58	17:56:09	11	CAT_01
3	Automóvel	2	17:56:14	17:56:21	07	CAT_01

Continuação

Cabine	Tipo de veículo	Nº de eixos	Chegada	Saída	Δt (s)	Categoria
3	Automóvel	2	17:56:25	17:56:37	12	CAT_01
3	Automóvel	2	17:56:41	17:56:45	04	CAT_01
3	Ônibus	3	17:56:52	17:57:09	17	CAT_04
3	Automóvel	2	17:57:20	17:57:31	11	CAT_01
3	Automóvel	2	17:57:35	17:57:45	10	CAT_01
3	Automóvel	2	17:57:50	17:58:05	15	CAT_01
3	Automóvel	2	17:58:10	17:58:14	04	CAT_01
3	Automóvel	2	17:58:19	17:58:28	09	CAT_01
3	Automóvel	2	17:58:32	17:58:52	20	CAT_01
3	Automóvel	2	17:58:57	17:59:04	07	CAT_01
3	Automóvel	2	17:59:09	17:59:31	22	CAT_01
3	Automóvel	2	17:59:34	17:59:45	11	CAT_01
4	Automóvel	2	16:59:56	17:00:06	10	CAT_01
4	Automóvel	2	17:00:10	17:00:21	11	CAT_01
4	Automóvel	2	17:00:27	17:00:43	16	CAT_01
4	Automóvel	2	17:00:47	17:00:53	06	CAT_01
4	Automóvel	2	17:12:25	17:12:38	13	CAT_01
4	Automóvel	2	17:12:42	17:12:49	07	CAT_01
4	Automóvel	2	17:12:54	17:13:02	08	CAT_01
4	Automóvel	2	17:13:07	17:13:22	15	CAT_01
4	Automóvel	2	17:13:25	17:13:34	09	CAT_01
4	Automóvel	2	17:13:39	17:13:45	06	CAT_01
4	Motocicleta	2	17:13:48	17:14:17	29	CAT_09
4	Automóvel	2	17:14:23	17:14:32	09	CAT_01
4	Automóvel	2	17:14:37	17:14:46	09	CAT_01
4	Automóvel	2	17:14:50	17:14:56	06	CAT_01
4	Automóvel	2	17:15:00	17:15:43	43	CAT_01
4	Automóvel	2	17:15:49	17:15:58	09	CAT_01
4	Automóvel	2	17:16:04	17:16:13	09	CAT_01
4	Automóvel	2	17:16:19	17:16:23	04	CAT_01
4	Automóvel	2	17:16:29	17:16:37	08	CAT_01
4	Automóvel	2	17:16:42	17:16:49	07	CAT_01
4	Automóvel	2	17:16:55	17:17:14	19	CAT_01
4	Automóvel	2	17:17:17	17:17:27	10	CAT_01
4	Automóvel	2	17:17:30	17:17:40	10	CAT_01
4	Automóvel	2	17:17:46	17:18:04	18	CAT_01
4	Motocicleta	2	17:18:07	17:18:18	11	CAT_09
4	Automóvel	2	17:18:22	17:18:31	09	CAT_01
4	Automóvel	2	17:18:35	17:18:44	09	CAT_01
4	Automóvel	2	17:18:49	17:18:58	09	CAT_01
4	Automóvel	2	17:19:04	17:19:11	07	CAT_01
4	Automóvel	2	17:19:17	17:19:29	12	CAT_01
4	Caminhão	2	17:19:35	17:19:56	21	CAT_02

Continuação

Cabine	Tipo de veículo	Nº de eixos	Chegada	Saída	Δt (s)	Categoria
4	Automóvel	2	17:20:01	17:20:08	07	CAT_01
4	Automóvel	2	17:20:13	17:20:21	08	CAT_01
4	Automóvel	2	17:20:25	17:20:35	10	CAT_01
4	Automóvel	2	17:20:40	17:20:46	06	CAT_01
4	Automóvel	2	17:20:50	17:21:06	16	CAT_01
4	Automóvel	2	17:21:11	17:21:14	03	CAT_01
4	Automóvel	2	17:21:20	17:21:29	09	CAT_01
4	Automóvel	2	17:21:34	17:21:45	11	CAT_01
4	Automóvel	2	17:21:53	17:22:01	08	CAT_01
4	Automóvel	2	17:22:05	17:22:13	08	CAT_01
4	Automóvel	2	17:22:22	17:22:34	12	CAT_01
4	Automóvel	2	17:22:42	17:22:52	10	CAT_01
4	Automóvel	2	17:22:56	17:23:02	06	CAT_01
4	Automóvel	2	17:23:06	17:23:13	07	CAT_01
4	Automóvel	2	17:23:18	17:23:25	07	CAT_01
4	Automóvel	2	17:23:28	17:23:36	08	CAT_01
4	Motocicleta	2	17:23:41	17:23:58	17	CAT_09
4	Automóvel	2	17:24:02	17:24:07	05	CAT_01
4	Automóvel	2	17:24:11	17:24:16	05	CAT_01
4	Automóvel	2	17:24:20	17:24:27	07	CAT_01
4	Automóvel	2	17:24:31	17:24:38	07	CAT_01
4	Automóvel	2	17:24:42	17:24:49	07	CAT_01
4	Automóvel	2	17:24:54	17:25:08	14	CAT_01
4	Automóvel	2	17:25:13	17:25:18	05	CAT_01
4	Automóvel	2	17:25:23	17:25:31	08	CAT_01
4	Automóvel	2	17:25:34	17:25:39	05	CAT_01
4	Automóvel	2	17:25:43	17:25:50	07	CAT_01
4	Automóvel	2	17:26:20	17:26:33	13	CAT_01
4	Automóvel	2	17:26:38	17:26:58	20	CAT_01
4	Automóvel	2	17:27:03	17:27:10	07	CAT_01
4	Automóvel	2	17:27:18	17:27:24	06	CAT_01
4	Caminhão	3	17:27:29	17:28:13	44	CAT_04
4	Automóvel	2	17:28:19	17:28:30	11	CAT_01
4	Automóvel	2	17:28:50	17:28:56	06	CAT_01
4	Automóvel	2	17:29:03	17:29:49	46	CAT_01
4	Automóvel	2	17:29:55	17:30:03	08	CAT_01
4	Automóvel	2	17:30:09	17:30:25	16	CAT_01
4	Automóvel	2	17:30:33	17:30:47	14	CAT_01
4	Automóvel	2	17:30:53	17:31:03	10	CAT_01
4	Automóvel	2	17:31:07	17:31:12	05	CAT_01
4	Automóvel	3	17:32:03	17:32:17	14	CAT_03
4	Automóvel	2	17:32:33	17:32:53	20	CAT_01
4	Automóvel	2	17:33:54	17:34:03	09	CAT_01

Continuação

Cabine	Tipo de veículo	Nº de eixos	Chegada	Saída	Δt (s)	Categoria
4	Automóvel	2	17:34:08	17:34:16	08	CAT_01
4	Automóvel	2	17:34:23	17:35:04	41	CAT_01
4	Automóvel	2	17:35:07	17:35:11	04	CAT_01
4	Automóvel	2	17:35:18	17:35:28	10	CAT_01
4	Automóvel	2	17:35:31	17:35:39	08	CAT_01
4	Automóvel	2	17:35:44	17:35:50	06	CAT_01
4	Automóvel	2	17:35:57	17:36:15	18	CAT_01
4	Automóvel	2	17:36:19	17:36:24	05	CAT_01
4	Automóvel	2	17:36:29	17:36:43	14	CAT_01
4	Automóvel	2	17:36:47	17:36:55	08	CAT_01
4	Automóvel	2	17:36:59	17:37:13	14	CAT_01
4	Automóvel	2	17:37:17	17:37:27	10	CAT_01
4	Automóvel	2	17:37:31	17:37:36	05	CAT_01
4	Automóvel	2	17:37:41	17:37:54	13	CAT_01
4	Automóvel	2	17:39:09	17:39:16	07	CAT_01
4	Automóvel	2	17:39:27	17:40:02	35	CAT_01
4	Automóvel	2	17:41:32	17:41:48	16	CAT_01
4	Automóvel	2	17:41:51	17:42:05	14	CAT_01
4	Automóvel	2	17:42:10	17:42:17	07	CAT_01
4	Automóvel	2	17:42:25	17:42:37	12	CAT_01
4	Automóvel	2	17:42:45	17:43:05	20	CAT_01
4	Automóvel	2	17:43:12	17:43:24	12	CAT_01
4	Automóvel	2	17:44:02	17:44:10	08	CAT_01
4	Automóvel	2	17:44:17	17:44:32	15	CAT_01
4	Automóvel	2	17:44:38	17:44:46	08	CAT_01
4	Automóvel	2	17:44:51	17:44:57	06	CAT_01
4	Automóvel	2	17:45:04	17:45:14	10	CAT_01
4	Automóvel	2	17:45:23	17:45:49	26	CAT_01
4	Automóvel	2	17:45:54	17:46:03	09	CAT_01
4	Automóvel	2	17:46:11	17:46:32	21	CAT_01
4	Automóvel	2	17:47:26	17:47:49	23	CAT_01
4	Automóvel	2	17:48:03	17:48:10	07	CAT_01
4	Automóvel	2	17:48:19	17:48:39	20	CAT_01
4	Automóvel	2	17:48:45	17:48:53	08	CAT_01
4	Automóvel	2	17:49:36	17:49:59	23	CAT_01
4	Automóvel	2	17:50:03	17:50:17	14	CAT_01
4	Automóvel	2	17:50:22	17:50:35	13	CAT_01
4	Automóvel	2	17:51:12	17:51:22	10	CAT_01
4	Automóvel	2	17:51:25	17:51:39	14	CAT_01
4	Automóvel	2	17:52:12	17:52:34	22	CAT_01
4	Automóvel	2	17:52:37	17:52:57	20	CAT_01
4	Automóvel	2	17:53:02	17:53:10	08	CAT_01
4	Automóvel	2	17:53:15	17:53:22	07	CAT_01

Continuação

Cabine	Tipo de veículo	Nº de eixos	Chegada	Saída	Δt (s)	Categoria
4	Automóvel	2	17:53:26	17:53:45	19	CAT_01
4	Automóvel	2	17:53:52	17:54:34	42	CAT_01
4	Automóvel	2	17:54:39	17:54:51	12	CAT_01
4	Automóvel	2	17:54:55	17:55:07	12	CAT_01
4	Motocicleta	2	17:55:10	17:55:25	15	CAT_09
4	Automóvel	2	17:55:29	17:55:42	13	CAT_01
4	Automóvel	2	17:55:46	17:56:08	22	CAT_01
4	Automóvel	2	17:56:14	17:56:25	11	CAT_01
4	Automóvel	2	17:56:28	17:56:39	11	CAT_01
4	Automóvel	2	17:57:25	17:57:39	14	CAT_01
4	Automóvel	2	17:57:46	17:58:06	20	CAT_01
4	Automóvel	2	17:58:11	17:58:18	07	CAT_01
4	Automóvel	2	17:58:23	17:58:36	13	CAT_01
4	Automóvel	2	17:58:40	17:58:56	16	CAT_01
4	Automóvel	2	17:59:01	17:59:09	08	CAT_01
4	Automóvel	2	17:59:14	17:59:24	10	CAT_01
4	Automóvel	2	17:59:28	17:59:34	06	CAT_01
5	Automóvel	2	17:00:20	17:00:59	39	CAT_01
5	Automóvel	2	17:01:57	17:02:07	10	CAT_01
5	Automóvel	2	17:02:15	17:02:21	06	CAT_01
5	Automóvel	2	17:02:25	17:02:40	15	CAT_01
5	Automóvel	2	17:02:45	17:02:51	06	CAT_01
5	Automóvel	2	17:02:56	17:03:10	14	CAT_01
5	Automóvel	2	17:03:14	17:03:25	11	CAT_01
5	Automóvel	2	17:03:32	17:03:41	09	CAT_01
5	Automóvel	2	17:03:46	17:03:52	06	CAT_01
5	Automóvel	2	17:03:56	17:04:04	08	CAT_01
5	Automóvel	2	17:04:09	17:04:13	04	CAT_01
5	Automóvel	2	17:04:20	17:04:25	05	CAT_01
5	Automóvel	2	17:04:29	17:04:33	04	CAT_01
5	Automóvel	2	17:04:37	17:04:41	04	CAT_01
5	Automóvel	2	17:04:45	17:04:59	14	CAT_01
5	Automóvel	2	17:05:06	17:05:21	15	CAT_01
5	Automóvel	2	17:05:25	17:05:32	07	CAT_01
5	Automóvel	2	17:05:39	17:05:49	10	CAT_01
5	Automóvel	2	17:05:53	17:05:59	06	CAT_01
5	Automóvel	2	17:06:03	17:06:12	09	CAT_01
5	Automóvel	2	17:06:18	17:06:25	07	CAT_01
5	Automóvel	2	17:06:30	17:06:43	13	CAT_01
5	Automóvel	2	17:06:48	17:06:55	07	CAT_01
5	Automóvel	2	17:07:00	17:07:07	07	CAT_01
5	Automóvel	2	17:07:12	17:07:23	11	CAT_01
5	Caminhão	2	17:07:28	17:07:41	13	CAT_02

Continuação

Cabine	Tipo de veículo	Nº de eixos	Chegada	Saída	Δt (s)	Categoria
5	Automóvel	2	17:07:47	17:07:55	08	CAT_01
5	Automóvel	2	17:07:58	17:08:19	21	CAT_01
5	Automóvel	2	17:08:26	17:08:30	04	CAT_01
5	Automóvel	2	17:08:35	17:08:57	22	CAT_01
5	Automóvel	2	17:09:02	17:09:09	07	CAT_01
5	Automóvel	2	17:09:16	17:09:31	15	CAT_01
5	Automóvel	2	17:09:36	17:09:47	11	CAT_01
5	Automóvel	2	17:09:53	17:10:00	07	CAT_01
5	Automóvel	2	17:10:07	17:10:15	08	CAT_01
5	Automóvel	2	17:10:22	17:10:30	08	CAT_01
5	Caminhão	6	17:10:40	17:11:26	46	CAT_08
5	Caminhão	2	17:11:58	17:12:30	32	CAT_02
5	Automóvel	2	17:12:40	17:12:46	06	CAT_01
5	Automóvel	2	17:12:52	17:12:59	07	CAT_01
5	Automóvel	2	17:13:07	17:13:14	07	CAT_01
5	Automóvel	2	17:13:22	17:13:33	11	CAT_01
5	Automóvel	2	17:13:38	17:13:43	05	CAT_01
5	Automóvel	2	17:13:49	17:13:54	05	CAT_01
5	Automóvel	2	17:14:01	17:14:20	19	CAT_01
5	Automóvel	2	17:14:26	17:14:34	08	CAT_01
5	Automóvel	2	17:14:39	17:14:46	07	CAT_01
5	Automóvel	2	17:14:51	17:15:05	14	CAT_01
5	Automóvel	2	17:15:11	17:15:19	08	CAT_01
5	Automóvel	2	17:15:26	17:15:41	15	CAT_01
5	Automóvel	2	17:15:47	17:15:54	07	CAT_01
5	Automóvel	2	17:15:59	17:16:11	12	CAT_01
5	Automóvel	2	17:16:18	17:16:22	04	CAT_01
5	Automóvel	2	17:16:31	17:16:43	12	CAT_01
5	Automóvel	2	17:16:48	17:16:53	05	CAT_01
5	Automóvel	2	17:16:58	17:17:05	07	CAT_01
5	Automóvel	2	17:17:13	17:17:21	08	CAT_01
5	Automóvel	2	17:17:26	17:17:45	19	CAT_01
5	Automóvel	2	17:17:52	17:18:07	15	CAT_01
5	Automóvel	2	17:18:13	17:18:18	05	CAT_01
5	Automóvel	2	17:18:24	17:18:40	16	CAT_01
5	Automóvel	2	17:18:44	17:18:50	06	CAT_01
5	Automóvel	2	17:18:56	17:19:11	15	CAT_01
5	Automóvel	2	17:19:17	17:19:23	06	CAT_01
5	Automóvel	2	17:19:54	17:19:59	05	CAT_01
5	Automóvel	2	17:20:03	17:20:07	04	CAT_01
5	Automóvel	2	17:20:12	17:20:29	17	CAT_01
5	Automóvel	2	17:20:36	17:20:47	11	CAT_01
5	Ônibus	2	17:20:51	17:20:56	05	CAT_02

Continuação

Cabine	Tipo de veículo	Nº de eixos	Chegada	Saída	Δt (s)	Categoria
5	Automóvel	2	17:21:05	17:21:13	08	CAT_01
5	Automóvel	2	17:21:19	17:21:22	03	CAT_01
5	Automóvel	2	17:21:28	17:21:37	09	CAT_01
5	Automóvel	2	17:21:41	17:21:52	11	CAT_01
5	Automóvel	2	17:21:56	17:22:04	08	CAT_01
5	Automóvel	2	17:22:10	17:22:24	14	CAT_01
5	Motocicleta	2	17:22:28	17:22:49	21	CAT_09
5	Motocicleta	2	17:22:50	17:23:03	13	CAT_09
5	Automóvel	2	17:23:07	17:23:17	10	CAT_01
5	Caminhão	2	17:23:24	17:23:35	11	CAT_02
5	Automóvel	2	17:23:43	17:23:48	05	CAT_01
5	Automóvel	2	17:23:57	17:24:23	26	CAT_01
5	Automóvel	2	17:24:27	17:24:31	04	CAT_01
5	Automóvel	2	17:24:35	17:25:14	39	CAT_01
5	Automóvel	2	17:25:19	17:25:32	13	CAT_01
5	Automóvel	2	17:25:37	17:25:44	07	CAT_01
5	Automóvel	2	17:25:51	17:26:05	14	CAT_01
5	Automóvel	2	17:26:08	17:26:17	09	CAT_01
5	Automóvel	2	17:26:27	17:27:01	34	CAT_01
5	Automóvel	2	17:27:09	17:27:16	07	CAT_01
5	Automóvel	2	17:27:36	17:27:48	12	CAT_01
5	Automóvel	2	17:27:50	17:28:00	10	CAT_01
5	Automóvel	2	17:28:07	17:28:31	24	CAT_01
5	Automóvel	2	17:28:37	17:28:44	07	CAT_01
5	Automóvel	2	17:28:51	17:29:01	10	CAT_01
5	Automóvel	2	17:29:06	17:29:25	19	CAT_01
5	Automóvel	2	17:29:29	17:29:43	14	CAT_01
5	Automóvel	2	17:29:50	17:30:04	14	CAT_01
5	Automóvel	2	17:30:17	17:30:34	17	CAT_01
5	Automóvel	2	17:30:37	17:30:46	09	CAT_01
5	Automóvel	2	17:30:50	17:31:03	13	CAT_01
5	Automóvel	2	17:31:17	17:31:21	04	CAT_01
5	Automóvel	2	17:32:33	17:32:45	12	CAT_01
5	Automóvel	2	17:34:03	17:34:43	40	CAT_01
5	Automóvel	2	17:34:49	17:34:55	06	CAT_01
5	Automóvel	2	17:35:01	17:35:12	11	CAT_01
5	Automóvel	3	17:35:16	17:35:25	09	CAT_03
5	Automóvel	2	17:35:31	17:35:36	05	CAT_01
5	Automóvel	2	17:35:40	17:36:07	27	CAT_01
5	Automóvel	2	17:36:14	17:36:32	18	CAT_01
5	Automóvel	2	17:36:38	17:36:46	08	CAT_01
5	Automóvel	2	17:36:51	17:36:58	07	CAT_01
5	Automóvel	2	17:37:03	17:37:09	06	CAT_01

Continuação

Cabine	Tipo de veículo	Nº de eixos	Chegada	Saída	Δt (s)	Categoria
5	Automóvel	2	17:37:14	17:37:24	10	CAT_01
5	Automóvel	2	17:37:29	17:37:39	10	CAT_01
5	Automóvel	2	17:37:47	17:37:56	09	CAT_01
5	Automóvel	2	17:38:01	17:38:16	15	CAT_01
5	Automóvel	2	17:38:21	17:38:28	07	CAT_01
5	Automóvel	2	17:38:47	17:39:28	41	CAT_01
5	Automóvel	2	17:39:54	17:40:01	07	CAT_01
5	Automóvel	2	17:40:25	17:41:11	46	CAT_01
5	Automóvel	2	17:41:26	17:41:44	18	CAT_01
5	Automóvel	2	17:41:49	17:41:54	05	CAT_01
5	Automóvel	2	17:41:59	17:42:08	09	CAT_01
5	Automóvel	2	17:42:19	17:42:28	09	CAT_01
5	Automóvel	2	17:42:37	17:42:46	09	CAT_01
5	Automóvel	2	17:42:53	17:43:16	23	CAT_01
5	Automóvel	2	17:43:20	17:43:29	09	CAT_01
5	Automóvel	2	17:43:41	17:43:51	10	CAT_01
3	Automóvel	2	17:59:49	17:59:57	08	CAT_01
3	Automóvel	2	18:00:01	18:00:08	07	CAT_01
3	Automóvel	2	18:00:13	18:00:21	08	CAT_01
3	Automóvel	2	18:00:25	18:00:38	13	CAT_01
3	Automóvel	2	18:00:43	18:01:17	34	CAT_01
3	Automóvel	2	18:01:21	18:01:38	17	CAT_01
3	Automóvel	2	18:01:43	18:01:51	08	CAT_01
3	Automóvel	2	18:01:57	18:02:07	10	CAT_01
3	Automóvel	2	18:02:13	18:02:36	23	CAT_01
3	Automóvel	2	18:02:40	18:02:52	12	CAT_01
3	Automóvel	2	18:03:07	18:03:20	13	CAT_01
3	Automóvel	2	18:03:26	18:03:33	07	CAT_01
3	Automóvel	2	18:13:58	18:14:04	06	CAT_01
3	Automóvel	2	18:14:19	18:14:25	06	CAT_01
3	Automóvel	2	18:14:30	18:14:36	06	CAT_01
3	Automóvel	2	18:14:40	18:14:46	06	CAT_01
3	Automóvel	2	18:14:50	18:15:22	32	CAT_01
3	Automóvel	2	18:15:27	18:15:33	06	CAT_01
3	Caminhão	5	18:15:45	18:16:04	19	CAT_07
3	Caminhão	4	18:16:25	18:17:18	53	CAT_06
3	Automóvel	2	18:21:52	18:21:58	06	CAT_01
3	Automóvel	2	18:22:07	18:22:20	13	CAT_01
3	Automóvel	2	18:22:44	18:22:57	13	CAT_01
3	Automóvel	2	18:23:53	18:24:05	12	CAT_01
3	Automóvel	2	18:24:14	18:24:37	23	CAT_01
3	Automóvel	2	18:24:41	18:24:48	07	CAT_01
3	Automóvel	2	18:24:54	18:25:13	19	CAT_01

Continuação

Cabine	Tipo de veículo	Nº de eixos	Chegada	Saída	Δt (s)	Categoria
3	Automóvel	2	18:25:18	18:25:27	09	CAT_01
3	Automóvel	2	18:25:34	18:25:44	10	CAT_01
3	Caminhão	5	18:25:56	18:26:22	26	CAT_07
3	Caminhão	2	18:26:45	18:27:12	27	CAT_02
3	Automóvel	2	18:27:18	18:27:44	26	CAT_01
3	Automóvel	2	18:28:40	18:29:26	46	CAT_01
3	Automóvel	2	18:29:30	18:30:06	36	CAT_01
3	Automóvel	2	18:30:25	18:30:40	15	CAT_01
3	Automóvel	2	18:30:47	18:30:59	12	CAT_01
3	Automóvel	2	18:31:06	18:31:24	18	CAT_01
3	Automóvel	2	18:31:30	18:31:53	23	CAT_01
3	Caminhão	3	18:32:00	18:32:57	57	CAT_04
3	Automóvel	2	18:34:37	18:34:43	06	CAT_01
3	Automóvel	2	18:34:50	18:35:03	13	CAT_01
3	Automóvel	2	18:35:08	18:35:12	04	CAT_01
3	Automóvel	2	18:35:20	18:35:30	10	CAT_01
3	Automóvel	2	18:35:35	18:35:44	09	CAT_01
3	Automóvel	2	18:35:55	18:36:24	29	CAT_01
3	Motocicleta	2	18:36:55	18:37:28	33	CAT_09
3	Automóvel	2	18:37:34	18:37:41	07	CAT_01
3	Automóvel	2	18:37:47	18:37:54	07	CAT_01
3	Automóvel	2	18:38:04	18:38:07	03	CAT_01
3	Automóvel	2	18:38:11	18:38:20	09	CAT_01
3	Automóvel	2	18:38:24	18:38:27	03	CAT_01
3	Caminhão	2	18:38:34	18:38:50	16	CAT_02
3	Automóvel	2	18:39:01	18:39:26	25	CAT_01
3	Automóvel	2	18:39:34	18:39:45	11	CAT_01
3	Automóvel	2	18:39:52	18:40:19	27	CAT_01
3	Automóvel	2	18:40:23	18:40:34	11	CAT_01
3	Automóvel	2	18:40:38	18:41:02	24	CAT_01
3	Automóvel	2	18:41:07	18:41:16	09	CAT_01
3	Automóvel	2	18:41:23	18:41:49	26	CAT_01
3	Automóvel	2	18:42:51	18:43:29	38	CAT_01
3	Automóvel	2	18:43:40	18:43:54	14	CAT_01
3	Automóvel	2	18:43:59	18:44:08	09	CAT_01
3	Automóvel	2	18:44:18	18:44:42	24	CAT_01
3	Automóvel	2	18:44:47	18:45:06	19	CAT_01
3	Automóvel	2	18:45:39	18:45:44	05	CAT_01
3	Automóvel	2	18:45:51	18:46:08	17	CAT_01
3	Automóvel	2	18:46:15	18:46:35	20	CAT_01
3	Automóvel	2	18:46:55	18:47:21	26	CAT_01
3	Automóvel	2	18:47:25	18:47:30	05	CAT_01
3	Caminhão	2	18:47:37	18:47:44	07	CAT_02

Continuação

Cabine	Tipo de veículo	Nº de eixos	Chegada	Saída	Δt (s)	Categoria
3	Automóvel	2	18:47:50	18:47:58	08	CAT_01
3	Motocicleta	2	18:48:02	18:48:48	46	CAT_09
3	Automóvel	2	18:48:52	18:49:11	19	CAT_01
3	Automóvel	2	18:49:17	18:49:25	08	CAT_01
3	Automóvel	2	18:49:32	18:49:39	07	CAT_01
3	Automóvel	2	18:49:42	18:49:52	10	CAT_01
3	Automóvel	2	18:49:57	18:50:00	03	CAT_01
3	Automóvel	2	18:50:48	18:50:56	08	CAT_01
3	Automóvel	2	18:51:48	18:51:58	10	CAT_01
3	Automóvel	2	18:52:09	18:52:50	41	CAT_01
3	Automóvel	2	18:53:06	18:53:32	26	CAT_01
3	Automóvel	2	18:53:53	18:54:18	25	CAT_01
3	Automóvel	2	18:54:26	18:54:34	08	CAT_01
3	Automóvel	2	18:54:41	18:54:53	12	CAT_01
3	Automóvel	2	18:55:00	18:55:10	10	CAT_01
3	Automóvel	2	18:55:19	18:56:15	56	CAT_01
3	Automóvel	2	18:56:22	18:56:28	06	CAT_01
3	Automóvel	2	18:56:33	18:56:45	12	CAT_01
3	Automóvel	2	18:56:50	18:56:52	02	CAT_01
3	Automóvel	2	18:57:19	18:57:27	08	CAT_01
3	Automóvel	2	18:57:33	18:57:38	05	CAT_01
3	Automóvel	2	18:57:44	18:58:03	19	CAT_01
3	Automóvel	2	18:58:10	18:58:24	14	CAT_01
3	Automóvel	2	18:58:27	18:58:31	04	CAT_01
3	Automóvel	2	18:58:36	18:58:49	13	CAT_01
3	Automóvel	2	18:58:54	18:58:58	04	CAT_01
3	Automóvel	2	18:59:03	18:59:16	13	CAT_01
3	Automóvel	2	18:59:20	18:59:25	05	CAT_01
4	Automóvel	2	17:59:38	17:59:44	06	CAT_01
4	Automóvel	2	17:59:49	17:59:57	08	CAT_01
4	Automóvel	2	18:00:04	18:00:11	07	CAT_01
4	Automóvel	2	18:00:13	18:00:21	08	CAT_01
4	Automóvel	2	18:00:24	18:00:34	10	CAT_01
4	Automóvel	2	18:00:38	18:00:47	09	CAT_01
4	Automóvel	2	18:00:51	18:00:59	08	CAT_01
4	Automóvel	2	18:01:03	18:01:13	10	CAT_01
4	Automóvel	2	18:01:19	18:01:35	16	CAT_01
4	Automóvel	2	18:01:43	18:02:27	44	CAT_01
4	Automóvel	2	18:02:34	18:02:43	09	CAT_01
4	Automóvel	2	18:02:47	18:02:59	12	CAT_01
4	Automóvel	2	18:03:04	18:03:09	05	CAT_01
4	Automóvel	2	18:03:17	18:03:30	13	CAT_01
4	Automóvel	2	18:03:33	18:03:40	07	CAT_01

Continuação

Cabine	Tipo de veículo	Nº de eixos	Chegada	Saída	Δt (s)	Categoria
4	Automóvel	2	18:03:42	18:03:47	05	CAT_01
4	Automóvel	2	18:03:52	18:04:44	52	CAT_01
4	Automóvel	2	18:04:49	18:04:56	07	CAT_01
4	Automóvel	2	18:05:01	18:05:10	09	CAT_01
4	Automóvel	2	18:05:17	18:05:29	12	CAT_01
4	Automóvel	2	18:05:34	18:05:42	08	CAT_01
4	Automóvel	2	18:05:46	18:05:54	08	CAT_01
4	Automóvel	2	18:05:57	18:06:16	19	CAT_01
4	Automóvel	2	18:06:28	18:06:50	22	CAT_01
4	Automóvel	2	18:06:54	18:06:59	05	CAT_01
4	Automóvel	3	18:07:04	18:07:22	18	CAT_03
4	Caminhão	2	18:07:27	18:07:32	05	CAT_02
4	Automóvel	2	18:07:37	18:07:47	10	CAT_01
4	Automóvel	2	18:07:53	18:08:03	10	CAT_01
4	Automóvel	2	18:08:08	18:08:13	05	CAT_01
4	Automóvel	2	18:08:18	18:08:35	17	CAT_01
4	Automóvel	2	18:08:39	18:08:45	06	CAT_01
4	Automóvel	2	18:08:50	18:08:58	08	CAT_01
4	Automóvel	2	18:09:00	18:09:09	09	CAT_01
4	Automóvel	2	18:09:13	18:09:16	03	CAT_01
4	Automóvel	2	18:09:21	18:09:30	09	CAT_01
4	Automóvel	2	18:09:36	18:09:44	08	CAT_01
4	Automóvel	2	18:09:48	18:09:57	09	CAT_01
4	Automóvel	2	18:10:01	18:10:09	08	CAT_01
4	Automóvel	2	18:10:15	18:10:43	28	CAT_01
4	Automóvel	2	18:10:46	18:10:49	03	CAT_01
4	Automóvel	2	18:10:57	18:11:05	08	CAT_01
4	Automóvel	2	18:11:10	18:11:14	04	CAT_01
4	Automóvel	2	18:11:17	18:11:21	04	CAT_01
4	Automóvel	2	18:11:27	18:11:42	15	CAT_01
4	Automóvel	2	18:11:47	18:11:57	10	CAT_01
4	Automóvel	2	18:12:01	18:12:13	12	CAT_01
4	Automóvel	2	18:12:17	18:12:21	04	CAT_01
4	Automóvel	2	18:12:26	18:13:02	36	CAT_01
4	Automóvel	2	18:13:06	18:13:10	04	CAT_01
4	Automóvel	2	18:13:14	18:13:42	28	CAT_01
4	Automóvel	2	18:13:47	18:14:02	15	CAT_01
4	Caminhão	2	18:14:10	18:14:44	34	CAT_02
4	Caminhão	2	18:14:48	18:14:55	07	CAT_02
4	Automóvel	2	18:15:00	18:15:05	05	CAT_01
4	Automóvel	2	18:15:09	18:15:21	12	CAT_01
4	Automóvel	2	18:15:25	18:15:36	11	CAT_01
4	Automóvel	2	18:21:56	18:22:18	22	CAT_01

Continuação

Cabine	Tipo de veículo	Nº de eixos	Chegada	Saída	Δt (s)	Categoria
4	Automóvel	2	18:22:24	18:22:42	18	CAT_01
4	Automóvel	2	18:22:47	18:22:53	06	CAT_01
4	Automóvel	2	18:22:58	18:23:05	07	CAT_01
4	Automóvel	2	18:23:30	18:24:06	36	CAT_01
4	Automóvel	2	18:24:10	18:24:20	10	CAT_01
4	Automóvel	2	18:24:27	18:24:50	23	CAT_01
4	Automóvel	2	18:24:56	18:25:05	09	CAT_01
4	Automóvel	2	18:25:12	18:25:24	12	CAT_01
4	Caminhão	2	18:25:27	18:25:33	06	CAT_02
4	Automóvel	2	18:25:39	18:26:00	21	CAT_01
4	Automóvel	2	18:26:07	18:26:24	17	CAT_01
4	Automóvel	2	18:26:28	18:26:37	09	CAT_01
4	Ônibus	2	18:26:42	18:26:51	09	CAT_02
4	Automóvel	2	18:28:46	18:30:03	77	CAT_01
4	Caminhão	3	18:30:12	18:31:30	78	CAT_04
4	Caminhão	3	18:31:39	18:32:27	48	CAT_04
4	Caminhão	5	18:32:56	18:33:13	17	CAT_07
4	Automóvel	2	18:33:46	18:33:50	04	CAT_01
4	Automóvel	2	18:34:29	18:34:54	25	CAT_01
4	Automóvel	2	18:35:01	18:35:03	02	CAT_01
4	Automóvel	2	18:35:09	18:35:14	05	CAT_01
4	Automóvel	2	18:35:19	18:35:27	08	CAT_01
4	Automóvel	2	18:35:31	18:35:47	16	CAT_01
4	Automóvel	2	18:35:53	18:36:04	11	CAT_01
4	Automóvel	2	18:36:11	18:36:20	09	CAT_01
4	Caminhão	2	18:36:37	18:37:38	61	CAT_02
4	Automóvel	2	18:37:49	18:37:55	06	CAT_01
4	Automóvel	2	18:38:13	18:38:21	08	CAT_01
4	Automóvel	2	18:38:24	18:38:30	06	CAT_01
4	Automóvel	2	18:38:37	18:38:46	09	CAT_01
4	Automóvel	2	18:38:51	18:39:47	56	CAT_01
4	Automóvel	2	18:39:51	18:39:57	06	CAT_01
4	Automóvel	2	18:40:01	18:40:05	04	CAT_01
4	Automóvel	2	18:40:09	18:40:12	03	CAT_01
4	Automóvel	2	18:40:22	18:40:36	14	CAT_01
4	Automóvel	2	18:40:43	18:40:55	12	CAT_01
4	Automóvel	2	18:41:00	18:41:35	35	CAT_01
4	Automóvel	2	18:41:41	18:41:48	07	CAT_01
4	Automóvel	2	18:42:05	18:42:16	11	CAT_01
4	Automóvel	2	18:42:50	18:42:54	04	CAT_01
4	Automóvel	2	18:43:01	18:43:05	04	CAT_01
4	Automóvel	2	18:43:14	18:43:31	17	CAT_01
4	Automóvel	2	18:43:36	18:43:45	09	CAT_01

Continuação

Cabine	Tipo de veículo	Nº de eixos	Chegada	Saída	Δt (s)	Categoria
4	Automóvel	2	18:43:50	18:44:04	14	CAT_01
4	Automóvel	2	18:44:08	18:44:15	07	CAT_01
4	Automóvel	2	18:44:45	18:45:05	20	CAT_01
4	Automóvel	2	18:45:10	18:45:20	10	CAT_01
4	Automóvel	2	18:45:26	18:45:30	04	CAT_01
4	Automóvel	2	18:45:39	18:46:09	30	CAT_01
4	Automóvel	2	18:46:13	18:46:21	08	CAT_01
4	Automóvel	2	18:46:25	18:46:33	08	CAT_01
4	Automóvel	2	18:46:42	18:46:52	10	CAT_01
4	Automóvel	2	18:47:00	18:47:11	11	CAT_01
4	Automóvel	2	18:47:20	18:47:34	14	CAT_01
4	Automóvel	2	18:47:43	18:47:53	10	CAT_01
4	Automóvel	2	18:47:59	18:48:10	11	CAT_01
4	Automóvel	2	18:48:15	18:48:20	05	CAT_01
4	Automóvel	2	18:48:23	18:48:27	04	CAT_01
4	Automóvel	2	18:48:32	18:48:53	21	CAT_01
4	Automóvel	2	18:48:57	18:49:06	09	CAT_01
4	Automóvel	2	18:49:11	18:49:17	06	CAT_01
4	Automóvel	2	18:49:24	18:49:31	07	CAT_01
4	Automóvel	2	18:49:37	18:49:44	07	CAT_01
4	Automóvel	2	18:49:49	18:50:00	11	CAT_01
4	Automóvel	2	18:50:45	18:51:07	22	CAT_01
4	Automóvel	2	18:51:51	18:52:18	27	CAT_01
4	Automóvel	2	18:52:25	18:52:41	16	CAT_01
4	Automóvel	2	18:53:03	18:53:17	14	CAT_01
4	Automóvel	2	18:53:29	18:54:03	34	CAT_01
4	Automóvel	2	18:54:09	18:54:22	13	CAT_01
4	Automóvel	2	18:54:27	18:54:33	06	CAT_01
4	Automóvel	2	18:54:38	18:54:47	09	CAT_01
4	Automóvel	2	18:54:53	18:55:06	13	CAT_01
4	Automóvel	2	18:55:12	18:55:25	13	CAT_01
4	Automóvel	2	18:55:32	18:55:40	08	CAT_01
4	Automóvel	2	18:55:45	18:56:10	25	CAT_01
4	Automóvel	2	18:56:16	18:56:24	08	CAT_01
4	Automóvel	2	18:56:30	18:56:52	22	CAT_01
4	Motocicleta	2	18:56:55	18:57:32	37	CAT_09
4	Automóvel	2	18:57:37	18:57:48	11	CAT_01
4	Automóvel	2	18:57:53	18:57:57	04	CAT_01
4	Automóvel	2	18:58:02	18:58:11	09	CAT_01
4	Automóvel	2	18:58:15	18:58:23	08	CAT_01
4	Automóvel	2	18:58:30	18:58:37	07	CAT_01
4	Automóvel	2	18:58:53	18:59:00	07	CAT_01
4	Automóvel	2	18:59:05	18:59:13	08	CAT_01

Continuação

Cabine	Tipo de veículo	Nº de eixos	Chegada	Saída	Δt (s)	Categoria
4	Automóvel	2	18:59:17	18:59:26	09	CAT_01
5	Automóvel	2	18:05:13	18:05:34	21	CAT_01
5	Automóvel	2	18:05:39	18:05:49	10	CAT_01
5	Automóvel	2	18:05:54	18:06:02	08	CAT_01
5	Automóvel	2	18:06:06	18:06:13	07	CAT_01
5	Automóvel	2	18:06:22	18:06:31	09	CAT_01
5	Automóvel	2	18:06:36	18:06:53	17	CAT_01
5	Automóvel	2	18:06:58	18:07:08	10	CAT_01
5	Automóvel	2	18:07:13	18:07:19	06	CAT_01
5	Automóvel	2	18:07:23	18:07:32	09	CAT_01
5	Automóvel	2	18:07:37	18:07:54	17	CAT_01
5	Automóvel	2	18:07:59	18:08:03	04	CAT_01
5	Automóvel	2	18:08:10	18:08:23	13	CAT_01
5	Automóvel	2	18:08:28	18:08:43	15	CAT_01
5	Automóvel	2	18:08:48	18:09:17	29	CAT_01
5	Automóvel	2	18:09:23	18:09:34	11	CAT_01
5	Automóvel	2	18:09:47	18:10:12	25	CAT_01
5	Automóvel	2	18:10:16	18:10:37	21	CAT_01
5	Automóvel	2	18:10:41	18:10:54	13	CAT_01
5	Automóvel	2	18:10:58	18:11:04	06	CAT_01
5	Automóvel	2	18:11:09	18:11:12	03	CAT_01
5	Automóvel	2	18:11:16	18:11:34	18	CAT_01
5	Automóvel	2	18:11:37	18:11:43	06	CAT_01
5	Automóvel	2	18:11:46	18:11:54	08	CAT_01
5	Automóvel	2	18:11:59	18:12:09	10	CAT_01
5	Automóvel	2	18:12:14	18:12:20	06	CAT_01
5	Automóvel	2	18:12:26	18:12:49	23	CAT_01
5	Automóvel	2	18:12:54	18:13:04	10	CAT_01
5	Automóvel	2	18:13:09	18:14:07	58	CAT_01
5	Automóvel	2	18:14:45	18:15:07	22	CAT_01
5	Automóvel	2	18:15:12	18:15:29	17	CAT_01
5	Automóvel	2	18:15:51	18:15:56	05	CAT_01
5	Automóvel	2	18:15:59	18:16:11	12	CAT_01
5	Ônibus	2	18:18:45	18:19:03	18	CAT_02
5	Automóvel	2	18:21:49	18:22:03	14	CAT_01
5	Caminhão	2	18:22:08	18:22:16	08	CAT_02
5	Automóvel	2	18:22:24	18:22:31	07	CAT_01
5	Automóvel	2	18:23:32	18:23:53	21	CAT_01
5	Automóvel	2	18:24:01	18:24:26	25	CAT_01
5	Automóvel	2	18:24:30	18:24:38	08	CAT_01
5	Automóvel	2	18:24:44	18:24:49	05	CAT_01
5	Automóvel	2	18:24:53	18:25:00	07	CAT_01
5	Automóvel	2	18:25:04	18:25:23	19	CAT_01

Continuação

Cabine	Tipo de veículo	Nº de eixos	Chegada	Saída	Δt (s)	Categoria
5	Automóvel	2	18:25:46	18:25:54	08	CAT_01
5	Automóvel	2	18:25:58	18:26:03	05	CAT_01
5	Automóvel	2	18:26:11	18:26:16	05	CAT_01
5	Automóvel	2	18:27:04	18:27:34	30	CAT_01
5	Ônibus	2	18:28:41	18:29:04	23	CAT_02
5	Automóvel	2	18:29:19	18:29:44	25	CAT_01
5	Automóvel	2	18:29:50	18:30:03	13	CAT_01
5	Automóvel	2	18:30:09	18:30:25	16	CAT_01
5	Automóvel	2	18:30:33	18:30:38	05	CAT_01
5	Automóvel	2	18:30:43	18:30:49	06	CAT_01
5	Automóvel	2	18:30:55	18:31:06	11	CAT_01
5	Automóvel	2	18:33:24	18:34:06	42	CAT_01

Apêndice F – Dados de tráfego por categoria e por tipo de arrecadação

Arrecadação	Sentido	Dia	Categoria	Volume
Manual	Leste	1	Cat1	2737
Manual	Leste	1	Cat2	343
Manual	Leste	1	Cat3	8
Manual	Leste	1	Cat4	146
Manual	Leste	1	Cat5	1
Manual	Leste	1	Cat6	60
Manual	Leste	1	Cat7	57
Manual	Leste	1	Cat8	43
Manual	Leste	1	Cat9	128
Manual	Leste	8	Cat1	3469
Manual	Leste	8	Cat2	257
Manual	Leste	8	Cat3	13
Manual	Leste	8	Cat4	125
Manual	Leste	8	Cat5	0
Manual	Leste	8	Cat6	34
Manual	Leste	8	Cat7	76
Manual	Leste	8	Cat8	50
Manual	Leste	8	Cat9	136
Manual	Leste	15	Cat1	2978
Manual	Leste	15	Cat2	333
Manual	Leste	15	Cat3	11
Manual	Leste	15	Cat4	151
Manual	Leste	15	Cat5	2
Manual	Leste	15	Cat6	51
Manual	Leste	15	Cat7	58
Manual	Leste	15	Cat8	48
Manual	Leste	15	Cat9	163
Manual	Leste	22	Cat1	3289
Manual	Leste	22	Cat2	360
Manual	Leste	22	Cat3	10
Manual	Leste	22	Cat4	149
Manual	Leste	22	Cat5	2
Manual	Leste	22	Cat6	36
Manual	Leste	22	Cat7	55
Manual	Leste	22	Cat8	38
Manual	Leste	22	Cat9	170
Manual	Leste	29	Cat1	2893
Manual	Leste	29	Cat2	308
Manual	Leste	29	Cat3	5
Manual	Leste	29	Cat4	123
Manual	Leste	29	Cat5	1
Manual	Leste	29	Cat6	41

Continuação

Arrecadação	Sentido	Dia	Categoria	Volume
Manual	Leste	29	Cat7	81
Manual	Leste	29	Cat8	44
Manual	Leste	29	Cat9	146
AVI	Leste	1	Cat1	538
AVI	Leste	1	Cat2	210
AVI	Leste	1	Cat3	2
AVI	Leste	1	Cat4	145
AVI	Leste	1	Cat5	0
AVI	Leste	1	Cat6	77
AVI	Leste	1	Cat7	148
AVI	Leste	1	Cat8	215
AVI	Leste	1	Cat9	0
AVI	Leste	8	Cat1	532
AVI	Leste	8	Cat2	186
AVI	Leste	8	Cat3	2
AVI	Leste	8	Cat4	99
AVI	Leste	8	Cat5	2
AVI	Leste	8	Cat6	46
AVI	Leste	8	Cat7	126
AVI	Leste	8	Cat8	225
AVI	Leste	8	Cat9	0
AVI	Leste	15	Cat1	535
AVI	Leste	15	Cat2	199
AVI	Leste	15	Cat3	1
AVI	Leste	15	Cat4	124
AVI	Leste	15	Cat5	0
AVI	Leste	15	Cat6	58
AVI	Leste	15	Cat7	163
AVI	Leste	15	Cat8	230
AVI	Leste	15	Cat9	0
AVI	Leste	22	Cat1	574
AVI	Leste	22	Cat2	185
AVI	Leste	22	Cat3	0
AVI	Leste	22	Cat4	98
AVI	Leste	22	Cat5	0
AVI	Leste	22	Cat6	72
AVI	Leste	22	Cat7	123
AVI	Leste	22	Cat8	204
AVI	Leste	22	Cat9	0
AVI	Leste	29	Cat1	481
AVI	Leste	29	Cat2	180
AVI	Leste	29	Cat3	1
AVI	Leste	29	Cat4	88

Continuação

Arrecadação	Sentido	Dia	Categoria	Volume
AVI	Leste	29	Cat5	0
AVI	Leste	29	Cat6	53
AVI	Leste	29	Cat7	219
AVI	Leste	29	Cat8	254
AVI	Leste	29	Cat9	0
Isentos	Leste	1	Cat1	41
Isentos	Leste	1	Cat2	0
Isentos	Leste	1	Cat3	0
Isentos	Leste	1	Cat4	0
Isentos	Leste	1	Cat5	0
Isentos	Leste	1	Cat6	0
Isentos	Leste	1	Cat7	0
Isentos	Leste	1	Cat8	0
Isentos	Leste	1	Cat9	0
Isentos	Leste	8	Cat1	17
Isentos	Leste	8	Cat2	4
Isentos	Leste	8	Cat3	0
Isentos	Leste	8	Cat4	0
Isentos	Leste	8	Cat5	0
Isentos	Leste	8	Cat6	0
Isentos	Leste	8	Cat7	0
Isentos	Leste	8	Cat8	0
Isentos	Leste	8	Cat9	0
Isentos	Leste	15	Cat1	38
Isentos	Leste	15	Cat2	2
Isentos	Leste	15	Cat3	0
Isentos	Leste	15	Cat4	0
Isentos	Leste	15	Cat5	0
Isentos	Leste	15	Cat6	0
Isentos	Leste	15	Cat7	0
Isentos	Leste	15	Cat8	0
Isentos	Leste	15	Cat9	0
Isentos	Leste	22	Cat1	34
Isentos	Leste	22	Cat2	5
Isentos	Leste	22	Cat3	0
Isentos	Leste	22	Cat4	0
Isentos	Leste	22	Cat5	0
Isentos	Leste	22	Cat6	0
Isentos	Leste	22	Cat7	0
Isentos	Leste	22	Cat8	0
Isentos	Leste	22	Cat9	0
Isentos	Leste	29	Cat1	25
Isentos	Leste	29	Cat2	3

Continuação

Arrecadação	Sentido	Dia	Categoria	Volume
Isentos	Leste	29	Cat3	0
Isentos	Leste	29	Cat4	0
Isentos	Leste	29	Cat5	0
Isentos	Leste	29	Cat6	0
Isentos	Leste	29	Cat7	0
Isentos	Leste	29	Cat8	0
Isentos	Leste	29	Cat9	0
Evasão	Leste	1	Cat1	0
Evasão	Leste	1	Cat2	0
Evasão	Leste	1	Cat3	0
Evasão	Leste	1	Cat4	0
Evasão	Leste	1	Cat5	0
Evasão	Leste	1	Cat6	0
Evasão	Leste	1	Cat7	0
Evasão	Leste	1	Cat8	0
Evasão	Leste	1	Cat9	0
Evasão	Leste	8	Cat1	1
Evasão	Leste	8	Cat2	0
Evasão	Leste	8	Cat3	0
Evasão	Leste	8	Cat4	1
Evasão	Leste	8	Cat5	0
Evasão	Leste	8	Cat6	1
Evasão	Leste	8	Cat7	10
Evasão	Leste	8	Cat8	4
Evasão	Leste	8	Cat9	0
Evasão	Leste	15	Cat1	2
Evasão	Leste	15	Cat2	1
Evasão	Leste	15	Cat3	0
Evasão	Leste	15	Cat4	0
Evasão	Leste	15	Cat5	0
Evasão	Leste	15	Cat6	0
Evasão	Leste	15	Cat7	0
Evasão	Leste	15	Cat8	1
Evasão	Leste	15	Cat9	0
Evasão	Leste	22	Cat1	1
Evasão	Leste	22	Cat2	0
Evasão	Leste	22	Cat3	0
Evasão	Leste	22	Cat4	0
Evasão	Leste	22	Cat5	0
Evasão	Leste	22	Cat6	0
Evasão	Leste	22	Cat7	1
Evasão	Leste	22	Cat8	0
Evasão	Leste	22	Cat9	0

Continuação

Arrecadação	Sentido	Dia	Categoria	Volume
Evasão	Leste	29	Cat1	0
Evasão	Leste	29	Cat2	0
Evasão	Leste	29	Cat3	0
Evasão	Leste	29	Cat4	0
Evasão	Leste	29	Cat5	0
Evasão	Leste	29	Cat6	0
Evasão	Leste	29	Cat7	0
Evasão	Leste	29	Cat8	1
Evasão	Leste	29	Cat9	0

Apêndice G – Simulação do cenário atual (Tempo de aquecimento de 0 min.)

12:41:13	Category Overview	janeiro 15, 2017
<i>Values Across All Replications</i>		
Praça de Pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste – Warm-up de 0.0 – Atual		
Replications:	30	Time Units: Seconds
Key Performance Indicators		
System	Average	
Number Out	401	

Praça de Pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste – Warm-up de 0.0 – Atual

Replications: 30 Time Units: Seconds

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT_01	10.6745	0,21	9.6356	12.0485	0.00027830	187.43
CAT_02	41.4705	3,01	27.5408	58.6496	0.00504990	212.51
CAT_03	13.7364	5,12	0.4028	58.1328	0.4028	58.1328
CAT_04	38.8710	3,65	13.1524	59.2907	0.00159352	200.17
CAT_05	7.8188	2,38	0.3462	20.4095	0.05823861	39.3703
CAT_06	25.3956	7,67	0.4033	89.6898	0.02722517	145.56
CAT_07	19.6649	5,22	0.7054	43.1360	0.00176227	198.31
CAT_08	12.4954	3,59	0.7304	34.2171	0.00536330	162.91
CAT_09	12.5753	0,71	8.9561	18.3670	2.3792	94.7278
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
VEIC_ESP	42.3138	16,90	0.06105160	122.26	0.06105160	122.26

NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT_01	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_02	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_03	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_04	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_05	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_06	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_07	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_08	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_09	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
VEIC_ESP	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT_01	3.3472	0,49	1.4573	7.1529	0.00	226.81
CAT_02	2.1818	0,75	0.00	7.3210	0.00	123.00
CAT_03	11.4332	9,28	0.00	80.1076	0.00	121.94
CAT_04	3.3089	1,52	0.00	15.5306	0.00	186.37
CAT_05	5.3551	4,52	0.00	51.8789	0.00	51.8789
CAT_06	3.3573	2,93	0.00	32.1964	0.00	78.8096
CAT_07	0.8830	1,10	0.00	15.4025	0.00	107.82
CAT_08	0.6792	0,52	0.00	6.2630	0.00	75.1561
CAT_09	4.4624	1,35	0.1713	14.3969	0.00	119.21
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
VEIC_ESP	8.5140	10,57	0.00	125.53	0.00	125.53

Praça de Pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste – Warm-up de 0.0 – Atual

Replications: 30 Time Units: Seconds

Entity

Time

Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT_01	47.1908	0,39	43.8327	48.8553	22.0297	208.68
CAT_02	44.1540	1,28	37.2444	50.3501	22.0117	128.62
CAT_03	45.8797	5,34	22.7870	90.3646	22.7870	90.3646
CAT_04	44.6189	1,24	39.9562	52.0727	22.0382	153.30
CAT_05	47.1505	5,86	22.0169	97.7867	22.0169	97.7867
CAT_06	44.4950	3,22	26.9902	65.6547	22.2201	124.91
CAT_07	38.9739	2,27	24.7145	57.3001	22.0108	99.96
CAT_08	40.2318	2,22	33.2423	54.6074	22.0045	141.64
CAT_09	49.0638	1,36	43.9550	59.5016	34.0292	163.40
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
VEIC_ESP	47.2339	6,45	24.7719	96.4148	24.7719	96.4148
Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT_01	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_02	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_03	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_04	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_05	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_06	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_07	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_08	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_09	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
VEIC_ESP	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT_01	61.2125	0,79	56.2372	66.7003	22.1265	270.67
CAT_02	87.8063	3,85	70.1131	106.80	22.0903	287.38
CAT_03	71.0494	14,35	23.1898	183.03	23.1898	190.97
CAT_04	84.7988	4,65	54.1617	117.43	22.1103	309.47
CAT_05	60.3224	8,13	23.5295	103.09	22.8717	103.09
CAT_06	73.2478	10,01	28.4506	165.44	24.8090	324.69
CAT_07	59.5218	6,58	26.0400	109.64	22.4592	241.20
CAT_08	53.4065	4,74	34.3033	77.7306	22.1680	225.08
CAT_09	66.1014	1,63	58.7080	74.9370	37.5363	202.52
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
VEIC_ESP	98.0617	24,55	26.9081	260.50	26.9081	260.50

Other

Values Across All Replications

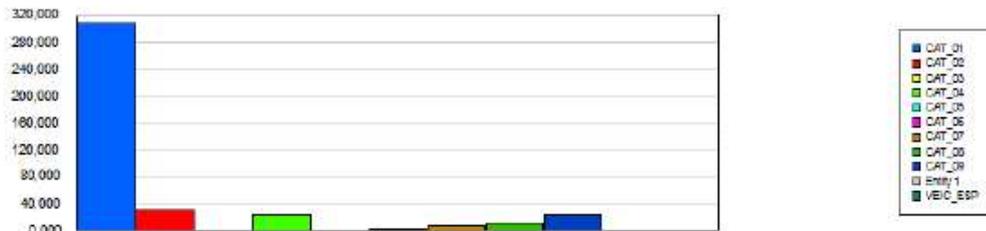
Praça de Pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste – Warm-up de 0.0 – Atual

Replications: 30 Time Units: Seconds

Entity

Other

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
CAT_01	306.73	7.45	275.00	348.00
CAT_02	28.8333	2.24	17.0000	39.0000
CAT_03	1.3000	0.24	1.0000	4.0000
CAT_04	23.1333	1.81	12.0000	33.0000
CAT_05	1.2000	0.18	1.0000	3.0000
CAT_06	2.9667	0.57	1.0000	7.0000
CAT_07	7.1333	0.95	2.0000	12.0000
CAT_08	11.3333	1.23	6.0000	19.0000
CAT_09	23.3000	1.46	15.0000	31.0000
Entity 1	1.0000	0.00	1.0000	1.0000
VEIC_ESP	1.0000	0.00	1.0000	1.0000



Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
CAT_01	301.50	7.23	271.00	342.00
CAT_02	28.1333	2.24	15.0000	37.0000
CAT_03	1.3000	0.24	1.0000	4.0000
CAT_04	22.7333	1.73	12.0000	31.0000
CAT_05	1.2000	0.18	1.0000	3.0000
CAT_06	2.9000	0.58	1.0000	7.0000
CAT_07	7.0000	0.94	2.0000	12.0000
CAT_08	11.2000	1.23	6.0000	19.0000
CAT_09	22.9667	1.44	15.0000	30.0000
Entity 1	1.0000	0.00	1.0000	1.0000
VEIC_ESP	1.0000	0.00	1.0000	1.0000

Praça de Pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste – Warm-up de 0.0 – Atual

Replications: 30 Time Units: Seconds

Entity

Other

WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT_01	5.1767	0.16	4.5514	6.4252	0.00	18.0000
CAT_02	0.6977	0.06	0.3443	0.9396	0.00	5.0000
CAT_03	0.02517858	0.01	0.00644161	0.06701043	0.00	2.0000
CAT_04	0.5322	0.04	0.3515	0.7771	0.00	6.0000
CAT_05	0.01987816	0.00	0.00653597	0.05429332	0.00	2.0000
CAT_06	0.06044705	0.02	0.01582675	0.1844	0.00	2.0000
CAT_07	0.1209	0.02	0.02170001	0.2415	0.00	3.0000
CAT_08	0.1664	0.02	0.07558857	0.2867	0.00	3.0000
CAT_09	0.4238	0.03	0.2772	0.6076	0.00	5.0000
Entity 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0000
VEIC_ESP	0.02723937	0.01	0.00747448	0.07236090	0.00	1.0000

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
p_Cabine_1.Queue	6.3070	0.73	3.3249	10.7110	0.00	195.37
p_Cabine_2.Queue	3.8760	0.81	0.8570	9.7121	0.00	226.81
p_Cabine_3.Queue	2.2424	0.67	0.00	7.1080	0.00	141.37
p_Cabine_4.Queue	2.6187	0.68	0.2600	8.8562	0.00	150.29
p_Cabine_AVI_1.Queue	0.00379844	0.00	0.00	0.05585629	0.00	2.2747
p_Cabine_AVI_2.Queue	0.00772712	0.01	0.00	0.1278	0.00	2.4285

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
p_Cabine_1.Queue	0.1778	0.02	0.0957	0.3184	0.00	3.0000
p_Cabine_2.Queue	0.0981	0.02	0.02213961	0.2466	0.00	3.0000
p_Cabine_3.Queue	0.03545075	0.01	0.00	0.1362	0.00	3.0000
p_Cabine_4.Queue	0.05308044	0.01	0.00519933	0.2066	0.00	3.0000
p_Cabine_AVI_1.Queue	0.00006567	0.00	0.00	0.00096197	0.00	1.0000
p_Cabine_AVI_2.Queue	0.00004244	0.00	0.00	0.00067458	0.00	1.0000

Praça de Pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste – Warm-up de 0.0 – Atual

Replications: 30 Time Units: Seconds

Resource

Usage

Instantaneous Utilization						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
rCabine1	0.5352	0.02	0.4368	0.6408	0.00	1.0000
rCabine2	0.4559	0.02	0.3659	0.5723	0.00	1.0000
rCabine3	0.2811	0.02	0.1853	0.3988	0.00	1.0000
rCabine4	0.3623	0.02	0.2412	0.4552	0.00	1.0000
rCabineLivre1	0.01811197	0.00	0.01198031	0.03111338	0.00	1.0000
rCabineLivre2	0.00597907	0.00	0.00250450	0.00989368	0.00	1.0000
Number Busy						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
rCabine1	0.5352	0.02	0.4368	0.6408	0.00	1.0000
rCabine2	0.4559	0.02	0.3659	0.5723	0.00	1.0000
rCabine3	0.2811	0.02	0.1853	0.3988	0.00	1.0000
rCabine4	0.3623	0.02	0.2412	0.4552	0.00	1.0000
rCabineLivre1	0.01811197	0.00	0.01198031	0.03111338	0.00	1.0000
rCabineLivre2	0.00597907	0.00	0.00250450	0.00989368	0.00	1.0000
Number Scheduled						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
rCabine1	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
rCabine2	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
rCabine3	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
rCabine4	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
rCabineLivre1	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
rCabineLivre2	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

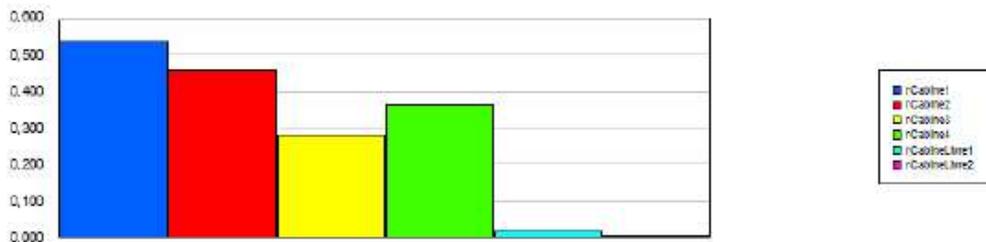
Praça de Pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste – Warm-up de 0.0 – Atual

Replications: 30 Time Units: Seconds

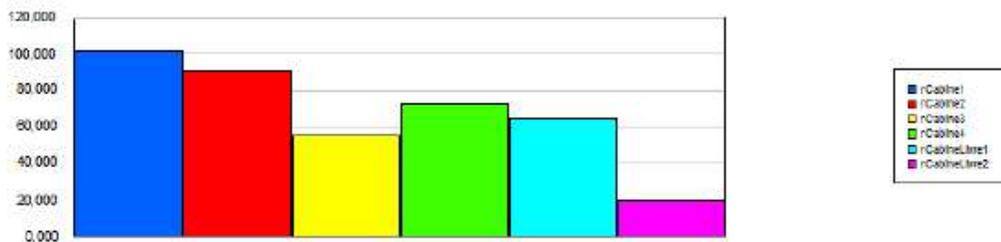
Resource

Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
rCabine1	0.5352	0,02	0.4368	0.6408
rCabine2	0.4659	0,02	0.3659	0.5723
rCabine3	0.2811	0,02	0.1653	0.3988
rCabine4	0.3623	0,02	0.2412	0.4552
rCabineLivre1	0.01811197	0,00	0.01198031	0.03111338
rCabineLivre2	0.00597907	0,00	0.00250450	0.00969368



Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
rCabine1	101.37	2,31	87.0000	116.00
rCabine2	90.3333	2,37	82.0000	104.00
rCabine3	55.3667	2,62	39.0000	69.0000
rCabine4	72.5667	2,66	55.0000	84.0000
rCabineLivre1	64.3667	3,58	45.0000	94.0000
rCabineLivre2	19.5667	1,53	13.0000	27.0000



Apêndice H – Simulação do cenário atual (Tempo de aquecimento de 1 min.)

13:53:11

Category Overview

janeiro 15, 2017

Values Across All Replications

Praça de Pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste – Warm-up de 1.0 – Atual

Replications: 30 Time Units: Seconds

Key Performance Indicators

System

Number Out

Average

395

Praça de Pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste – Warm-up de 1.0 – Atual

Replications: 30 Time Units: Seconds

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT_01	10.6914	0,21	9.6461	12.0613	0.00027630	187.43
CAT_02	41.9627	3,02	27.5408	58.6496	0.00504990	212.51
CAT_03	12.8983	5,31	0.00	58.1328	0.00	58.1328
CAT_04	37.2766	3,64	13.6957	59.2907	0.00159352	200.17
CAT_05	6.5725	2,84	0.00	27.7468	0.00	39.3703
CAT_06	29.9945	9,71	0.00	93.6637	0.00	145.56
CAT_07	21.3713	5,82	0.1907	53.6032	0.00176227	198.31
CAT_08	13.3820	3,87	0.7079	39.0240	0.00536330	162.91
CAT_09	12.5995	0,70	8.9561	18.3670	2.3762	94.7278
VEIC_ESP	41.8974	17,04	0.00	122.26	0.00	122.26
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT_01	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_02	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_03	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_04	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_05	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_06	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_07	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_08	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_09	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
VEIC_ESP	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT_01	3.3570	0,49	1.4573	7.1529	0.00	226.81
CAT_02	2.2024	0,76	0.00	7.3210	0.00	123.00
CAT_03	12.2581	9,60	0.00	80.1076	0.00	121.94
CAT_04	3.3150	1,52	0.00	15.5306	0.00	186.37
CAT_05	5.4212	4,52	0.00	51.8769	0.00	51.8769
CAT_06	3.6614	3,13	0.00	32.1964	0.00	78.8096
CAT_07	0.9443	1,14	0.00	15.4025	0.00	107.82
CAT_08	0.7286	0,56	0.00	6.8324	0.00	75.1561
CAT_09	4.5005	1,36	0.1787	14.3969	0.00	119.21
VEIC_ESP	8.5140	10,57	0.00	125.53	0.00	125.53

Praça de Pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste – Warm-up de 1.0 – Atual

Replications: 30 Time Units: Seconds

Entity

Time

Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT_01	47.2256	0.40	43.8327	48.8938	22.0297	208.88
CAT_02	44.3386	1.31	37.7547	51.3784	22.0117	128.82
CAT_03	37.1027	9.45	0.00	90.3646	0.00	90.3646
CAT_04	44.7386	1.22	40.8088	52.0727	22.0382	153.30
CAT_05	35.3217	10.82	0.00	97.7867	0.00	97.7867
CAT_06	44.9059	4.56	0.00	66.7917	0.00	124.91
CAT_07	39.3361	2.37	25.4554	57.3001	22.0108	99.96
CAT_08	40.8200	2.23	32.5289	55.8186	22.0524	141.64
CAT_09	49.1924	1.38	43.9550	59.5016	34.0292	163.40
VEIC_ESP	33.8888	11.45	0.00	96.4148	0.00	96.4148

Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT_01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
VEIC_ESP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT_01	61.2739	0.80	56.2372	66.7003	22.1265	270.67
CAT_02	88.5017	3.88	70.1131	108.23	22.0903	287.38
CAT_03	62.2591	18.55	0.00	183.03	0.00	190.97
CAT_04	85.3302	4.53	55.4850	117.43	22.1103	309.47
CAT_05	47.3154	14.07	0.00	103.09	0.00	103.09
CAT_06	78.5618	12.94	0.00	165.44	0.00	324.69
CAT_07	61.6517	7.05	25.9895	109.64	22.4592	241.20
CAT_08	54.9306	5.00	34.3783	83.8067	22.4855	225.08
CAT_09	66.2924	1.61	59.3326	74.9370	37.5363	202.52
VEIC_ESP	84.1002	29.95	0.00	260.50	0.00	260.50

Other

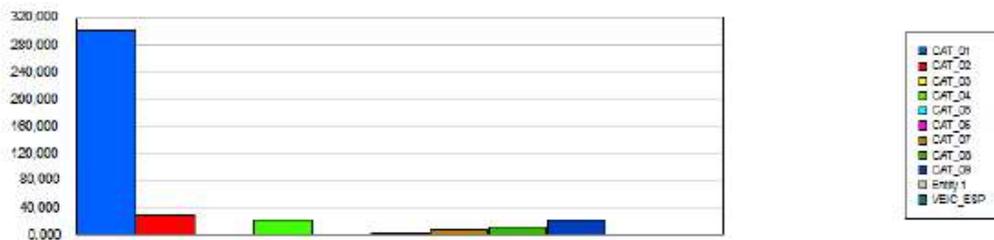
Praça de Pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste – Warm-up de 1.0 – Atual

Replications: 30 Time Units: Seconds

Entity

Other

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
CAT_01	300.30	7,18	270.00	340.00
CAT_02	27.5333	2,20	16.0000	38.0000
CAT_03	0.3000	0,24	0.00	3.0000
CAT_04	21.7333	1,74	11.0000	31.0000
CAT_05	0.1667	0,17	0.00	2.0000
CAT_06	1.9667	0,57	0.00	6.0000
CAT_07	5.9667	0,97	1.0000	11.0000
CAT_08	10.2333	1,20	5.0000	18.0000
CAT_09	21.7000	1,47	14.0000	29.0000
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00
VEIC_ESP	0.00	0,00	0.00	0.00



Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
CAT_01	300.63	7,28	270.00	342.00
CAT_02	27.8000	2,22	15.0000	37.0000
CAT_03	0.9333	0,31	0.00	4.0000
CAT_04	22.4333	1,69	12.0000	31.0000
CAT_05	0.7667	0,23	0.00	2.0000
CAT_06	2.5333	0,61	0.00	7.0000
CAT_07	6.3333	1,00	1.0000	12.0000
CAT_08	10.4333	1,23	6.0000	19.0000
CAT_09	22.7000	1,43	15.0000	30.0000
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00
VEIC_ESP	0.6000	0,19	0.00	1.0000

Values Across All Replications

Praça de Pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste – Warm-up de 1.0 – Atual

Replications: 30 Time Units: Seconds

Entity

Other

WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT_01	5.2124	0,16	4.5637	6.4629	0.00	18.0000
CAT_02	0.6936	0,06	0.3435	0.9409	0.00	5.0000
CAT_03	0.01193994	0,01	0.00	0.05289196	0.00	2.0000
CAT_04	0.5246	0,04	0.3504	0.7644	0.00	6.0000
CAT_05	0.00641888	0,00	0.00	0.04251057	0.00	2.0000
CAT_06	0.04812476	0,02	0.00208028	0.1723	0.00	2.0000
CAT_07	0.1094	0,02	0.01134469	0.2342	0.00	3.0000
CAT_08	0.1580	0,02	0.06161549	0.2750	0.00	3.0000
CAT_09	0.4115	0,03	0.2667	0.6001	0.00	5.0000
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
VEIC_ESP	0.01460458	0,01	0.00	0.05833312	0.00	1.0000

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
p_Cabine_1.Queue	6.3628	0,74	3.3811	10.8120	0.00	195.37
p_Cabine_2.Queue	3.9179	0,82	0.8663	9.8225	0.00	226.81
p_Cabine_3.Queue	2.2717	0,69	0.00	7.3132	0.00	141.37
p_Cabine_4.Queue	2.6483	0,69	0.2636	8.9629	0.00	150.29
p_Cabine_AVI_1.Queue	0.00339182	0,00	0.00	0.05677197	0.00	2.2747
p_Cabine_AVI_2.Queue	0.00476172	0,01	0.00	0.1429	0.00	2.4285

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
p_Cabine_1.Queue	0.1756	0,02	0.0965	0.3234	0.00	3.0000
p_Cabine_2.Queue	0.0964	0,02	0.02251486	0.2444	0.00	3.0000
p_Cabine_3.Queue	0.03442718	0,01	0.00	0.1379	0.00	3.0000
p_Cabine_4.Queue	0.05213940	0,02	0.00528745	0.2071	0.00	3.0000
p_Cabine_AVI_1.Queue	0.00005762	0,00	0.00	0.00097827	0.00	1.0000
p_Cabine_AVI_2.Queue	0.00002287	0,00	0.00	0.00068601	0.00	1.0000

Praça de Pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste – Warm-up de 1.0 – Atual

Replications: 30 Time Units: Seconds

Resource

Usage

Instantaneous Utilization						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
rCabine1	0.5358	0,02	0.4375	0.6455	0.00	1.0000
rCabine2	0.4556	0,02	0.3661	0.5742	0.00	1.0000
rCabine3	0.2799	0,02	0.1614	0.4034	0.00	1.0000
rCabine4	0.3610	0,02	0.2417	0.4518	0.00	1.0000
rCabineLivre1	0.01760888	0,00	0.01216760	0.02954149	0.00	1.0000
rCabineLivre2	0.00550250	0,00	0.00248115	0.00909556	0.00	1.0000
Number Busy						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
rCabine1	0.5358	0,02	0.4375	0.6455	0.00	1.0000
rCabine2	0.4556	0,02	0.3661	0.5742	0.00	1.0000
rCabine3	0.2799	0,02	0.1614	0.4034	0.00	1.0000
rCabine4	0.3610	0,02	0.2417	0.4518	0.00	1.0000
rCabineLivre1	0.01760888	0,00	0.01216760	0.02954149	0.00	1.0000
rCabineLivre2	0.00550250	0,00	0.00248115	0.00909556	0.00	1.0000
Number Scheduled						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
rCabine1	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
rCabine2	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
rCabine3	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
rCabine4	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
rCabineLivre1	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
rCabineLivre2	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

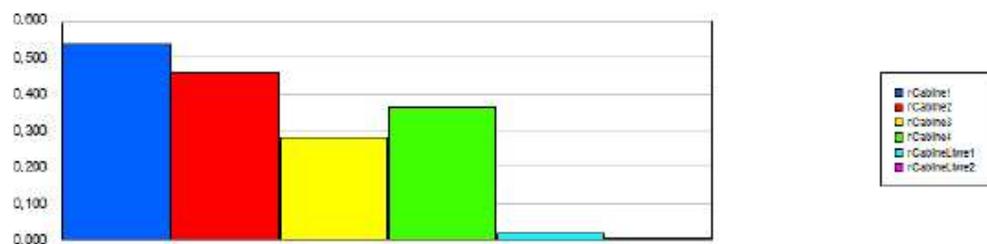
Praça de Pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste – Warm-up de 1.0 – Atual

Replications: 30 Time Units: Seconds

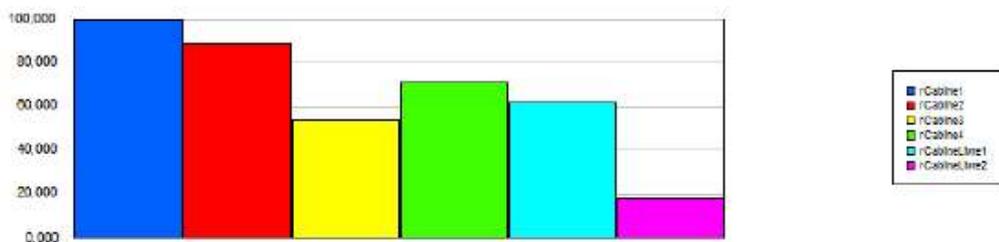
Resource

Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
rCabine1	0.5358	0,02	0.4375	0.6455
rCabine2	0.4556	0,02	0.3661	0.5742
rCabine3	0.2799	0,02	0.1614	0.4034
rCabine4	0.3610	0,02	0.2417	0.4518
rCabineLivre1	0.01760888	0,00	0.01216760	0.02954149
rCabineLivre2	0.00550250	0,00	0.00248115	0.00909556



Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
rCabine1	99.80	2,36	85.0000	115.00
rCabine2	88.5000	2,39	80.0000	102.00
rCabine3	53.9000	2,64	37.0000	68.0000
rCabine4	71.2333	2,66	53.0000	83.0000
rCabineLivre1	61.8000	3,41	44.0000	90.0000
rCabineLivre2	17.7333	1,47	12.0000	25.0000



Apêndice I – Simulação do cenário futuro (Tempo de aquecimento de 1 min.)

11:43:09

Category Overview

janeiro 17, 2017

Values Across All Replications

Praça de Pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste – Warm-up de 1.0 – Futuro

Replications: 30 Time Units: Seconds

Key Performance Indicators

System

Number Out

Average

833

Praça de Pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste – Warm-up de 1.0 – Futuro

Replications: 30 Time Units: Seconds

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT_01	10.7093	0,11	10.0991	11.2896	0.00086319	113.42
CAT_02	41.6121	2,24	26.8372	51.6689	0.00144485	285.87
CAT_03	13.7468	7,00	0.00	88.0703	0.00	88.0703
CAT_04	36.3463	2,29	24.8673	49.4349	0.00586508	196.90
CAT_05	6.3728	2,53	0.00	24.2212	0.00	27.0886
CAT_06	26.9480	6,26	0.4319	57.7788	0.02966166	183.42
CAT_07	20.3552	3,50	7.7078	43.5179	0.00325198	229.24
CAT_08	12.7871	2,27	2.1510	23.1118	0.00291771	178.92
CAT_09	12.8792	0,55	9.7111	15.6868	2.2380	103.41
VEIC_ESP	51.7311	21,59	0.00	212.51	0.00	212.51

NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT_01	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_02	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_03	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_04	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_05	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_06	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_07	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_08	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_09	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
VEIC_ESP	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT_01	26.6896	2,89	13.5477	43.8880	0.00	305.01
CAT_02	18.2166	2,71	5.0063	35.1235	0.00	262.52
CAT_03	16.8870	10,65	0.00	91.9760	0.00	123.53
CAT_04	17.0884	2,83	3.9923	38.6397	0.00	272.62
CAT_05	5.9289	3,91	0.00	34.6026	0.00	71.5494
CAT_06	10.7439	4,31	0.00	35.3268	0.00	142.83
CAT_07	9.2801	2,52	0.2866	27.5719	0.00	230.51
CAT_08	4.2047	1,29	0.00	11.6946	0.00	134.74
CAT_09	30.3655	3,66	13.4545	49.5039	0.00	286.79
VEIC_ESP	5.9065	6,31	0.00	79.2737	0.00	79.2737

Praça de Pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste – Warm-up de 1.0 – Futuro

Replications: 30 Time Units: Seconds

Entity

Time

Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT_01	47.0773	0,21	45.5471	48.0155	22.0058	248.77
CAT_02	44.2678	0,74	40.1369	48.2759	22.0391	165.80
CAT_03	42.8009	9,02	0.00	97.7867	0.00	97.7867
CAT_04	43.5045	0,93	38.4035	48.1978	22.0262	119.06
CAT_05	28.8852	9,90	0.00	96.4148	0.00	96.4148
CAT_06	43.4052	4,00	28.8699	76.0189	22.2245	109.66
CAT_07	40.7176	1,61	32.6035	48.4860	22.0784	117.76
CAT_08	40.2024	1,55	33.3753	52.6776	22.0082	130.87
CAT_09	49.2224	0,84	44.3640	55.0584	34.0067	149.39
VEIC_ESP	32.9899	9,79	0.00	84.8417	0.00	84.8417

Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT_01	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_02	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_03	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_04	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_05	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_06	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_07	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_08	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAT_09	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
VEIC_ESP	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT_01	84.4762	2,85	71.2805	102.13	22.0949	390.27
CAT_02	104.10	4,85	76.7033	132.41	22.1951	431.30
CAT_03	73.4347	17,27	0.00	166.04	0.00	199.34
CAT_04	96.9392	4,35	67.5698	117.65	22.1532	408.79
CAT_05	41.1868	14,19	0.00	131.42	0.00	131.42
CAT_06	81.0971	9,93	34.3678	131.04	22.4536	257.39
CAT_07	70.3530	5,22	50.4272	102.75	22.2424	341.36
CAT_08	57.1943	3,95	42.7316	79.5730	22.1336	303.15
CAT_09	92.4671	3,87	72.1253	110.29	38.1308	381.35
VEIC_ESP	90.6076	30,41	0.00	256.36	0.00	256.36

Other

Values Across All Replications

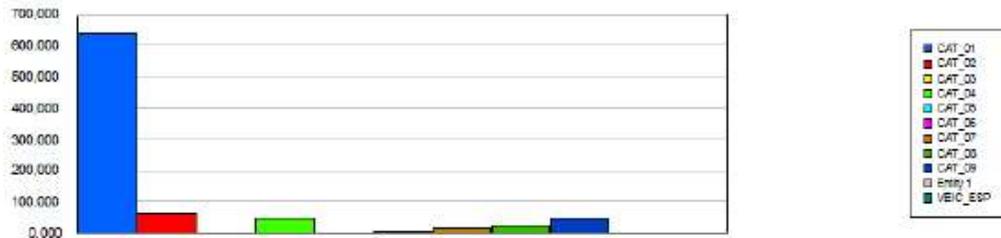
Praça de Pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste – Warm-up de 1.0 – Futuro

Replications: 30 Time Units: Seconds

Entity

Other

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
CAT_01	640.47	10.84	559.00	693.00
CAT_02	59.4333	3.10	46.0000	79.0000
CAT_03	0.7667	0.34	0.00	3.0000
CAT_04	44.9000	2.52	34.0000	57.0000
CAT_05	0.4333	0.27	0.00	3.0000
CAT_06	4.1333	0.85	0.00	12.0000
CAT_07	13.8667	1.59	6.0000	22.0000
CAT_08	21.9333	1.58	13.0000	31.0000
CAT_09	48.5333	2.85	34.0000	65.0000
Entity 1	0.00	0.00	0.00	0.00
VEIC_ESP	0.00	0.00	0.00	0.00



Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
CAT_01	635.93	11.13	553.00	690.00
CAT_02	59.4333	3.04	43.0000	78.0000
CAT_03	1.3667	0.39	0.00	4.0000
CAT_04	44.8000	2.36	34.0000	56.0000
CAT_05	0.9000	0.36	0.00	3.0000
CAT_06	4.4333	0.79	1.0000	12.0000
CAT_07	14.1667	1.54	7.0000	22.0000
CAT_08	22.2333	1.60	12.0000	32.0000
CAT_09	49.4333	2.79	34.0000	67.0000
Entity 1	0.00	0.00	0.00	0.00
VEIC_ESP	0.6667	0.18	0.00	1.0000

Values Across All Replications

Praça de Pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste – Warm-up de 1.0 – Futuro

Replications: 30 Time Units: Seconds

Entity

Other

WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT_01	15.3690	0,67	12.4704	19.9580	1.0000	44.0000
CAT_02	1.7646	0,12	1.2254	2.5665	0.00	8.0000
CAT_03	0.02543857	0,01	0.00	0.0924	0.00	1.0000
CAT_04	1.2464	0,09	0.6677	1.7607	0.00	7.0000
CAT_05	0.01000344	0,01	0.00	0.05550249	0.00	2.0000
CAT_06	0.0964	0,02	0.00319652	0.2861	0.00	2.0000
CAT_07	0.2810	0,04	0.0912	0.5555	0.00	3.0000
CAT_08	0.3534	0,03	0.1983	0.4749	0.00	5.0000
CAT_09	1.2922	0,10	0.8125	2.0702	0.00	7.0000
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
VEIC_ESP	0.01542587	0,01	0.00	0.05716452	0.00	1.0000

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
p_Cabine_1.Queue	36.5471	4,00	18.1074	59.3241	0.00	305.01
p_Cabine_2.Queue	31.9597	3,74	18.1546	54.2416	0.00	265.87
p_Cabine_3.Queue	27.5790	3,79	11.8661	47.5886	0.00	223.06
p_Cabine_4.Queue	29.7645	3,35	14.3990	49.8790	0.00	291.65
p_Cabine_AVI_1.Queue	0.01488234	0,01	0.00	0.07373816	0.00	5.5160
p_Cabine_AVI_2.Queue	0.00279744	0,00	0.00	0.02605661	0.00	1.3810

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
p_Cabine_1.Queue	1.7796	0,19	0.9222	2.8000	0.00	9.0000
p_Cabine_2.Queue	1.5663	0,19	0.8117	2.6853	0.00	10.0000
p_Cabine_3.Queue	1.2410	0,17	0.5028	2.2584	0.00	9.0000
p_Cabine_4.Queue	1.4034	0,17	0.6318	2.5812	0.00	9.0000
p_Cabine_AVI_1.Queue	0.00048459	0,00	0.00	0.00258292	0.00	2.0000
p_Cabine_AVI_2.Queue	0.00004223	0,00	0.00	0.00039012	0.00	1.0000

Values Across All Replications

Praca de Pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste – Warm-up de 1.0 – Futuro
--

Replications: 30 Time Units: Seconds

Resource

Usage

Instantaneous Utilization						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
rCabine1	0.9068	0.01	0.8108	0.9720	0.00	1.0000
rCabine2	0.8735	0.01	0.8022	0.9522	0.00	1.0000
rCabine3	0.8077	0.02	0.6975	0.9572	0.00	1.0000
rCabine4	0.8529	0.02	0.7512	0.9493	0.00	1.0000
rCabineLivre1	0.03204886	0.00	0.02475093	0.03938366	0.00	1.0000
rCabineLivre2	0.01473897	0.00	0.01020370	0.02026788	0.00	1.0000

Number Busy						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
rCabine1	0.9068	0.01	0.8108	0.9720	0.00	1.0000
rCabine2	0.8735	0.01	0.8022	0.9522	0.00	1.0000
rCabine3	0.8077	0.02	0.6975	0.9572	0.00	1.0000
rCabine4	0.8529	0.02	0.7512	0.9493	0.00	1.0000
rCabineLivre1	0.03204886	0.00	0.02475093	0.03938366	0.00	1.0000
rCabineLivre2	0.01473897	0.00	0.01020370	0.02026788	0.00	1.0000

Number Scheduled						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
rCabine1	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
rCabine2	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
rCabine3	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
rCabine4	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
rCabineLivre1	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
rCabineLivre2	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

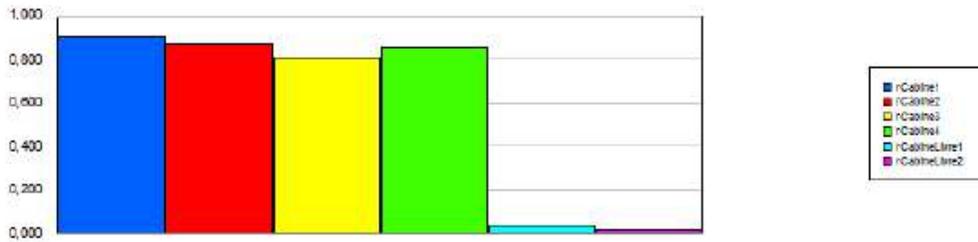
Praça de Pedágio de Itaúna/MG – Sentido Leste – Warm-up de 1.0 – Futuro

Replications: 30 Time Units: Seconds

Resource

Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
rCabine1	0.9068	0,01	0.8108	0.9720
rCabine2	0.8735	0,01	0.8022	0.9522
rCabine3	0.8077	0,02	0.6975	0.9572
rCabine4	0.8529	0,02	0.7512	0.9493
rCabineLivre1	0.03204886	0,00	0.02475093	0.03938366
rCabineLivre2	0.01473897	0,00	0.01020370	0.02026788



Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
rCabine1	172.40	5,10	146.00	205.00
rCabine2	171.87	3,92	157.00	193.00
rCabine3	157.87	4,39	122.00	178.00
rCabine4	164.53	5,59	129.00	206.00
rCabineLivre1	112.87	3,09	96.0000	135.00
rCabineLivre2	54.3687	2,23	43.0000	65.0000

