

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**MODELO DE SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DE PROCESSOS DE AEROPORTO  
DE MÉDIO PORTE**

HUGO ALVES SILVA RIBEIRO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**MODELO DE SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DE PROCESSOS DE AEROPORTO  
DE MÉDIO PORTE**

Hugo Alves Silva Ribeiro

Dissertação de Mestrado apresentada  
ao Programa de Pós-Graduação da  
Universidade Federal de São Carlos,  
como parte dos requisitos para a  
obtenção do título de Mestre em  
Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Flávio César Faria Fernandes

Coorientador: Prof. Dr. Miguel Antônio Bueno da Costa

Agência Financiadora: CAPES

SÃO CARLOS  
Fevereiro de 2015

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

R484ms Ribeiro, Hugo Alves Silva.  
Modelo de simulação para análise de processos de  
aeroporto de médio porte / Hugo Alves Silva Ribeiro. -- São  
Carlos : UFSCar, 2015.  
121 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São  
Carlos, 2015.

1. Planejamento da produção. 2. Teoria das filas. 3.  
Aeroportos. 4. Simulação por computador. I. Título.

CDD: 658.5038 (20<sup>a</sup>)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

---

**Folha de Aprovação**

---

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Hugo Alves Silva Ribeiro, realizada em 20/02/2015:

---

Prof. Dr. Flavio Cesar Faria Fernandes  
UFSCar

---

Prof. Dr. Pedro Luiz de Oliveira Costa Neto  
UNIP

---

Prof. Dr. Paulo Rogério Politano  
UFSCar

## AGRADECIMENTOS

Desde o esboço até a concretização deste trabalho, várias pessoas contribuíram diretamente e indiretamente para o sucesso deste investimento de vida. Com o intuito de registrar meu reconhecimento, eu agradeço:

- A Deus e meus protetores pela saúde e pela fé.
- À Universidade Federal de São Carlos, seu corpo docente, administrativo e a todos os companheiros de mestrado que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.
- Ao meu orientador, Prof. Dr. Flávio Fernandes e ao meu coorientador, Prof. Dr. Miguel Costa, pela paciência e dedicação.
- À Infraero e a todo pessoal do Aeroporto de Uberlândia pela receptividade, amizade e confiança.
- Aos meus pais pelo apoio oferecido tanto neste trabalho quanto na vida.
- Ao meu irmão que, à distância ou não, sempre me acompanhou.
- À minha amada Nathane, que me fortalece nos momentos de fraqueza.
- À Agência Nacional de Transportes Terrestres pela compreensão.
- Aos meus colegas de república tanto de São Carlos quanto de Brasília que constantemente me viram diante do computador nesses últimos vinte meses.
- À CAPES pelo incentivo à pesquisa.
- Aos ausentes, que deixaram memórias e ensinamentos.

*Conhecer por conhecer é um contrassenso.*

**(COMTE, 1988)**

## RESUMO

O presente trabalho tem como proposta diagnosticar os processos de embarque e desembarque de passageiros no aeroporto de Uberlândia por meio do uso do mapeamento de processo e da simulação computacional. O trabalho apresenta uma revisão da literatura acerca do setor aeroportuário, técnicas de mapeamento de processos, coleta de dados, gestão de filas e simulação computacional. O objetivo é analisar cada subsistema utilizado pelo passageiro durante seu embarque e desembarque, desde as áreas de acesso de veículos e de balcões de *check-in* até as áreas de embarque e de recebimento de bagagens. Como conclusão são propostas alternativas capazes de reduzir o tempo total dos passageiros em filas, contribuindo para um possível projeto de melhoria para o aeroporto.

**Palavras-chave:** Filas; Processos Aeroportuários; Simulação de Eventos Discretos; Simulação Computacional.

## **ABSTRACT**

This paper aims to diagnose the passenger boarding and landing processes of the Uberlândia airport using the mapping process and computer simulation. The paper presents a review of literature about the airport sector, techniques of mapping process, data collection, queue management and computer simulation. The objective is to analyze each subsystem used by the passenger during their boarding and landing, from the vehicle access areas and check-in counters until the departure lounge and the receipt of baggage. In conclusion, alternatives are proposals to reduce the total time of the passengers in queues, contributing to a possible improvement project for the airport.

**Key-words:** Queues; Airport Processes; Discrete Event Simulation; Computer Simulation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação gráfica do número de passageiros transportados no Brasil. Fonte: Infraero (2014a).....	1
Figura 2 - Representação gráfica do número de passageiros transportados no aeroporto de Uberlândia. Fonte: Infraero (2014a).....	3
Figura 3 - Representação simplificada da planta do aeroporto de Uberlândia.....	4
Figura 4 - <i>Trade-off</i> da Capacidade de Serviço versus Fila de Espera. Fonte: Chase, Jacobs e Aquilano (2006).....	9
Figura 5 - Número de Canais e de Filas em um processo de atendimento. Fonte: Adaptado de Camelo et al. (2010) .....	11
Figura 6 - Exemplo de Filas com múltiplos estágios. Fonte: Adaptado de Camelo et al. (2010) .....	11
Figura 7 - Representação das variáveis dentro das três características básicas do sistema de filas. Fonte: Adaptado de Prado (2006).....	13
Figura 8 - Representação de Filas em um Gráfico de Fluxo Acumulado. Fonte: adaptado de Pinto (2008) .....	14
Figura 9 - Técnicas de Simulação Computacional. Fonte: Adaptado de Chwif e Medina (2007) .....	18
Figura 10 - Simulação contínua com aproximação discreta. Fonte: Robinson (2004) .....	19
Figura 11 - Abordagem da condução de uma simulação por meio das sete etapas. Fonte: Adaptado de Law (2006) .....	25
Figura 12 - Versão simplificada do processo de modelagem. Fonte: Sargent (2008).....	26
Figura 13 - Características da Metodologia Quantitativa na qual a pesquisa se enquadra. Fonte: Adaptado de Bertrand e Fransoo (2002) .....	33
Figura 14 - Características da Modelagem por Simulação na qual a pesquisa se enquadra. Fonte: Adaptado de Morabito e Pureza (2012) .....	34
Figura 15 - Metodologia na qual a pesquisa foi embasada.....	35
Figura 16 - Subsistemas e componentes do sistema aeroportuário. Fonte: Adaptado de Gualda (1995, apud FEITOSA 2000) .....	36
Figura 17 - Fluxo de passageiros e bagagens. Fonte: Adaptado de Feitosa (2000) .....	37
Figura 18 - Conceituação sistêmica do subsistema “Terminal de Passageiros” do aeroporto. Fonte: Adaptado de Feitosa (2000) .....	38
Figura 19 - Movimento horário de Passageiros no dia típico. Fonte: Infraero (2014a) .....	40

Figura 20 - Exemplo de Fluxograma do Processo. Fonte: Adaptado de Pinho et al. (2007) ...	43
Figura 21 – Localização e dimensionamento da infraestrutura do aeroporto de Uberlândia. Fonte: DCEA (2013) .....	50
Figura 22 – Foto aérea do terminal de passageiros do aeroporto de Uberlândia. Fonte: Infraero (2014b) .....	50
Figura 23 - Planta baixa do aeroporto de Uberlândia. Fonte: Adaptado da Infraero (2011)....	51
Figura 24 - Planta baixa do aeroporto, contendo as áreas para embarque e desembarque de veículos. Fonte: Adaptado da Infraero (2011).....	52
Figura 25 – Fluxograma do processo de Entrada e Saída dos Veículos Rodoviários .....	53
Figura 26 - Posicionamento dos cronometristas durante a coleta de dados do processo de embarque/desembarque de veículos .....	54
Figura 27 - Distribuição de chegada de veículos automotores no subsistema .....	55
Figura 28 - Erro quadrático e histograma da distribuição dos intervalos entre as chegadas ....	57
Figura 29 - Erro quadrático e histograma da distribuição dos tempos de parada dos veículos	58
Figura 30 - Representação do <i>software</i> em funcionamento para o subsistema de embarque e desembarque de veículos .....	59
Figura 31 - Utilização das vagas de veículos automotores ao longo da simulação. Fonte: Relatório fornecido pelo <i>software</i> Arena. ....	60
Figura 32 - Detalhamento dos subsistemas do aeroporto de Uberlândia. ....	64
Figura 33 - Fluxograma do processo de <i>check-in</i> .....	65
Figura 34 - Distribuição de chegada dos passageiros aos <i>check-ins</i> das três companhias aéreas .....	67
Figura 35 - Erro quadrático e histograma das distribuições dos intervalos entre chegadas dos passageiros aos <i>check-ins</i> das empresas aéreas .....	69
Figura 36 – Sumário dos dados gerados pelo simulador (referente ao Histograma – <i>check-in</i> GOL e TAM).....	69
Figura 37 - Erro quadrático e histograma das distribuições dos tempos de atendimento dos <i>check-ins</i> .....	71
Figura 38 - Representação do <i>software</i> em funcionamento simulando o <i>check-in</i> da GOL ....	72
Figura 39 - Fluxograma simplificado do processo da VAS .....	77
Figura 40 - Mapa do Processo de VAS e Vistoria Detalhada .....	78
Figura 41 - Detalhamento da Sala de Embarque e das VASs. ....	79
Figura 42 - Distribuição acumulada das chegadas dos passageiros à fila da VAS .....	80

Figura 43 - Erro quadrático e histograma da distribuição dos intervalos entre as chegadas à VAS (aprox. à Exponencial).....	81
Figura 44 - Sumário dos dados gerados pelo simulador (referente ao histograma - VAS).....	82
Figura 45 - Erro quadrático e histograma do tempo de vistoria (aproximada à Lognormal) ...	83
Figura 46 - Erro quadrático e histograma da distribuição do tempo da vistoria detalhada (aprox. à Lognormal).....	84
Figura 47 - Fluxograma completo do processo da VAS .....	86
Figura 48 - Representação do <i>software</i> em funcionamento para o subsistema de VAS. ....	86
Figura 49 - Fluxograma do Procedimento de Embarque.....	90
Figura 50 - Distribuição acumulada das chegadas à sala de embarque.....	90
Figura 51- Representação do <i>software</i> em funcionamento para a sala de embarque .....	93
Figura 52 - Utilização dos recursos da sala de embarque. Fonte: Relatório do <i>software</i> Arena .....	94
Figura 53 - Detalhamento da ARB. ....	96
Figura 54 - Fluxograma simplificado do processo de restituição de bagagem .....	99
Figura 55 - Erro quadrático e histograma das distribuições dos intervalos entre chegadas dos passageiros à ARB.....	101
Figura 56 - Erro quadrático e histograma das distribuições dos intervalos entre chegadas das bagagens à ARB .....	102
Figura 57 - Representação do <i>software</i> em funcionamento para a ARB.....	103
Figura 58- Representação do número de funcionários exigidos por turno de 6h na situação atual do aeroporto .....	115
Figura 59 - Número de usuário que cruzou o pórtico detector de metais ao longo de um dia	116
Figura 60- Programação simulada, proposta pelo aeroporto .....	117
Figura 61 - Representação do <i>software</i> de simulação em funcionamento .....	117
Figura 62 - Programação simulada, proposta pelo trabalho .....	118

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Variáveis e medidas de desempenho do processo de filas .....	12
Quadro 2 - Relações básicas entre as variáveis do processo de filas .....	13
Quadro 3 - Autores e obras citadas que apresentam técnicas distintas para resolver problemas aeroportuários .....	23
Quadro 4 - Técnicas de Previsão .....	29
Quadro 5 - Sumário dos dados de entrada requeridos pelo modelo .....	41
Quadro 6 - Simbologia do Mapa de Processos segundo a ASME – 1947.....	44
Quadro 7 - Exemplo do Mapa de Processos. Fonte: Pinho et al. (2007).....	44
Quadro 8 - Parâmetros do modelo de Entrada e Saída de Veículos .....	53
Quadro 9- Particularidades que afetam o comportamento do sistema .....	61
Quadro 10 - Atributo das Entidades de Embarque .....	65
Quadro 11 - Parâmetros do modelo para o <i>check-in</i> .....	66
Quadro 12 - Parâmetros do módulo de VAS.....	79
Quadro 13 - Parâmetros para o embarque dos passageiros .....	89
Quadro 14- Parâmetros do modelo de restituição de bagagens.....	97
Quadro 15 - Índices de atributo de passageiros .....	102

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Previsão de Demanda para o Aeroporto de Uberlândia .....	30
Tabela 2 - Matriz de decisão sobre o custo (em US\$1.000) semanal para diferentes estratégias de programação.....	47
Tabela 3 - Frequência de ocorrência de cada padrão de demanda ao longo de 50 semanas observadas .....	47
Tabela 4 - Cálculo para o valor esperado (em US\$1.000 semanal) .....	48
Tabela 5 – Médias dos Intervalos entre as Chegadas (IC) para cada intervalo tempo .....	56
Tabela 6 - Tempo de parada dos veículos nas áreas A1 e A2 .....	57
Tabela 7 - Dados utilizados no simulador .....	58
Tabela 8 - Padrões de demanda utilizados (A) e cenários simulados (B) .....	63
Tabela 9 - Matriz de decisão apresentando o período de utilização das vagas irregulares considerando para cálculo do valor esperado (VE), 1/3 de probabilidade de ocorrer cada padrão de demanda .....	63
Tabela 10 - Dados dos voos analisados .....	67
Tabela 11 - Médias dos intervalos entre as chegadas (em minutos) para cada período de 3 minutos .....	68
Tabela 12 - Tempo de atendimento dos <i>check-ins</i> (em minutos).....	70
Tabela 13 - Número de atendentes nos balcões de <i>check-in</i> .....	71
Tabela 14 - Resultado da simulação do sistema real de <i>check-in</i> .....	73
Tabela 15 - Cenários simulados para os <i>check-ins</i> das companhias aéreas.....	74
Tabela 16 - Matriz de decisão para o <i>check-in</i> da GOL (considerando a demanda atual) .....	74
Tabela 17 - Matriz de decisão para o <i>check-in</i> da Azul (considerando a demanda atual).....	75
Tabela 18 - Matriz de decisão para o <i>check-in</i> da TAM (considerando a demanda atual) .....	75
Tabela 19 - Médias dos Intervalos entre Chegadas (IC) para cada intervalo de tempo (VAS) .....	80
Tabela 20 - Tempo de processamento dos passageiros na VAS (em minuto) .....	83
Tabela 21 - Tempo da vistoria detalhada (em minutos) .....	84
Tabela 22 - Dados utilizados no simulador (módulo VAS) .....	85
Tabela 23 - Padrões de demanda (A) e cenários simulados (B) utilizados na VAS.....	87
Tabela 24 - Apresentação dos resultados da simulação da VAS para os diferentes cenários ..	88
Tabela 25 - Médias dos intervalos entre as chegadas para a sala de embarque .....	91
Tabela 26 - Resumo dos dados inseridos no <i>software</i> .....	92
Tabela 27 - Resultados da simulação para a sala de embarque (padrão de demanda atual) ....	94

Tabela 28 - Cenários simulados para a aguarado dos passageiros na sala de embarque .....	95
Tabela 29 - Dados da chegada para desembarque e da ARB .....	100
Tabela 30 - Intervalo entre as chegadas (min) dos passageiros na ARB.....	100
Tabela 31- Intervalo entre as chegadas (min) das bagagens na ARB .....	101
Tabela 32 - Cenários simulados na ARB.....	104
Tabela 33 - Matriz de decisão considerando a demanda atual (N1) para a ARB.....	104
Tabela 34 – Comparação dos resultados de simulação das programações propostas .....	118

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- A1 – Primeira área de embarque e desembarque de veículos  
A2 – Segunda área de embarque e desembarque de veículos  
ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil  
APAC – Agente de Proteção da Aviação Civil  
ARB – Área de Recebimento de Bagagem  
AVSEC – *Aviation Security*  
CAPM – *Capital Asset Pricing Model*  
CUTE – *Common Use Terminal Equipment*  
DAC – Departamento de Aviação Civil  
DCEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo  
DS – Dinâmica de Sistemas  
IAC – Instituto de Aviação Civil  
IC – Intervalo entre as Chegadas  
IQ – Intervalo Interquartil  
K-S – Teste de Aderência *Kolmogorov-Smirnov*  
MMC – Método de Monte Carlo  
N1 – Padrão de demanda atual  
N2 – Padrão de demanda médio previsto para 2015  
N3 – Padrão de demanda médio previsto para 2020  
NA – número médio de transações ou clientes que estão sendo atendidos  
NF – número médio de clientes na fila  
NS – número médio de transações ou clientes no sistema  
PNLT – Plano Nacional de Logística e Transportes  
S1 – Primeiro cenário simulado  
S2 – Segundo cenário simulado  
S3 – Terceiro cenário simulado  
SED – Simulação de Eventos Discretos  
SSCI – *Self-Service Check-in*  
TA – tempo médio de atendimento ou de serviço  
VAS – Vistoria Antissequestro  
VE – Valor Esperado

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Objeto de Estudo.....	1
1.2	Objetivo.....	5
1.2.1	Objetivo Geral .....	5
1.2.2	Objetivos Específicos .....	5
1.3	Hipótese .....	5
1.4	Justificativa .....	5
1.5	Método de pesquisa.....	6
1.6	Etapas da pesquisa .....	6
1.7	Estrutura do Trabalho .....	7
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
2.1	Problema de congestionamento em aeroportos.....	8
2.2	O estudo de filas.....	8
2.3	Teoria das Filas .....	10
2.3.1	Modo como os clientes chegam ao sistema.....	10
2.3.2	Sistema de serviço .....	10
2.3.3	Modo como os clientes saem do sistema.....	13
2.3.4	Método Gráfico .....	14
2.3.5	Vantagens, desvantagens e aplicações da Teoria das Filas .....	14
2.4	Simulação.....	16
2.4.1	Simulação de Monte Carlo .....	18
2.4.2	Simulação de Sistemas Contínuos.....	19
2.4.3	Simulação de Eventos Discretos (SED) .....	19
2.5	Dinâmica de Sistemas .....	21
2.6	Definição do Método .....	23

2.7	Estudos de Simulação de Eventos Discretos .....	24
2.8	Técnicas de Mapeamento do Processo .....	26
2.9	Técnicas de Coleta de Dados e Amostragem.....	27
2.10	<i>Software</i> de Simulação.....	28
2.11	Previsão da Demanda para o Transporte Aéreo.....	29
2.12	Modelo de Decisão .....	30
2.13	Propostas de Melhoria nos Aeroportos .....	31
3	MÉTODO PROPOSTO.....	33
3.1	Metodologia de Pesquisa .....	33
3.2	Definição do Problema e Escopo da Análise .....	35
3.3	Elementos básicos de simulação.....	37
3.4	Coleta de Dados .....	39
3.4.1	Dados Necessários.....	40
3.4.2	Amostragem .....	41
3.5	Mapeamento do Processo .....	42
3.6	Modelagem Conceitual .....	45
3.7	Modelagem Computacional .....	45
3.8	Condições Impostas pelo Modelo.....	45
3.9	Modelo de Decisão .....	46
3.10	Análise dos Dados.....	48
4	CASO ESTUDADO .....	49
4.1	Entrada e Saída de Veículos .....	52
4.1.1	Formulação do Problema.....	52
4.1.2	Coleta de dados e informações .....	54
4.1.3	Validação do Modelo Conceitual .....	58
4.1.4	Programação do Modelo.....	59
4.1.5	Verificação do Modelo .....	59

4.1.6	Desenvolvimento, condução e análise dos experimentos.....	60
4.1.7	Apresentação dos resultados.....	63
4.2	<i>Check-in</i> .....	64
4.2.1	Formulação do Problema.....	64
4.2.2	Coleta de dados e informações .....	66
4.2.3	Validação do Modelo Conceitual .....	72
4.2.4	Programação do Modelo.....	72
4.2.5	Verificação do Modelo .....	72
4.2.6	Desenvolvimento, condução e análise dos experimentos.....	73
4.2.7	Apresentação dos Resultados .....	74
4.3	Vistoria Antissequestro .....	76
4.3.1	Formulação do Problema.....	76
4.3.2	Coleta de dados e Informações.....	78
4.3.3	Validação do Modelo Conceitual .....	85
4.3.4	Programação do Modelo.....	85
4.3.5	Verificação do Modelo .....	86
4.3.6	Desenvolvimento, condução e análise dos experimentos.....	87
4.3.7	Apresentação dos resultados.....	88
4.4	Sala de Embarque .....	89
4.4.1	Formulação do Problema.....	89
4.4.2	Coleta de dados e informações .....	90
4.4.3	Validação do Modelo Conceitual .....	92
4.4.4	Programação do Modelo.....	92
4.4.5	Verificação do Modelo .....	93
4.4.6	Desenvolvimento, condução e análise dos experimentos.....	93
4.4.7	Apresentação dos resultados.....	95
4.5	Área de Restituição de Bagagens.....	96

4.5.1	Formulação do Problema.....	96
4.5.2	Coleta de dados e informações .....	99
4.5.3	Validação do modelo conceitual .....	102
4.5.4	Programação do modelo .....	103
4.5.5	Verificação do Modelo .....	103
4.5.6	Desenvolvimento, condução e análise dos experimentos.....	103
4.5.7	Apresentação dos resultados.....	104
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	106
6	REFERÊNCIAS .....	109
	APÊNDICE – Programação proposta para o funcionamento da VAS .....	114
	ANEXO – Referências dos <i>Sites</i> Citados .....	119

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Objeto de Estudo

De acordo com dados da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO, 2014a), o número de passageiros transportados por aeronaves no Brasil se elevou em mais de 50% entre 2009 e 2013, porém o ritmo de crescimento está desacelerando nos últimos dois anos. Em 2013, 135.745.599 passageiros foram transportados, ou seja, um incremento de 0,11% em relação a 2012. Entre 2009 e 2011 a variação anual chegou a 19,71% (INFRAERO, 2014a). A Figura 1 apresenta o total de passageiros transportados anualmente nestes períodos.

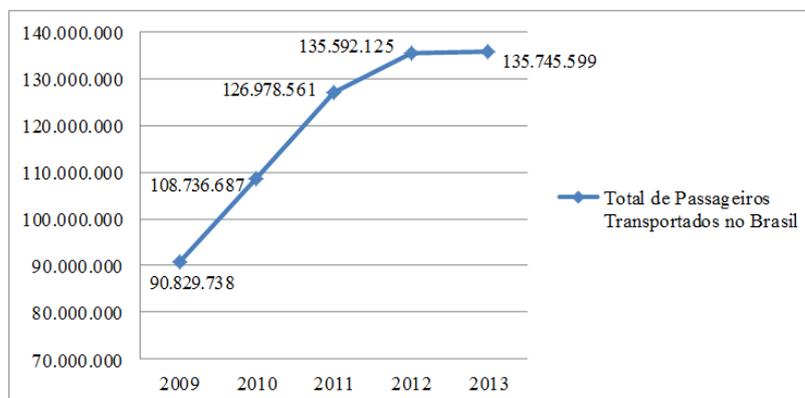


Figura 1 - Representação gráfica do número de passageiros transportados no Brasil. Fonte: Infraero (2014a)

O aumento no número de usuários da aviação civil pode ser justificado pela elevação da renda dos consumidores, pela ascendência do Brasil como local estratégico de negócios, pelas dimensões continentais do país, pelo preço das passagens mais acessível, e pelo aumento da oferta de voos (GROHMANN; BATTISTELLA; LÜTZ, 2014). Por outro lado, um dos motivos para a interrupção deste crescimento pode ter relações com a insuficiência de investimentos no setor, que limita a capacidade operacional dos aeroportos. De acordo com Demant (2011), a infraestrutura aeroportuária influencia a oferta de tráfego aéreo regional, ou seja, a saturação dos aeroportos gera desaceleração no crescimento do número de usuários.

Os dados da Infraero (2014a) mostram que os aeroportos de médio porte, ou regionais, estão sendo fundamentais para o desenvolvimento da aviação civil brasileira. Este fenômeno, de acordo com Demant (2011), pode estar relacionado à desregulamentação do setor, que fez com que as companhias aéreas, em busca da eficiência, concentrassem suas operações em aeroportos com capacidade operacional ociosa e com elevada taxa de ocupação das aeronaves.

O presente trabalho visa analisar as particularidades de aeroportos regionais e, por meio da modelagem e simulação, propor melhorias e testar cenários para evitar a saturação precoce deste sistema. Para isto foi necessário identificar, dentre os aeroportos regionais, aqueles com elevado e crescente fluxo de passageiros. Os aeroportos de Macapá, Santarém, Teresina e Uberlândia foram alguns dos que obtiveram, nos últimos anos, crescimento acima da média nacional no número de passageiros (INFRAERO, 2014a).

Para este estudo, escolheu-se o aeroporto de Uberlândia, no estado de Minas Gerais, que possui as características de aeroporto regional e, segundo a Infraero (2014a), elevado movimento de passageiros na Hora Pico Equivalente<sup>1</sup>. A posição geográfica desta cidade a coloca em uma situação privilegiada no território brasileiro. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE, 2010) ela está localizada no centro de uma região que concentra cerca de 80 milhões de consumidores, os quais representam 59,8% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. Pertencente ao eixo ligação direta entre cinco dos maiores polos econômicos do Brasil (São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Goiânia e Brasília), Uberlândia é fortemente influenciada pelo turismo de negócio, pela indústria e pelo comércio (BARBOSA; PIGHINI, 2011).

Segundo a Infraero (2014b), a cidade possui um aeroporto nacional de passageiros, mas internacional de cargas, denominado Tenente Coronel Aviador César Bombonato considerado o segundo maior aeroporto de Minas Gerais e o 24º do Brasil em número de usuários transportados. Com a capacidade para atender aproximadamente 2,4 milhões de passageiros por ano, ele vem buscando acompanhar o crescimento da aviação e do polo industrial da região. A Figura 2 apresenta, entre os anos 2008 e 2013, o número total de passageiros transportados neste aeroporto.

---

<sup>1</sup> Segundo a Infraero (2014a), Hora Pico Equivalente é um indicador calculado pela da razão do somatório dos movimentos horários do dia típico, pelo maior valor de movimento horário deste dia. O Hora Pico Equivalente do aeroporto de Uberlândia em 2013 foi de 8,35. Isto equivale a uma ocupação total em 8,35 horas-pico num dia, estando totalmente ocioso nas 15,65 horas restantes.

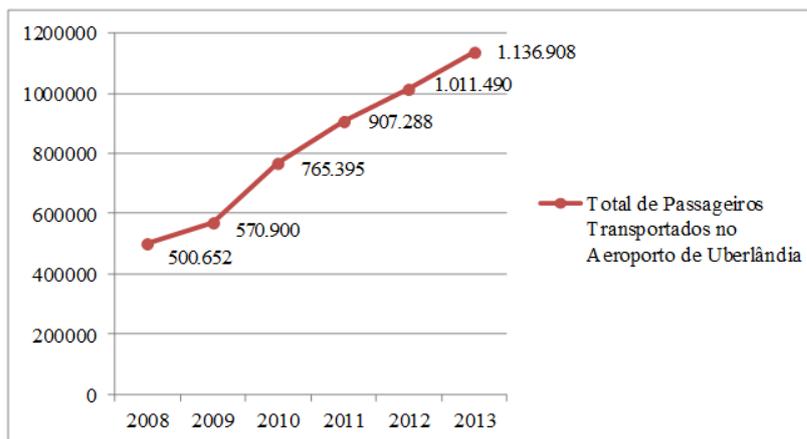


Figura 2 - Representação gráfica do número de passageiros transportados no aeroporto de Uberlândia. Fonte: Infraero (2014a)

Desde 2008 a infraestrutura básica do aeroporto foi levemente alterada, no entanto, observa-se que o número de viajantes elevou de 500.652, daquele ano, para 1.136.908 em 2013, como dito, crescimento acima da média nacional (INFRAERO, 2014a).

Mais dados da Infraero (2014b) apontam que o aeroporto de Uberlândia detém cinco mil metros quadrados de área total, e viabiliza novas áreas para ampliação. Desta forma, com as perspectivas de crescimento da cidade e da região, esta ampliação é uma necessidade. São vários fatores que motivam tal crescimento, desde picos isolados (causados por eventos de médio ou grande porte na cidade), até o próprio crescimento natural da indústria, do negócio, da logística regional e também pelo Porto Seco de Uberlândia (Entrepasto da Zona Franca de Manaus).

Neste aeroporto atualmente operam com a finalidade de atendimento regular a passageiros as empresas Azul/Trip, GOL, Passaredo e TAM. Este constante movimento de aeronaves gera, devido aos gargalos existentes, esperas dos usuários em solo durante os processos de chegada e partida dos aviões. O dinamismo do fluxo de viajantes, cargas e informações exige a ampliação do aeroporto que, segundo o Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT, 2009), está prevista para iniciar após 2015 com término em 2023, exigindo projetos e estudos científicos. A Figura 3 apresenta, de forma simplificada, a planta atual do aeroporto de Uberlândia, onde o círculo e a estrela representam, respectivamente, os balcões de atendimento para embarque e a principal área de vistoria de passageiros.

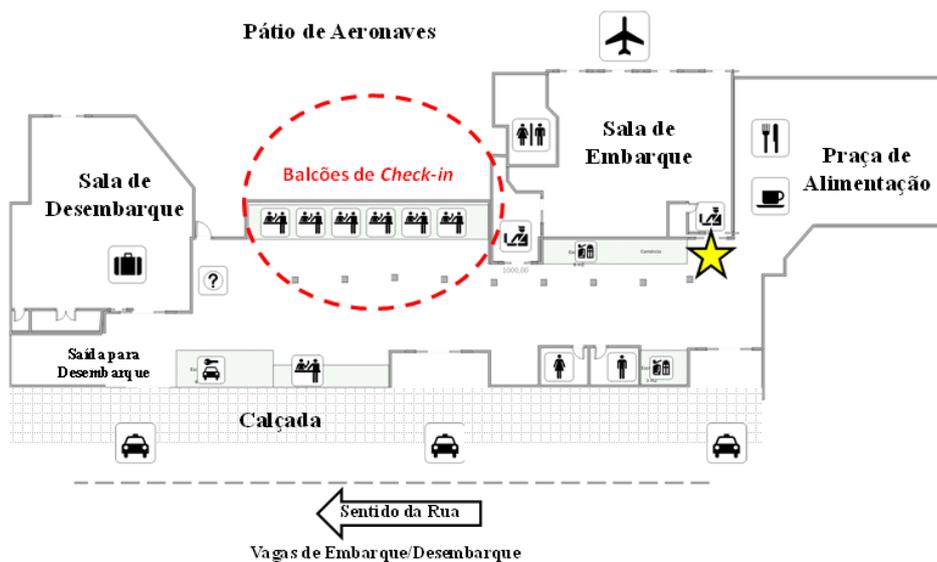


Figura 3 - Representação simplificada da planta do aeroporto de Uberlândia.

As operações de serviços de embarque de pessoas nos aeroportos ocorrem em diferentes setores do sistema. Inicialmente a chegada dos passageiros deve ser antecipada em relação ao instante da decolagem das aeronaves correspondentes aos voos. Isso faz com que veículos rodoviários formem filas em determinado momento, demandando áreas de parada para embarque e desembarque, a fim de deixarem os passageiros no saguão de entrada do aeroporto. Posteriormente, alguns usuários entram na fila para realização do *check-in*<sup>2</sup>, levando determinado tempo de atendimento para apresentarem documentações e expedirem bagagens; no entanto, há casos em que o passageiro já efetuou o *check-in* previamente e não possui bagagens para despacho (neste caso vão diretamente para o saguão). Assim, alguns passageiros aguardam no saguão até a chamada para a sala de embarque. No momento em que a sala de embarque é liberada para determinado voo, uma fila é formada logo antes do posto de controle, dirigindo o fluxo de pessoas para a área restrita de embarque. Na sequência, a aeronave partirá com os usuários a bordo.

Da mesma forma, as operações de serviços de desembarque exigem que alguns passageiros proprietários de bagagem despachada aguardem, após a aterrissagem da aeronave, o recebimento de seus pertences. Em aeroportos internacionais ou de maior porte, ainda poderá haver demanda por outros serviços, como controle de passaportes ou vistorias pela Polícia Federal. Porém, diferentemente desses, o aeroporto estudado não é internacional de passageiros e, por se tratar de um aeroporto regional, não possui tais serviços. Assim, em

<sup>2</sup> Termo em inglês muito utilizado no ambiente aeroportuário e equivale, em português, ao guichê de embarque, ou ao procedimento em que o passageiro se apresenta à companhia aérea.

aeroportos de médio porte, existem basicamente quatro setores de concentração de passageiros: (1º) a área de veículos rodoviários, (2º) a área de *check-in*, (3º) a área de embarque e (4º) a área de recebimento de bagagens.

A questão de pesquisa que orienta a investigação é a seguinte: Quais são as propostas de melhorias acerca dos processos de chegada e saída de veículos rodoviários e dos passageiros nas áreas de *check-in*, embarque e desembarque do aeroporto de Uberlândia, que permitam reduzir o tempo total em que os passageiros aguardam nas filas?

## **1.2 Objetivo**

### *1.2.1 Objetivo Geral*

Analisar os processos de chegada e saída de veículos rodoviários e dos passageiros nas áreas de *check-in*, embarque e desembarque de um aeroporto regional brasileiro de médio porte por meio de um modelo de simulação. Posteriormente, observar os processos de atendimento, estudar suas utilizações em um sistema dinâmico e elaborar propostas de melhorias visando reduzir o tempo total dos passageiros em filas.

### *1.2.2 Objetivos Específicos*

- a) identificar as rotinas de chegada e saída de veículos rodoviários e as de embarque e desembarque de passageiros;
- b) realizar o fluxograma das operações;
- c) analisar o *layout* físico das operações de atendimento ao público;
- d) contribuir para o desenvolvimento do projeto de ampliação do aeroporto estudado.

## **1.3 Hipótese**

A capacidade do aeroporto necessita ser ampliada para suportar a elevação da demanda, exigindo o aumento no número vagas automotivas para embarque e desembarque, de pórtico detectores de metais (e máquinas de *raio-x*), da sala de embarque e da esteira de recebimento de bagagem para os próximos anos.

## **1.4 Justificativa**

A pesquisa se justifica pelo desenvolvimento de um trabalho adaptável aos aeroportos regionais brasileiros, envolvendo desde a entrada e saída de veículos até o

embarque e desembarque de passageiros, a fim de reduzir as filas, aproveitar melhor os recursos existentes e, conseqüentemente, diminuir os custos operacionais dos processos. Particularmente, no aeroporto de Uberlândia, ainda há recursos disponíveis para ampliação.

O Plano Nacional de Logística e Transporte (PNLT, 2009) prevê, para o período pós 2015, investimento de R\$96,82 milhões para um novo terminal de passageiros e pátio de aeronaves neste aeroporto, considerando um horizonte de planejamento até 2023. A Prefeitura da cidade já disponibilizou área municipal para a futura expansão do complexo aeroportuário, e a Infraero está trabalhando no projeto de ampliação, não apenas nos processos de passageiros, mas também no processamento de cargas. Além do aporte citado, o Plano prevê R\$37,45 milhões para ampliação da pista de decolagem e construção de nova pista para taxiar aviões (PNLT, 2009). A relevância desta pesquisa também está em auxiliar os estudos para o planejamento ou desenvolvimento do projeto de ampliação do aeroporto.

### **1.5 Método de pesquisa**

O problema de pesquisa aqui apresentado utilizou modelagem e simulação. Este é considerado um método quantitativo, preditivo, dedutivo e aplicado. É quantitativo por possibilitar a coleta e a análise dos dados numéricos mensurando os fenômenos e aplicando testes estatísticos. É preditivo por possuir questões de pesquisa do tipo “como?”, “quais?”, “por que?” e “onde?”, sugerindo uma potencial solução. É caracterizado como dedutivo por iniciar em conceitos generalistas e posteriormente ser singularizado. Por último, é aplicado por se tratar do estudo de um caso particular e único. As justificativas para a utilização desta metodologia são mostradas no capítulo da Revisão Bibliográfica, e a sua discriminação é apresentada no Método Proposto.

### **1.6 Etapas da pesquisa**

Para alcançar os objetivos desta investigação, inicialmente, foi realizado um diagnóstico atual das demandas dos passageiros baseado na quantidade de decolagens e aterrissagens de cada dia da semana, analisando a sazonalidade entre os meses do ano. Com isto identificou-se uma demanda significativa no final da tarde de cada dia útil da semana, principalmente às sextas-feiras, e distribuída uniformemente ao longo dos dias úteis do ano.

Posteriormente, a coleta dos dados foi realizada em campo usufruindo das técnicas de amostragem estatística. A medição seguiu os padrões tradicionais da métrica, utilizando cronômetro, planilhas físicas e eletrônicas para anotações. Os dados foram

compilados, tabulados e analisados para desenvolver um modelo de simulação capaz de representar o ambiente estudado. Na sequência, conforme Sargent (2008) trata em seu trabalho, foi realizado o procedimento de verificação e validação do modelo computacional para garantir sua representatividade.

Com o modelo validado, foi possível prever o comportamento das filas nos horários estudados e em diversas condições de capacidade do aeroporto (maior ou menor número de guichês de *check-in*, de pórticos detectores de metal e equipamentos de *raios-x*, ou de vagas de estacionamento para embarque e desembarque) para os próximos anos. Com as informações obtidas, foi possível desenvolver uma proposta inicial de melhoria da atual estrutura do aeroporto baseada em conhecimentos científicos e testes computacionais.

## **1.7 Estrutura do Trabalho**

Este trabalho é estruturado em cinco capítulos. O primeiro introduziu o tema, a problemática da pesquisa bem como os objetivos a serem alcançados. No segundo capítulo, a Revisão Bibliográfica, é apresentada a base teórica geral utilizada por diversos pesquisadores da área. O terceiro capítulo exhibe o Método Proposto selecionando, da base teórica exposta no Capítulo 2, a teoria que sustenta a pesquisa. O quarto capítulo desenvolve o trabalho com o foco no objeto estudado. O último capítulo apresenta uma visão geral e as considerações finais do trabalho.

Nas últimas páginas, além das referências utilizadas na pesquisa, ainda constam o apêndice, elaborado pelo autor, e o anexo contendo a referência dos *sites* citados.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Problema de congestionamento em aeroportos**

Segundo Müller e Gosling (1991), a capacidade influencia diretamente no nível de serviço de um aeroporto. Neste sentido, Santos et al. (2001) fazem uma aproximação entre os ambientes aeroportuários e fabris quanto às suas capacidades de processamento, em que os passageiros que entram no sistema são tratados como a entrada de matérias primas, e aqueles que saem são análogos à expedição. Esses trabalhos enfatizam a importância de examinar a capacidade do sistema estudado e de identificar as etapas consideradas gargalos.

Onde houver gargalos, haverá congestionamento de passageiros, e considerando que haja problema deste tipo nos aeroportos, Ribeiro (2003) afirma que a alternativa mais segura e efetiva para solucioná-lo seria aumentar a capacidade do sistema, adequando-o à demanda. Porém, Ueda (2012) destaca que esta medida depende de elevados recursos financeiros e pode levar a embates de natureza política e ambiental, sendo que, em muitos casos, a ampliação física é insuficiente para cobrir as estimativas de crescimento da demanda. Neste cenário, ambos os autores mostram que alternativas para redução de filas nos aeroportos são necessárias e que as soluções operacionais podem minimizar os problemas de congestionamento. Para identificar as possíveis soluções e os procedimentos mais adequados para os problemas de congestionamento em terminal aeroportuário de passageiros, a revisão da literatura acerca do estudo de filas torna-se essencial.

### **2.2 O estudo de filas**

Santos et al. (2001) afirmam que o processo de despacho de bagagens e a verificação dos documentos poderão ser estudados por meio da teoria das filas, bem como o planejamento e controle da capacidade do aeroporto. Este modelo é utilizado para estimar o tempo de atendimento e o tamanho da fila no terminal de passageiros sob determinado nível de demanda (FEITOSA, 2000). Slack, Chambers e Johnston (2009) afirmam que os clientes chegam ao local de acordo com uma distribuição de probabilidade e esperam para ser atendidos. De um lado, quanto menor o número de atendentes maior é o tempo de espera e consequentemente a insatisfação do cliente. Por outro, quanto maior o número de atendentes menor tende a ser o tempo de espera, mas a utilização dos funcionários será reduzida. Com isto, Chase, Jacobs e Aquilano (2006) garantem que a decisão acerca do tamanho ideal da fila pode ser caracterizada por duas variáveis: o custo e a capacidade da instalação do serviço. A

Figura 4 representa a importância econômica do planejamento do sistema, ela relaciona o tempo médio de espera com a utilização dos recursos.

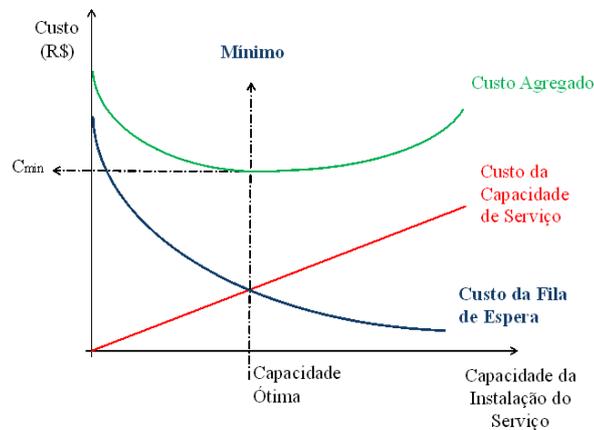


Figura 4 - Trade-off da Capacidade de Serviço versus Fila de Espera. Fonte: Chase, Jacobs e Aquilano (2006)

Autores como Joustra e Van Dijk (2001) ainda afirmam que a teoria das filas funcionaria muito bem para *check-ins* comunitários, ou seja, vários voos com o mesmo guichê de embarque simultaneamente (onde a chegada coletiva geraria menor flutuação) ou qualquer situação que se aproximasse disto. Entretanto, em um aeroporto de médio porte este caso não é frequente, pois os guichês são separados por companhias aéreas e normalmente não há dois voos da mesma empresa ao mesmo tempo.

Além da teoria das filas, Medeiros (2004) afirma que a simulação seria outro método comumente utilizado no dimensionamento dos terminais de passageiros. Na verdade, para Ribeiro (2003) ela seria mais apropriada, pois é uma ferramenta capaz de analisar minuciosamente o desempenho e a eficiência das variáveis, auxiliando na tomada de decisão. Mumayiz e Ashford (1986 apud FEITOSA, 2000), afirmam que este método pode ser utilizado para relacionar a demanda do terminal de passageiros com a qualidade dos serviços prestados e apontar soluções para o sistema em cada um dos diferentes cenários projetados, visando balancear a capacidade do terminal. De forma simples, Camelo et al. (2010) citam que a teoria das filas analisa características de atendimento, enquanto a simulação “imita” o funcionamento de um sistema real de forma bem mais complexa.

Por outro lado, Suryani, Chou e Chen (2010) estudaram a demanda de passageiros do Aeroporto Internacional de Taiwan por meio da Dinâmica de Sistemas (System Dynamics), em que o resultado pode ser considerado uma pesquisa piloto para expansão do mesmo. Tal técnica também foi utilizada por Manataki e Zografos (2009) e Manataki e Zografos (2010), sendo que, em seus trabalhos, fatores como tempo de

caminhada, taxa de processamento e número de atendentes influenciam no fluxo dos passageiros que, no modelo, é amplamente estudado considerando inclusive o deslocamento entre as áreas do aeroporto.

Desta forma, este capítulo apresenta em seções as citações de diferentes autores acerca da teoria das filas, simulação e Dinâmica de Sistemas. Além disto, é definido qual método é o mais adequado para o contexto deste trabalho apresentando técnicas de mapeamento de processo, previsão de demanda, auxílio na tomada de decisão e as propostas de melhoria recomendadas pela literatura.

## 2.3 Teoria das Filas

Segundo Chase, Jacobs e Aquilano (2006) uma fila é composta por, basicamente, três características: chegada dos clientes, sistema de serviço e saída dos clientes.

### 2.3.1 *Modo como os clientes chegam ao sistema*

No sistema de filas, o processo de chegada é medido pelo número médio de chegadas por uma dada unidade de tempo ( $\lambda$ ) ou pelo tempo médio entre chegadas sucessivas (IC – intervalo médio entre chegadas).

### 2.3.2 *Sistema de serviço*

O processo de atendimento pode ser medido pela taxa de serviço ( $\mu$  - número de clientes atendidos em uma dada unidade de tempo) ou do tempo de serviço (TA - tempo necessário para atender ao cliente). Este processo normalmente segue o regime em que o primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido (FIFO - *First In, First Out*), mas também pode considerar outros fatores, tais como: atendimento aos participantes dos planos de relacionamento da companhia aérea (que têm preferência), àqueles retardatários que chegam ao aeroporto no momento do embarque, e aos portadores de necessidades especiais, gestantes, ou idosos.

O número de canais de serviço também influencia no atendimento, podendo ser de um único ou de múltiplos canais (atendentes). Além disto, as filas geradas também podem ser únicas ou múltiplas. Uma das desvantagens de filas múltiplas, segundo Chase, Jacobs e Aquilano (2006), está na possibilidade dos clientes mudarem de fila. Camelo et al. (2010), apresentam em sua obra uma revisão literária sobre o tema, juntamente com uma representação destas situações aqui citadas (Figura 5).

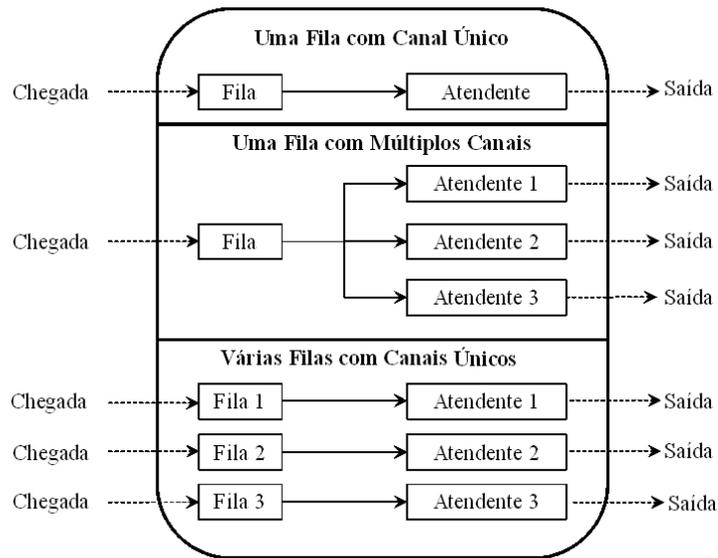


Figura 5 - Número de Canais e de Filas em um processo de atendimento. Fonte: Adaptado de Camelo et al. (2010)

Um sistema de serviços de atendimento ainda pode ser classificado como única fase (ou estágio) ou múltiplas fases (ou estágios), dependendo da necessidade do cliente precisar, ou não, de transpor novas filas após determinado atendimento (Figura 6).

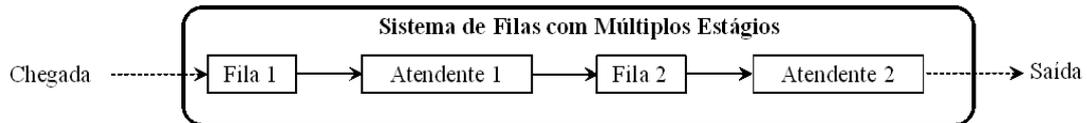


Figura 6 - Exemplo de Filas com múltiplos estágios. Fonte: Adaptado de Camelo et al. (2010)

Além destas características de atendimento, a fila se distingue pela sua extensão, podendo ser considerada infinita ou finita. Chase, Jacobs e Aquilano (2006) apresentam exemplos que seriam considerados filas infinitas como uma fila ao redor de um quarteirão para comprar ingressos de uma peça de teatro, ou uma fila de veículos movendo-se lentamente por vários quilômetros. Tanto Prado (2006) quanto Chase, Jacobs e Aquilano (2006), apresentam em seus trabalhos variáveis referentes aos processos de chegada, processo da fila, processo de atendimento e ao sistema de um modo geral, as quais estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Variáveis e medidas de desempenho do processo de filas

<b>Variáveis referentes ao processo de chegada</b>
$\lambda$ = taxa média de chegada ou ritmo médio de chegada IC = intervalo médio entre chegadas
<b>Variáveis referentes à fila</b>
TF = tempo médio de permanência na fila NF = número médio de clientes na fila
<b>Variáveis referentes ao processo de atendimento ou de serviço</b>
TA = tempo médio de atendimento ou de serviço c = capacidade de atendimento ou quantidade de atendentes NA = número médio de transações ou clientes que estão sendo atendidos $\mu$ = taxa média de atendimento ou ritmo médio de atendimento de cada atendente
<b>Variáveis referentes ao sistema</b>
TS = tempo médio de permanência no sistema NS = número médio de transações ou clientes no sistema
<b>Medida referente à utilização e ao tempo ocioso dos servidores</b>
P0 = Índice de ociosidade das instalações $\rho$ = Taxa de utilização dos atendentes

Fonte: Adaptado de Prado (2006)

Este aglomerado de variáveis é fundamental para o estudo teórico e analítico sobre filas, e algumas delas estão diretamente relacionadas a uma “lei” conhecida como “Lei de Little”. Para melhor compreensão deste termo Hoop e Spearman (2001) afirmaram em seu livro que, na engenharia de produção, pode-se analogamente tratar a “Lei de Little” com o modelo matemático e físico “ $F=m.a$ ” (capaz de garantir que a força é diretamente proporcional à massa e à aceleração) afirmando que o “tempo de ciclo é o inverso da taxa de produção”, ou que “tempo de atravessamento do estoque equivale ao tamanho do estoque em processamento dividido pela taxa de saída”. Neste contexto, considerando que o tempo de atendimento da fila é exponencialmente distribuído, Prado (2006) apresenta uma tabela com as fórmulas para obtenção de cada variável citada, inclusive para a “Lei de Little” e para o cálculo do ciclo (Quadro 2).

Quadro 2 - Relações básicas entre as variáveis do processo de filas

Variáveis	Fórmulas
Intervalo entre as Chegadas	$IC = 1/\lambda$
Tempo do Atendimento	$TA = 1/\mu$
Taxa de Utilização	$\rho = \lambda/c\mu$
Intensidade de Tráfego	$i =  \lambda/\mu  =  TA/IC $
Relações entre Fila, Sistema e Atendimento	$NS = NF + NA$ $NA = \lambda/\mu$ $NS = NF + \lambda/\mu = NF + TA/IC$ $TS = TF + TA$ $NA = \rho = \lambda/c\mu$
Fórmulas de Little	$NF = \lambda \times TF$ $NS = \lambda \times TS$
Ciclo	$Ciclo = \frac{\text{Tamanho da População}}{\lambda}$

Fonte: Adaptado de Prado (2006)

Para representar estas variáveis fundamentais, Prado (2006) ainda mostra em sua obra uma figura (Figura 7) de cada uma destas três características básicas do sistema de filas. Esta ideia também consta em Camelo et al. (2010) e Chase, Jacobs e Aquilano (2006).

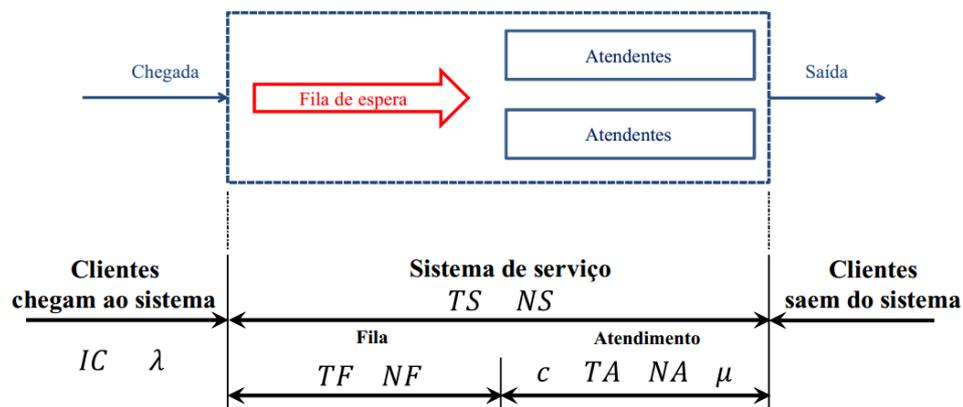


Figura 7 - Representação das variáveis dentro das três características básicas do sistema de filas. Fonte: Adaptado de Prado (2006)

### 2.3.3 Modo como os clientes saem do sistema

Após o cliente ser atendido é possível que ele vá embora e não haja probabilidade dele voltar para algum atendimento. Mas também há casos em que é possível ele retornar para a fonte populacional, e nesta situação tal probabilidade deve ser considerada, fazendo com que o cliente imediatamente se torne um candidato para novo atendimento (CHASE; JACOBS; AQUILANO, 2006).

### 2.3.4 Método Gráfico

O método gráfico é uma das formas de representar, simultaneamente, a distribuição de chegada, de atendimento e de saída de usuários do sistema de filas. Segundo Newell (1979), esta é uma técnica determinística para análise do problema de filas. Widmer (1989) a utiliza dentro do contexto aeroportuário justificando que a demanda dos passageiros está relacionada aos horários dos voos e a capacidade da aeronave sendo, portanto, conhecida.

Para isto, Widmer (1989), apresenta o método gráfico de fluxo acumulado para medir desempenho médio de sistemas durante determinado intervalo de tempo, ou seja, fila média, tempo médio de espera na fila, número médio de elementos no sistema, ou tempo médio de espera no sistema. Com essas informações é possível programar o fluxo de chegadas e de atendimentos para os sucessivos usuários, ajustando, em um período fixo, a capacidade do sistema de atendimento às necessidades dos passageiros (PINTO, 2008). A representação de filas no gráfico de fluxo acumulado está na Figura 8.

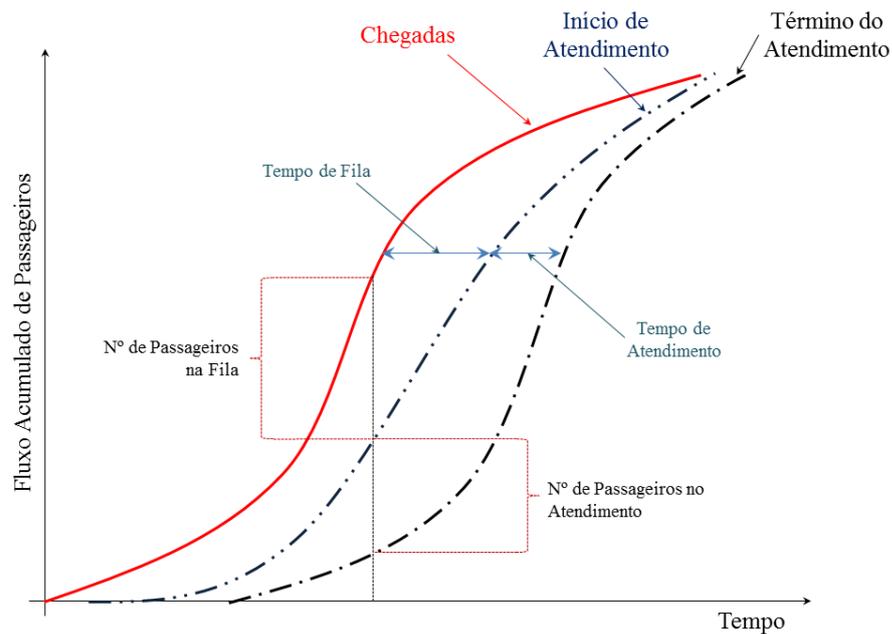


Figura 8 - Representação de Filas em um Gráfico de Fluxo Acumulado. Fonte: adaptado de Pinto (2008)

### 2.3.5 Vantagens, desvantagens e aplicações da Teoria das Filas

A modelagem por meio da técnica da teoria das filas, segundo Baines et al. (1998), é uma determinação matemática de desempenho que, mediante suas ferramentas bem elaboradas, permite uma boa interface com a engenharia. De acordo com os mesmos autores,

a maior vantagem de utilizar este método de solução está no tempo que o modelo leva para ser construído (que chega a ser um terço do que uma Simulação de Eventos Discretos – SED – tomaria) e no tempo de processamento das informações (1% do tempo que uma SED levaria). Eles ainda afirmam que o desempenho medido é bastante preciso, mas as informações são fornecidas considerando um comportamento estático do sistema (os estados não se alteram com o tempo). A apresentação do resultado, dependendo daquele que o analisa, falha em credibilidade, uma vez que não disponibiliza descrições graficamente dinâmicas (BAINES et al., 1998). Em outras palavras, o ponto forte da teoria das filas está na rápida construção do modelo e na precisão que a solução é oferecida, uma vez que, ao trabalhar com números regidos por distribuições que se aproximam daquelas conhecidas (por exemplo: Poisson, Exponencial ou Normal), o grau de precisão é naturalmente maior do que outros métodos determinísticos (BAINES et al., 1998).

Segundo Wu (2005), a vantagem de um modelo de filas é que ele disponibiliza uma solução de forma “fechada”, que consegue relacionar a política de controle com a configuração do sistema. Entretanto, o mesmo autor afirma que, sabendo do uso de suposições e aproximações nesta abordagem, o resultado obtido por meio dela deva ser considerado em conjunto com um estudo de simulação para, antes de ser posto em prática, ser verificado. Para melhor compreensão do que seja um sistema “fechado”, Forrester (1968) explica que um sistema “aberto” possui entradas que influenciam nas saídas, no entanto, as saídas são isoladas e jamais influenciam nas entradas. Por outro lado, um sistema “fechado” (conhecido também por “*feedback system*”), é cíclico e influenciado pelo seu próprio comportamento passado (FORRESTER, 1968). A classificação de um sistema, logicamente, depende do ponto de vista do observador.

Desta forma, a teoria das filas apresenta-se como alternativa para uma modelagem de “otimização” rápida e com baixo custo. No entanto, a interface gráfica, para fins deste trabalho, é um diferencial importante restringindo a sua utilização. Isto é fato, pois os resultados obtidos também foram apresentados aos responsáveis pelo aeroporto que, muitas vezes, não têm conhecimento prático com modelos não “amigáveis” e, conseqüentemente, poderiam não interpretá-lo da forma devida. Ressalta-se que, como dito, há situações em que é recomendável que a teoria das filas seja utilizada em conjunto com a simulação, o que permite o uso desta técnica no presente trabalho.

Podem ser citadas duas obras que utilizam teoria das filas a problemas em aeroportos. Ahyudanari e Vandebona (2005) aplicam em seu trabalho as técnicas de teoria das

filas analisando o tempo de atendimento dos servidores do *check-in* em função do tipo de fila adotado. Tal técnica também está presente na obra de Rendeiro Martín-Cejas (2006) que avalia o nível de serviço do aeroporto de *Gran Canaria*, nas Ilhas Canárias.

## 2.4 Simulação

Várias características da simulação, principalmente sua interface gráfica, vêm se desenvolvendo desde 1980 (BANKS et al., 2005). Ela foi oriunda da evolução e do progresso da computação (ROBINSON, 2005), pois até 1950 a aplicação da simulação era restrita ao método manual de Monte Carlo (GOLDSMAN; NANCE; WILSON, 2010). Para ela tomar a forma de hoje, Kelton, Sadowski e Sturrock (2007) afirmam que, na década de 90, várias empresas abraçaram esta ferramenta em seus estágios iniciais de projetos. Entretanto, para o futuro, estes autores insinuam dificuldade de previsões. Isto é fato devido ao rápido avanço computacional em que hoje já é possível realizar simulações totalmente integradas com sistemas operacionais, análise estatística automática e realidade virtual.

Atualmente os modelos de simulação apresentam várias vantagens: conforme Freitas Filho (2008), a simulação permite ao analista realizar estudos sobre os sistemas modelados para responder questões do tipo “O que aconteceria se?”. Chwif e Medina (2007) afirmam que um modelo de simulação é capaz de obter características de um sistema com grande precisão, reproduzindo no computador o mesmo comportamento que ele apresentaria se estivesse submetido a condições semelhantes. Esta abordagem também é confirmada na obra de Costa (2010), que pesquisa sobre a avaliação econômica de cenários em manufatura por meio da simulação. Shannon (1998) apresenta ainda que a simulação permite:

- a) testar novos *layouts* e projetos sem comprometer recursos para implantação;
- b) explorar novas políticas de estocagem, procedimentos operacionais, regras de decisão e fluxo de informações sem interromper o sistema real;
- c) uma rápida análise do sistema ao longo do tempo, acelerando ou desacelerando um fenômeno para melhor compreendê-lo;
- d) identificar gargalos nos fluxos de materiais, pessoas, informações e testar opções de melhoria;
- e) identificar quais variáveis são importantes para o desempenho de um sistema.

Feitosa (2000) afirma que outra grande vantagem da simulação está na possibilidade de representar modelos que possuam aspectos, tanto determinísticos quanto

estocásticos. O primeiro ocorre, conforme o mesmo autor, se todos os eventos do modelo têm início e duração já previamente definidos, não havendo qualquer incerteza associada ao seu comportamento ao longo do período que ele for analisado. Por outro lado, no modelo estocástico, um ou mais valores associados aos eventos não são previamente conhecidos, fazendo com que sejam determinados ao longo da simulação dependendo das distribuições de probabilidade que os representam (FEITOSA, 2000).

Entretanto, Shannon (1998) apresenta limitações ao utilizar este tipo de abordagem. Por exemplo: as coletas de dados de entrada e a modelagem computacional devem ser bastante confiáveis, pois dados inadequados ou modelagens incorretas poderão causar decisões equivocadas. Law e Kelton (2000) ainda destacam em sua obra que:

- a) a construção do modelo requer treinamento em um *software* ou linguagem de programação;
- b) os resultados podem ser, muitas vezes, de difícil interpretação;
- c) a modelagem por simulação e sua análise consomem muito tempo e podem se tornar caras;
- d) a validação do modelo é necessária, mesmo que aparentemente a animação esteja de acordo com a realidade.

Banks e Gibson (1997) relatam, ainda, que a simulação não é apropriada quando:

- a) o problema pode ser resolvido pelo senso comum;
- b) o problema pode ser resolvido analiticamente;
- c) é fácil realizar experimentos diretamente no sistema real;
- d) os custos do projeto forem superiores aos ganhos;
- e) não há disponibilidade de pessoas ou recursos;
- f) não há tempo suficiente para obter resultados úteis;
- g) não há dados, ou estes não podem ser estimados;
- h) o modelo não pode ser verificado ou validado;
- i) o que se espera do projeto não pode ser alcançado;
- j) o sistema é excessivamente complexo ou indefinido.

Existem, conforme Chwif e Medina (2007), três técnicas distintas de simulação computacional: simulação de Monte Carlo, simulação de sistemas contínuos e simulação de eventos discretos. A primeira é considerada simulação estática e as duas últimas são

consideradas dinâmicas (Figura 9).

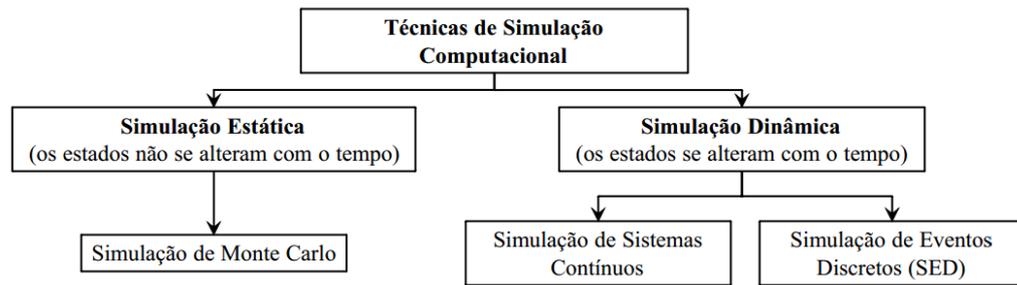


Figura 9 - Técnicas de Simulação Computacional. Fonte: Adaptado de Chwif e Medina (2007)

#### 2.4.1 Simulação de Monte Carlo

Em várias situações os modelos de simulação são utilizados para analisar uma decisão envolvendo risco ou incerteza. Sendo assim, há fatores considerados como “variáveis aleatórias” nos quais os seus comportamentos são descritos por uma distribuição de probabilidade qualquer. Neste contexto, o Método de Monte Carlo (MMC) é um modelo de simulação capaz de gerar números aleatórios que atribuirão valores às variáveis que se deseja investigar. Em outras palavras, é um processo de amostragem que permite observar o desempenho de uma variável de interesse considerando possuir comportamentos incertos (MOORE; WEATHERFORD, 2005). Segundo Pinto (2008), a simulação de Monte Carlo é uma técnica estocástica que tem características probabilísticas, ou seja, ao contrário de modelos determinísticos, a simulação estática probabilística induz ao futuro as mesmas probabilidades de ocorrência daqueles fatos passados. A respeito disto, Feitosa (2000) aponta que simulações a partir do MMC são empregadas apenas em situações nas quais a dimensão “tempo” não é relevante. Exemplos podem ser citados como o cálculo de dose radioativa absorvida por pacientes, ou a avaliação da viabilidade de investimento na instalação de máquinas em uma indústria. Desta forma, quando a simulação se refere a estudos de sistemas ao longo do tempo, a simulação dinâmica é a mais apropriada (FEITOSA, 2000).

Neste momento é importante deixar clara uma significativa diferença entre a teoria das filas e a simulação estática: quando nos dados de entrada há uma distribuição probabilística que se assemelhe a alguma distribuição conhecida (por exemplo: Normal, Poisson ou Exponencial), tanto a teoria das filas quanto a simulação de Monte Carlo podem ser aplicadas. No entanto, se uma distribuição probabilística não se aproxima confiavelmente a nenhuma distribuição conhecida, a modelagem por teoria das filas, ao contrário da simulação estática, não é eficiente.

### 2.4.2 Simulação de Sistemas Contínuos

A simulação de sistemas contínuos, bem como a simulação de eventos discretos, leva em consideração as mudanças de estado do sistema ao longo do tempo. Segundo Chwif e Medina (2007), a simulação contínua é utilizada para modelar sistemas cujo estado varia continuamente no tempo. Tais autores enfatizam que o fenômeno do resfriamento do chá é contínuo no tempo, portanto, seu estudo pode ser mais bem conduzido por uma simulação contínua. Ressalta-se ainda que, para o cálculo das mudanças das variáveis de estado, a simulação contínua utiliza de equações diferenciais (CHWIF; MEDINA, 2007).

Para esclarecer, Robinson (2004) menciona os seguintes exemplos de sistemas que podem ser considerados contínuos: sistemas que envolvem fluidos (como refinarias de petróleo ou indústrias químicas), sistemas que envolvem elevado volume ou rápido movimento de itens (manufaturas alimentícias ou sistemas de telecomunicação) e sistemas que permitam sua análise por meio de granularidades. A abordagem de simulação contínua é computada mediante aproximação de pequenos intervalos de tempos ou etapas discretas ( $\Delta t$ ), Robinson (2004) explica isto apresentando uma figura (Figura 10) que exemplifica a mudança do nível de um fluido no tanque. Nesta representação é possível perceber que, quanto menor é o intervalo de tempo ou esta etapa discreta ( $\Delta t$ ), mais a simulação se aproxima do sistema real, no entanto, mais lento se torna o processamento.

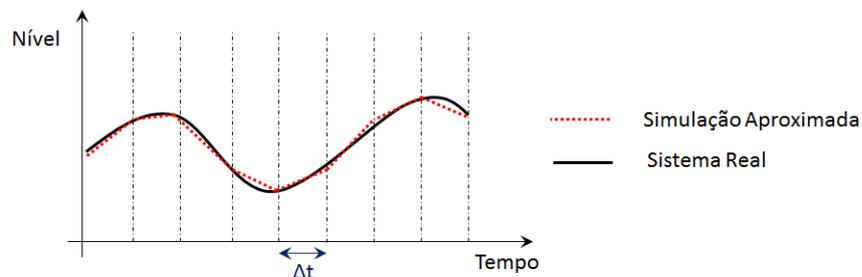


Figura 10 - Simulação contínua com aproximação discreta. Fonte: Robinson (2004)

Alguns simuladores de eventos discretos contemplam, conforme Robinson (2004), a possibilidade de simular sistemas contínuos. Além disto, a Dinâmica de Sistemas também é uma forma específica de simulação contínua que representa o sistema como um conjunto de fluxos e estoques (ROBINSON, 2004).

### 2.4.3 Simulação de Eventos Discretos (SED)

Segundo Chwif e Medina (2007), a SED é utilizada para modelar sistemas que mudam o seu estado em momentos discretos no tempo, a partir da ocorrência de eventos. Tais

autores trazem como exemplo a preparação de uma xícara de chá por meio de três eventos: (A) colocação de água quente na xícara, (B) colocação do chá na água quente, e (C) disponibilização do chá. É notório que cada evento ocorre em instantes determinados no tempo. Desta forma, o relógio de simulação, embora remeta a uma variável contínua (tempo), sempre indica um instante em que um evento acontece (colocação da água, colocação do chá e disponibilização do chá), sendo considerada uma simulação orientada por eventos, ou SED (CHWIF; MEDINA, 2007).

Assim, é possível afirmar que uma simulação que envolva um passageiro entrando na fila de um aeroporto (ou sendo atendido), embora também tenha como análise a variável “tempo” (contínua), é orientada por eventos (entrar na fila, iniciar atendimento), portanto, considerada uma SED. Algum questionamento poderia surgir a respeito desta consideração, porém Law e Kelton (2000) afirmam que, na prática, poucos sistemas são completamente discretos ou completamente contínuos, fazendo com que modelos contínuos possam ser discretizados.

Conforme Freitas Filho (2008) e Chwif e Medina (2007) a SED proporciona a captura do comportamento do sistema real, sendo assim, capaz de representar processos complexos de natureza dinâmica e aleatória. Entretanto, segundo os mesmos autores, é possível que seja difícil de ser construído e ainda não apresente resultados que sejam ótimos.

Segundo Baines et al. (1998), existem três pontos fortes nessa técnica: a precisão, a flexibilidade e a credibilidade. Em outras palavras, as SEDs disponibilizam informações de desempenho dinâmicas de um sistema, permitindo serem submetidas a muitos fatores de mudança e apresentadas por meio de interfaces com animações gráficas. Entretanto, segundo esses autores, a maior desvantagem da SED continua sendo o tempo de construção do seu modelo.

No contexto aeroviário, Feitosa (2000) propõe a simulação para aeroportos brasileiros e Ribeiro (2003) simula o aeroporto de Congonhas. Em estudos internacionais, Joustra e Van Dijk (2001) simulam o aeroporto de Amsterdam e Appelt et al. (2007) simulam o aeroporto internacional de Buffalo, este considerado de médio porte e localizado no estado norte americano de Nova Iorque. Mais recentemente, Lee et al. (2014) utilizam da simulação para testar, por meio de dados empíricos, o serviço de autoatendimento de *check-in* no aeroporto de Singapura.

Suryani, Chou, e Chen (2010) apontam em sua obra que a simulação é, em

comparação com a teoria das filas, a melhor maneira de investigar fluxos ao longo da edificação aeroportuária, uma vez que o modelo matemático tradicional não é apropriado para um ambiente transitório. Kiran, Centinkaya e Og (2000) apresentam uma abordagem que utiliza uma interface, entre planilhas do Excel e o *software* de simulação ProModel, capaz de identificar os gargalos do aeroporto de Istambul, promovendo o treinamento dos agentes das companhias aéreas para o uso contínuo do modelo.

Para o contexto deste trabalho, pelas diversas razões aqui apresentadas, a SED supera tanto a teoria das filas quanto a simulação por Monte Carlo. Adicionalmente, como o problema, neste momento, é tratado de maneira discreta, a SED possui características mais apropriadas que a simulação por sistemas contínuos. Alguns autores utilizaram da Dinâmica de Sistemas (DS) em seus trabalhos. Desta forma, é importante identificar as vantagens e desvantagens dessa técnica.

## 2.5 Dinâmica de Sistemas

A Dinâmica de Sistemas (DS), também conhecida por *System Dynamics*, é um campo de estudo iniciado por Jay Forrester no final da década de 50 (CARVALHO, 2001). A modelagem por meio da DS possui duas características fundamentais: (1) simular mudanças ao longo do tempo e (2) permitir realimentação do sistema (RICHARDSON; PUGH, 1981). A segunda característica é muito relevante na DS, pois traz a abordagem de “*feedback system*”, em que as variáveis de saída influenciam no comportamento do sistema (FORRESTER, 1968). Richardson e Pugh (1981) afirmam que a DS é utilizada para analisar a relação causa-efeito de sistemas, afirmando que modificar uma das variáveis de entrada pode não produzir a correspondente alteração nas variáveis de saída. Esses autores citam, como exemplos, a utilização da modelagem em DS em processos industriais e controle de estoques. Em outras palavras, tal como a Simulação de Eventos Discretos (SED), as DS são modelos simplificados desenvolvidos para representar e analisar o comportamento de um processo ao longo do tempo.

Desta forma, é possível modelar o problema desta pesquisa tanto em SED quanto em DS, no entanto, por questões de adequabilidade do modelo, complexidade do sistema, futura utilização do *software* de simulação pelos agentes do aeroporto e pelos demais motivos apresentados neste capítulo, é recomendável uma programação mais simples com interfaces gráficas mais “amigáveis”, o que gera o descarte do uso da modelagem por DS

neste trabalho.

A comparação entre a modelagem por SED e DS, segundo Tako e Robinson (2010), infelizmente está restrita às opiniões de autores e às suas experiências. De acordo com o trabalho dos mesmos pesquisadores, há diferenças comportamentais entre aqueles que modelam em SED e em DS. Eles apontam que aqueles que modelam em DS se concentram mais nos modelos conceituais, enquanto aqueles que modelam em SED buscam uma melhor codificação, verificação e validação do modelo. Do mesmo modo, aqueles que buscam a SED estão mais interessados em avaliar a progressão do processo de forma linear, e se diferem daqueles que utilizam os DS em termos de objetivos do modelo, nível de complexidade, detalhamento do modelo, entrada de dados e experimentação. Assim, conforme Robinson (2004) a SED é normalmente mais apropriada quando o sistema precisa ser modelado em detalhes, particularmente quando itens individuais precisam ser rastreados ao longo do sistema. Como supracitado, também há situações nas quais a DS pode ser utilizada no lugar da SED, e vice-versa, como por exemplo, para modelar cadeia de suprimentos e questões relacionadas à saúde (ROBINSON, 2004). De qualquer forma, os resultados obtidos não se diferenciam substancialmente entre ambas as técnicas (TAKO; ROBINSON, 2010).

Baines et al. (1998) afirmam que a aplicação da modelagem por DS está mais voltada para a progressão de materiais ou informações por meio de um sistema de fluxo contínuo, mas deixam claro que ela possui um menor grau de flexibilidade e precisão que o modelo de SED. Por outro lado, os mesmos autores garantem que, a utilização da DS levaria metade do tempo de uma modelagem por SED, permitindo uma melhor avaliação de sistemas ainda mais complexos (que possuam muitas atividades agregadas).

O trabalho de Manataki e Zografos (2010) apresenta um modelo genérico de DS aplicado ao aeroporto Internacional de Atenas, na Grécia. Por se tratar de um aglomerado de interações entre vários processos, considerando objetivos operacionais conflitantes entre alguns grupos distintos, em que atrasos são relevantes, e há interesse no estudo da capacidade e dos níveis de serviços envolvendo vários ambientes infraestruturais, a DS se torna uma boa ferramenta a ser utilizada. Na obra desses autores, os passageiros foram separados por grupos que possuíam características distintas como aqueles oriundos de voos internacionais, que necessitavam utilizar recursos auxiliares tais como controles de passaporte, até aqueles que realizavam o *check-in* eletronicamente.

Como o objetivo deste trabalho é avaliar os fluxos de passageiros ao longo do processo de um aeroporto de médio porte na busca da redução do tempo de filas, não houve

necessidade de considerar tantos fatores que tornam o modelo altamente complexo. Além disto, ressalta-se que a apresentação do trabalho para os responsáveis pelo aeroporto ocorreu da forma mais didática possível, a fim de que eles pudessem interagir facilmente com o modelo. Para tal, a escolha de uma modelagem por simulação a eventos discretos foi a mais apropriada, pois suas características de operabilidade, apresentações gráficas e dinâmicas são vantajosas em relação às outras opções apresentadas.

Embora se saiba que uma SED demanda tempo e esforços de coleta de dados e programação, o resultado pode proporcionar, neste caso, uma compensação interessante que a torna viável de ser aplicada.

## 2.6 Definição do Método

Todas as técnicas apresentadas neste capítulo – Teoria das Filas, Simulação de Eventos Discretos (SED) e Dinâmica de Sistemas (DS) – foram contextualizadas no processo aeroportuário segundo diferentes autores (Quadro 3). Todas elas são capazes de auxiliar o tomador de decisão a analisar os serviços envolvidos em um terminal de passageiros de um aeroporto de médio porte, mas cada uma delas possui uma característica particular mais apropriada à determinada finalidade (BAINES et al., 1998). O propósito desta seção é, baseado em referências bibliográficas, identificar qual a técnica mais apropriada para reduzir o tempo total de espera dos usuários nos subsistemas de filas a fim de melhorar o desempenho do terminal aeroviário de passageiros de forma racional.

Quadro 3 - Autores e obras citadas que apresentam técnicas distintas para resolver problemas aeroportuários

Teoria das Filas	Simulação	Dinâmica de Sistemas
Widmer (1989)	Feitosa (2000)	Manataki e Zografos (2009)
Ahyudanari e Vandebona (2005)	Kiran, Centinkaya e Og (2000)	Manataki e Zografos (2010)
Rendeiro Martín-Cejas (2006)	Joustra e Van Dijk (2001)	Suryani, Chou, e Chen (2010)
	Ribeiro (2003)	
	Appelt et al. (2007)	
	Lee et al. (2014)	

Com isto, foi identificado que o estudo das filas em um aeroporto regional exige interação entre os subsistemas de chegada de veículos rodoviários, de *check-in*, de embarque e de recebimento de bagagem. Estes processos estão sujeitos a determinada aleatoriedade, variações dinâmicas, contidos em um sistema relativamente complexo não sendo, assim, recomendável de ser estudado unicamente por meio da teoria das filas, que é mais apropriada para sistemas estáticos e simples (BAINES et al., 1998; CAMELO et al.,

2010). Caso fosse utilizada apenas a teoria das filas, provavelmente os dados obtidos exigiriam verificação e validação pela simulação computacional, tornando o uso isolado aquela técnica desvantajosa (WU, 2005).

Por outro lado, a Dinâmica de Sistemas (DS) é uma ferramenta interessante para processos de extrema complexidade, em que o fluxo de passageiros a ser estudado contemple *check-ins* diferenciados, controle de passaporte e demais processos exigidos em aeroportos de nível internacional (MANATAKI; ZOGRAFOS, 2010). Assim, segundo Tako e Robinson (2010), é possível utilizar a DS em aeroportos regionais, no entanto, Robinson (2010) alerta que a DS pode não ser a ferramenta mais apropriada. Afinal, o aeroporto é regional e muitas vezes não possui tantos processos a serem estudados e, ainda, a DS possui interface gráfica menos “amigável”, um menor grau de flexibilidade e precisão que o modelo de SED (BAINES et al., 1998). Por essas razões foi descartado o uso da DS.

Com isso, uma alternativa racional para estudar a redução de tempo total de espera em filas dos passageiros de um terminal aeroviário de médio porte é a modelagem por Simulação de Eventos Discretos. Esta afirmação é oriunda da excelente característica de confiabilidade que tal técnica proporciona (BAINES et al., 1998), convencendo, mediante informações e animações gráficas, aqueles responsáveis pelo sistema ao apresentar as possíveis alternativas de melhorias. Além disto, é uma ferramenta precisa e flexível (BAINES et al., 1998), capaz de representar de forma real e dinâmica o sistema estudado (CHWIF; MEDINA, 2007), permitindo uma rápida avaliação de resultados em cenários propostos. Entretanto, a SED demanda tempo, recursos, esforços (BAINES et al., 1998) e sua utilização só é recomendada se houver disponibilidade dos mesmos (BANKS; GIBSON, 1997), podendo, para tanto, ser auxiliada por técnicas da teoria das filas. Supondo haver recursos, o pesquisador que optar por usar este método ainda deverá ter em mente que poderá passar por dificuldades na interpretação dos dados e na validação do modelo (LAW; KELTON, 2000), mas uma vez modelado e testado, os resultados finais poderão ser recompensados.

## **2.7 Estudos de Simulação de Eventos Discretos**

A SED exige, conforme Law (2006), sete etapas principais, que estão apresentadas resumidamente na Figura 11.

- 1) *Formular o Problema*: Identificar o objetivo geral da simulação e as questões específicas que o estudo responderá, analisando o processo a ser estudado

(adotando as técnicas de mapeamento de processos), definindo o escopo do modelo, compreendendo a configuração do sistema e os recursos requeridos para simulação.

- 2) *Coleta de Dados e Informações*: Identificar o nível de detalhe do modelo, coletando informações do sistema estudado (*layout* e procedimentos), especificando os elementos básicos de simulação (parâmetros e distribuição de probabilidades) e obtendo dados do desempenho do sistema. Com os dados e informações em mãos pode-se criar um modelo conceitual.
- 3) *Validação do modelo conceitual*: desenvolver teste estatístico, ou outros métodos de validação, para garantia da representatividade do modelo conceitual. Caso erros ou omissões sejam identificados o modelo conceitual deverá sofrer atualizações.
- 4) *Programação do Modelo*: Definir por um simulador e construir o modelo dentro da linguagem computacional do mesmo.
- 5) *Verificação do modelo computacional*: Testar estatisticamente o modelo computacional com o modelo conceitual devidamente validado. A análise de sensibilidade pode ser utilizada nesta etapa.
- 6) *Desenvolver, conduzir e analisar os experimentos*: Para cada configuração de interesse do sistema deve identificar o tempo para “aquecimento” das entidades, o ciclo da operação, o tempo de simulação e a quantidade de replicações necessárias. Os cenários podem ser simulados os quais devem ter seus resultados analisados e, se necessário, novos parâmetros incluídos.
- 7) *Documentar e apresentar os resultados da Simulação*: Apresentar a descrição detalhada do modelo juntamente com as animações e as conclusões, permitindo discussão sobre os resultados obtidos. O intuito é garantir a credibilidade do modelo final.

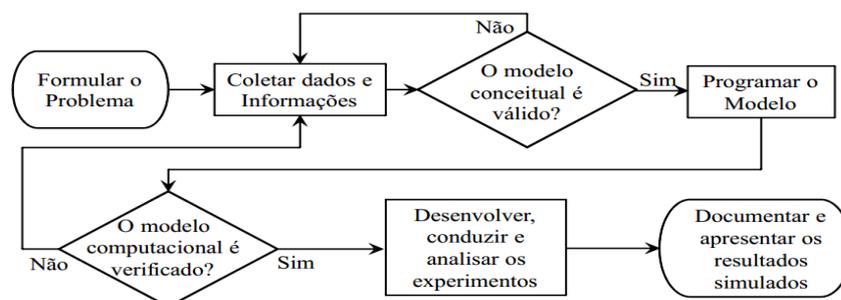


Figura 11 - Abordagem da condução de uma simulação por meio das sete etapas. Fonte: Adaptado de Law (2006)

Adicionalmente, Sargent (2008) apresenta uma visão simplificada do processo de simulação, inserindo claramente as diferenças entre validação computacional, validação operacional e verificação computacional. Esta representação ainda indica como o dado pode ser devidamente validado, e insinua como são realizadas as experimentações, análises/modelagens e programações do modelo (Figura 12).

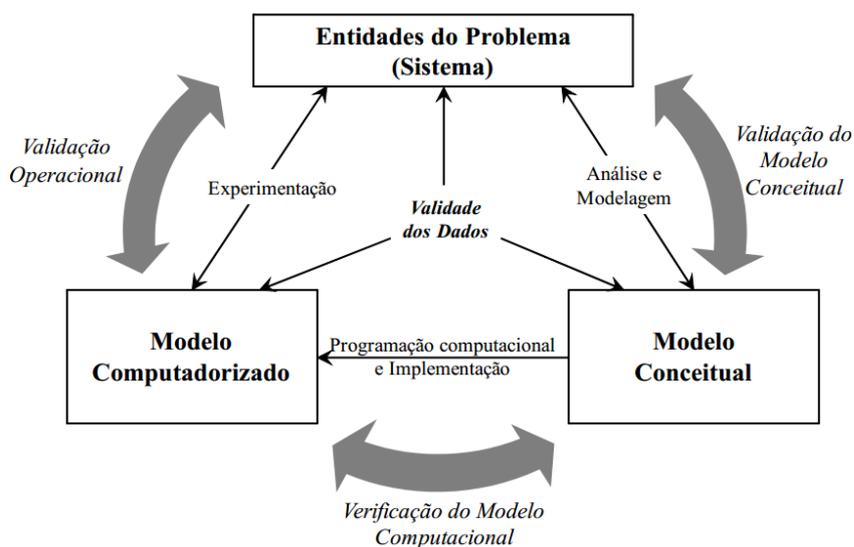


Figura 12 - Versão simplificada do processo de modelagem. Fonte: Sargent (2008)

## 2.8 Técnicas de Mapeamento do Processo

A Simulação de Eventos Discretos, por trabalhar com processos, exige uma inicial compreensão das atividades do sistema, que faz parte da formulação do problema. A representação destas atividades por meio de uma sequência lógica é conhecida como Mapeamento de Processos que, segundo Leal (2003), é executado buscando identificar melhorias. Pinho et al. (2007) apresentam várias técnicas de Mapeamento de Processos, mas dão o enfoque em basicamente duas delas:

- a) Fluxograma: é uma técnica de mapeamento que permite o registro de ações de algum tipo e pontos de tomada de decisão que ocorrem no fluxo real (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009);
- b) Mapa de processo: técnica para se registrar um processo de maneira compacta, mediante alguns símbolos padronizados (BARNES, 1982).

A distinção no uso das técnicas de Fluxograma e Mapa de Processos, conforme Pinho et al. (2007), é que a primeira mostra-se mais vantajosa em macroprocessos, em que uma visão global é requerida, e a segunda caracteriza muito bem uma visão mais detalhada

representando, inclusive, tomadas de decisão. O mapeamento normalmente é realizado pelos dos seguintes passos (SOLIMAN, 1999 apud LEAL, 2003):

- Identificação dos serviços, seus processos, seus inícios e fins;
- Reunião e preparação dos dados relevantes;
- Transformação dos dados em representação visual para identificar gargalos, desperdícios, demoras e duplicação de esforços.

## 2.9 Técnicas de Coleta de Dados e Amostragem

A operação de coleta de dados é recomendada após a identificação dos objetivos da Simulação. Freitas Filho (2008) alerta que a busca pelas informações deve ser planejada, e o sistema a ser estudado deve ser observado. Segundo o autor, os dados pretendidos devem ter utilidade e, para tal, a prévia análise dos mesmos é fundamental. Freitas Filho (2008) ressalta a importância de, enquanto os dados são obtidos, avaliar a distribuição probabilística e a interdependência das variáveis observadas.

Quanto maior o tamanho da amostra, mais preciso é o resultado, fazendo com que o erro amostral (semi-amplitude do intervalo de confiança) seja menor. Com isto tem-se a equação (1), utilizada para variáveis contínuas, em que “ $N$ ” é o número de elementos amostrais necessários, “ $Z$ ” é o valor estatístico da distribuição Normal Padronizada para determinado nível de confiança, “ $\sigma^2$ ” é a variância da variável e “ $e$ ” corresponde ao erro amostral tolerável arbitrado pelo analista:

$$N = \frac{Z^2 \times \sigma^2}{e^2} \quad (1)$$

Quando não se conhece o desvio padrão da população ( $\sigma$ ), segundo Costa Neto (2002), é necessário substituí-lo por sua estimativa  $s$  e usar  $t$  de *Student* na equação (2). Tal autor relata que esta estimativa pode ser obtida a partir de uma pesquisa piloto a fim de obter o valor de  $s$ .

$$N = \frac{t_{(n-1); \alpha/2}^2 \times s^2}{e^2} \quad (2)$$

Sendo que “ $n$ ” é o número de leituras efetuadas, “ $t_{(n-1); \alpha/2}^2$ ” é a estatística do teste *t-student* para “ $(n-1)$ ” graus de liberdade e um nível de confiança “ $(1-\alpha)$ ”, “ $s$ ” é o desvio

padrão amostral e “*e*” a semi-amplitude do intervalo de confiança (a diferença entre o limite superior e inferior do intervalo de confiança para determinada média). Esta estatística *t* de Student é utilizada em substituição a “*Z*” pelo fato de tornar resultados mais exatos, mesmo para valores baixos de *n*. O item 3.4.2 deste trabalho traz a aplicação destes conceitos.

### **2.10 Software de Simulação**

A escolha do *software* de simulação assume grande importância no desenvolvimento de uma pesquisa (FEITOSA, 2000). Neste contexto, Sakurada e Miyake (2009) fazem uma importante comparação entre dois simuladores de modelagem e simulação de sistemas de operação, o Arena e o ProModel, com a finalidade de simular as atividades referentes à “serviços”, no restaurante e na biblioteca de uma universidade. O primeiro *software* citado faz parte da *Rockwell Software*, e o segundo da *ProModel Corporation*. A razão para a escolha de ambos os *software* veio da crescente receptividade apresentada por eles, tanto no meio acadêmico como empresarial, e ainda suas notáveis aplicações em sistemas de manufatura, movimentação e armazenagem de materiais (SAKURADA; MIYAKE, 2009).

O Arena é estruturado e codificado com base na linguagem de simulação SIMAN (*SIMulation ANalysis*) por meio da seleção dos módulos que contêm as características dos processos a serem modelados. Assim, não é necessário que o modelador conheça esta linguagem para construir o modelo, uma vez que eles são disponibilizados por meio dos módulos, sendo requerida apenas a parametrização de acordo com as características observadas no sistema real (SAKURADA; MIYAKE, 2009).

O ProModel é um simulador desenvolvido para os sistemas de manufatura, mas por ser altamente flexível, permite ser aplicado a outros tipos de sistemas de operação (por exemplo, cadeias de suprimento, organizações administrativas e sistemas de serviço na área de saúde). Possui uma interface simples, um controle de avanço do tempo simulado e a realização de análises estatísticas (SAKURADA; MIYAKE, 2009).

Como resultado, Sakurada e Miyake (2009) verificaram que ambos os *software* atendem de forma bastante satisfatória as necessidades de estudos cuja preocupação seja avaliar o nível de serviço oferecido aos clientes em termos de rapidez no atendimento, verificação da eficiência na utilização dos recursos ou previsão do impacto da variação da demanda nas filas.

## 2.11 Previsão da Demanda para o Transporte Aéreo

As informações relativas ao movimento anual de passageiros são importantes fontes de orientação para balizar decisões. Com isto, a previsão da demanda dos passageiros é essencial para simular os cenários futuros. Existem várias técnicas que podem ser utilizadas para este fim que, segundo Chase, Jacobs e Aquilano (2006), podem ser classificadas em quatro tipos básicos: qualitativa, análise de séries temporais, relacionamento causal e simulação (Quadro 4).

Quadro 4 - Técnicas de Previsão

<b>I. Qualitativo</b>	Subjetiva; de julgamento. Baseada nas estimativas e opiniões.
<b>II. Análise de Séries Temporais</b>	Baseada na ideia de que dados históricos podem ser utilizados para prever o futuro.
<b>III. Causal</b>	Tenta entender o sistema básico e ao redor do item que está sendo previsto. Por exemplo, as vendas poderão ser afetadas pelas propagandas, qualidade e competidores.
<b>IV. Modelos de Simulação</b>	Modelos dinâmicos, geralmente computacionais, que permitem que a pessoa que está fazendo a previsão faça suposições sobre as variáveis internas e o ambiente externo no modelo. Dependendo das variáveis no modelo, a pessoa faria perguntas como "o que aconteceria com a minha previsão se o preço aumentasse em 10%?" e "Qual efeito uma leve recessão nacional teria na minha previsão?".

Fonte: Chase, Jacobs e Aquilano (2006)

O Instituto de Aviação Civil (IAC), que esteve ligado ao Comando da Aeronáutica e ao Departamento de Aviação Civil<sup>3</sup>, utilizou a Técnica de Previsão Causal baseada em modelos econométricos para o cálculo da demanda agregada dos passageiros nos aeroportos brasileiros (IAC, 2003). Segundo o IAC, esta demanda agregada é aplicada no contexto econômico por meio do Modelo CAPM (*Capital Asset Pricing Model*) utilizando dados históricos obtidos pelo Boletim de Informações Gerenciais da Infraero.

Nesta abordagem, o Instituto previu a demanda por transporte aéreo no aeroporto de Uberlândia com base no que ocorre na demanda agregada do país, de forma análoga ao procedimento *Top-Down*, amplamente difundido entre os diversos órgãos internacionais de pesquisa do transporte aéreo (IAC, 2003). Para melhor compreensão Wanke (2008) traduz o conceito de *Top-Down* e *Bottom-Up*, em que o primeiro prevê a demanda a partir dos dados agregados e posteriormente os singulariza para itens individuais e, o último, parte das demandas individuais para posteriormente as tornar agregadas. Esses são métodos de previsão normalmente aplicados à análise de investimentos, mas também aplicável no

<sup>3</sup> O Departamento de Aviação Civil (DAC) teve suas atribuições transferidas para a Agência Nacional de Aviação Civil por meio do Decreto nº 5.731, de 20 de março de 2006.

contexto do transporte aéreo. Para o período entre 2015 e 2025, o IAC (2005) estimou o crescimento anual para a região sudeste em 5,78%. Com isso, a previsão de demanda média para o aeroporto de Uberlândia foi, para 2015, de 1.250.773 passageiros e, para 2025 de 2.283.826 passageiros (IAC, 2005), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Previsão de Demanda para o Aeroporto de Uberlândia

<b>Previsão de Demanda do Movimento de Passageiros (Emb.+Des.) Aeroporto de Uberlândia</b>			
<i>Ano</i>	<i>Pessimista</i>	<i>Média</i>	<i>Otimista</i>
2015	1.064.901	1.250.773	1.469.737
2020 <sup>4</sup>	1.410.350	1.656.519	1.946.514
2025	1.941.335	2.283.827	2.694.218

Fonte: Adaptado do IAC (2005)

## 2.12 Modelo de Decisão

Uma vez que as demandas pelos serviços aeroportuários foram identificadas, torna-se mais factível simulá-las em diferentes situações e cenários. Neste contexto um modelo de decisão baseado em matriz pode ser uma solução para a busca do melhor resultado.

Um modelo de decisão, segundo Bekman e Costa Neto (2009) e Starr (1978), é um esquema básico que possa ser aplicado aos mais diversos problemas de gerenciamento. Ele faz parte de um campo de estudo chamado de Teoria das Decisões, na qual apresenta cinco elementos básicos que contemplam as decisões:

- a) planos ou estratégias construídos de variáveis controláveis;
- b) estado natural composto de variáveis não controláveis;
- c) avaliação dos resultados que são consequências de estratégias implementadas, e da ocorrência de certos estados da natureza;
- d) probabilidade de ocorrer cada estado da natureza;
- e) definição de um plano a ser seguido por meio de uma decisão bem elaborada.

Assim sendo, uma boa tomada de decisão envolve análise, síntese, estratégia e a compreensão dos estados da natureza. Esses elementos devem ser cautelosamente avaliados como um todo, e jamais isoladamente (STARR, 1978).

<sup>4</sup> O valor referente à previsão de 2020 foi estimado por meio do índice de 5,78% de aumento (IAC, 2005) sobre o ano base de 2015.

### 2.13 Propostas de Melhoria nos Aeroportos

Para adotar o modelo de decisão proposto, é fundamental identificar as possíveis melhorias de processos aeroportuários apontadas pela literatura, visto que elas darão origem às “estratégias” da simulação. Ou seja, aquela melhoria que for executável no ambiente estudado se torna potencial cenário a ser simulado.

Neste contexto, Bandeira et al. (2014) estudaram os indicadores que afetam a percepção da qualidade de serviço nos Aeroportos de Guarulhos e Congonhas, em São Paulo-SP, e Juscelino Kubitschek, em Brasília-DF, onde as operações de embarque e desembarque são gargalos. No embarque tais autores identificaram que a operação de *check-in* pode ser melhorada alterando os procedimentos da companhia aérea, elevando o número de balcões ou modificando suas disposições físicas. Outras propostas de melhoria de serviços aeroportuários estão relacionadas ao autosserviço. Atualmente existem algumas tecnologias de autoatendimento em *check-ins* disponíveis para os aeroportos, como *totens*, aplicativos de celulares ou *check-in online*. Lee et al. (2014) chamam essas tecnologias de *Self-Service Check-in* (SSCI) e garantem que elas trazem mais eficiência para a operação de processamento dos passageiros.

Outro aspecto relacionado à operação de *check-in* é chamado de sistema CUTE (*Common Use Terminal Equipment*) que, de acordo com Bandeira et al. (2014), permite o compartilhamento de balcões de diferentes companhias aéreas conforme a programação de voos. No entanto, para isto se tornar viável, os *software* operacionais das empresas aéreas devem ser compatíveis entre si (BANDEIRA et al., 2014).

Quanto às operações relativas ao embarque, existe, na área de inspeção de segurança (onde ficam os pórticos detectores e metais e os aparelhos de *raio-x*), a operação de vistoria antissequestro. Nela, as propostas de melhoria estão voltadas para o aumento no número de canais ou posições, a ampliação da área de atendimento, a melhor qualificação e treinamento do pessoal e o uso de equipamentos mais modernos (BANDEIRA et al., 2014).

A respeito da sala de embarque, além de elevar o número de funcionários ou modificar a estrutura física da área, Wu e Lee (2014) citam que a aliança entre companhias aéreas é capaz de melhorar o sistema. Os autores trazem o conceito de “co-localização” (*co-location*), onde há a alocação lógica dos terminais de embarque visando o atendimento exclusivo àquelas companhias que se aliaram. Quando duas empresas operam conjuntamente, há compartilhamento do pessoal e da infraestrutura, colaborando para o bom funcionamento do sistema. Embora os aeroportos possam incentivar a *co-location*, este conceito normalmente está relacionado ao acordo entre as companhias aéreas (WU; LEE, 2014).

Segundo Falcão, Zimmermann e Correia (2011), alguns fatores principais que influenciam no subsistema de recebimento de bagagem são: configuração dos equipamentos, área da esteira, prática dos funcionários, quantidade de bagagens por voo, porcentagem de passageiros com bagagens, tempo de chegada da bagagem a partir do avião e o perfil dos passageiros (“*turistas*” tendem a possuir maior número de bagagens em comparação àqueles que viajam por curtas distâncias ou a negócios). Já De Barros e Wirasinghe (2004) trazem como proposta para os aeroportos a construção de uma nova esteira de bagagens que, segundo os autores, é mais eficiente que a simples ampliação daquela já existente, dando mais flexibilidade nos casos de voos concomitantes. Esses fatores devem ser considerados durante os estudos para a melhoria do processo.

Para o dimensionamento da área de permanência dos veículos no meio-fio de embarque e desembarque, Goldner, Nascimento e Pinto (2014) apresentam que é possível utilizar as taxas de chegada do horário de pico multiplicadas pelo valor do tempo médio de espera do veículo. Como consequência, o valor gerado corresponde ao número de vagas necessárias para atender à demanda.

De forma geral, Ueda (2012) apresenta como alternativa de redução de filas nos aeroportos, a realocação dos horários dos voos a fim de gerar maior dispersão do movimento crítico. Para isso, o autor traz como proposta a precificação do congestionamento, ou seja, a elevação das tarifas aeroportuárias pagas pelas companhias aéreas nos momentos de maior procura.

### 3 MÉTODO PROPOSTO

#### 3.1 Metodologia de Pesquisa

O problema de pesquisa aqui apresentado requer um estudo cuja solução proposta ocorra por meio da aplicação do método quantitativo conhecido por Modelagem e Simulação, com característica dinâmica e discreta do tipo empírico normativa de forma longitudinal. Este é considerado um método preditivo, dedutivo e aplicado. É quantitativo por possibilitar a coleta e a análise dos dados numéricos, mensurando as variáveis e os fenômenos, cujas relações de causalidade são relevantes (MIGUEL; SOUSA, 2012). Outra característica que reforça esta metodologia de investigação, segundo Miguel e Sousa (2012), é a de não haver interferência nas variáveis pesquisadas, garantindo assim, a objetividade da ciência. É preditivo por possuir questão de pesquisa do tipo “quais?”, sugerindo uma possível solução. É caracterizado como dedutivo por iniciar com conceitos generalistas e posteriormente ser singularizado. É aplicado por se tratar de um estudo empírico particular e único.

Bertrand e Fransoo (2002) alegam que a metodologia quantitativa pode ter caráter axiomático (quando se cria modelos baseados na teoria idealizada) ou empírico (quando se cria modelos que são adequados às situações reais). Por se tratar de um estudo que se baseia em uma situação real, a pesquisa é tratada como empírica. Segundo os mesmos autores, uma pesquisa empírica pode ser normativa ou descritiva, respectivamente ao prescrever uma decisão para determinado problema, ou descrever de forma adequada o processo real. Como a investigação busca apontar uma possível solução para o problema, a metodologia é assim conhecida como prescritiva. A Figura 13 apresenta uma melhor visualização das categorias na qual esta pesquisa quantitativa se enquadra.

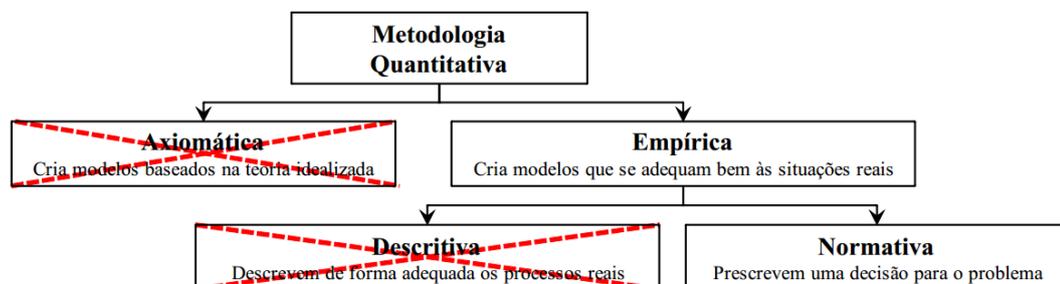


Figura 13 - Características da Metodologia Quantitativa na qual a pesquisa se enquadra. Fonte: Adaptado de Bertrand e Fransoo (2002)

Em se tratando de análise de cenários capazes de melhorar o processo aeroportuário, a modelagem do sistema torna-se essencial. O modelo é, segundo Morabito e

Pureza (2012, p. 170), “uma representação de uma situação ou realidade, conforme vista por uma pessoa ou um grupo de pessoas, e construída de forma a auxiliar o tratamento daquela situação de uma maneira sistemática”. Por essa razão esta pesquisa usufruiu da modelagem como base metodológica. Segundo os mesmos autores, a modelagem pode ser determinística ou probabilística. A primeira, diferentemente da segunda, não considera incerteza nos parâmetros do problema, não se encaixando nesta investigação. Dentro de uma modelagem probabilística é possível realizar modelos de filas ou modelos de simulação, os primeiros são normalmente mais fáceis de serem incorporados a modelos de “otimização”, enquanto o segundo imita operações do sistema real à medida que este evolui no tempo. Pelas razões supracitadas e sabendo que o pesquisador manipula as variáveis e não a realidade (MIGUEL; SOUSA, 2012), foi utilizada a modelagem por simulação, na qual suas vertentes estão apresentadas na Figura 14. De acordo com Morabito e Pureza (2012) e conforme Chwif e Medina (2006) ela pode ser estática, quando um sistema é analisado em um instante particular (também chamada de simulação de Monte-Carlo), ou dinâmica quando as operações do sistema real são imitadas à medida que o tempo evolui. Uma simulação dinâmica pode ser contínua ou discreta dependendo se, respectivamente, o comportamento do sistema muda de forma contínua, ou em pontos discretos, ao longo do tempo.

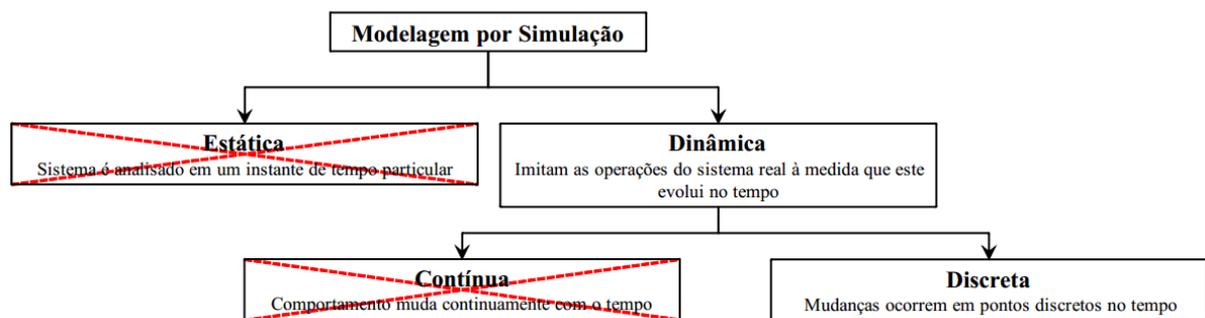


Figura 14 - Características da Modelagem por Simulação na qual a pesquisa se enquadra. Fonte: Adaptado de Morabito e Pureza (2012)

Desta forma, o problema de pesquisa aqui apresentado utilizou da modelagem por simulação dinâmica e discreta da categoria empírica normativa. Este é considerado um estudo explorado longitudinalmente por investigar o presente e avaliar os resultados. Por fim, a Figura 15 apresenta a classificação geral da metodologia deste trabalho.

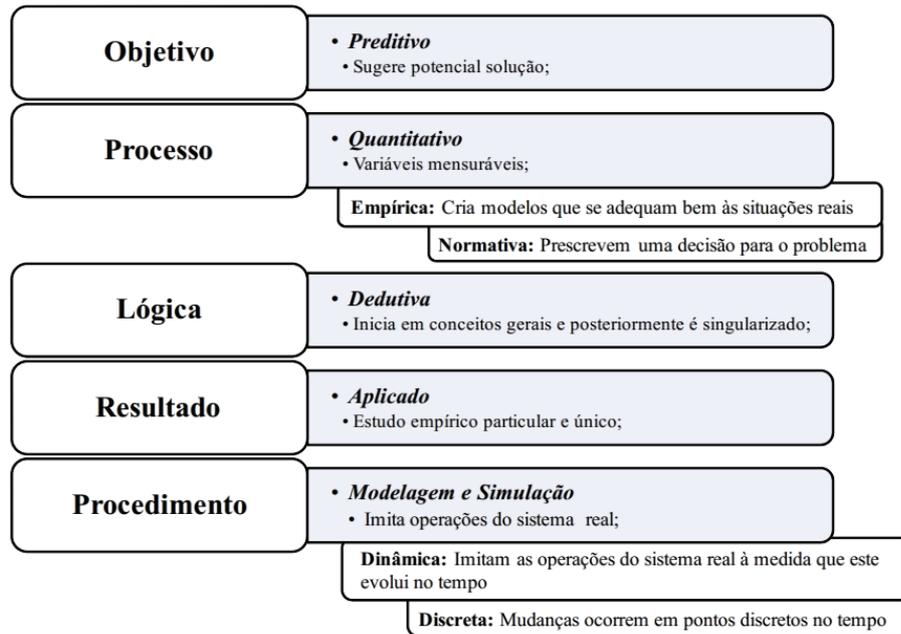


Figura 15 - Metodologia na qual a pesquisa foi embasada

### 3.2 Definição do Problema e Escopo da Análise

Considerando que os passageiros de um aeroporto regional estão aguardando muito tempo em filas, julga-se haver um problema a ser analisado que se potencializa conforme a elevação na demanda pelos serviços. A simulação é uma técnica capaz de estudar as consequências da aplicação de propostas para redução do tempo de filas no sistema. Porém, não é viável, por relação esforço-benefício, simular todas as atividades operacionais e não operacionais do aeroporto nos seus mais detalhados aspectos, assim sendo, é necessário restringir a análise em um escopo.

O primeiro delineamento desta pesquisa está nos sistemas e subsistemas estudados que contemplam as operações que ocorrem estritamente no interior do terminal e na área de embarque e desembarque de veículos rodoviários. Isto inclui parte do subsistema de acesso/regresso e do subsistema do terminal de passageiros (Figura 16). O enfoque do trabalho está nos procedimentos diretamente associados às operações de embarque e desembarque de passageiros que são capazes de formar filas, excluindo quaisquer procedimentos não operacionais. Assim sendo, nenhuma atividade além do subsistema terminal de passageiros e parte do subsistema de acesso/regresso foi analisada.

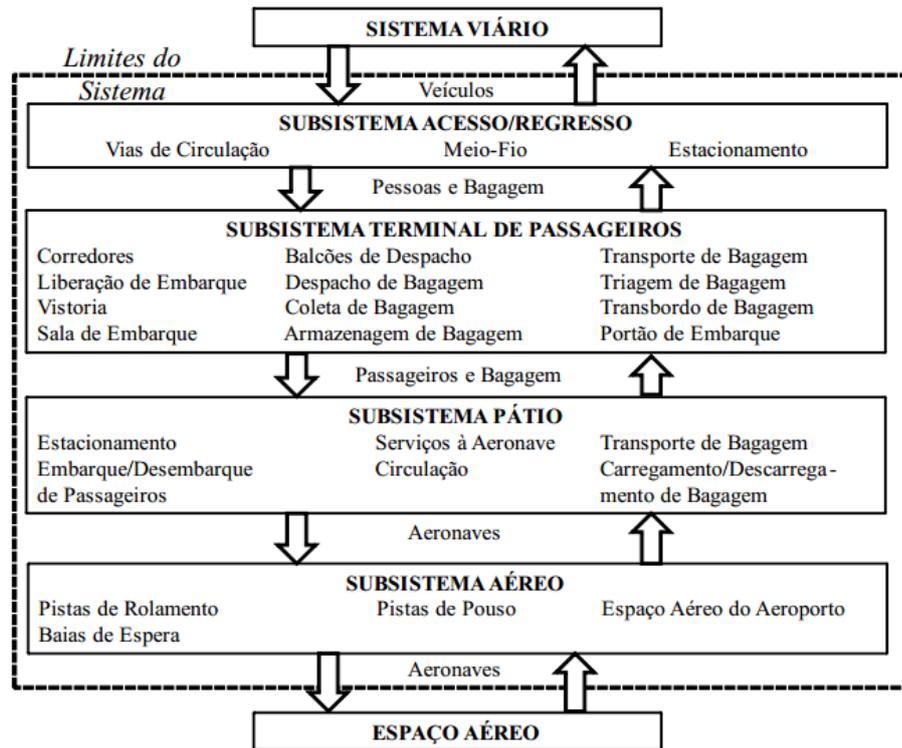


Figura 16 - Subsistemas e componentes do sistema aeroportuário. Fonte: Adaptado de Gualda (1995, apud FEITOSA 2000)

O segundo delineamento está nos procedimentos de conexão no aeroporto, que também não são considerados. Isto ocorre porque no aeroporto de Uberlândia não há área de conexão em solo. Nesse sentido, Feitosa (2000) ressalta que aeroportos regionais, por constituírem pontos de origem e destino dentro da malha aeroviária brasileira, não apresentam índices significativos de operações de conexão.

Outro delineamento é sobre o processamento de bagagens, o qual é levado em conta apenas no procedimento de desembarque. O motivo para tal escopo provém do fato de que o processamento de bagagens no embarque, além de elementar, pode ser associado diretamente ao processamento dos passageiros, simplificando a modelagem (FEITOSA, 2000). Com isto, durante o *check-in* (que é o único momento do embarque onde a bagagem influencia no processamento de passageiros) o tempo de pesagem e etiquetagem das malas é computado no tempo total de atendimento.

O último limitante determina que a análise seja efetuada somente para voos regulares. A razão desta medida é oriunda da maior facilidade de coleta de dados e a sua posterior modelagem estatística. Voos não regulares apresentam comportamentos bastante diversificados, gerando situações atípicas no terminal (FEITOSA, 2000).

### 3.3 Elementos básicos de simulação

Na Simulação de Eventos Discretos utilizam-se algumas terminologias básicas, dentre elas as (1) Variáveis de Estado, (2) Eventos, (3) Entidades e Atributos, (4) Recursos e Filas de Recursos, (5) Atividades e Períodos de Espera, (6) Tempo (Real) Simulado e Tempo de Simulação.

Segundo Freitas Filho (2008), as variáveis cujos valores determinam o estado de um sistema são conhecidas como “Variáveis de Estado”. Pode-se dizer que estado do sistema é o conjunto de variáveis que descreve o sistema em determinado instante (FEITOSA, 2000). O estado de um terminal de passageiros, por exemplo, pode ser descrito pelo número de usuários no interior do saguão e nas filas do *check-in*.

Na simulação, “Evento” é qualquer ocorrência, num determinado instante de tempo, que gera uma mudança de estado no sistema (FEITOSA, 2000). Ao ocorrer um “Evento”, pelo menos uma “Variável de Estado” se altera. A chegada de um novo cliente na fila de *check-in* altera a quantidade de entidades ali presentes, sendo assim, um evento.

Ao se tratar de modelagem e simulação, as “Entidades” (objetos de interesse no sistema) podem ser dinâmicas, movendo-se através do sistema, ou estáticas, servindo outras entidades (por exemplo, os atendentes do *check-in*). Assim, do ponto de vista operacional, as principais entidades dinâmicas a serem consideradas neste estudo são “*passageiros*” e “*bagagens*”. O fluxo destas entidades entre os modais de superfície e aéreo estão representados na Figura 17.

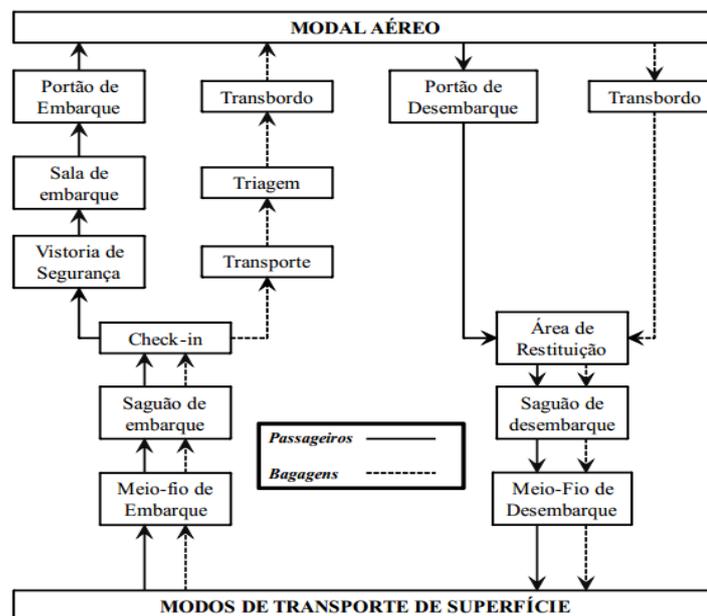


Figura 17 - Fluxo de passageiros e bagagens. Fonte: Adaptado de Feitosa (2000)

Neste modelo os portões de entrada/saída do terminal e a aeronave, que estão no limite do subsistema de terminal de passageiros, são os “pontos” de criação e destruição dessas entidades dinâmicas. Como no portão de desembarque não há qualquer processamento, esse componente é representado juntamente com a área de restituição de bagagens, o próximo componente na sequência natural de desembarque (Figura 18).

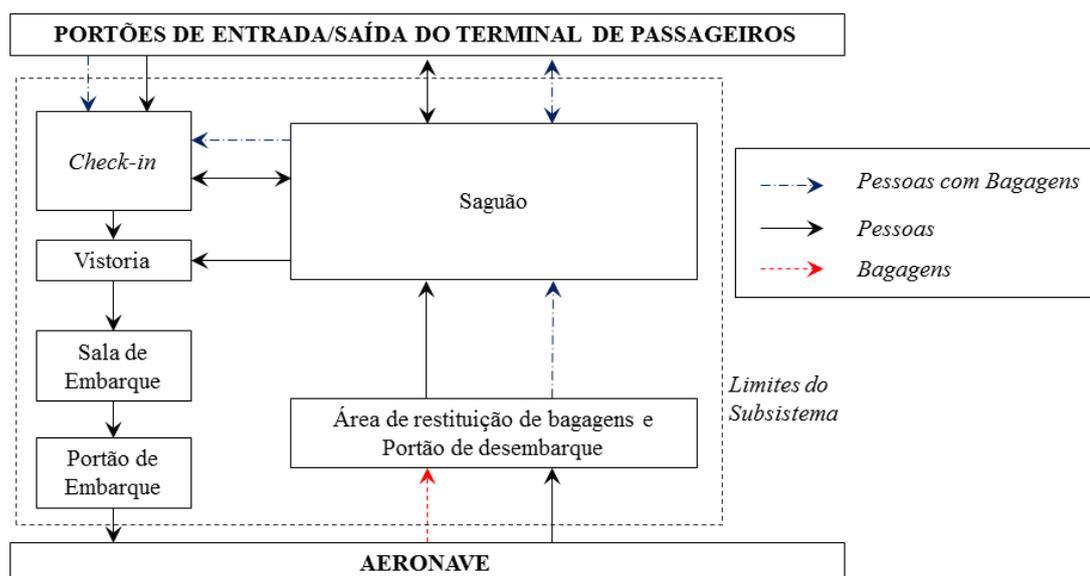


Figura 18 - Conceituação sistêmica do subsistema “Terminal de Passageiros” do aeroporto. Fonte: Adaptado de Feitosa (2000)

Um “Recurso” é considerado uma entidade estática que fornece serviços às entidades dinâmicas. Ele pode servir uma ou mais entidades dinâmicas ao mesmo tempo, operando como um servidor paralelo. Caso uma entidade dinâmica possa ser atendida por um recurso, ela deverá aguardar por ele em uma “Fila de Recurso” (FREITAS FILHO, 2008).

Certos “Eventos” dão início a uma operação ou procedimento, que são chamados de “Atividades”. Com isto, a chegada de um passageiro no balcão de *check-in* dá início à atividade de atendimento (FEITOSA, 2000). A “Atividade” corresponde a um período de tempo que pode, ou não, ter duração constante. Adicionalmente, chama-se de “Processo” uma sequência de eventos dispostos cronologicamente. Feitosa (2000) garante que um “Evento” é pontual, enquanto o processo e a atividade são ocorrências com certa duração no tempo. No entanto, ao contrário de uma atividade, “Espera” é um período de tempo sobre o qual, em geral, tratando de variáveis aleatórias, não se tem controle, sendo que, uma vez iniciada, não se pode programar o seu fim (FREITAS FILHO, 2008). Como exemplo cita-se uma entidade que entra em uma fila de espera para o *check-in*. O tempo que ela permanecerá na fila dependerá do tempo de processamento das outras entidades que estão na fila ou em

processo. Se este tempo de processo for aleatório, a “Espera” da entidade tratada só poderá ser estimada. Outro caso de evento inesperado é o de indisponibilidade de um recurso por tempo indeterminado oriundo de uma aeronave que não pode decolar por razões técnicas ou meteorológicas.

Freitas Filho (2008) ainda destaca a diferença entre “Tempo Simulado” e “Tempo de Simulação”. O primeiro é o tempo do sistema real, já o segundo é o tempo necessário para um experimento ser executado no computador.

### 3.4 Coleta de Dados

Os dados foram coletados entre janeiro e setembro de 2014, no interior dos subsistemas do Aeroporto de Uberlândia.

- a) Janeiro: dia 10;
- b) Fevereiro: dias 14 e 28;
- c) Março: dias 14 e 28;
- d) Abril: dia 11;
- e) Agosto: dia 22;
- f) Setembro: dias 5, 12 e 19;

Ao longo destes dias foram analisados cinco módulos do aeroporto:

- 1) Entrada e Saída de Veículos;
- 2) *Check-in*;
- 3) Vistoria Antissequestro;
- 4) Sala de Embarque;
- 5) Área para Recebimento de Bagagem.

Para selecionar o horário de coleta, foram obtidas as informações acerca do momento de maior demanda do aeroporto, que ocorreu, segundo o Anuário Estatístico Operacional da Infraero de 2011 (INFRAERO, 2012), na sexta-feira, dia 07 de outubro de 2011, às 20h, com 529 passageiros simultâneos. Ressalta-se ainda que, segundo o Anuário Estatístico Operacional da Infraero de 2013 (INFRAERO, 2014a), o maior movimento horário

de passageiros no dia típico<sup>5</sup> deste aeroporto em 2013 ocorreu às 20h, conforme mostra a Figura 19.

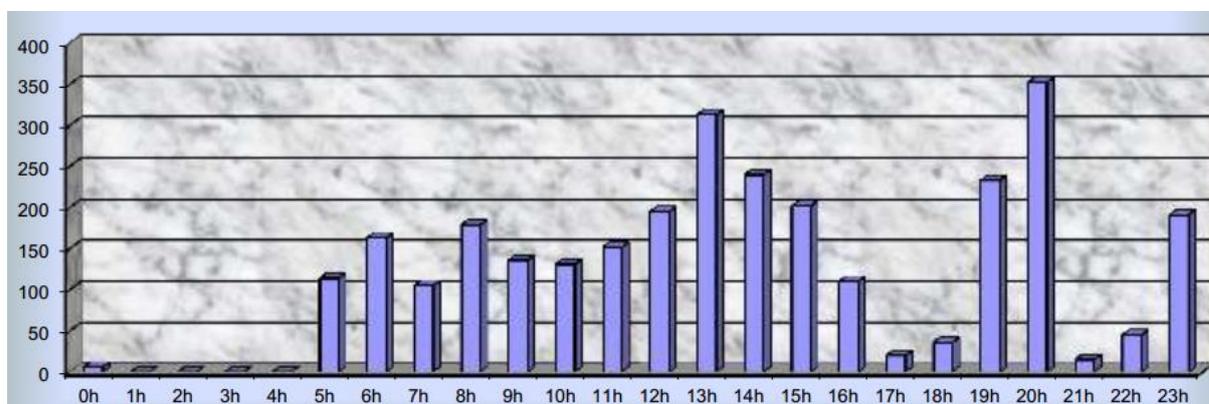


Figura 19 - Movimento horário de Passageiros no dia típico. Fonte: Infraero (2014a)

Sendo assim, em comum acordo com a supervisão do aeroporto, optou-se por analisar o comportamento do sistema às sextas-feiras, aproximadamente entre as 19h e 21h. Este horário é considerado crítico pelo perfil executivo dos usuários (os passageiros normalmente viajam a trabalho), visto que o aeroporto tratado possui forte turismo de negócios, caracterizado por viagens de indivíduos com o propósito de desenvolver empreendimentos com fins lucrativos.

É válido ressaltar que, devido à escolha dos dias e horários de coletas de dados, a representatividade dos mesmos não é válida para todos os dias da semana, mas sim apenas para aquele horário das sextas-feiras. A extensão desta representatividade aos demais dias e horários está condicionada à entrada dos seus respectivos dados.

Adicionalmente, algumas informações existentes no banco de dados do aeroporto ou das companhias, tais como bagagens despachadas, passageiros por aeronave, número de *check-ins* realizados via *online*, horário de partida e atrasos foram utilizadas com a devida autorização.

### 3.4.1 Dados Necessários

Os dados básicos que são requeridos para cada módulo, bem como as informações de interesse que eles são capazes de fornecer, estão apresentados resumidamente no Quadro 5.

<sup>5</sup> Dia típico é o conjunto formado pelos valores medianos anuais dos movimentos horários de passageiros de cada uma das 24 horas do dia (INFRAERO, 2014).

Quadro 5 - Sumário dos dados de entrada requeridos pelo modelo

<b>Módulo</b>	<b>Dados Necessários de Entrada</b>	<b>Informações de Interesse</b>
<i>Entrada e Saída de Veículos</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- N° de total de vagas automotivas na área de acesso/regresso</li> <li>- N° máximo de veículos capazes de pararem irregularmente na área de acesso/regresso</li> <li>- Intervalo entre as chegadas de veículos</li> <li>- Tempo de parada dos veículos</li> </ul>	Utilização das vagas irregulares
<i>Check-in</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intervalo entre as chegadas dos passageiros</li> <li>- Tempo de atendimento dos passageiros</li> <li>- Taxa de acompanhantes de embarque</li> <li>- N° de atendentes no balcão no decorrer do tempo</li> <li>- Horário previsto de partida do voo</li> </ul>	Tempo médio de fila Tempo máximo de fila N° máximo de usuários na fila
<i>Vistoria Antissequestro (VAS)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intervalo entre as chegadas dos passageiros</li> <li>- Tempo de vistoria dos passageiros</li> <li>- Tempo de vistoria detalhada dos passageiros</li> <li>- Tempo de busca pessoal dos passageiros</li> <li>- Probabilidade de ocorrer vistoria detalhada</li> <li>- Probabilidade de ocorrer busca pessoal</li> </ul>	Tempo médio de fila Tempo máximo de fila N° máximo de passageiros na fila
<i>Sala de Embarque</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intervalo entre as chegadas dos passageiros</li> <li>- Horário previsto de partida</li> <li>- Horário de autorização para o embarque</li> <li>- Tempo de conferência do cartão de embarque</li> </ul>	Tempo médio de espera na sala de embarque Tempo máximo de espera na sala de embarque Tempo médio de fila para conferência Tempo máximo de fila para conferência Percentual do tempo com passageiros aguardando em pé N° de passageiros aguardando em pé
<i>Área de Recebimento de Bagagem (ARB)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Horário previsto para a chegada do voo</li> <li>- N° de passageiros na aeronave</li> <li>- Percentual de passageiros com bagagem a ser restituída</li> <li>- N° de bagagens por passageiro com bagagem</li> <li>- Tempo entre o pouso da aeronave e a chegada dos passageiro na ARB</li> <li>- Intervalo entre as chegadas dos pass. na ARB</li> <li>- Intervalo entre as chegadas das bagagens pela esteira</li> </ul>	Tempo médio de espera Tempo máximo de espera

### 3.4.2 Amostragem

Nos casos em que se aplica o processo de amostragem iterativo as estimativas decorrentes de amostras da própria população são utilizadas. Assim, parte-se de uma amostra piloto de tamanho determinado e posteriormente, caso sejam necessários novos valores

amostrais, o processo é repetido. Para esta determinação é utilizado um nível de significância de 5%, considerado satisfatório (STEVENSON, 2001).

As considerações estatísticas já citadas no item 2.9 também foram apresentadas nas obras de Costa Neto (2002), Stevenson (2001), Kazmier (1982) e Silva e Coimbra (1980), e são utilizadas para o tratamento dos dados coletados. Segundo os autores, para a curva de distribuição  $t$  de *Student* a semi-amplitude do intervalo de confiança “ $e$ ” pode ser dada pela equação (3):

$$e = t_{n-1;\alpha/2} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

Sendo que:

- $n$  é o número de dados da amostra;
- $s$  é o desvio padrão da amostra;
- $t_{n-1;\alpha/2}$  é o número de desvios padrão para a distribuição  $t$  (*Student*) para  $(n-1)$  amostras em um grau de confiança  $(\alpha/2)$ .

Na análise dos dados, a existência de valores atípicos (*Outliers*) deve ser cautelosamente estudada. Tanto o *software* de simulação, quanto o próprio EXCEL são capazes de identificar os *Outliers*, no entanto a sua eliminação do conjunto de dados só poderá ser efetuada após a avaliação do pesquisador. Magalhães e Lima (2001) apresentam o cálculo dos *Outliers* conforme as equações (4), (5) e (6). Para isto é necessário ordenar os valores obtidos em uma tabela e posteriormente encontrar os valores do 1º ( $Q1$ ) e do 3º ( $Q3$ ) quartil (MAGALHÃES; LIMA, 2001). Por último, deve-se calcular a diferença do 3º e do 1º quartil conforme a equação (4), sendo esta considerada como “Intervalo Interquartil ( $IQ$ )” que recebe o peso 1,5 no cálculo dos valores atípicos. A representação matemática fica condicionada às equações (5) e (6):

$$IQ = Q3 - Q1 \quad (4)$$

$$Outliers inferiores < Q1 - (1,5 \times IQ) \quad (5)$$

$$Outliers superiores > Q3 + (1,5 \times IQ) \quad (6)$$

### 3.5 Mapeamento do Processo

O Mapeamento do Processo exige uma inicial compreensão do sistema aeroportuário local, com identificação das operações mais relevantes e os procedimentos de

suas atividades. Com estas informações em mãos podem ser realizados tanto o fluxograma, quanto o mapa de processos.

A obra de Chase, Jacobs e Aquilano (2006) apresenta a simbologia do fluxograma, em que um retângulo representa uma tarefa ou uma operação, o losango um ponto de decisão, o triângulo apresenta filas ou áreas de armazenamento e as setas são os fluxos de clientes ou materiais. O trabalho de Pinho et al. (2007) apresenta o fluxograma de um processo de uma indústria de manufatura, usufruindo da simbologia de oblongos representando o início e o fim do processo estudado, aqui exemplificado por meio de sua adaptação pela Figura 20.

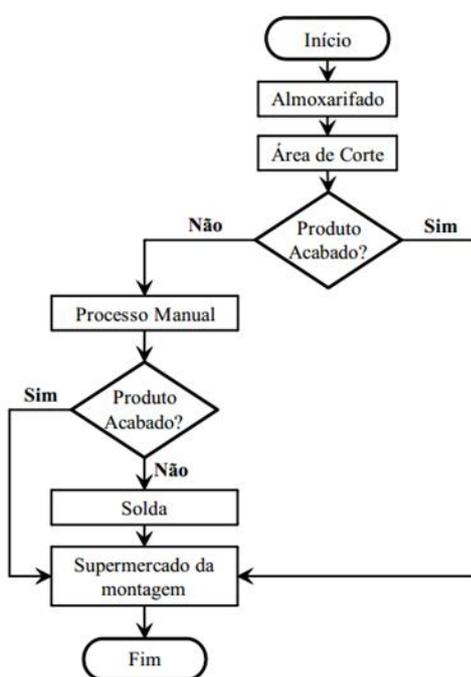


Figura 20 - Exemplo de Fluxograma do Processo. Fonte: Adaptado de Pinho et al. (2007)

Por outro lado, o mapa de processos (Quadro 6) utiliza uma simbologia diferente, sendo que o círculo representa a operação, a seta simboliza o transporte (permitindo que a distância seja relatada), o quadrado apresenta um processo de inspeção, o meio oblongo representa a espera e o triângulo o armazenamento. Estas informações são referentes à norma ASME (1947, apud PINHO et al., 2007) e estão exemplificadas no Quadro 6.

Quadro 6 - Simbologia do Mapa de Processos segundo a ASME – 1947

	<b>Operação</b>	Serrar, furar, varrer, pregar, digitar.
	<b>Transporte</b>	Manual, empilhadeira, carrinho de mão, mensageiro.
	<b>Inspeção</b>	Qualidade, quantidade, verificação, informação.
	<b>Espera</b>	Pessoas, manutenção, arquivamento, processamento.
	<b>Armazenamento</b>	A granel, produto acabado, documentos, informações.

Fonte: Pinho et al. (2007)

O mapa de processos realizados por Pinho et al. (2007) foi realizado na área de corte da indústria de manufatura e está representada no Quadro 7. Nesse caso, como houve transporte significativo, além do tempo do processo, foi inserida a distância percorrida.

Quadro 7 - Exemplo do Mapa de Processos. Fonte: Pinho et al. (2007)

DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES	OPERADOR	t (min)	D (m)	SÍMBOLO
• Operador solicita bobina	Alexandre	0,5		
• Abastecedor vai até o almoxarifado	Jaime	1	30	
• Abastecedor aguarda almoxarife pegar a bobina		1		
• Abastecedor transporta a bobina até a máquina	Jaime	1	30	
• Abastecedor instala a bobina na máquina	Jaime	0,2		
• Operador faz o SETUP da máquina	Alexandre	5		
• Operador executa a operação	Alexandre	0,2		
• Operador inspeciona amostra visualmente	Alexandre	0,5		
• Operador prepara o lote	Alexandre	10		
• Operador armazena o lote	Alexandre	1		
• Transportador transporta o lote até o supermercado	Borges	2	10	

Segundo Pinho et al. (2007), tanto o fluxograma quanto o mapa se mostram técnicas muito úteis para representar processos. Cada uma dessas técnicas apresenta características que as fazem mais apropriadas para determinada finalidade. Desta forma, o fluxograma consegue representar, em apenas um esquema, todos os processos envolvidos, sendo utilizado em simples atividades ou em macroprocessos. Porém, o fluxograma se mostra limitado com relação à descrição de detalhes (PINHO et al., 2007).

Já o mapa se mostra apropriado quando se faz necessário detalhar um processo. Nele fica a descrição de cada atividade que se é executada, permitindo a melhor compreensão dos processos de transporte, espera e inspeção. Porém, um limitante da técnica mapa de processos é a sua abrangência, pois nela não se consegue representar tomadas de decisão (PINHO et al., 2007).

Assim, neste trabalho, conforme as necessidades da pesquisa, ambas as técnicas de Mapeamento de Processos apresentadas foram utilizadas visando compreender global e detalhadamente as atividades mais pertinentes.

### **3.6 Modelagem Conceitual**

Uma vez que as instalações existentes, as rotinas, fluxos e procedimentos operacionais foram identificados, a modelagem conceitual tornou-se factível. Esta modelagem foi realizada em cinco módulos, sendo assim divididos: (1) entrada e saída de veículos, (2) *check-in*, (3) vistoria antissequestro, (4) sala de embarque e (5) área de recebimento de bagagens. O modelo conceitual de cada módulo é explicado detalhadamente no Capítulo 4.

### **3.7 Modelagem Computacional**

Para compilar o modelo conceitual tornou-se necessário escolher um entre os disponíveis *software* de simulação. Conforme apresentado no Capítulo 2, item 2.10, e seguindo o exemplo de Sakurada e Miyake (2009), optou-se pelo Arena versão 12.0. A razão para esta escolha veio de acordos contratuais existentes entre a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e distribuidora do *software* que permite esta instituição de ensino realizar estudos com a versão completa do sistema computacional.

A modelagem computacional deve corresponder com a modelagem conceitual, apenas havendo adaptações necessárias para a devida compilação do *software*. Ambas as modelagens ocorrem concomitantemente a fim de identificar falhas ou incompatibilidades entre o sistema real e o modelado (FEITOSA, 2000). Para que o modelo computacional seja representativo, como dito, ele deverá passar pelas verificações e validações necessárias (SARGENT, 2008).

### **3.8 Condições Impostas pelo Modelo**

O modelo proposto pela modelagem conceitual aplicado à modelagem computacional assumiu algumas condições de funcionamento do aeroporto:

- a) não houve restrição referente ao espaço aéreo do aeroporto, tanto para decolagens, quanto para aterrisagens das aeronaves;
- b) todos os tempos de processamentos e dados que não foram obtidos primariamente são oriundos de banco de dados das companhias aéreas ou da Infraero;

- c) a programação dos voos utilizada foi das sextas-feiras entre os meses de abril e setembro de 2014, entre as 19h e 21h.

### 3.9 Modelo de Decisão

Uma vez que o modelo foi concluído e validado, iniciou-se a etapa de simular os possíveis cenários impostos ao aeroporto modelado. Com isto, diferentes estratégias puderam ser criadas para o sistema, como por exemplo, adicionar um pórtico detector de metais (e aparelho de *raio-x*), ou dobrar o número de atendentes do balcão de *check-in*. Além destas estratégias, foi possível simular diferentes estados de demandas para o aeroporto com a finalidade de analisar seu comportamento, por exemplo, elevar o número de usuários em 10%, ou em 30%. A definição dos cenários simulados considerou a manifestação dos interesses da supervisão e da superintendência do aeroporto.

Para cada caso testado existiu um resultado de simulação, e a análise dos resultados foi realizada por meio da matriz de decisão. Uma matriz de decisão utiliza em suas linhas, as estratégias de simulação, e em suas colunas, os estados de demanda. Este padrão segue a metodologia utilizada por Starr (1978), que aplica a simbologia “*S*” para as diferentes estratégias, e a simbologia “*N*” para representar os diferentes estados da natureza. Segundo o mesmo autor é importante inserir todos os possíveis cenários (estratégias) que sejam relevantes, preferencialmente adicionando a probabilidade de ocorrência de cada um deles.

Para fins de contextualização cita-se como exemplo a própria obra de Starr (1978), que aplica a matriz de decisão na programação da produção (conhecido por *scheduling*). No referido estudo, a determinação do sequenciamento dos diferentes itens a serem produzidos em um centro de máquinas é considerado essencial, visto que, dependendo da sequência de produção o custo pode variar substancialmente. Do mesmo modo, é fundamental avaliar o tamanho do lote a ser produzido, a fim de reduzir os custos de produção.

Neste exemplo, Starr (1978) cita cinco possíveis padrões de demanda (*N*) e quatro diferentes estratégias de programar a produção (*S*), apresentados na Tabela 2. Ao contexto deste trabalho, entenda “*S*” como cenários propostos no aeroporto e “*N*” como as diferentes condições de demanda em que ele está submetido. Quando há interseção entre as duas variáveis da tabela, no caso de Starr (1978), é originado o custo de se produzir na programação proposta pela estratégia “*S*” na condição de demanda “*N*” (em US\$1.000 semanais), incluindo gastos com estoque, movimentação e preparação de máquinas. No contexto deste trabalho, entenda esta interseção como sendo o tempo médio de espera em

minutos, ou a utilização percentual de determinado recurso. A probabilidade de ocorrer cada padrão de demanda é apresentada como  $p_j$ .

Tabela 2 - Matriz de decisão sobre o custo (em US\$1.000) semanal para diferentes estratégias de programação

		Padrões de Demanda				
		$N1$	$N2$	$N3$	$N4$	$N5$
Estratégias	$p_j$	0,1	0,2	0,1	0,4	0,2
	$S1$	10	12	14	12	8
	$S2$	8	12	16	14	10
	$S3$	16	14	12	14	15
	$S4$	14	14	14	14	14

Fonte: Starr (1978)

Para gerar as probabilidades de ocorrer cada padrão ( $p_j$ ), conforme a tabela anterior, Starr (1978) usufruiu dos recursos estatísticos informando a utilização de 50 observações semanais, representados na Tabela 3.

Tabela 3 - Frequência de ocorrência de cada padrão de demanda ao longo de 50 semanas observadas

Pad. de Dem.	Freq. de Observ.	Probabilidade
$N1$	5	0,1
$N2$	10	0,2
$N3$	5	0,1
$N4$	20	0,4
$N5$	10	0,2
<i>Total</i>	50	1,0

Fonte: Starr (1978)

Como dito, ao trazer o exemplo para o aeroporto estudado, “ $N$ ” pode ser visto como os padrões de demanda analisados, e a “*probabilidade*” está associada à chance de cada demanda ocorrer. É importante possuir dados representativos e confiáveis para que a matriz seja corretamente examinada. Com o intuito de auxiliar na tomada de decisão é possível, por meio dos dados da Tabela 2, realizar o “*Cálculo para o Valor Esperado (VE)*”.

Starr (1978), em seu exemplo, calcula o *VE* por meio da multiplicação de cada probabilidade ( $p_j$ ) com o seu respectivo dado obtido na interseção da matriz ( $O_{ij}$ ), somando-os um a um até completar todas as probabilidades (100% ou 1,0). Para fins de nomenclaturas,  $i$  representa uma estratégia em particular usada e  $j$  corresponde a um dos estados naturais possíveis de ocorrer,  $O_{ij}$  (*outcomes*) significa as saídas e, sendo uma variável dependente, é função das variáveis independentes  $S_i$  e  $N_j$ . Assim sendo, para o mesmo exemplo anterior, Starr (1978) apresenta a Tabela 4.

Tabela 4 - Cálculo para o valor esperado (em US\$1.000 semanal)

$$VE = p_j O_{ij} + \dots + p_m O_{im}$$


---

$VE_1 = 1,0 + 2,4 + 1,4 + 4,8 + 1,6 =$	<b>11,2</b>
$VE_2 = 0,8 + 2,4 + 1,6 + 5,6 + 2,0 =$	<b>12,4</b>
$VE_3 = 1,6 + 2,8 + 1,2 + 5,6 + 3,0 =$	<b>14,2</b>
$VE_4 = 1,4 + 2,8 + 1,4 + 5,6 + 2,8 =$	<b>14,0</b>

Fonte: Starr (1978)

Com estes resultados é possível afirmar que, para o exemplo de Starr (1978), a primeira estratégia é a que oferece o menor custo total semanal, sendo mais propício para a tomada de decisão dos gestores. Por outro lado é possível também identificar que a quarta estratégia, embora apresente o valor de US\$14.000 de custo semanal, é a única que não varia ao longo dos mais distintos padrões de demanda, conforme apresentado anteriormente na Tabela 2 (mas não é possível determinar a razão para a qual isto ocorra). Portanto, a matriz de decisão atua como um seletor de cenários, auxiliando na ação a ser tomada pelo gestor.

É com analogia a este exemplo que foi possível identificar qual cenário simulado ofereceria melhor resultado para os gestores do aeroporto. A matriz de decisão apresentada por Starr (1978) também está presente na obra de Bekman e Costa Neto (2009), sendo fundamentada quantitativamente e utilizada, desde então, para várias tomadas de decisão.

### 3.10 Análise dos Dados

Para análise dos dados foi fundamental a presença de gestores do sistema estudado. Eles confirmaram a confiabilidade dos modelos e receberam as possíveis propostas de melhoria para os próximos períodos. Em conjunto com o pesquisador, os gestores puderam analisar os modelos e as propostas, expondo inclusive novos cenários para o aeroporto a fim de, posteriormente, enviá-las aos tomadores de decisão.

#### 4 CASO ESTUDADO

Segundo dados históricos disponibilizados pela Infraero (2014b), o aeroporto de Uberlândia foi fundado na década de 1930. As primeiras companhias aéreas a operar regularmente foram a Lóide Aéreo, a Real Aerovias, a Varig e a Vasp. A administração do aeroporto é de responsabilidade da Infraero desde 1980. O nome “*Tenente Coronel Aviador César Bombonato*” foi dado em 2001 em homenagem ao destacado aviador militar, natural de Uberlândia, falecido em acidente aéreo com uma aeronave AMX, da Força Aérea Brasileira, em 1998.

Em 2007 a área patrimonial do aeroporto foi ampliada em 310.000m<sup>2</sup> com a anexação da reserva da Prefeitura Municipal, passando para 2.173.000m<sup>2</sup> disponíveis em 2013, prevendo viabilidade técnica para ampliações futuras. Uma das propostas de ampliação do complexo envolve, além de um novo terminal de passageiros, a construção de um terminal de logística de cargas multimodal com integração rodoferroviária com desembarço aduaneiro, e ainda a possível construção de um parque tecnológico até a próxima década.

Os dados técnicos do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DCEA, 2013) apontam que o aeroporto está a 3.088 pés de altitude (aproximadamente 941m) e conta com uma pista de extensão útil de 1.950m (ampliada para 2.100m no final de 2013), e 45m de largura. A Figura 21 apresenta a dimensão da pista em escala com o tamanho da infraestrutura disponível, e destaca a localização do ambiente estudado, ou seja, a “Estação de Passageiros”.

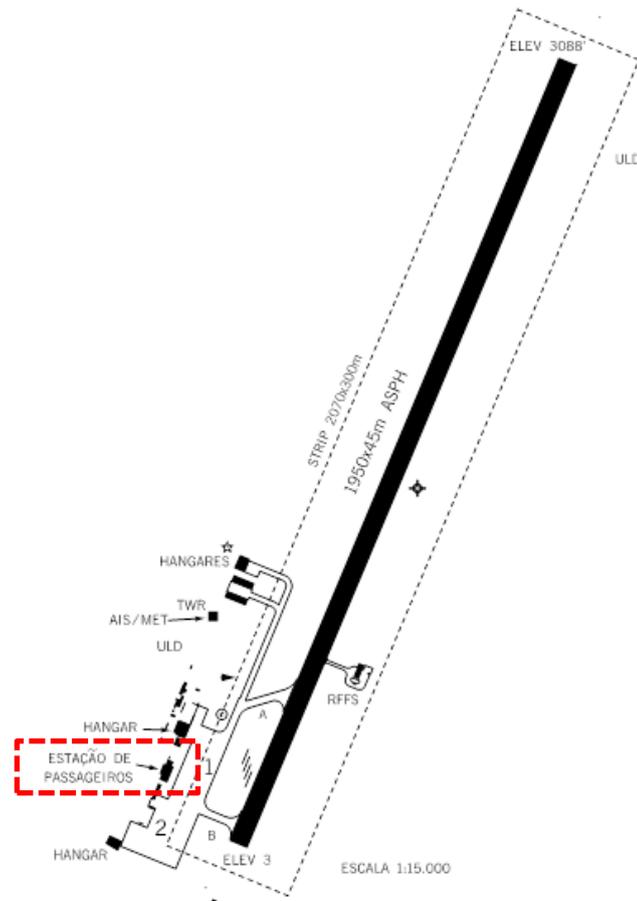


Figura 21 – Localização e dimensionamento da infraestrutura do aeroporto de Uberlândia. Fonte: DCEA (2013)

Segundo dados da Infraero (2014b), o terminal de passageiros do aeroporto de Uberlândia tem a capacidade para atender aproximadamente 2,4 milhões de passageiros por ano. Com a finalidade ilustrativa a Figura 22 apresenta a fotografia aérea da região do terminal aeroportuário.



Figura 22 – Foto aérea do terminal de passageiros do aeroporto de Uberlândia. Fonte: Infraero (2014b)

Para compreensão física do local estudado, a planta baixa do terminal de passageiros do aeroporto está apresentada na Figura 23, dando destaque também à área de embarque e desembarque de veículos e os portões de acesso ao aeroporto.

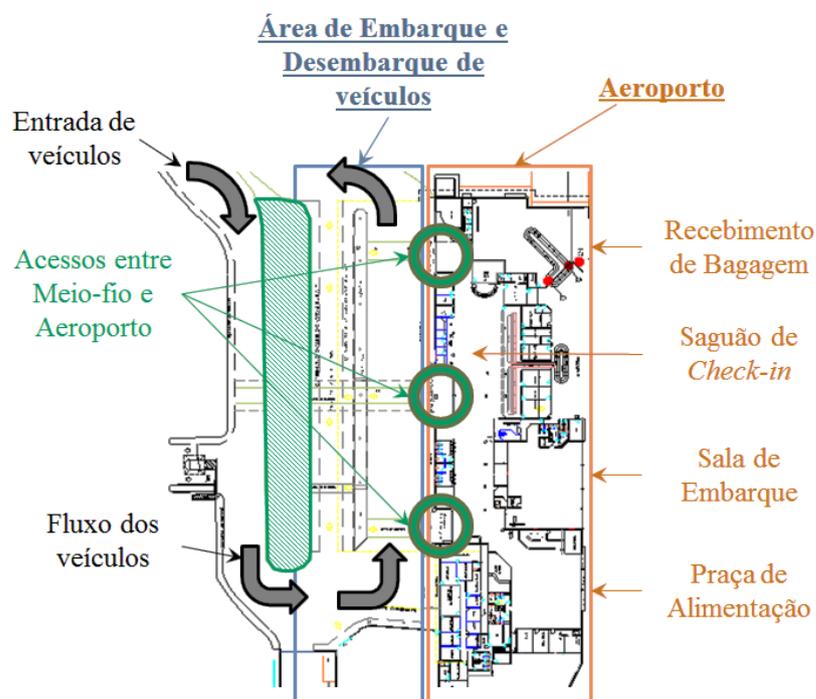


Figura 23 - Planta baixa do aeroporto de Uberlândia. Fonte: Adaptado da Infraero (2011)

Nesta imagem é possível identificar as áreas de entrada e saída de veículos (com ênfase para os acessos dos pedestres ao saguão), de *check-in*, sala de embarque e área de recebimento de bagagem. A vistoria antissequestro está localizada entre saguão de *check-in* e a sala de embarque.

O funcionamento e a simulação de cada uma destas regiões, embora estejam fisicamente interligadas, foram simuladas de maneira separada (módulos independentes) a fim de facilitar a coleta de dados sem comprometer o objetivo deste trabalho. Elas estão apresentadas nas seções seguintes, cujas subseções se adequam aos estudos de Law (2006), que, por sua vez, foram registrados neste trabalho no item 2.7, intitulado “Estudos de Simulação de Eventos Discretos”. Conforme Law (2006), o processo de simulação exige sete etapas: (1) formulação do problema, (2) coleta de dados e informações, (3) validação do modelo conceitual, (4) programação do modelo, (5) verificação do modelo computacional, (6) desenvolvimento, condução e análise dos experimentos, e (7) apresentação dos resultados.

## 4.1 Entrada e Saída de Veículos

### 4.1.1 Formulação do Problema

O subsistema de Entrada e Saída de Veículos (Acesso/Regresso) é composto por entidades que percorrem um dos trajetos até o meio-fio de embarque e desembarque de passageiros, localizado próximo à entrada/saída do saguão de passageiros. No aeroporto estudado existem dois trajetos a serem percorridos pelos veículos, e em ambos há possibilidade de embarque e desembarque de passageiros. Na simulação, o primeiro trajeto foi considerado como sendo aquele escolhido pela maioria dos motoristas, levando-os à primeira área de embarque e/ou desembarque, chamada de A1 (Área 1). O outro trajeto leva os motoristas à segunda área de embarque e/ou desembarque, chamada de A2 (Área 2). A Figura 24 representa as áreas A1 e A2

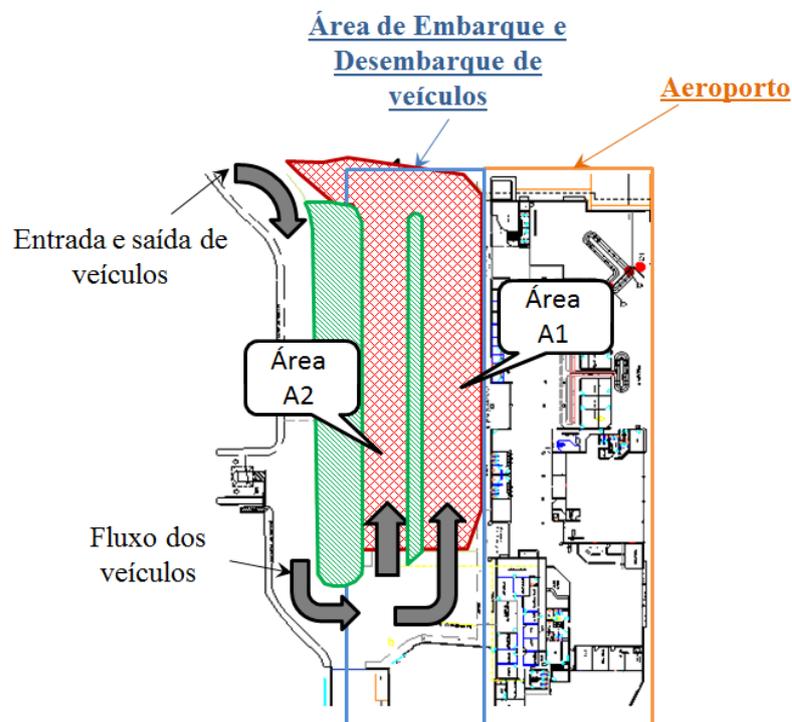


Figura 24 - Planta baixa do aeroporto, contendo as áreas para embarque e desembarque de veículos. Fonte: Adaptado da Infraero (2011)

Quando o veículo entra no subsistema, ele opta pela área de preferência (A1 ou A2) e, quando há disponibilidade de vagas, ocupa uma vaga dando início ao processo de embarque e/ou desembarque, que tem duração equivalente ao tempo de parada. Caso não haja vagas disponíveis, o veículo normalmente para de forma irregular, em paralelo às vagas ocupadas, iniciando o processo de embarque e/ou desembarque em local proibido.

Para estudar o subsistema foram necessárias duas variáveis principais. A primeira foi o intervalo entre as chegadas dos veículos no subsistema (distribuição de chegada), e a segunda foi o tempo médio de parada dos veículos. Adicionalmente foram necessários quatro parâmetros de capacidade: dois para o número de vagas automotivas de ambas as áreas, e outros dois para o número de veículos capazes de ocupar essas áreas irregularmente. Por último, foi necessário o percentual de veículos que optaram por utilizar a área A1 ou A2 em relação ao total de veículos. Os parâmetros inseridos no modelo estão apresentados no Quadro 8.

Quadro 8 - Parâmetros do modelo de Entrada e Saída de Veículos

Parâmetros	Descrição
<i>Vaga_certa_A1</i>	Número de vagas automotivas na área A1
<i>Vaga_certa_A2</i>	Número de vagas automotivas na área A2
<i>Vaga_errada_A1</i>	Número de veículos que cabem irregularmente em A1
<i>Vaga_errada_A2</i>	Número de veículos que cabem irregularmente em A2
<i>Separação</i>	Percentual de veículos que optam por utilizar a área A1
<i>IC_Veículo</i>	Intervalo entre as chegada dos veículos no subsistema
<i>Parada</i>	Tempo de parada dos veículos

Com a simulação foi possível identificar a utilização correta e incorreta das vagas ao longo do período. O fluxograma que representa a lógica do comportamento do veículo neste subsistema está apresentado na Figura 25.

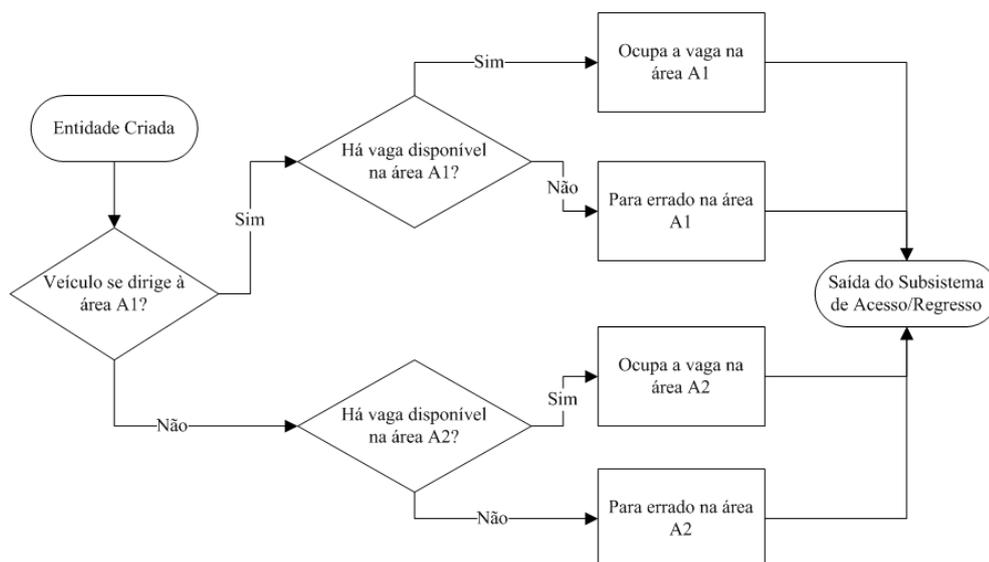


Figura 25 – Fluxograma do processo de Entrada e Saída dos Veículos Rodoviários

#### 4.1.2 Coleta de dados e informações

A área de entrada e saída de veículos (acesso/regresso ou embarque e/ou desembarque de veículos) é composta por, aproximadamente, 41 vagas automotivas (17 na área A1 e 24 na área A2). Ressalta-se que esse número de vagas foi considerado por meio da contagem do número máximo de veículos estacionados regularmente, e não no dimensionamento físico das vagas. Na calçada (meio-fio) de embarque e/ou desembarque existem quatro vagas exclusivas para táxis. A região conta com um posto avançado da Secretaria Municipal de Trânsito e Transportes que utiliza de seus agentes para controlar o fluxo de veículos no horário comercial (das 8h às 18h). Próximo à entrada da área A1 existem caixas eletrônicas de bancos, que também demandam vagas automotivas nos horários em que os dados foram coletados.

A metodologia de coleta de dados seguiu as premissas do método gráfico do fluxo acumulado (WIDMER, 1989). Este método foi utilizado pela característica dinâmica do subsistema, constatada pela elevada rotatividade de veículos.

Para isso, o fluxo dos veículos na área de embarque e/ou desembarque foi medido simultaneamente por três cronometristas, em três pontos distintos. Os pontos de contagem visaram os seguintes objetivos: identificar a distribuição de chegada de veículos ao subsistema; identificar a distribuição de início de “atendimento” dos veículos; e, identificar a distribuição de saída dos veículos. O posicionamento de cada cronometrista está apresentado na Figura 26, onde é perceptível duas zonas de análise, a primeira está entre a chegada e o início de atendimento (referente à fila), e a segunda entre o início de atendimento e a saída (referente ao atendimento).

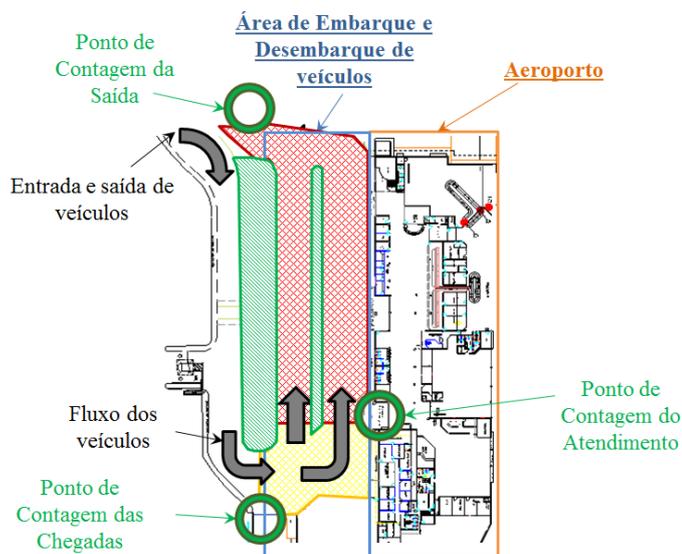


Figura 26 - Posicionamento dos cronometristas durante a coleta de dados do processo de embarque/desembarque de veículos

Para a coleta de dados, todos os cronometristas ajustaram seus relógios para marcarem o mesmo horário. Inicialmente, aqueles veículos presentes nas áreas de embarque e/ou desembarque foram contabilizados, sendo seis veículos que ainda não tinham iniciado atendimento e 30 veículos em atendimento. As 19h11min iniciou-se a contagem dos veículos que passavam pelos pontos em cada intervalo de tempo (fixado em três minutos). Todos os veículos que passaram por esses pontos foram analisados, incluindo táxis e vans, porém cada tipo de veículo foi devidamente diferenciado. Como resultado, obteve-se o gráfico de fluxo acumulado (Figura 27), sendo que a primeira curva representa as chegadas; a segunda, o início do atendimento; e a terceira, o final do atendimento.

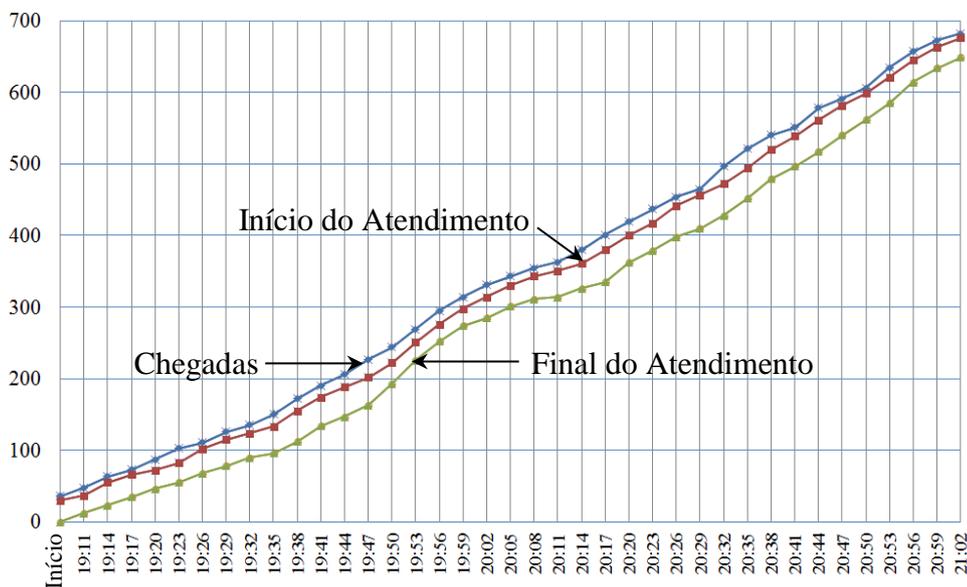


Figura 27 - Distribuição de chegada de veículos automotores no subsistema

A partir dos dados coletados, 682 veículos cruzaram o primeiro cronometrista entre as 19h11min e as 21h02min. Neste mesmo período, 676 veículos cruzaram o segundo cronometrista e 649 cruzaram o terceiro cronometrista. Às 21h02min todos os veículos presentes nas áreas de embarque e desembarque foram novamente contabilizados, totalizando 24 veículos. Foi constatado que aproximadamente 65% dos veículos (443 veículos) optaram por utilizar a área A1. Este percentual equivale ao parâmetro “Separação”, inserido no modelo.

O intervalo entre as chegadas (IC), em minutos, foi obtido dividindo o período de três minutos pelo número de veículos que chegaram nesse espaço de tempo. Tal cálculo, na verdade, é uma média do IC dos usuários que chegaram dentro do intervalo de três minutos. Os dados obtidos estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Médias dos Intervalos entre as Chegadas (IC) para cada intervalo tempo

<i>Horário</i>	<i>IC (min)</i>	<i>Horário</i>	<i>IC (min)</i>	<i>Horário</i>	<i>IC (min)</i>	<i>Horário</i>	<i>IC (min)</i>
19:11	0,25	19:41	0,17	20:11	0,38	20:41	0,27
19:14	0,20	19:44	0,19	20:14	0,18	20:44	0,11
19:17	0,30	19:47	0,14	20:17	0,14	20:47	0,23
19:20	0,21	19:50	0,18	20:20	0,17	20:50	0,20
19:23	0,19	19:53	0,12	20:23	0,17	20:53	0,10
19:26	0,38	19:56	0,12	20:26	0,18	20:56	0,14
19:29	0,20	19:59	0,16	20:29	0,27	20:59	0,19
19:32	0,33	20:02	0,18	20:32	0,09	21:02	0,33
19:35	0,20	20:05	0,25	20:35	0,13	<b>Média</b>	<b>0,20</b>
19:38	0,14	20:08	0,25	20:38	0,16	<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,07</b>

Distribuição: Erlang

Expressão:  $0.06 + \text{ERLA}(0.035, 4)$ 

Erro Quadrático: 0.003833

*P-Value* (K-S):  $> 0.15$ 

A distribuição dos intervalos entre chegadas foi identificada como Erlang por meio da ferramenta *Input Analyzer*, disponível no *software* Arena. O *Input Analyzer* realiza testes de aderência fornecendo as distribuições conhecidas que mais se adaptam aos dados inseridos. Dentre os testes destaca-se o método de *Kolmogorov-Smirnov* (K-S) que, segundo Costa Neto (2002), chega a ser mais poderoso que o  $\chi^2$  (*Chi Square Test*). O *p-value* do teste de aderência (K-S) não deve ser inferior que o nível de significância considerado, sendo que, na obra de Chwif e Medina (2007), acima de 0,1 é dito satisfatório. O erro quadrático, também conhecido como “quadrado da diferença”, de todas as distribuições testadas e o histograma dos dados coletados estão apresentados na Figura 28.

**Distribuição / Erro Quadrático**

Erlang	0.00383
Gamma	0.00424
Weibull	0.00801
Lognormal	0.00892
Normal	0.0149
Triangular	0.0162
Beta	0.0171
Uniform	0.0826
Exponential	0.116

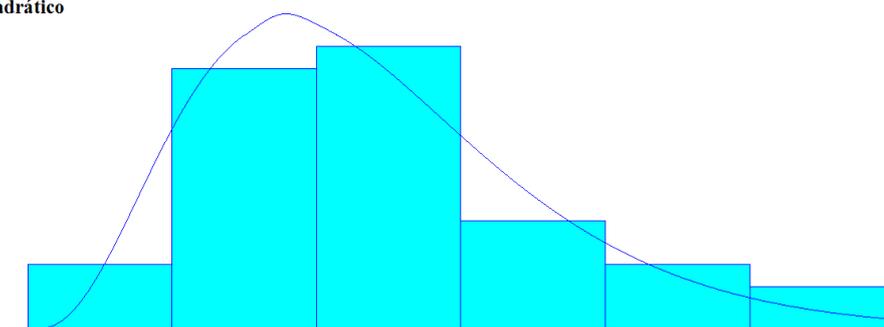


Figura 28 - Erro quadrático e histograma da distribuição dos intervalos entre as chegadas

Os tempos de parada foram obtidos, para cada veículo, por meio da diferença do tempo da curva de “início de atendimento” com a curva de “final de atendimento” do gráfico de fluxo acumulado (Figura 27). Aleatoriamente, foram selecionados 70 elementos amostrais de tempo de parada, dos quais alguns *outliers* foram identificados, sendo desconsiderado do universo amostral por influenciarem negativamente na representatividade do modelo. Utilizando a distribuição *t* de *Student* para 95% de confiança, o erro amostral identificado foi de 7%. A Tabela 6 apresenta os tempos de parada selecionados.

Tabela 6 - Tempo de parada dos veículos nas áreas A1 e A2

Tempo de Parada em Minutos (70 elementos amostrais)									
30° veículo:	7,5	115° veículo:	9,7	274° veículo:	3,3	379° veículo:	6,3	517° veículo:	6,5
35° veículo:	6,8	124° veículo:	7,5	276° veículo:	4,0	380° veículo:	6,2	520° veículo:	6,5
37° veículo:	6,1	133° veículo:	5,5	285° veículo:	4,7	398° veículo:	6,5	539° veículo:	5,8
46° veículo:	7,4	134° veículo:	5,7	298° veículo:	5,4	400° veículo:	6,5	540° veículo:	5,7
55° veículo:	9,2	147° veículo:	7,1	301° veículo:	5,3	410° veículo:	7,3	561° veículo:	5,7
56° veículo:	8,5	155° veículo:	7,5	311° veículo:	6,7	417° veículo:	7,0	562° veículo:	6,0
68° veículo:	8,5	163° veículo:	7,8	314° veículo:	9,0	428° veículo:	7,7	582° veículo:	5,4
72° veículo:	6,7	174° veículo:	6,9	326° veículo:	9,8	442° veículo:	7,6	585° veículo:	5,5
78° veículo:	7,4	188° veículo:	5,5	330° veículo:	10,1	452° veículo:	6,9	599° veículo:	4,5
82° veículo:	6,7	193° veículo:	5,3	335° veículo*:	11,2	457° veículo:	6,5	614° veículo:	4,0
90° veículo:	7,8	222° veículo*:	2,4	343° veículo:	9,7	472° veículo:	5,2	621° veículo:	4,0
96° veículo*:	9,8	226° veículo*:	2,6	351° veículo:	7,5	479° veículo:	5,0	634° veículo:	4,5
102° veículo*:	10,2	251° veículo*:	2,7	361° veículo:	5,5	494° veículo:	5,7	640° veículo:	4,4
112° veículo:	9,7	252° veículo*:	2,9	362° veículo:	6,0	497° veículo:	5,5	649° veículo:	4,7
Média (sem outlier):		6,53				* Valor Outlier			
Desvio Padrão (sem outlier):		1,58							
Distribuição: Normal									
Expressão: NORM (6.76, 1.42)									
Erro Quadrático: 0.02054									
P-Value (K-S): > 0.15									

A distribuição dos intervalos entre chegadas foi identificada como Normal por meio da mesma técnica apresentada anteriormente (*Input Analyzer*). O erro quadrático de todas as distribuições testadas e o histograma dos dados coletados estão apresentados na Figura 29.

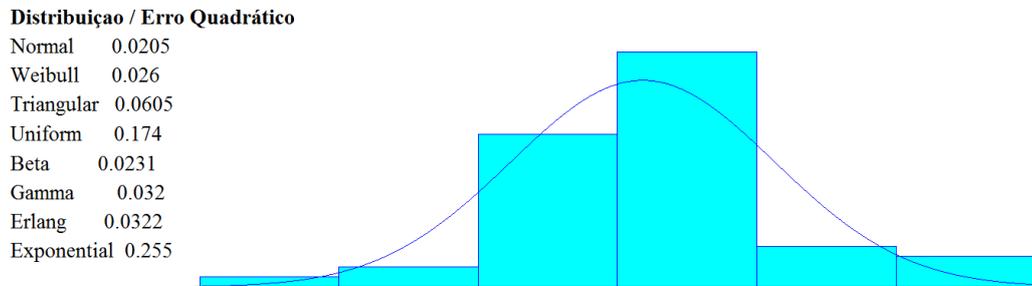


Figura 29 - Erro quadrático e histograma da distribuição dos tempos de parada dos veículos

Sendo assim, os parâmetros necessários para a simulação foram anotados, e posteriormente utilizados no *software*, conforme apresenta a Tabela 7.

Tabela 7 - Dados utilizados no simulador

Parâmetro	Atribuição
<i>Vaga_certa_A1</i>	17
<i>Vaga_certa_A2</i>	24
<i>Vaga_errada_A1</i>	9
<i>Vaga_errada_A2</i>	12
<i>Separação</i>	65%
<i>IC_veiculo</i>	Distribuição Erlang de expressão: [0.06 + ERLA(0.035, 4)]
<i>Parada</i>	Distribuição Normal de expressão: [NORM (6.76, 1.42)]

#### 4.1.3 Validação do Modelo Conceitual

A validação do modelo conceitual foi realizada por meio do método de “vestígios” (ou *traces*), apresentado por Sargent (2008). Para isso, o modelo conceitual foi construído no *software* Arena, ou seja, utilizando a lógica de fluxogramas, permitindo que o comportamento das diferentes entidades fosse acompanhado ao longo da simulação. Isso facilitou para que os erros na modelagem fossem identificados e corrigidos. Como conclusão

foi possível afirmar que o modelo conceitual desenvolvido é coerente com o comportamento do sistema real, e que o modelo foi representativo e aceitável para as propostas da simulação.

#### 4.1.4 Programação do Modelo

Conforme relatado, o modelo foi programado em linguagem do *software* Arena, cujo funcionamento da simulação é apresentado, a seguir, na Figura 30. A lógica da programação foi a mesma apresentada anteriormente no fluxograma da Figura 25. Os dados inseridos em cada módulo do *software* foram aqueles previamente apresentados na Tabela 7.

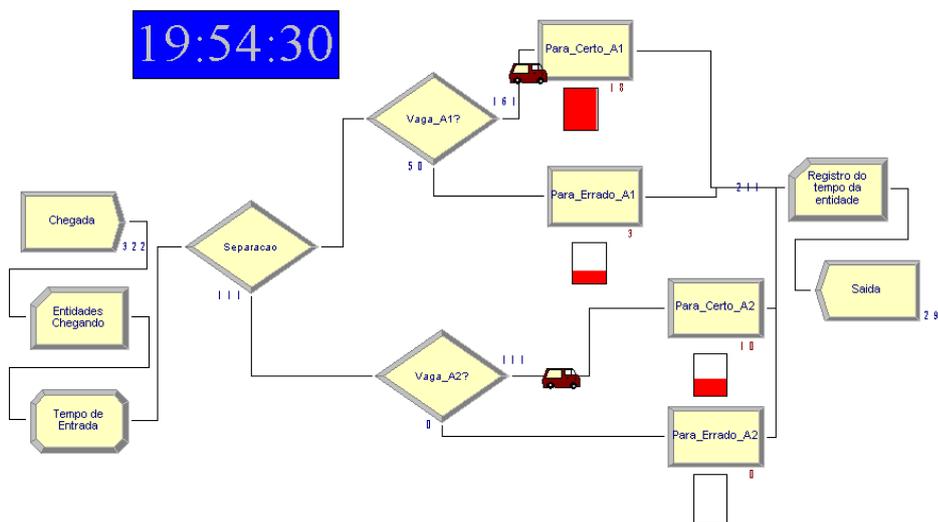


Figura 30 - Representação do *software* em funcionamento para o subsistema de embarque e desembarque de veículos

#### 4.1.5 Verificação do Modelo

A verificação do modelo computacional foi realizada por meio de duas abordagens: teste estático e teste dinâmico. Os testes seguiram as premissas apresentadas por Sargent (2008). No teste estático, a programação do modelo foi analisada para determinar se as construções dos módulos de simulação estavam corretas (conectores, programação e estrutura). No teste dinâmico, a simulação foi efetuada sob diferentes condições, tendo seus resultados observados durante a execução.

Para o teste dinâmico, além do método de “vestígios” (*traces*), foram utilizadas as verificações gráficas e face-a-face. A primeira foi realizada por meio da comparação da animação gráfica do modelo com o comportamento dinâmico do sistema real. Quanto à segunda, a simulação foi apresentada ao superintendente do aeroporto e aos representantes operacionais da Infraero, que validaram a sua confiabilidade. Por último, foi feita uma análise

de sensibilidade em que os parâmetros referidos no Quadro 8 (apresentado na página 53) foram alterados para avaliar o comportamento do subsistema simulado. Os resultados obtidos por meio da verificação entre o modelo computacional e conceitual foram considerados satisfatórios.

#### 4.1.6 Desenvolvimento, condução e análise dos experimentos

Para a condução dos experimentos, foram realizadas 10 réplicas de 130 minutos cada (10 minutos de aquecimento). As 10 réplicas foram aplicadas como padrão para todos os subsistemas estudados em observância à equação (7), apresentada por Freitas Filho (2008):

$$r^* = r \times \left(\frac{e}{e^*}\right)^2 \quad (7)$$

Sendo que:

- $r^*$  é a nova estimativa para  $r$ ;
- $r$  é o número de replicações já realizadas;
- $e$  é a semi-amplitude do intervalo de confiança já obtido;
- $e^*$  é a semi-amplitude do intervalo de confiança desejado.

Como resultado da simulação do sistema original foi possível obter a Figura 31, que apresenta a utilização média das vagas certas e erradas de ambas as áreas (conforme a coluna “Average”) pelos veículos ao longo da simulação.

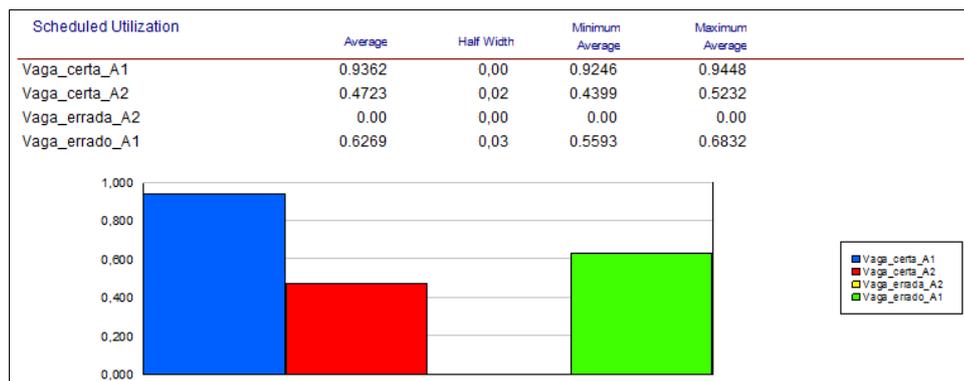


Figura 31 - Utilização das vagas de veículos automotores ao longo da simulação. Fonte: Relatório fornecido pelo software Arena.

Por meio dessa figura constatou-se (na coluna “Average”) que as vagas na área A1 foram utilizadas em 93,6% do tempo, contra 47,2% de utilização da área A2. Esse comportamento é justificável, visto que a área A1 está mais próxima dos portões de acesso do aeroporto. Os espaços considerados impróprios para realizar o processo de embarque e/ou

desembarque na área A1 estavam sendo indevidamente utilizados para tal fim ao longo de 62,7% do tempo. Isso significa que, em média, 113 veículos realizaram embarque e/ou desembarque em local proibido no período analisado.

Durante a análise das informações coletadas em campo e após os resultados da simulação original, foram selecionadas algumas particularidades que afetam o comportamento do sistema. Estes fatores influenciaram nos resultados obtidos, e estão no Quadro 9.

Quadro 9- Particularidades que afetam o comportamento do sistema

<b>Particularidades encontradas que afetam o comportamento do sistema</b>	<b>Detalhamento</b>
Elevado tempo de parada dos veículos.	A média de 6,5 minutos de tempo de parada é muito elevada. Vários motoristas não utilizam as áreas de embarque e desembarque como local de parada, mas sim, como estacionamento. Em muitos casos, o motorista chega a se ausentar do veículo. A fiscalização de trânsito poderia inibir esse comportamento.
Concentração usuários na área A1.	A área A2 é subutilizada, o que eleva a utilização da área A1. Motivar o uso da área A2 melhorando sua infraestrutura poderia evitar esse comportamento.
Saída de veículos de serviços do aeroporto fica próximo à entrada da área A2.	Veículos de carga e abastecimento cruzam ocasionalmente o subsistema com intuito de ter acesso ao portão de serviços do aeroporto, o que gera congestionamento momentâneo. Um portão de serviços distante do subsistema de acesso/regresso dos usuários poderia melhorar a fluidez do tráfego.
Saída do estacionamento privativo obriga o motorista a passar pelas áreas A1 ou A2	Existem veículos que apenas querem sair do estacionamento privativo e deixar o subsistema aeroportuário. Porém, são obrigados a utilizarem, desnecessariamente, espaço nas áreas A1 e A2. O ideal seria que a saída do estacionamento privativo fosse direcionada para o ambiente externo do subsistema de acesso/regresso.
Autoatendimento bancário pode ser considerado um polo gerador de tráfego. Ele eleva a demanda de vagas por não usuários do aeroporto.	Os caixas eletrônicos dos bancos se encontram logo na entrada da área A1. Isso faz com que não usuários do aeroporto (moradores da região) demandem o subsistema aeroportuário.

Analisadas as particularidades do subsistema estudado, foram simulados três cenários, em três padrões de demanda distintos. Os cenários foram escolhidos considerando as possibilidades de melhorias para o aeroporto.

O primeiro cenário simulou a construção de 5 novas vagas automotivas na área A1. Isso corresponde a 30% de aumento das vagas.

O segundo considerou a presença de um guarda de trânsito no local com a finalidade de inibir os motoristas de estacionarem<sup>6</sup> o veículo em local de parada para embarque e/ou desembarque<sup>7</sup>. Com isso, na simulação, o tempo de parada foi reduzido em 30% para cada elemento amostral coletado.

O terceiro cenário foi uma proposta da gerência do aeroporto em acrescentar uma via de acesso ao subsistema. Dessa forma, considerou-se que as áreas A1 e A2 não fossem passagem obrigatória para a saída dos veículos. Isso reduziria o fluxo de veículos, principalmente daqueles que utilizaram o estacionamento privativo. Com isso, na simulação, o intervalo entre as chegadas foi elevado em 30%.

Os três padrões de demanda foram escolhidos considerando a demanda atual, a previsão para 2015 e a previsão para 2020. Quanto ao padrão de demanda atual (N1), utilizou-se no *software*, a distribuição gerada dos tempos entre as chegadas apresentada na Tabela 5 (distribuição Erlang). Quanto aos demais padrões de demanda, cada um dos tempos entre as chegadas da Tabela 5 sofreu reduções de 10% e 30%, respectivamente para N2 e N3. Essas reduções geraram duas novas distribuições que foram ajustadas à Erlang e utilizadas nas simulações.

As reduções de 10% e 30% nos tempos entre as chegadas correspondem, respectivamente, aos aumentos de 11% e 43% na demanda dos passageiros previstos (previsão média) pelo IAC (2005) para 2015 e 2020, sempre em comparação com os dados de 2013 (INFRAERO, 2014a). Os dados utilizados para os cálculos foram apresentados anteriormente na Figura 2 (constado na página 3) e na Tabela 1 (constado na página 30). A Tabela 8 apresenta um resumo desses padrões de demandas e cenários. Ressalta-se que cada um dos três padrões de demanda foi simulado com cada um dos três cenários, totalizando nove simulações.

---

<sup>6</sup> Segundo Brasil (1997), estacionamento é a "imobilização de veículos por tempo superior ao necessário para embarque ou desembarque de passageiros".

<sup>7</sup> Segundo Brasil (1997), parada é a "imobilização do veículo com a finalidade e pelo tempo estritamente necessário para efetuar embarque ou desembarque de passageiros".

Tabela 8 - Padrões de demanda utilizados (A) e cenários simulados (B)

(A) Padrões de Demanda	(B) Cenários
N1: demanda atual	S1: aumento das vagas automotivas na A1 em 30%
N2: redução de 10% no intervalo entre as chegadas (previsão média para 2015)	S2: redução do tempo de parada em 30%
N3: redução de 30% no intervalo entre as chegadas (previsão média aproximada para 2020)	S3: mudança no <i>layout</i> da área de embarque e desembarque de veículos, aumentando o intervalo entre as chegadas em 30%.

#### 4.1.7 Apresentação dos resultados

Para identificação do melhor cenário foram consideradas as variáveis que apresentaram a utilização das vagas impróprias para o embarque e desembarque em ambas as áreas (*Vaga\_errada\_A1* e *Vaga\_errada\_A2*). Quanto menor a utilização destas áreas, melhor o cenário proposto. Para fins de análise, considerou-se a média dos valores obtidos, supondo que os diferentes padrões de demanda têm a mesma probabilidade de ocorrer. Os Resultados da simulação de todos os cenários estão na Tabela 9.

Tabela 9 - Matriz de decisão apresentando o período de utilização das vagas irregulares considerando para cálculo do valor esperado (VE), 1/3 de probabilidade de ocorrer cada padrão de demanda

	<i>N1</i>	<i>N2</i>	<i>N3</i>	<b>MÉDIA (VE)</b>
<b><i>S1</i></b>	24,79%	79,62%	94,65%	<b>66,35%</b>
<b><i>S2</i></b>	7,37%	14,47%	50,74%	<b>24,19%</b>
<b><i>S3</i></b>	19,15%	29,13%	62,92%	<b>37,07%</b>

*Valor de Referência: 62,69% de utilização das vagas erradas na área A1 (conforme Figura 31)*

Como resultado da simulação, considerando a demanda atual (N1), o aumento de 30% das vagas automotivas (cenário S1) reduziu 38 pontos percentuais na utilização das vagas impróprias para embarque e/ou desembarque (de 62,69% para 24,79%). No entanto, esse não foi o melhor resultado da simulação.

Ainda considerando a demanda atual (N1), o melhor resultado da simulação foi a redução do tempo de parada dos veículos automotores em 30% (cenário S2). Essa atitude, na simulação, reduziu de 55 pontos percentuais na utilização das vagas impróprias para embarque e/ou desembarque (de 62,69% para 7,37%). Na hipótese da gerência do aeroporto adotar o segundo cenário seria necessário que um fiscal de trânsito ficasse disponível no local durante todo o período analisado, prevenindo que os veículos estacionassem em local onde deveria ocorrer a parada para embarque e/ou desembarque.

O cenário S3 foi proposto pela gerência do aeroporto, e proporcionou, considerando o padrão de demanda atual (N1), a redução de 44 pontos percentuais na utilização irregular da área de embarque e/ou desembarque (de 62,69% para 19,15%). Assim, verificou-se que o cenário S2 foi aquele que apresentou o melhor resultado da simulação, seguido pelo cenário S3. O cenário S1 não se mostrou eficiente do ponto de vista do usuário, ou seja, centrar esforços em ampliações físicas e redimensionamento das vagas não seria uma alternativa apropriada.

Além do padrão de demanda atual (N1), cada cenário foi analisado considerando a redução no intervalo entre as chegadas em 10% (N2) e em 30% (N3), o que pode auxiliar no planejamento para o futuro. Como conclusão, recomenda-se que, para melhor relação custo-benefício, seja inserido um fiscal de trânsito no local (S2). Caso o aeroporto queira melhores resultados, a associação de dois desses cenários (por exemplo, S2 e S3) seria uma boa sugestão.

## 4.2 Check-in

### 4.2.1 Formulação do Problema

A área de *check-in* é o local onde os passageiros se apresentam à companhia aérea. Ela é ocupada pelos usuários que estão sendo atendidos ou aguardando em fila para o atendimento no guichê de embarque. A atividade do operador do *check-in* (atendente) consiste, basicamente, na identificação do passageiro, conferência de seus dados pelo sistema, a sua confirmação no voo (matrícula), pesagem e despacho de bagagens de porão e a emissão do cartão de embarque. A Figura 32 ilustra o posicionamento dos subsistemas no aeroporto de Uberlândia dando destaque à área de *check-in* (letra “C”), e aos balcões de atendimento (letra “D”).

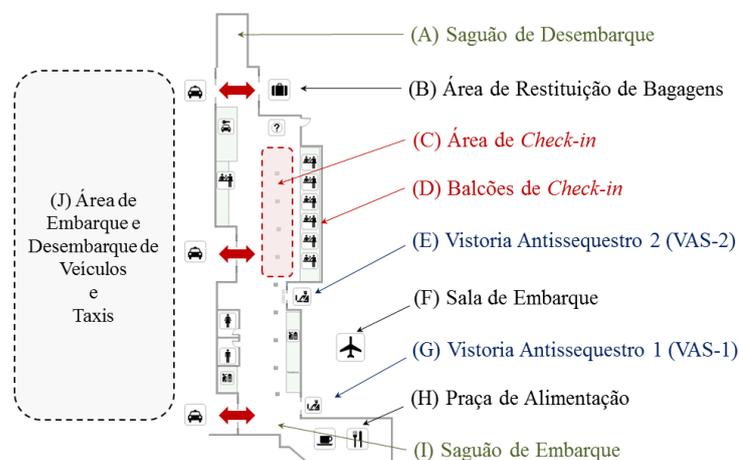


Figura 32 - Detalhamento dos subsistemas do aeroporto de Uberlândia.

Os parâmetros fundamentais do subsistema de *check-in* estão associados à distribuição de chegada e ao tempo de atendimento dos passageiros. Na simulação, a chegada dos passageiros foi associada à chegada de acompanhantes. Os acompanhantes (tais como amigos ou familiares dos passageiros) não foram atendidos no *check-in*, mas foram contabilizados na entrada da fila. Nesse sentido, Feitosa (2000) utilizou a diferenciação entre “*acompanhante*” e “*passageiro*” por meio de atributos, em que o termo “*passageiro*” está associado às pessoas que irão embarcar no voo, e o termo “*acompanhante*” está associado às pessoas que não irão para as aeronaves. Como todos são contabilizados na fila, mas nem todos são atendidos, utilizou-se o atributo *Tipo*, assumindo os valores do Quadro 10.

Quadro 10 - Atributo das Entidades de Embarque

Atributo das Entidades	Descrição
<i>Tipo 1</i>	Passageiro
<i>Tipo 2</i>	Acompanhante

Fonte: Adaptado de Feitosa (2000)

Na simulação, para cada pessoa que chegou ao balcão de *check-in*, o atributo “*Tipo*” foi analisado pelo modelo. Quando o atributo *Tipo* teve o valor 2 verificado, o tempo de atendimento foi nulo. Com isto, as entidades que possuíam o *Tipo 2* apenas utilizaram fisicamente do espaço da fila do *check-in*. A Figura 33 apresenta o fluxograma desse processo.

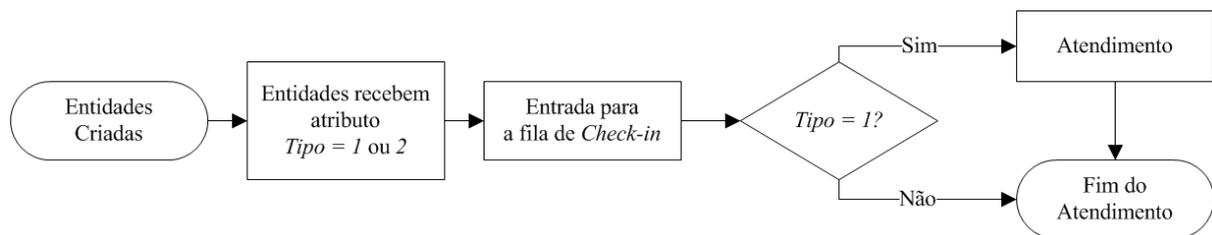


Figura 33 - Fluxograma do processo de *check-in*

Ressalta-se que a fila foi considerada, para o modelo utilizado, de regime FIFO (*First In First Out*), ou seja, o primeiro que entrou foi o primeiro a ser atendido. Vale citar que os atendimentos preferenciais foram excluídos desta simulação por ocorrerem em rara frequência no momento estudado (perfil executivo dos passageiros).

O tempo total de processamento pelo atendente é variável e depende de muitos fatores tais como: da antecedência em que o *check-in* é aberto, comparado ao Horário Previsto de Partida do Voo (HPP); do ritmo de chegada dos passageiros; da experiência do atendente; da experiência do usuário; do motivo da viagem (negócio ou turismo); da quantidade de

bilhetes por pessoa atendida; e, do destino (internacional com conexão, ou nacional). Dependendo do número de pessoas na fila um novo balcão de atendimento pode ser aberto, interferindo no volume de passageiros processados por unidade de tempo.

Segundo Feitosa (2000), caso o tempo de atendimento seja considerado atípico, sua anotação é de extrema importância para posterior análise dos resultados. São exemplos deste atendimento quando ocorrem problemas internos na área de *check-in* que desviam a atenção dos atendentes ou quando o passageiro leva um tempo excessivo para apresentar sua documentação.

Foi observado que o número de atendentes trabalhando nos balcões de *check-in* variou ao longo do período. Portanto utilizou-se o parâmetro *n\_atendentes* para registrar tal ocorrência. O Quadro 11 apresenta um resumo das variáveis do modelo.

Quadro 11 - Parâmetros do modelo para o *check-in*

Parâmetros	Descrição
<i>IC_check</i>	Intervalo entre as chegadas dos passageiros à fila de <i>check-in</i>
<i>Atendimento</i>	Tempo de atendimento dos passageiros
<i>Acompanhantes</i>	Taxa de acompanhantes
<i>n_atendentes</i>	Número de atendentes no balcão
<i>HPP</i>	Horário Previsto de Partida do voo

#### 4.2.2 Coleta de dados e informações

No aeroporto de Uberlândia existem 20 balcões de atendimento, dos quais 19 estão ativos: 6 são da GOL, 2 são da Passaredo, 6 são da Azul e outros 4 são da TAM. A GOL, a Azul e a TAM tinham na época da coleta de dados, previsão de voos concentrados entre as 20h30min e as 21h, enquanto a Passaredo não possuía voos que demandavam os subsistemas. Isso fez com que a Passaredo fosse desconsiderada no presente estudo.

A GOL opera com aeronaves de capacidade para 144 passageiros (*Boing 737-700*), a Azul para 68 (*Turboélice*) e a TAM para 144 passageiros (*Airbus 319*). No período de coleta de dados, em média, 124 passageiros embarcaram pela GOL, 132 pela TAM, 63 pela Azul no voo 2447 e 32 pela Azul no voo 2446.

O perfil dos usuários do aeroporto no horário estudado é executivo, ou seja, de poucos acompanhantes. Foi perceptível uma leve tendência de mais acompanhantes nos voos da Azul (entre 1,2 e 1,3 acompanhantes por voo) em comparação aos voos da GOL e da TAM (aproximadamente 1,1 acompanhantes por voo). Esta taxa é uma média, visto que, uma ou

duas vezes por voo, grupos de 3 a 5 pessoas acompanham apenas um passageiro, mas em contrapartida, a grande maioria dos passageiros não recebe acompanhante. Como resumo dos dados inseridos no modelo, tem-se a Tabela 10.

Tabela 10 - Dados dos voos analisados

<i>n° do Voo</i>	<i>Cia. Aérea</i>	<i>Horário Previsto</i>	<i>Destino</i>	<i>Passageiros</i>	<i>Taxa de Acompanhantes</i>
1499	GOL	20:30	Belo Horizonte	124	1,1
2447	Azul	20:40	Belo Horizonte	63	1,2
3245	TAM	20:45	São Paulo	132	1,1
2446	Azul	20:49	Goiânia	32	1,3

O gráfico acumulado das chegadas dos usuários aos balcões de *check-in* foram obtidos para todas as empresas e coletados em períodos fixos de três minutos (Figura 34). Ressalta-se que às 19h, horário de início da coleta de dados, todas as companhias já estavam com seus *check-ins* abertos, sendo que algumas delas já haviam efetuado o atendimento de determinados passageiros. O intuito foi verificar o comportamento do sistema apenas no horário crítico, e não no número de passageiros embarcados. As 20h27, todos os voos estudados já estavam com o *check-in* encerrado.

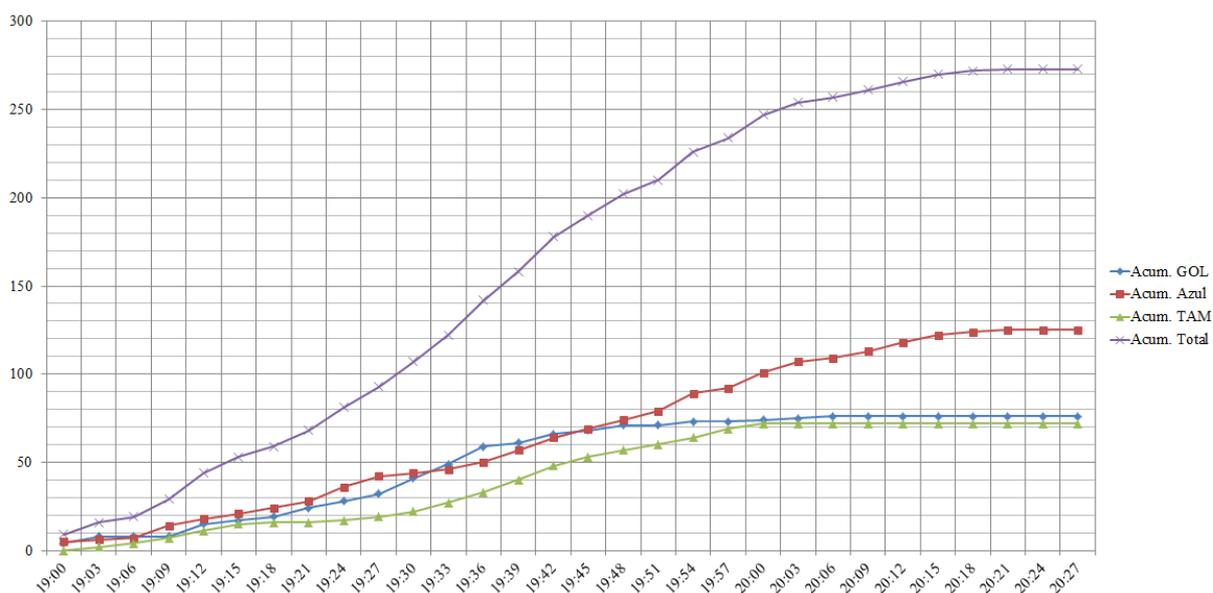


Figura 34 - Distribuição de chegada dos passageiros aos *check-ins* das três companhias aéreas

A partir dos dados coletados, 273 passageiros entraram nas filas dos *check-ins* no período compreendido entre as 19h e 20h24min. O intervalo entre as chegadas dos passageiros, em minutos, foi obtido por meio da divisão do período de coleta de cada dado (3 minutos) pelo número de passageiros que chegou à fila. A Tabela 11 apresenta os intervalos

entre as chegadas dos passageiros nos balcões de cada companhia aérea, considerando a média dos espaços de tempo analisados.

Tabela 11 - Médias dos intervalos entre as chegadas (em minutos) para cada período de 3 minutos

<i>Horário</i>	<i>GOL</i>	<i>AZUL</i>	<i>TAM</i>
19:00	0,75	0,60	-
19:03	0,75	3,00*	1,50
19:06	-	3,00*	1,50
19:09	-	0,43	1,00
19:12	0,43	0,75	0,75
19:15	1,50	1,00	0,75
19:18	1,50	1,00	3,00*
19:21	0,60	0,75	-
19:24	0,75	0,38	3,00*
19:27	0,75	0,50	1,50
19:30	0,33	1,50	1,00
19:33	0,38	1,50	0,60
19:36	0,30	0,75	0,50
19:39	1,50	0,43	0,43
19:42	0,60	0,43	0,38
19:45	1,50	0,60	0,60
19:48	1,00	0,60	0,75
19:51	-	0,60	1,00
19:54	1,50	0,30	0,75
19:57	-	1,00	0,60
20:00	3,00*	0,33	1,00
20:03	3,00*	0,50	-
20:06	3,00*	1,50	-
20:09	-	0,75	-
20:12	-	0,60	-
20:15	-	0,75	-
20:18	-	1,50	-
20:21	-	3,00*	-
Média (sem outlier*)	0,88	0,76	0,86
Distribuição	Lognormal	Lognormal	Lognormal
Expressão	0.18+LOGN(0.735, 0.676)	0.18+ LOGN(0.588, 0.433)	0.26+LOGN(0.613, 0.453)
Erro Quadrático	0.096128	0.036920	0.028425
<i>P-Value</i> (K-S)	> 0.15	> 0.15	> 0.15

As distribuições dos Intervalos entre chegadas (IC) foram obtidas por meio da ferramenta *Input Analyzer*. Os *outliers*, tendo em vista o longo período entre o intervalo de anotação dos dados (3 minutos), foram desconsiderados por interferirem negativamente no comportamento da simulação. Inicialmente, a distribuição do IC da empresa GOL foi

identificada como Beta, enquanto as distribuições da AZUL e da TAM foram identificadas como Lognormal. Porém, para todas elas padronizou-se a utilização da Lognormal, que, em cada situação, apresentou um aceitável valor de *p-value* do teste de aderência (K-S). Na Figura 35 é possível visualizar os erros quadráticos e o histograma das distribuições, com suas respectivas aproximações.

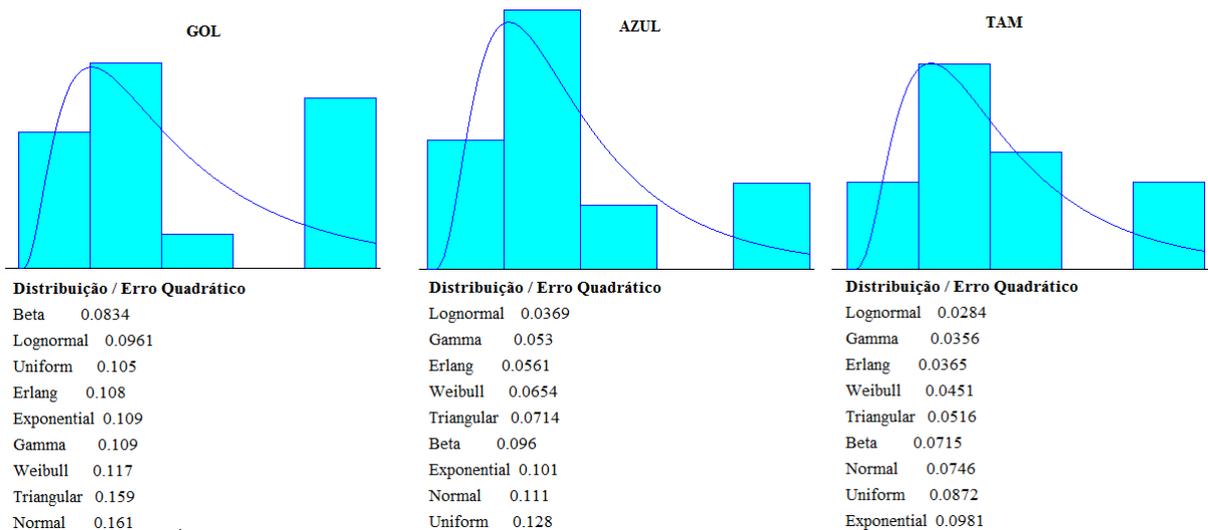


Figura 35 - Erro quadrático e histograma das distribuições dos intervalos entre chegadas dos passageiros aos *check-ins* das empresas aéreas

Destaca-se que os histogramas foram automaticamente divididos em cinco intervalos, porém em um dos intervalos não houve ocorrência de eventos. Isto ocorreu pela incompatibilidade do período fixo de três minutos aos pontos do histograma, fazendo que o intervalo correspondente a “1.33” minutos não fosse possível para nenhum dado. Em outras palavras, se chegassem 2 ou 3 passageiros no intervalo de 3 minutos, o intervalo entre chegadas seria respectivamente “1.50” minutos ou “1.00” minuto, não havendo nenhum dado possível correspondente ao “1.33” do histograma. Para melhor visualização dessas informações, o sumário gerado para os dados da GOL e da TAM estão, respectivamente, apresentados na Figura 36.

GOL							TAM						
Int. No.	No. of Data Pts.	x	Probability Density		Cumulative Distribution		Int. No.	No. of Data Pts.	x	Probability Density		Cumulative Distribution	
			Data	Function	Data	Function				Data	Function	Data	Function
0	4	0.468	0.250	0.336	0.250	0.336	0	3	0.532	0.176	0.365	0.176	0.365
1	6	0.756	0.375	0.223	0.625	0.559	1	7	0.804	0.412	0.232	0.588	0.597
2	1	1.04	0.0625	0.148	0.688	0.707	2	4	1.08	0.235	0.147	0.824	0.744
3	0	1.33	0.000	0.0984	0.688	0.806	3	0	1.35	0.000	0.0935	0.824	0.837
4	5	1.62	0.313	0.0653	1.00	0.871	4	3	1.62	0.176	0.0594	1.00	0.897

Figura 36 – Sumário dos dados gerados pelo simulador (referente ao Histograma – *check-in* GOL e TAM)

Os tempos de atendimento dos passageiros nos balcões de *check-in* foram obtidos por meio de amostragem. Foram coletadas três amostras, uma para cada companhia aérea, contendo 35 elementos amostrais para os atendimentos da GOL, 32 para os da Azul, e 32 para os da TAM. Foram observados dois *outliers* tanto para a GOL quanto para a Azul, e apenas um para a TAM. Os *outliers* não foram eliminados, pois a variabilidade apresentada foi inerente ao processo de atendimento e representativo ao longo das observações.

Ressalta-se que há casos em que duas pessoas, a partir da fila, se direcionaram conjuntamente a um único balcão de *check-in* entregando os dois bilhetes ao mesmo tempo. Nesta situação, o tempo de atendimento é o individual, ou seja, o tempo total dividido pelo número de indivíduos. Os dados estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Tempo de atendimento dos *check-ins* (em minutos)

	GOL		AZUL		TAM	
	2,4	2,9	2,8	1,0	2,1	1,2
	0,8	1,1	2,7	0,4	1,0	1,9
	2,1	0,6	1,6	1,9	2,7	2,1
	2,6	3,1	2,1	6,1	2,9	3,5
	0,9	2,9	1,9	4,1	0,9	3,8
	1,1	3,5	2,4	1,7	1,0	2,6
	0,7	7,3*	3,0	0,4	1,3	3,2
	1,1	1,7	1,0	0,4	0,9	1,9
	2,7	1,8	0,5	0,4	2,2	2,1
	1,8	2,5	3,0	1,5	1,6	2,0
	1,9	1,9	2,8	1,4	2,3	1,6
	1,1	2,9	3,7	1,7	4,1*	2,1
	1,0	2,2	8,2*	8,3*	1,8	1,9
	1,9	5,8*	1,5	1,5	0,9	1,2
	0,7	4,3	1,7		1,7	
	1,7	2,1	2,0		0,9	
	1,0	0,7	2,5		2,1	
	2,7		2,9		0,6	
Média (c/ <i>outliers</i> *)	2,15		2,41		1,94	
Distribuição	Erlang		Gama		Beta	
Expressão	ERLA(0.719, 3)		GAMM(1.29, 1.87)		0.25 + 4.2 * BETA(1.79, 2.66)	
Erro Quadrático	0.020561		0.009280		0.006816	
<i>P-Value</i> (K-S)	> 0.15		> 0.15		> 0.15	

As distribuições dos tempos de atendimento foram obtidas por meio da ferramenta *Input Analyzer*. Os *p-value* dos testes de aderência (K-S) apresentaram resultados

satisfatórios. Os erros quadráticos e os histogramas das distribuições estão mostrados na Figura 37.

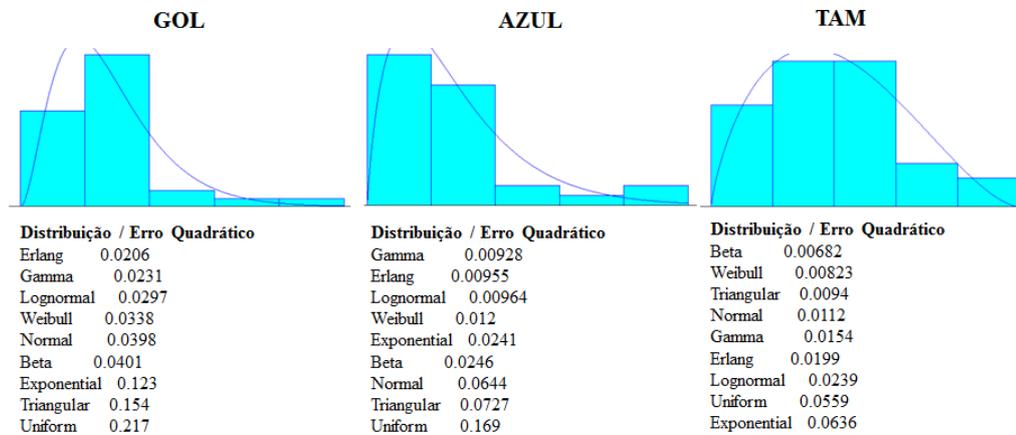


Figura 37 - Erro quadrático e histograma das distribuições dos tempos de atendimento dos *check-ins*

Quanto ao número de atendentes no balcão, os dados foram obtidos por meio de observações pontuais a cada 15 minutos (Tabela 13). Destaca-se que há possibilidade de ocorrer variação no número de atendentes de cada companhia aérea. Isso porque, em certos momentos, um ou outro atendente pode ter deixado o balcão de atendimento temporariamente para alguma finalidade.

Tabela 13 - Número de atendentes nos balcões de *check-in*

<i>Horário</i>	<i>GOL</i>	<i>AZUL</i>	<i>TAM</i>
19h15	2	5	2
19h30	2	5	2
19h45	2	5	2
20h00	3	3	2
20h15	1	1	3
20h30	1	1	1

Ao longo da coleta de dados, identificou-se que, por se tratar de passageiros com perfil executivo, a operação de *check-in* foi relativamente tranquila e sem muitas filas. A característica deste usuário é diferenciada das demais, pois tais passageiros não possuem muitos acompanhantes, levam pouca ou nenhuma bagagem para ser despachada e normalmente apresentam-se no aeroporto com o *check-in* previamente efetuado. Estes fatores contribuem para um bom funcionamento do subsistema.

#### 4.2.3 Validação do Modelo Conceitual

A validação do modelo conceitual foi realizada por meio do método de “vestígios” (ou *traces*). Segundo Sargent (2008), esse método consiste em acompanhar o comportamento das diferentes entidades do modelo durante a simulação, a fim de identificar possíveis erros de modelagem. Como conclusão, foi possível afirmar que o modelo conceitual confere com o sistema real tornando-o aceitável para as propostas da simulação.

#### 4.2.4 Programação do Modelo

O modelo foi programado a partir das premissas da lógica apresentada anteriormente na Figura 33. A simulação foi realizada individualmente para cada companhia aérea por meio do *software* Arena. A Figura 38 apresenta, de forma exemplificativa, o funcionamento da simulação para o *check-in* da GOL.

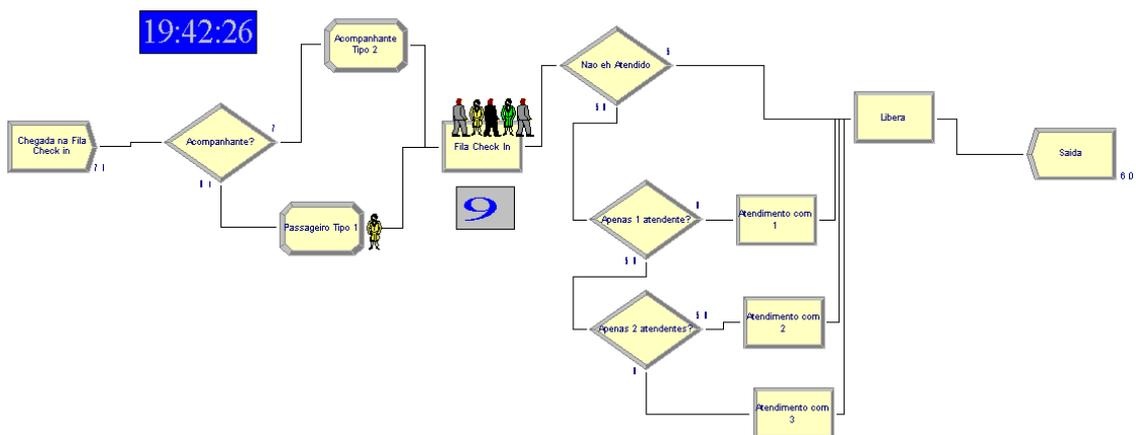


Figura 38 - Representação do *software* em funcionamento simulando o *check-in* da GOL

#### 4.2.5 Verificação do Modelo

A verificação do modelo computacional foi realizada por meio das mesmas abordagens apresentadas para o subsistema de entrada e saída de veículos, ou seja, testes estáticos e dinâmicos. Adicionalmente foi realizada a verificação gráfica face-a-face e a análise de sensibilidade. Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios.

#### 4.2.6 Desenvolvimento, condução e análise dos experimentos

Para condução dos experimentos foram realizadas 10 réplicas de 120 minutos cada (10 minutos de aquecimento). O resultado da simulação do sistema real (Tabela 14) apresentou que a GOL teve, nesse período, o maior tempo médio de fila, enquanto a Azul o maior tempo máximo de fila.

Tabela 14 - Resultado da simulação do sistema real de *check-in*

	GOL	Azul	TAM
Tempo médio de fila (min)	4,72	0,60	2,13
Tempo máximo de fila (min)	18,07	20,67	7,82
Nº máximo de usuários na fila	21	7	10

Durante a análise dos dados foram encontradas três alternativas factíveis para redução do tempo de fila: a redução no número de passageiros atendidos no *check-in* (S1), o aumento do número de atendentes no balcão (S2), e a redução no tempo de atendimento do passageiro (S3). Para efetivar o primeiro cenário seria recomendável incentivar o passageiro a não utilizar o balcão de *check-in*, por meio da disponibilização de *totens* eletrônicos e incentivos aos *check-ins* antecipados (*online*), inclusive evitando o despacho de bagagens. A segunda alternativa seria elevar o número de funcionários nos momentos críticos. A terceira seria melhorar as práticas dos atendentes a fim de proporcionar um atendimento mais rápido ao cliente.

Para simulação do primeiro cenário (S1), reduziu-se em 20% o número de passageiros que chegou à fila a cada intervalo de 3 minutos. Com isso, obteve-se uma nova distribuição para o intervalo entre as chegadas, que foi utilizada no *software* de simulação para os IC dos passageiros ao *check-in*.

Para a simulação do segundo cenário (S2), analisou-se o período crítico do atendimento, ou seja, o momento em que se observou o maior número de passageiros na fila. No caso da GOL, um atendente foi inserido entre as 19h15min e as 19h45min, fazendo que três funcionários atendessem neste período. Quanto à Azul, um atendente foi adicionado entre as 20h e 20h15min, ou seja, dois atendentes estavam nos balcões neste intervalo. Para a TAM, um atendente foi inserido entre as 19h45min e as 20h, fazendo que três funcionários atendessem nesse período.

Para a simulação do terceiro cenário (S3) todos os tempos de atendimento coletados sofreram redução de 20%, gerando uma nova distribuição do tempo de atendimento que foi utilizada no *software* de simulação. O intuito da modelagem foi verificar qual cenário proporcionaria a maior redução no tempo de fila. Para esta simulação, bem como todas as simulações que exigiram a análise específica por companhia aérea, não foram consideradas elevações na demanda (diferentes padrões de demanda), mas apenas a demanda atual (N1). Isto porque há limitação na lotação máxima dos voos e a criação de novos voos exige uma análise complexa tanto para programá-los em determinados horários, quanto para determinar a quantidade de passageiros. A Tabela 15 apresenta um resumo dos três cenários simulados.

Tabela 15 - Cenários simulados para os *check-ins* das companhias aéreas

S1: redução de 20% dos passageiros atendidos no <i>check-in</i>
S2: aumento em um atendente no período de maior fila
S3: redução de 20% em todos os tempos de atendimento coletados

#### 4.2.7 Apresentação dos Resultados

Cada empresa aérea mostrou resultados diferentes, sendo necessário apresentá-los de forma separada. Para a GOL, a matriz de decisão com o resultado da simulação está na Tabela 16.

Tabela 16 - Matriz de decisão para o *check-in* da GOL (considerando a demanda atual)

GOL	S1	S2	S3
Tempo médio de fila (min)	2,07	3,06	1,28
Tempo máximo de fila (min)	12,79	14,44	6,32
Nº máximo de usuários na fila	13	17	9

A análise desses resultados permitiu concluir que a redução de 20% no tempo de atendimento de todos os seus passageiros reduziria em mais de 70% o tempo médio de espera na fila (1,28 contra 4,72 minutos). Concluiu-se também que reduzir em 20% a demanda pelo *check-in* seria melhor que acrescentar um atendente ao longo de 30 minutos no horário crítico (entre as 19h15min as 19h45min). A melhor decisão para redução do tempo médio de filas da GOL seria investir na velocidade de atendimento dos *check-ins*. Caso isso não seja possível, sugere-se investir em tecnologia e em incentivos para o *check-in* virtual.

Os resultados da simulação do *check-in* da Azul estão na Tabela 17.

Tabela 17 - Matriz de decisão para o *check-in* da Azul (considerando a demanda atual)

AZUL	S1	S2	S3
Tempo médio de fila (min)	0,46	0,43	0,19
Tempo máximo de fila (min)	23,26	13,32	8,40
Nº máximo de usuários na fila	8	7	5

A partir da análise desses resultados concluiu-se que o maior problema do *check-in* da Azul não é o tempo médio de fila, mas sim o tempo máximo de fila. Isto ocorreu devido ao elevado número de acompanhantes e à distribuição de chegada dos passageiros, que os acumulam em determinados horários (vale lembrar que a Azul possui dois voos consecutivos de partida). Essa característica, de um lado, fez com que a redução de 20% no número de passageiros atendidos tivesse gerado a redução de aproximadamente 23% no tempo médio de fila (0,46 contra 0,60 minutos). Por outro lado, elevou o tamanho da fila (de 7 para 8 passageiros) bem como o tempo máximo de fila (de 20 para 23 minutos).

Diferente dos resultados obtidos para a GOL, o investimento em um funcionário extra para o atendimento no horário crítico dos passageiros da Azul, seria melhor que o investimento em tecnologias e incentivos para *check-in online*. Porém, tal como as demais companhias aéreas, a melhor alternativa encontrada para reduzir o tempo médio de filas da Azul seria aumentar a velocidade do atendimento aos usuários. Com a redução de 20% no tempo de atendimento de todos os passageiros, na simulação, foi possível reduzir o tempo médio de fila em quase 70% (0,19 contra 0,60 minutos).

Os resultados da simulação do *check-in* da TAM estão na Tabela 18.

Tabela 18 - Matriz de decisão para o *check-in* da TAM (considerando a demanda atual)

TAM	S1	S2	S3
Tempo médio de fila (min)	1,01	1,42	0,85
Tempo máximo de fila (min)	6,42	6,88	5,12
Nº máximo de usuários na fila	9	8	9

A análise dos dados para a TAM permitiu concluir que a redução de 20% no tempo de atendimento de todos os seus passageiros reduziria em aproximadamente 60% o

tempo médio de espera na fila (0,85 contra 2,13 minutos). Concluiu-se também que reduzir em 20% a demanda pelo *check-in* seria melhor que acrescentar um atendente ao longo de 15 minutos no horário crítico (entre as 19h45min e 20h). A melhor decisão para redução do tempo médio de filas da TAM seria investir na velocidade de atendimento dos *check-ins*. Outra boa alternativa avaliada por meio da simulação seria investir em tecnologia e em incentivos para o *check-in online*. Essa alternativa, quando comparada à disponibilização de um funcionário extra, foi a melhor indicada para reduzir o tempo médio de atendimento.

De modo geral, treinar os funcionários ou buscar métodos de tornar o *check-in* mais ágil é a forma mais eficiente de reduzir o tempo de espera na fila. Para a GOL e a TAM, investir em tecnologias também é uma boa solução.

### **4.3 Vistoria Antissequestro**

#### *4.3.1 Formulação do Problema*

Após a abertura da sala de embarque para determinado voo, o passageiro se direciona para a área de vistoria, onde é submetido ao procedimento de “inspeção de segurança da aviação civil contra atos de interferência ilícita”, aqui tratado como Vistoria Antissequestro (VAS). Neste subsistema o usuário apresenta o cartão de embarque, tem o seu bilhete de passagem verificado, e sofre vistoria quanto à presença de objetos ilícitos ou perigosos, inclusive, quando for o caso, em suas bagagens de mão. O objetivo da inspeção dos passageiros e seus pertences é prevenir que armas, explosivos, agentes químicos, biológicos, radioativos, nucleares ou substâncias e materiais proibidos, sejam introduzidos, sem autorização, às áreas restritas de segurança. No Brasil, o procedimento é regulamentado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2011), e conduzido sob responsabilidade do Agente de Proteção da Aviação Civil (APAC).

A obtenção da distribuição de chegada de usuários à VAS ocorreu analogamente ao processo de *check-in*, com apenas duas adequações. A primeira foi que, na VAS, o período de coleta de dados foi fracionado em intervalos fixos de dois minutos. A segunda foi a inexistência do atributo “*acompanhantes*”, indivíduo raramente observado no subsistema.

O subsistema da VAS é composto por vários equipamentos, dos quais se destacam o aparelho de *raio-x* (utilizado para avaliação dos pertences de mão), o pórtilco de detecção de metais (por onde o passageiro deve transpassar), alarme audiovisual e o detector

manual de metal, também conhecido como raquetes (para uma possível inspeção manual). Durante a vistoria, o passageiro detentor de pertences de mão ou objetos a serem reconhecidos devem, obrigatoriamente, procedê-los ao equipamento de *raio-x*. Posteriormente o usuário transpassa o pórtico detector de metais para ser inspecionado.

A vistoria detalhada (ou inspeção manual) ocorre quando o passageiro transpassa o pórtico detector de metais portando elementos metálicos em volume maior do que aquele estabelecido pelo aeroporto, causando o disparo do alarme. Nesse momento o usuário é abordado pelo segurança (APAC) e convidado a se deslocar até o local de vistoria detalhada, levando mais tempo para ser vistoriado. Há casos específicos em que a inspeção manual não é suficiente para identificar, com segurança, o objeto causador do disparo do alarme, nessa situação o passageiro é submetido à busca pessoal em um local reservado. Identificado o objeto causador do disparo, o passageiro retorna ao pórtico, sendo novamente submetido para garantir que o objeto metálico foi descoberto. A Figura 39 apresenta o fluxograma simplificado do processo de vistoria.

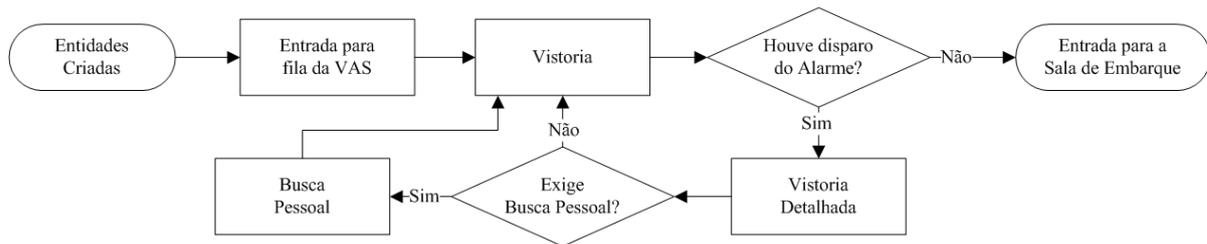


Figura 39 - Fluxograma simplificado do processo da VAS

Como a inspeção manual demanda muito tempo, seria um possível gargalo do subsistema. Para tanto, o procedimento de vistoria detalhada, que exige inspeção manual, foi estudado por meio de mapa de processo, apresentado na Figura 40, com o intuito de identificar o comportamento dos usuários e dos funcionários durante a operação.

CÓDIGO	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES	SÍMBOLO
1.0	Passageiro se desloca até a fila para a sala de embarque	○ → □ ▽
2.0	Passageiro aguarda na fila	○ → ● □ ▽
3.0	Passageiro tem seu bilhete de passagem verificado	● → □ ▽
4.0	Passageiro aguarda ser chamado para a vistoria	○ → ● □ ▽
5.0	Passageiro retira seus pertences e os coloca na bandeja do <i>raio-x</i>	● → □ ▽
6.0	Passageiro transpassa o pórtico detector de metais	○ → □ ▽
7.0	Alarme do pórtico é disparado	○ → □ ▽
7.1	Segurança intervém o passageiro após constatação de irregularidades	● → □ ▽
7.2	Passageiro e segurança se deslocam até a área de vistoria detalhada	○ → □ ▽
7.3	Vistoria detalhada (manual) é realizada	○ → □ ▽
7.4	Passageiro retorna à área de vistoria (próximo ao <i>raio-x</i> )	○ → □ ▽
7.5	Passageiro transpassa novamente o pórtico detector de metais	○ → □ ▽
8.0	Passageiro retira seus pertences da bandeja do <i>raio-x</i>	● → □ ▽

Figura 40 - Mapa do Processo de VAS e Vistoria Detalhada

#### 4.3.2 Coleta de dados e Informações

No aeroporto de Uberlândia existem duas áreas de vistoria antissequestro, a primeira (Vistoria Antissequestro 1 – VAS-1) é aberta aos passageiros, e a segunda (Vistoria Antissequestro 2 – VAS-2) é “exclusiva” para a tripulação e funcionários do aeroporto. Em momentos críticos em que a demanda para a vistoria é muito grande, uma enorme fila é criada em frente à VAS-1, forçando a Infraero a utilizar a VAS-2 também para processamento dos passageiros. Isto ocorre ao longo de, aproximadamente, meia hora (em média entre as 19h56min e as 20h24min) no intervalo de tempo estudado, podendo variar conforme atrasos de voos. A intenção, neste caso, é evitar que o funcionamento de um único módulo de vistoria adie a entrada dos usuários para a sala de embarque.

Passados os momentos críticos de demanda de passageiros, a VAS-2 volta a ser exclusiva para a tripulação e funcionários do aeroporto. A Figura 41 representa detalhadamente a sala de embarque, possibilitando localizar a VAS-1 (letra “j”), VAS-2 (letra “b”) e o local onde ocorre a vistoria detalhada (letra “c”). Destaca-se que há significativa distância geográfica entre ambas as VAS.

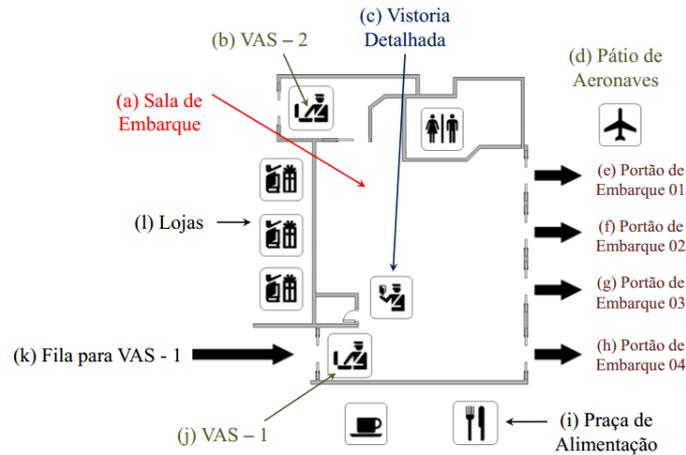


Figura 41 - Detalhamento da Sala de Embarque e das VASs.

Para a coleta de dados, os cronometristas ficaram localizados em uma região do saguão onde foi possível visualizar a distribuição de chegada dos usuários nas filas da VAS-1 e VAS-2. As informações observadas durante a coleta de dados estão apresentadas no Quadro 12.

Quadro 12 - Parâmetros do módulo de VAS

Parâmetros	Descrição
$IC_{VAS}$	Intervalo de chegada dos passageiros no subsistema
$Vistoria (VAS)$	Tempo de Vistoria dos passageiros
$Vistoria Detalhada (VD)$	Tempo de Vistoria Detalhada dos Passageiros
$Busca Pessoal (BP)$	Tempo de Busca Pessoal dos Passageiros
$p(VD)$	Probabilidade de ocorrer a Vistoria Detalhada
$p(BP)$	Probabilidade de ocorrer a Busca Pessoal
$p(VAS-1)$	Percentual de passageiros que escolhem VAS-1 quando VAS-2 estiver aberta

Para identificar o intervalo de chegada dos usuários desse subsistema, os cronometristas contabilizaram o número de passageiros que entravam nas filas da VAS-1 e VAS-2 ao longo de intervalos fixos de dois minutos. A contagem se iniciou às 19h, momento em que apenas a VAS-1 estava aberta. Entre as 19h56 e as 20h24 a VAS-2 ficou liberada para os passageiros. A coleta dos dados finalizou as 20h42min, quando não havia número significativos de entrantes. Para a construção do gráfico acumulado de chegada dos usuários (Figura 42) foi utilizado o somatório daqueles que ingressaram nas filas de ambas as VASs. Ressalta-se que, normalmente, o número de passageiros que entra na sala de embarque é maior que o número de passageiros que utiliza o balcão de *check-in*, visto que há passageiros que realizam *check-ins* por outros modos (*online*, por exemplo) e não despacham bagagens.

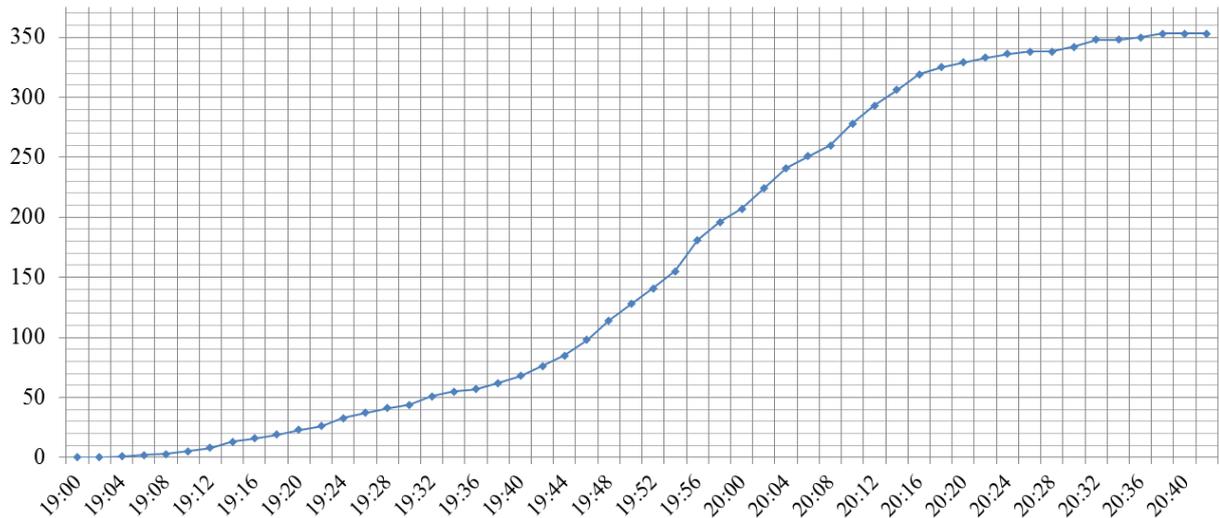


Figura 42 - Distribuição acumulada das chegadas dos passageiros à fila da VAS

A partir dos dados coletados, 353 usuários cruzaram os pórticos detectores de metais entre as 19h e 20h42min. O intervalo entre as chegadas (IC), em minutos, foi obtido dividindo o período de dois minutos pelo número de passageiros que chegou à fila nesse espaço de tempo. Tal cálculo é uma média do IC dos usuários que chegaram dentro do intervalo de dois minutos. Os dados obtidos estão na Tabela 19.

Tabela 19 - Médias dos Intervalos entre Chegadas (IC) para cada intervalo de tempo (VAS)

Horário	IC (min)	Horário	IC (min)	Horário	IC (min)	Horário	IC (min)
19:00	-	19:28	0,50	19:56	0,08	20:24	0,67
19:02	-	19:30	0,67	19:58	0,13	20:26	1,00
19:04	2,00*	19:32	0,29	20:00	0,18	20:28	-
19:06	2,00*	19:34	0,50	20:02	0,12	20:30	0,50
19:08	2,00*	19:36	1,00	20:04	0,12	20:32	0,33
19:10	1,00	19:38	0,40	20:06	0,20	20:34	-
19:12	0,67	19:40	0,33	20:08	0,22	20:36	1,00
19:14	0,40	19:42	0,25	20:10	0,11	20:38	0,67
19:16	0,67	19:44	0,22	20:12	0,13	20:40	-
19:18	0,67	19:46	0,15	20:14	0,15	<b>Média (s/ outlier*)</b>	<b>0,40</b>
19:20	0,50	19:48	0,13	20:16	0,15	<b>Desvio</b>	<b>0,27</b>
19:22	0,67	19:50	0,14	20:18	0,33	(*) valor outlier	
19:24	0,29	19:52	0,15	20:20	0,50	(-) não houve chegada	
19:26	0,50	19:54	0,14	20:22	0,50		

Distribuição: Exponencial

Expressão: EXPO (0.403)

Erro Quadrático: 0.016077

*P-Value* (K-S): < 0.15

*P-Value* ( $\chi^2$ ): >0.15

A distribuição dos intervalos entre as chegadas foi identificada como Exponencial por meio da ferramenta *Input Analyzer*. O erro quadrático de todas as distribuições testadas e o histograma dos dados coletados estão na Figura 43.

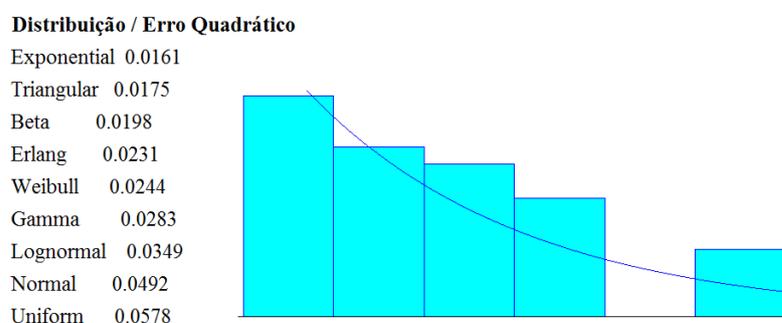


Figura 43 - Erro quadrático e histograma da distribuição dos intervalos entre as chegadas à VAS (aprox. à Exponencial)

Embora o teste de aderência  $\chi^2$  (*Chi Square Test*) tenha indicado significância satisfatória, o teste de aderência K-S apresentou um *p-value* inferior a 0,15. Com isto simulação foi testada por meio dos dados inseridos. Após a análise dos resultados constatou-se representatividade do modelo, permitindo o uso da distribuição exponencial para a simulação proposta.

Um dos motivos para a discrepância entre os *p-values* pode ter sido a incompatibilidade do intervalo de tempo utilizado (2 minutos), com o alcance das séries do histograma gerado. Essa incompatibilidade fez com que o intervalo do histograma correspondente a “0.834” minutos não tivesse nenhum dado, visto que, se chegassem 2 ou 3 passageiros no intervalo de 2 minutos, o intervalo entre chegadas seria respectivamente “1.000” minuto ou “0.667” minutos, não havendo nenhum possível dado correspondente ao “0.834” do histograma. Vale lembrar que no método de *Kolmogorov-Smirnov* a variável de teste é a maior diferença observada entre a função de distribuição acumulada do modelo e da amostra, enquanto que no  $\chi^2$  as variáveis estão associadas ao número de elementos da amostra e às frequências observada e esperada (COSTA NETO, 2002). A Figura 44 fornece os dados do histograma previamente apresentados na figura anterior (Figura 43).

Int. No.	No. of Data Pts.	x	Probability Density		Cumulative Distribution	
			Data	Function	Data	Function
0	13	0.167	0.302	0.339	0.302	0.339
1	10	0.334	0.233	0.224	0.535	0.563
2	9	0.500	0.209	0.148	0.744	0.711
3	7	0.667	0.163	0.0979	0.907	0.809
4	0	0.834	0.000	0.0647	0.907	0.874
5	4	1.00	0.0930	0.0428	1.00	0.917

Figura 44 - Sumário dos dados gerados pelo simulador (referente ao histograma - VAS)

Os tempos de vistoria foram obtidos por meio de amostragem aleatória. Foram cronometrados 133 elementos amostrais, dos quais a média foi de 0,36 minutos, com desvio padrão de 0,14 minutos. Ressalta-se que essa amostra considerou apenas os usuários que não foram submetidos à vistoria detalhada.

O elevado desvio padrão foi oriundo daqueles indivíduos mais lentos que demandaram muito tempo para removerem seus pertences, dentre eles, sapatos, joias e cintos. Destaca-se que sete passageiros necessitaram de mais que o dobro do tempo da média para serem vistoriados fazendo com que a variabilidade apresentada tenha sido consequência do comportamento da população. Com isso, foram identificados nove *outliers*, que não foram descartados. Utilizando a distribuição *t* de *Student* para 95% de confiança, o erro amostral identificado foi de 7%. A Tabela 20 apresenta os dados coletados em minutos.

Tabela 20 - Tempo de processamento dos passageiros na VAS (em minuto)

1	0,35	18	0,25	35	0,33	52	0,37	69	0,28	86	0,33	103	0,22	120	0,28
2	0,25	19	0,35	36	0,27	53	0,25	*70	0,83	87	0,35	104	0,28	121	0,28
3	0,28	20	0,37	37	0,48	54	0,32	71	0,42	88	0,28	105	0,18	122	0,37
4	0,58	21	0,35	38	0,40	55	0,32	72	0,30	89	0,38	106	0,22	123	0,37
5	0,18	22	0,38	39	0,28	56	0,50	*73	0,75	*90	0,87	107	0,25	124	0,20
6	0,48	23	0,32	40	0,48	57	0,25	*74	0,75	91	0,22	108	0,25	125	0,28
7	0,52	24	0,33	41	0,33	58	0,25	75	0,28	92	0,25	109	0,33	126	0,30
8	0,38	25	0,33	42	0,33	59	0,48	76	0,37	93	0,28	110	0,27	127	0,40
9	0,35	26	0,20	43	0,42	60	0,33	77	0,33	94	0,42	111	0,28	128	0,22
10	0,43	27	0,28	44	0,47	*61	0,83	78	0,35	95	0,50	112	0,37	129	0,20
11	0,53	28	0,23	45	0,40	62	0,43	79	0,33	96	0,20	113	0,25	130	0,22
12	0,55	29	0,23	46	0,42	63	0,48	80	0,28	*97	0,67	*114	0,62	131	0,25
13	0,58	30	0,18	47	0,55	64	0,38	81	0,30	98	0,33	115	0,35	132	0,30
14	0,32	31	0,33	48	0,38	65	0,22	82	0,37	99	0,27	116	0,30	133	0,35
*15	0,80	32	0,33	49	0,33	66	0,30	83	0,32	100	0,40	117	0,37	*Valores Outliers	
16	0,37	33	0,32	50	0,30	67	0,30	84	0,28	101	0,25	118	0,32		
17	0,37	34	0,25	51	0,38	68	0,25	*85	0,85	102	0,45	119	0,32		

Média (com outlier): 0,36  
Desvio (com outlier): 0,14

---

Distribuição: Lognormal  
Expressão: 0.11 + LOGN(0.251, 0.133)  
Erro Quadrático: 0.005686  
P-Value (K-S): > 0.15

A distribuição do tempo de vistoria foi identificada como Lognormal por meio da mesma técnica apresentada anteriormente. O erro quadrático de todas as distribuições testadas e o histograma dos dados coletados estão apresentados na Figura 45.

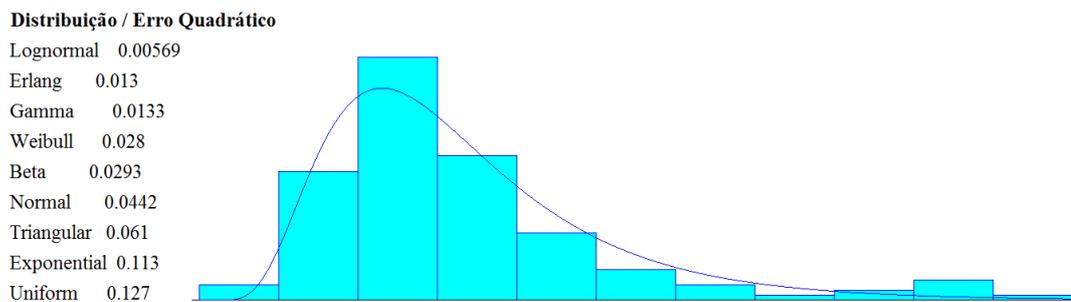


Figura 45 - Erro quadrático e histograma do tempo de vistoria (aproximada à Lognormal)

Ao longo da coleta de dados, sempre que soava o alarme de detecção de metais, o tempo da vistoria detalhada era cronometrado. Sendo assim, foram constatados que 20 passageiros exigiram inspeção manual fazendo com que a probabilidade de um passageiro necessitar da vistoria detalhada, inserido no modelo como  $p(VD)$ , fosse de aproximadamente 6% (20 de 344 usuários). Ressalta-se que dois deles tiveram que passar pelo procedimento de busca pessoal, levando a 10% de chance (2 de 20 usuários) de um passageiro que está na vistoria detalhada ser submetido à busca pessoal, inserido no modelo como  $p(BP)$ . As buscas pessoais demandaram 2,55 e 2,05 minutos, ocasionando, para fins de simulação, a

aproximação ao tempo fixo de 2,3 minutos. Esse dado foi apenas uma aproximação para permitir melhor visualização no *software*, visto que sua variabilidade, embora existente, não pôde ser identificada pela baixa precisão (apenas dois dados). Os tempos da vistoria detalhada estão registrados na Tabela 21.

Tabela 21 - Tempo da vistoria detalhada (em minutos)

<b>1</b>	0,92	<b>6</b>	0,75	<b>11</b>	1,37	<b>16</b>	1,28
<b>2</b>	0,90	<b>7</b>	1,15	<b>12</b>	1,22	<b>17</b>	0,92
<b>3</b>	1,03	<b>8</b>	0,92	<b>13</b>	0,97	<b>18</b>	0,97
<b>4</b>	0,87	<b>9</b>	0,78	<b>14</b>	1,08	<b>19</b>	0,88
<b>5</b>	1,08	<b>10</b>	0,90	<b>15</b>	0,82	<b>20</b>	0,80

Média: 0,98 (min)  
Desvio: 0,16 (min)

---

Distribuição: Lognormal  
Expressão:  $0.68 + \text{LOGN}(0.304, 0.195)$   
Erro Quadrático: 0.009353  
P-Value (K-S):  $> 0.15$

A distribuição do tempo da vistoria detalhada foi identificada, por meio da ferramenta *Input Analyzer*, como Lognormal. O erro quadrático de todas as distribuições testadas e o histograma dos dados coletados estão apresentados na Figura 46.

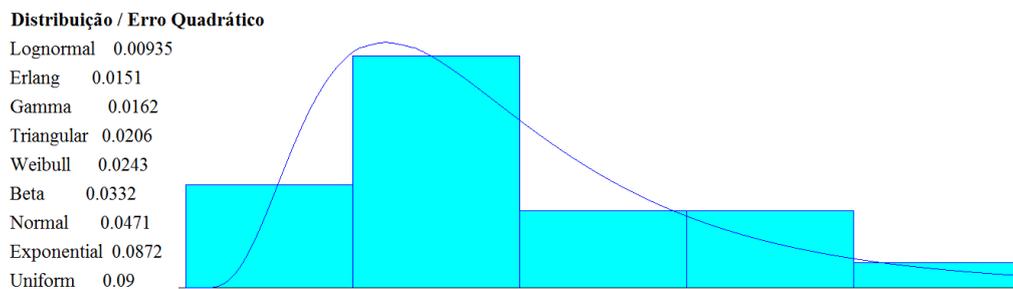


Figura 46 - Erro quadrático e histograma da distribuição do tempo da vistoria detalhada (aprox. à Lognormal)

Durante o período em que ambas as vistorias estiveram abertas foi considerada a probabilidade de 50% dos passageiros escolherem uma delas. Este percentual foi utilizado por se mostrar mais apropriado para o ambiente estudado, visto que, muitas vezes, o usuário não observou qual das filas era menor antes de escolhê-la. Esse comportamento pode ter ocorrido devido à distância geográfica entre a VAS-1 e a VAS-2. Caso ambas fossem dispostas lado a lado, ou houvesse uma única fila com dois canais, a simulação certamente

deveria ser alterada de percentual para uma função condicional<sup>8</sup>. Sendo assim, os parâmetros inseridos no *software* estão resumidos na Tabela 22.

Tabela 22 - Dados utilizados no simulador (módulo VAS)

Parâmetro	Atribuição
<i>IC_VAS</i>	Distribuição Exponencial de expressão: EXPO (0.403)
<i>Vistoria (VAS)</i>	Distribuição Lognormal de expressão: 0.11 + LOGN(0.251, 0.133)
<i>Vistoria Detalhada (VD)</i>	Distribuição Lognormal de expressão: 0.68 + LOGN(0.304, 0.195)
<i>Busca Pessoal (BP)</i>	2,3 minutos
<i>p(VD)</i>	6%
<i>p(BP)</i>	9%
<i>p(VAS-1)</i>	50%

#### 4.3.3 Validação do Modelo Conceitual

A validação do modelo conceitual foi realizada por meio do método de “vestígios” (*traces*) que, segundo Sargent (2008), é caracterizado pelo acompanhamento da entidade ao longo da simulação a fim de identificar possíveis erros de modelagem. Como conclusão, foi possível afirmar que o modelo conceitual desenvolvido é coerente com o comportamento do sistema real, tendo sua representatividade aceitável para as propostas da simulação.

#### 4.3.4 Programação do Modelo

O modelo foi programado em Arena baseado na lógica anteriormente apresentada pela Figura 39, mas desenvolvida para considerar VAS-1 e a VAS-2, conforme mostra a Figura 47. No *software*, a VAS-2 esteve disponível aos passageiros entre as 19h55 e 20h25.

<sup>8</sup> A função condicional de escolha entre as filas a partir do tamanho de cada uma delas foi simulada em um dos cenários.

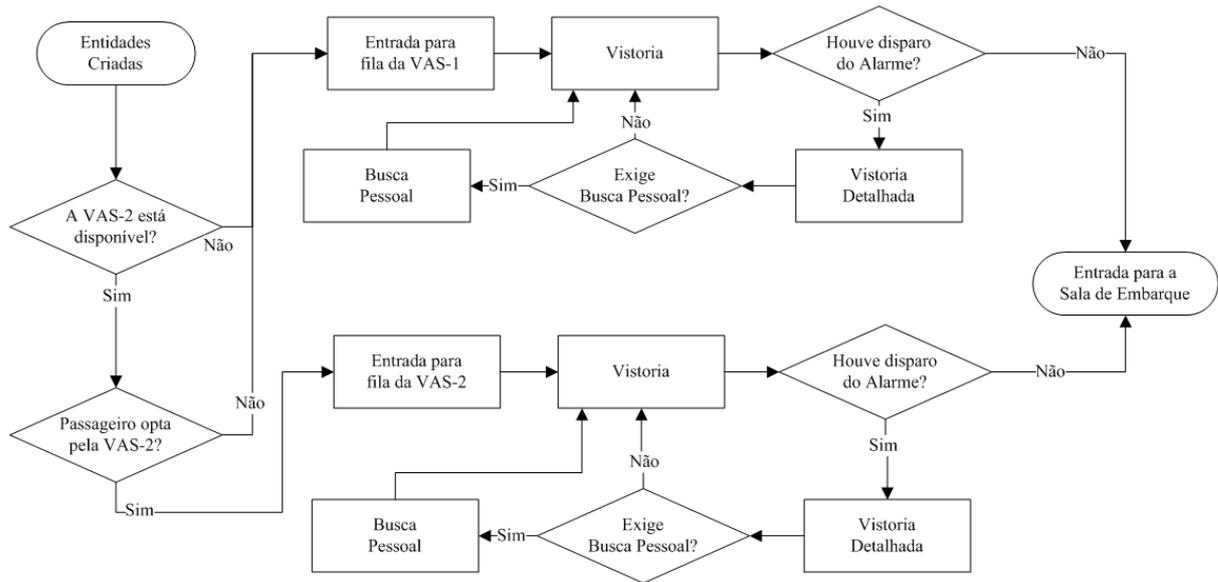


Figura 47 - Fluxograma completo do processo da VAS

O *software* Arena pode ser visualizado em funcionamento na Figura 48. Os dados inseridos em cada módulo do simulador foram aqueles apresentados na Tabela 22.

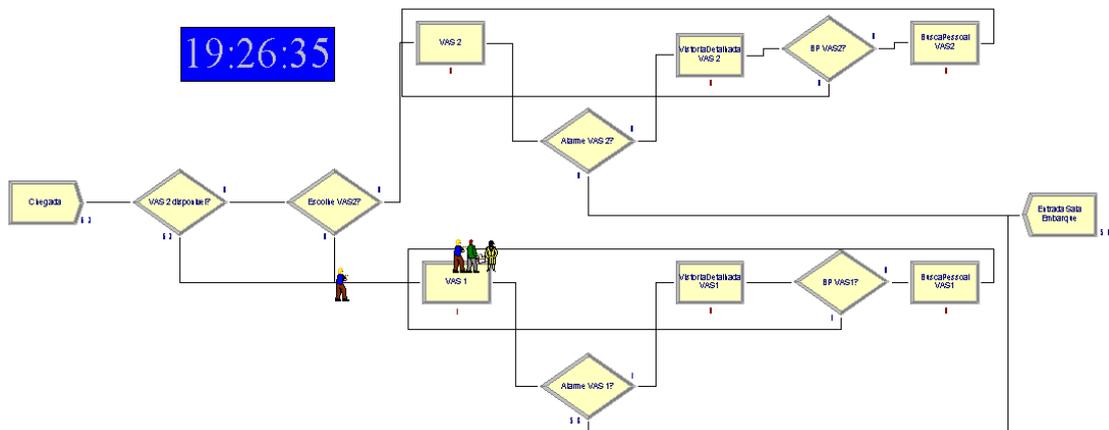


Figura 48 - Representação do *software* em funcionamento para o subsistema de VAS.

#### 4.3.5 Verificação do Modelo

A verificação do modelo computacional foi realizada por meio dos testes estático e dinâmico, ou seja, os conectores, a programação e a estrutura do modelo foram analisados com o *software*, respectivamente, parado e em execução. Durante o teste dinâmico, o modelo foi examinado sob diferentes condições pelo método de “vestígios”. Ao final, foi

feita a verificação face-a-face e a análise de sensibilidade. Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios.

#### 4.3.6 *Desenvolvimento, condução e análise dos experimentos*

Para a condução dos experimentos, foram realizadas 10 réplicas de 120 minutos cada (10 minutos de aquecimento). Como resultado da simulação constatou-se que a utilização da VAS-1 foi de 87,4% do período e, em média, 349,8 passageiros passaram pelo subsistema da VAS. O maior tempo de espera encontrado na VAS-1 foi de 6,5 minutos. Na VAS-2, o tempo máximo de espera na fila foi de 1,9 minutos. Em média, o tempo de aguardo em fila para a VAS-1 foi de 1,44 minutos, e na VAS-2 foi equivalente a 0,88 minutos. Quanto ao tamanho da fila, o máximo na VAS-1 foi de 21 passageiros, e na VAS-2 de 5 passageiros (vide Tabela 24). Ressalta-se que, em determinados momentos, houve espera na fila da vistoria detalhada, mas nunca superior a 1,56 minutos (em média apenas 0,05 minutos) e nem superior a 2 passageiros. Com isso constatou-se que a vistoria detalhada não seria um gargalo para o subsistema.

Foram simulados três cenários. O primeiro considerou que a VAS-1 e a VAS-2 estivessem paralelas, ou seja, fisicamente próximas, permitindo que o passageiro optasse pela menor fila, nesse caso o valor de  $p(VD)$  seria alterado de 50% para condicional de escolha da menor fila. O segundo cenário considerou a VAS-2 disponível aos passageiros ao longo de todo o período. A intenção foi analisar a viabilidade da implantação de um novo módulo de inspeção. O terceiro não considerou a abertura da VAS-2 em nenhum momento com o intuito de comprovar a necessidade da abertura temporária da VAS-2.

Cada cenário foi simulado sob três padrões de demanda para fins comparativos. O primeiro considerou a demanda atual, e os outros dois tiveram o intervalo entre as chegadas dos passageiros reduzidos em 10% e 30%. A Tabela 23 apresenta um resumo destes cenários e padrões de demanda.

Tabela 23 - Padrões de demanda (A) e cenários simulados (B) utilizados na VAS

<i>(A) Padrões de Demanda</i>	<i>(B) Cenários</i>
N1: demanda atual	S1: VAS-1 e VAS-2 próximas fisicamente
N2: redução de 10% no intervalo entre as chegadas (previsão média para 2015)	S2: VAS-2 disponível aos passageiros ao longo de todo período simulado
N3: redução de 30% no intervalo entre as chegadas (previsão média aproximada para 2020)	S3: VAS-2 indisponível aos passageiros

#### 4.3.7 Apresentação dos resultados

A simulação dos cenários considerou as variáveis referentes ao número máximo de passageiros na fila, tempo máximo de fila, e tempo médio de fila. Os resultados das simulações dos cenários sob os padrões de demanda N1, N2 e N3 estão apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 - Apresentação dos resultados da simulação da VAS para os diferentes cenários

Demanda	Cenário	Número Máximo de Passageiros na Fila		Tempo Máximo de Fila (minuto)		Tempo Médio de Fila (minuto)	
		VAS - 1	VAS - 2	VAS - 1	VAS - 2	VAS-1	VAS-2 <sup>9</sup>
<b>N1 (atual)</b>	<b>Real</b>	<b>21</b>	<b>5</b>	<b>6,5</b>	<b>1,9</b>	<b>1,44</b>	<b>0,88</b>
N1 (atual)	S1	19	6	6,5	2,3	1,35	0,68
N2 (2015)	S1	35	9	11,8	3,6	2,69	1,56
N3 (2020)	S1	105	31	35,7	10,4	12,78	5,05
N1 (atual)	S2	6	6	1,9	1,9	0,20	0,19
N2 (2015)	S2	8	9	2,7	2,9	0,24	0,21
N3 (2020)	S2	10	12	3,5	3,7	0,42	0,37
N1 (atual)	S3	41		12,3		2,38	
N2 (2015)	S3	67		20,7		6,00	
N3 (2020)	S3	125		39,6		12,62	

Como conclusão, a partir dos resultados obtidos, a simples disposição dos módulos de inspeção VAS-1 e VAS-2 em paralelo já reduziria o tempo médio de fila. Também identificou-se que seria um grande erro não disponibilizar a VAS-2 aos passageiros no horário crítico, bem como seria recomendável, inclusive, manter a VAS-2 constantemente acessível aos passageiros. Porém, manter um módulo de inspeção de segurança disponível exige muitos recursos de manutenção, dentre eles a contratação de novos agentes de proteção (APAC) com treinamento e habilitação da ANAC.

Devido aos resultados deste estudo, decidiu-se, aprofundar uma possível melhoria para o aeroporto com foco no novo módulo de inspeção. Ela consistiu na realocação da VAS-1 e da VAS-2, a fim de serem posicionadas lado a lado na entrada da sala de embarque, e na ativação de um terceiro módulo de inspeção de segurança exclusivo aos funcionários e à tripulação. Para isso foi necessário analisar o processo de vistoria, não apenas no horário definido pelo escopo deste trabalho, mas também ao longo de todo o dia. Portanto,

<sup>9</sup> O tempo médio de fila da VAS-2 foi apresentado na tabela para fins comparativos, e equivale ao período em que o módulo ficou disponível aos passageiros. O valor apresentado é uma aproximação, pois no cenário Real e no cenário S1, a VAS-2 esteve disponível apenas 25% do tempo simulado.

esse estudo foi inserido no APÊNDICE desta dissertação e contou com dados disponibilizados pelo aeroporto.

#### 4.4 Sala de Embarque

##### 4.4.1 Formulação do Problema

O subsistema da sala de embarque é composto, basicamente, por assentos e facilidades que proporcionam condições aos passageiros de aguardar pela autorização do embarque. Esta autorização é dada pela companhia aérea conforme o horário previsto de partida (*HPP*) e a antecedência de liberação para embarque, a qual representa o tempo decorrido entre o instante da liberação para o embarque e o *HPP*. Para isso, nesta pesquisa, foi necessário ter, no *software*, o tempo de simulação registrado ( $T_{sim}$ ). Após liberados, os passageiros passaram pelo portão de embarque em certo intervalo de tempo (taxa de embarque). Essa taxa permitiu calcular o tempo médio de conferência do cartão de embarque pela companhia aérea ( $T_{conf}$ ). Esse processo foi normalmente rápido, com baixo índice de falhas e pouca variância no tempo, permitindo que o tempo de conferência fosse considerado um valor constante. Tal comportamento foi percebido, também, por Feitosa (2000). O intervalo entre as chegadas dos passageiros no subsistema foi fundamental para calcular o tempo médio em que ele aguardou na sala de embarque. Os parâmetros inseridos no modelo estão apresentados no Quadro 13.

Quadro 13 - Parâmetros para o embarque dos passageiros

Parâmetros	Descrição
<i>HPP</i>	Horário Previsto de Partida
<i>Autoriza_emb</i>	Horário de autorização para o embarque
<i>T_conf</i>	Tempo de Conferência do Cartão de Embarque
<i>IC_embarque</i>	Intervalo entre as chegadas dos passageiros

Com a simulação foi possível identificar o tempo de espera no subsistema e o tempo de fila da conferência do embarque. O fluxograma com as etapas do procedimento final de embarque está apresentado na Figura 49.

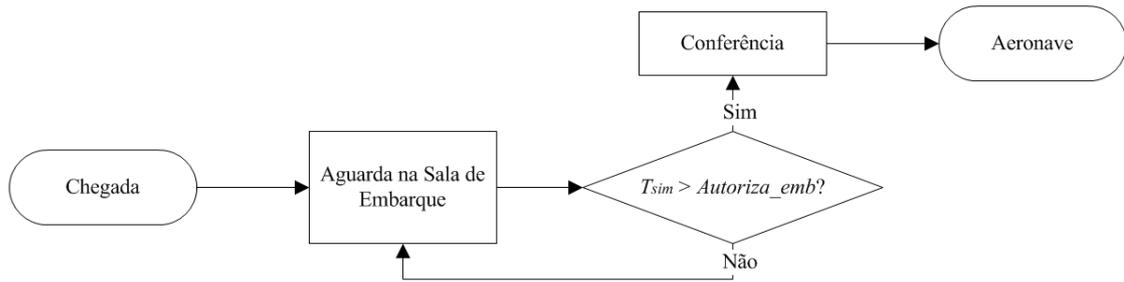


Figura 49 - Fluxograma do Procedimento de Embarque.

#### 4.4.2 Coleta de dados e informações

A sala de embarque do aeroporto de Uberlândia é considerada “esterilizada”, ou seja, é acessada somente após o usuário ter passado pela vistoria antissequestro (VAS). Isso faz com que a distribuição de entrada na sala de embarque seja semelhante à distribuição de saída da VAS. A Figura 50 apresenta a distribuição acumulada das chegadas à sala de embarque, sendo que AZUL (1) se refere ao voo 2447 e AZUL (2) ao 2446. Ressalta-se que as 19h foram contabilizados 18 usuários no interior da sala, e às 19h05min deu-se início a contagem de passageiros.

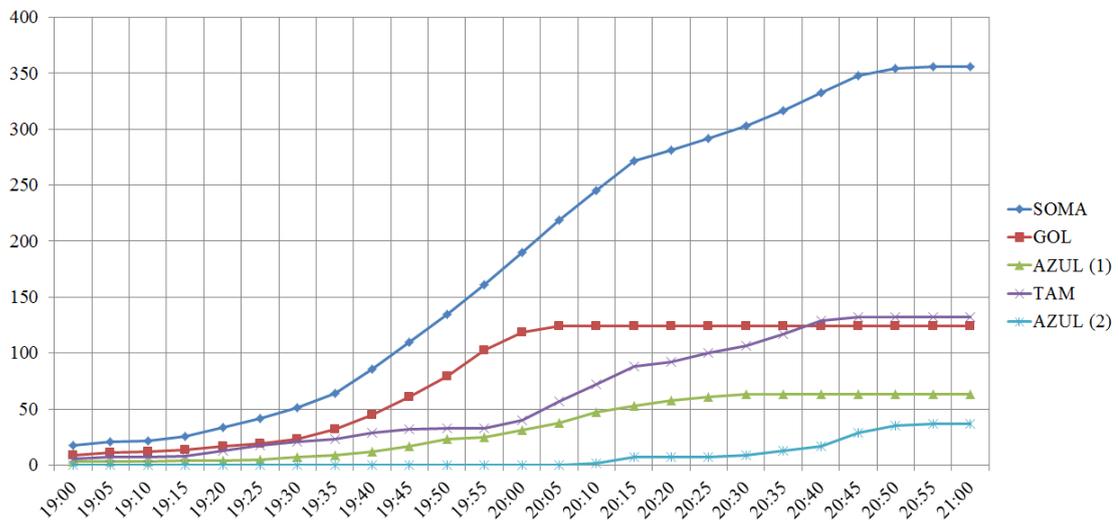


Figura 50 - Distribuição acumulada das chegadas à sala de embarque

Como visto, foi necessário associar o passageiro que ingressou à sala de embarque ao seu respectivo voo a fim de identificar o horário de sua saída para a aeronave. Tal informação foi obtida por meio dos dados existentes dentro do leitor óptico utilizado pelo funcionário do aeroporto durante a conferência do cartão de embarque (que ocorre antes da entrada para a VAS). Por esse motivo tornou-se mais conveniente utilizar intervalos fixos de 5

minutos para a coleta de dados. Os intervalos entre as chegadas foram obtidos dividindo o período de 5 minutos pelo número de passageiros que ingressaram na sala. As distribuições foram aproximadas à exponencial com *p-value* (K-S) satisfatório por meio da ferramenta *Input Analyzer*.

Tabela 25 - Médias dos intervalos entre as chegadas para a sala de embarque

	GOL	AZUL (1)	TAM	AZUL (2)
19:05	2,50	-	*5,00	-
19:10	*5,00	-	-	-
19:15	2,50	*5,00	*5,00	-
19:20	1,67	-	1,00	-
19:25	2,50	*5,00	1,00	-
19:30	1,25	2,50	1,67	-
19:35	0,56	2,50	2,50	-
19:40	0,38	1,67	0,83	-
19:45	0,31	1,00	1,67	-
19:50	0,28	0,83	*5,00	-
19:55	0,21	2,50	-	-
20:00	0,31	0,83	0,71	-
20:05	1,00	0,71	0,29	-
20:10	-	0,56	0,33	2,50
20:15	-	0,83	0,31	1,00
20:20	-	1,00	1,25	-
20:25	-	1,67	0,63	-
20:30	-	2,50	0,71	2,50
20:35	-	-	0,50	1,25
20:40	-	-	0,42	1,25
20:45	-	-	1,67	0,42
20:50	-	-	-	0,83
20:55	-	-	-	2,50
21:00	-	-	-	-
Média (s/ outlier*)	1,12	1,47	0,96	1,53
Distribuição	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial
Expressão	EXPO(1.12)	0.36 + EXPO(1.11)	0.06 + EXPO(0.908)	0.21 + EXPO(1.32)
Erro Quadrático	0.151413	0.130491	0.052220	0.151413
P-Value (K-S)	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15

Dentro da sala de embarque, existem 99 assentos disponíveis aos passageiros e quatro portões de embarque (anteriormente representados pelas letras “e”, “f”, “g” e “h” da Figura 41), onde os funcionários da companhia aérea fazem o controle dos passageiros que deverão seguir para a aeronave. Nesse procedimento há a conferência dos cartões de embarque e da identidade dos passageiros. O portão de embarque de cada voo, normalmente é

liberado entre dez e trinta minutos de antecedência em relação ao HPP, podendo atrasar dependendo de condições climáticas ou problemas técnicos.

A GOL iniciou seu processo de embarque aproximadamente às 20h, terminando-o as 20h19min, e seu horário previsto para partida era 20h30min. O primeiro voo da Azul, o 2447, era previsto para partir às 20h40min, e teve sua autorização para embarque aproximadamente às 20h20min. A TAM, no dia da análise dos dados, estava com um pequeno atraso, fazendo que a sua autorização de embarque ocorresse no mesmo instante do horário previsto para partida (20h45min). O segundo voo da Azul, o 2446, era previsto para as 20h49min, mas até as 21h não tinha iniciado seu procedimento de embarque<sup>10</sup>.

Cada companhia aérea possui sua estratégia para conferência do cartão de embarque. A GOL conseguiu realizar esse procedimento em um tempo médio de 0,13 minutos para cada passageiro (7,45 passageiros em um minuto). A Azul precisou, em média, de 0,21 minutos para cada passageiro (4,82 passageiros por minuto). A TAM, que estava com um pequeno atraso, conseguiu adiantar o procedimento de conferência do cartão ao longo da própria fila fazendo que, em média, 0,05 minutos fossem necessários para um passageiro cruzar o portão de embarque (18 passageiros por minuto). Um resumo dessas informações está na Tabela 26.

Tabela 26 - Resumo dos dados inseridos no *software*

	GOL	AZUL (1)	TAM	AZUL (2)
HPP	20h30	20h40	20h45	20h49
<i>Autoriza_emb</i>	20h00	20h20	20h45	-
Tempo de Conferência (min/pass)	0,13	0,21	0,05	-

#### 4.4.3 Validação do Modelo Conceitual

A validação do modelo conceitual foi realizada por meio do mesmo método utilizado na simulação dos subsistemas anteriores, ou seja, por “vestígios” (*traces*). Como conclusão foi possível afirmar que o modelo conceitual desenvolvido representou satisfatoriamente o comportamento do sistema real.

#### 4.4.4 Programação do Modelo

O modelo foi programado no Arena utilizando as premissas lógicas apresentadas anteriormente na Figura 49. Adicionalmente acrescentou-se um contador para

<sup>10</sup> O voo 2446 da Azul com destino à Goiânia foi suspenso no início de novembro de 2014, não permitindo nova coleta de dados.

identificar o número de passageiros simultâneos dentro da sala de embarque. O funcionamento da simulação é mostrado na Figura 51.

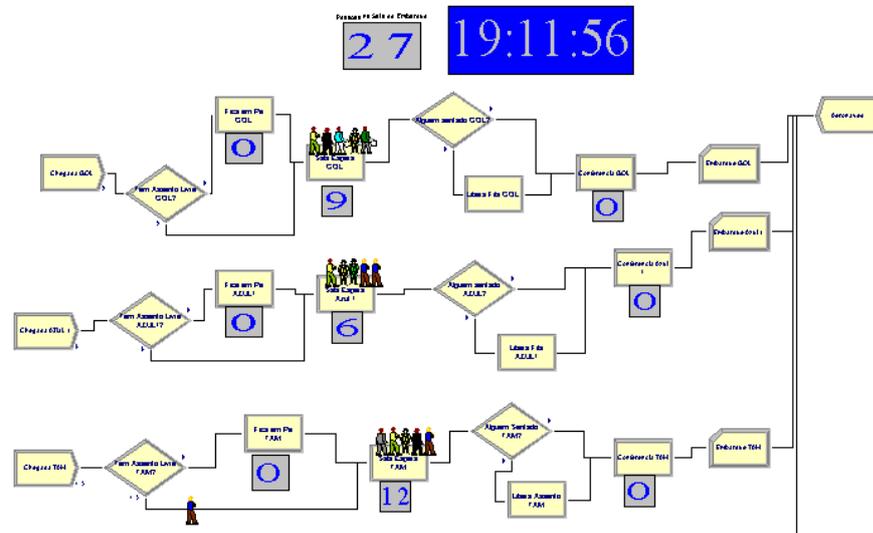


Figura 51- Representação do *software* em funcionamento para a sala de embarque

#### 4.4.5 Verificação do Modelo

O modelo foi verificado por meio dos testes estáticos e dinâmicos, tal qual o subsistema da vistoria antissequestro. Para a verificação, além do método de “vestígios”, foi feita a análise de sensibilidade. Concluiu-se que o modelo desenvolvido foi satisfatório para o propósito dessa simulação.

#### 4.4.6 Desenvolvimento, condução e análise dos experimentos

Para a condução dos experimentos, foram realizadas 10 réplicas de 120 minutos cada. O tempo médio de fila para a conferência do cartão de embarque foi de 1,56 min para a GOL, 3,86 min para a Azul (1) e 2,45 min para a TAM. Observou-se que a redução do tempo de fila para conferência do cartão de embarque não trouxe resultados significativos para o sistema como um todo, pois o passageiro que aguardava para embarcar poderia esperar fora da fila de conferência, e, se possível, sentado na sala de embarque até um momento em que tal fila estivesse menor.

Outra característica desse processo está no tempo de conferência que, para fins da simulação, foi considerado constante. Isso fez com que a melhoria no tempo para conferência resultasse em proporcional redução no tempo médio de fila, ou seja, 10% de redução no tempo de conferência resultou em 10% de redução no tempo de fila. Sendo assim, novos cenários com essas variáveis não foram simulados por permitirem conclusões pelo

método analítico. Essa atitude, conforme o item 2.4 deste trabalho, também foi defendida por Banks e Gibson (1997).

Durante a análise constatou-se que o maior problema da sala de embarque está relacionado à sua capacidade, pois, embora a sala possua 99 assentos, no período estudado observou-se mais de 160 passageiros simultâneos. Essa constatação motivou o estudo do percentual do tempo em que os passageiros aguardam em pé. Isto porque, para o passageiro, aguardar em pé dentro da sala de embarque é tão desconfortável quanto aguardar em uma fila.

Para identificação do tempo em que todos os 99 assentos estiveram ocupados foram criados três recursos (*NaoAssentoAZUL1*, *NaoAssentoGOL* e *NaoAssentoTAM*), um para cada companhia aérea. A utilização desses recursos representou o tempo em que ao menos um passageiro da respectiva companhia aérea esteve aguardando em pé. A Figura 52 apresenta parte do relatório fornecido pelo *software*.

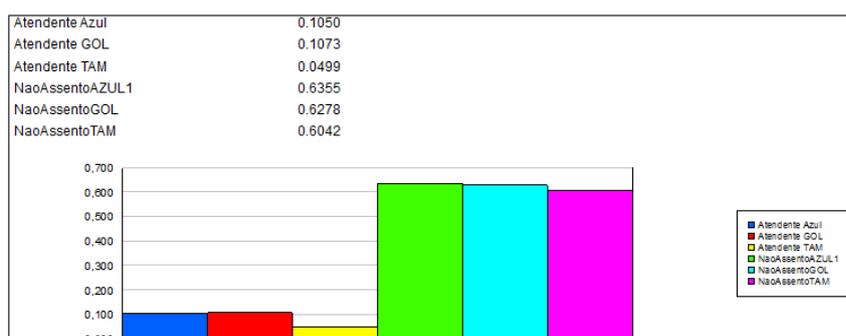


Figura 52 - Utilização dos recursos da sala de embarque. Fonte: Relatório do *software* Arena

Durante a análise dos dados constatou-se que todos os assentos da sala de embarque estiveram ocupados ao longo de aproximadamente 60% do tempo simulado. Os resultados fornecidos pelo *software* estão apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 - Resultados da simulação para a sala de embarque (padrão de demanda atual)

	GOL	AZUL (1)	TAM
Tempo médio de espera na Sala de Embarque (min)	13,71	31,08	48,03
Tempo máximo de espera na Sala de Embarque (min)	60,87	80,70	105,08
Tempo médio de fila para conferência (min)	1,56	3,86	2,45
Tempo máximo de fila para conferência (min)	6,11	9,00	5,55
Percentual do tempo com passageiro aguardando em pé	62%	63%	60%
Número de passageiros aguardando em pé	18	17	35

As variáveis “tempo médio” e “tempo máximo” de espera na sala de embarque dependem de diversos fatores, tais como atrasos, capacidade da aeronave e a programação dos voos. Por essa razão não foram realizadas simulações que as modificassem. As simulações efetuadas ficaram restritas às análises das variáveis “percentual do tempo com passageiro aguardando em pé” e “número de passageiros aguardando em pé” com o intuito de buscar melhorias nesses indicadores. Pelo motivo apresentado no item 4.2.6 deste trabalho, os cenários simulados utilizaram apenas a demanda atual.

O primeiro cenário (S1) simulou o aumento de 10% do número de assentos (para 110 assentos). O segundo cenário (S2) simulou o aumento de 30% do número de assentos (para 130 assentos).

#### 4.4.7 Apresentação dos resultados

Como o tempo de espera na sala de embarque é relativamente grande, mesmo aumentando em 10% (S1) ou em 30% (S2) o número de assentos, o percentual do tempo com ao menos um passageiro aguardando em pé continuou elevado em ambos os cenários. Já o número de passageiros em pé reduziu-se significativamente. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 28.

Tabela 28 - Cenários simulados para a aguardo dos passageiros na sala de embarque

		Percentual do tempo com passageiro em pé	Número de passageiros em pé
S1	GOL	57,43%	10
	AZUL (1)	58,18%	12
	TAM	59,32%	21
S2	GOL	52,51%	5
	AZUL (1)	50,73%	1
	TAM	50,39%	3

Concluiu-se que os esforços para as companhias aéreas agilizarem a conferência para o embarque são refletidos na redução do tempo de espera na fila para embarque. No entanto, essa atitude não influenciou significativamente na melhoria do processo. Conclui-se também que os assentos do aeroporto estiveram completamente ocupados por mais de 50% do período simulado, mesmo com aumento no número de assentos em 30%. Isso faz com que a importante atitude para melhorar o comportamento do subsistema seja aumentar a capacidade sala de embarque, bem como o número de assentos disponíveis. Uma solução difícil de obter seria promover melhor distribuição dos voos ao longo do dia, evitando a concentração de passageiros na sala de embarque.

## 4.5 Área de Restituição de Bagagens

### 4.5.1 Formulação do Problema

O processo de devolução dos pertences despachados ocorre na área de restituição de bagagens (ARB) do aeroporto, próximo ao saguão de desembarque. A ARB é um ambiente reservado aos usuários que desembarcam, e é composta pela esteira de recebimento das bagagens, assentos e facilidades que proporcionam o mínimo de conforto ao passageiro enquanto aguarda a chegada de seus pertences. A Figura 53 apresenta um detalhamento da ARB.

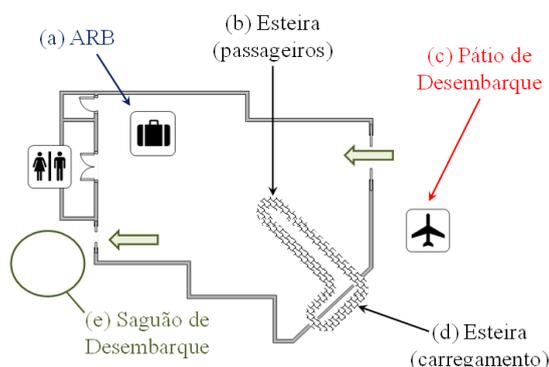


Figura 53 - Detalhamento da ARB.

No aeroporto de Uberlândia o processo de restituição de bagagens utiliza como recursos, além da esteira, um reboque acoplado a trator. A esteira de restituição do aeroporto de Uberlândia possui aproximadamente 28 metros de extensão disponíveis aos usuários (letra “b” da Figura 53), e mais oito metros para o carregamento pelos funcionários (letra “d” da Figura 53), com 90 centímetros de largura.

Para realizar a restituição das bagagens os funcionários do aeroporto ou da companhia aérea as removem da aeronave de forma manual, as colocam no reboque do trator e, após o translado entre a aeronave e a ARB, as depositam manualmente no equipamento de restituição, ou seja, na esteira pelo lado de carregamento (letra “d” da Figura 53). Nos casos de grandes aeronaves, normalmente o trator faz duas ou mais viagens, levando maior tempo para depositar todas as bagagens. O tempo para deposição das bagagens na esteira varia conforme a quantidade de funcionários trabalhando, a experiência e a motivação de cada um deles no processo.

No aeroporto de Uberlândia o desembarque dos passageiros é realizado a pé. A chegada deles à ARB varia conforme o tamanho da aeronave e do número de portas onde houve o desembarque. De um lado, existem passageiros que não possuem bagagem a ser

restituída e, neste caso, eles se direcionam para o saguão de desembarque. Por outro, os passageiros que têm bagagens a receber normalmente aguardam na ARB até que seus pertences sejam identificados na esteira. Após a retirada dos pertences, os usuários se direcionam para o saguão de desembarque. O tempo de retirada manual pelos passageiros varia conforme o tempo de depósito das bagagens pelos funcionários, com o tamanho e a velocidade da esteira.

Após a análise do procedimento de restituição de bagagens foram identificadas oito variáveis necessárias para a modelagem computacional: (1) o horário previsto para o pouso, (2) o número de passageiros na aeronave, (3) a proporção de passageiros com bagagem a ser restituída, (4) o número de bagagens por passageiro com bagagens, (5) o tempo entre o pouso da aeronave e a chegada dos passageiros na ARB, (6) o tempo entre o pouso da aeronave e a chegada das bagagens na ARB, (7) o intervalo entre as chegadas dos passageiros na ARB, e (8) o intervalo entre as chegadas das bagagens na esteira. Esses parâmetros estão resumidos no Quadro 14.

Quadro 14- Parâmetros do modelo de restituição de bagagens

<b>Parâmetros</b>	<b>Descrição</b>
<i>HP</i>	Horário previsto para o pouso
<i>n_pas</i>	Número de passageiros na aeronave
<i>p_bag</i>	Proporção de passageiros com bagagem a ser restituída
<i>n_bag</i>	Número de bagagens por passageiro com bagagem
<i>Tp</i>	Tempo entre o pouso da aeronave e a chegada dos passageiros na ARB
<i>Tb</i>	Tempo entre o pouso da aeronave e a chegada das bagagens na ARB
<i>IC_pas</i>	Intervalo entre as chegadas dos passageiros na ARB
<i>IC_bag</i>	Intervalo entre as chegadas das bagagens pela esteira

Foram necessárias, na simulação, duas entidades para o processo de desembarque: “passageiro” e “bagagem”. As criações destas entidades estão relacionadas ao número total de passageiros desembarcados (*n\_pas*) e ao horário de chegada do voo, que, embora possa sofrer variações dependendo de atrasos ou adiantamentos, no modelo, foi aproximado para o horário previsto (*HP*).

Durante o processo de desembarque alguns parâmetros foram cautelosamente observados. O primeiro foi aquele que indicou se o passageiro tinha ou não bagagem a ser restituída, obtido por meio da “proporção de passageiros com bagagem a ser restituída” (*p\_bag*).

O índice que representa o “número de bagagens por passageiro com bagagem” ( $n_{bag}$ ) foi proposto por Feitosa (2000), que pode ser diretamente tratado como índice ou ser substituído por outros dois:  $bag_{pax}$  (*número de bagagens por passageiro*) e  $p_{bag}$ . No último caso, o modelo deve calcular o índice  $n_{bag}$  pela equação (8).

$$n_{bag} = \frac{bag_{pax}}{p_{bag}} \quad (8)$$

Para gerar o número de “passageiros com bagagens” existe uma probabilidade discreta baseado em um parâmetro ( $p_{bag}$ ) que pode garantir que a entidade “tenha” ou “não tenha” bagagem. Segundo os experimentos clássicos de Bernoulli, este tipo de experimento é do tipo “sucesso” ou “fracasso” (FEITOSA, 2000). Assim, cada passageiro possui uma probabilidade de ter bagagem, e isto está relacionado ao índice  $p_{bag}$ . Esse percentual gera tantos passageiros com bagagens quantos forem os “sucessos” encontrados. Como resultado, à medida que cresceu a quantidade de entidades, a proporção dos usuários com bagagem se aproximou do índice  $p_{bag}$ , fornecido como dado de entrada.

Desta forma, de acordo com a equação (9), o “número de bagagens por passageiro com bagagem” deve ser sempre maior ou igual a um. Esta relação garante que cada passageiro que porte alguma bagagem de porão possuía, pelo menos, um volume.

$$n_{bag} \geq 1 \quad (9)$$

O índice  $n_{bag}$ , permitiu que o modelo “distribuisse” uniformemente as bagagens entre os passageiros, ou seja, supondo o índice de 1,2 volumes por passageiro com bagagens, todos receberiam uma bagagem, e 20% deles uma bagagem a mais. Com esta abordagem o modelo se tornou mais próximo da realidade do que se utilizasse apenas o índice  $bag_{pax}$ . Por exemplo, considerando um índice  $n_{bag}$  de 1 volume por passageiro e supondo existir 70 passageiros ( $n_{pas}$ ), se fosse utilizado apenas o índice de bagagens por passageiros em geral ( $bag_{pax}$ ), o modelo poderia gerar tanto 70 passageiros com uma bagagem quanto um passageiro com 70 bagagens. Sendo assim, o controle sobre a proporção de passageiros aguardando o recebimento de bagagem na ARB seria mínimo. Para evitar problemas, as “bagagens” foram criadas a partir dos correspondentes “passageiros” por meio da duplicação da entidade. O fluxograma que representa simplificada o processo está apresentado na Figura 54.

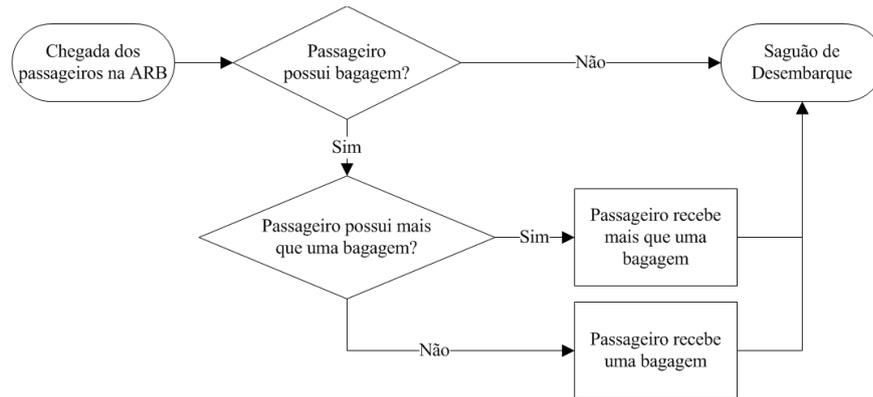


Figura 54 - Fluxograma simplificado do processo de restituição de bagagem

#### 4.5.2 Coleta de dados e informações

O processo de desembarque possui a característica de se conhecer, de antemão, o número de passageiros que irá desembarcar, bem como o número de bagagens que cada um possui. Essas informações foram coletadas para três sextas-feiras, diretamente na companhia aérea responsável por cada voo. O voo GOL 1332 (desembarque no Aeroporto de Uberlândia vindo de São Paulo) tinha uma média de 120 passageiros, já o voo TAM 3238, uma média de 135 passageiros, enquanto que o voo AZUL 2427, uma média de 60 passageiros.

Inicialmente, o percentual de passageiros com bagagens a ser restituída buscou uma média aproximada dos três voos do período (GOL, TAM e AZUL), bem como a taxa de bagagens por passageiro com bagagem. Essa aproximação facilitou a programação mantendo a coerência com o sistema real. Sendo assim, os três voos trouxeram, respectivamente, 53, 60 e 26 passageiros com bagagens, e 66, 74 e 33 bagagens no total. Esses dados foram obtidos por meio de cada companhia aérea, concluindo que, em média, 44,50% dos passageiros transportados possuem ao menos um pertence a ser restituído, e destes, 23% possuem mais que uma bagagem ( $n_{bag} = 1,23$ ).

Posteriormente, na ARB, foi necessário um cronometrista para a obtenção dos dados referentes aos tempos entre o pouso da aeronave e a chegada do primeiro passageiro à ARB, e dos tempos entre o pouso da aeronave e a chegada da primeira bagagem à esteira. Em média, devido ao tempo para taxiar as aeronaves e para a abertura de portas, o desembarque ocorreu aproximadamente 4 minutos após a chegada do voo. A esteira iniciou seu funcionamento, em média, aproximadamente 8 minutos após o pouso da aeronave. Também foi anotada, em períodos fixos de 30 segundos, a quantidade de usuários e bagagens que atravessaram, respectivamente, a porta de entrada da ARB e a o início da esteira. Um resumo dos dados inseridos no *software* está apresentado na Tabela 29.

Tabela 29 - Dados da chegada para desembarque e da ARB

<i>nº do Voo</i>	<i>Cia. Aérea</i>	<i>Horário Previsto</i>	<i>Origem</i>	<i>Passageiros</i>
1332	GOL	19:50	São Paulo	120
3238	TAM	20:10	São Paulo	135
2427	Azul	20:15	Brasília	60
Proporção de passageiros com bagagem a ser restituída				44,50%
Número de bagagens por passageiro com bagagem				1,23
Tempo entre o pouso da aeronave e a chegada dos passageiros na ARB				4 min
Tempo entre o pouso da aeronave e a chegada das bagagens na ARB				8 min

Os intervalos entre as chegadas dos passageiros na ARB, em minutos, foram obtidos para cada companhia aérea ao dividir o período de 0,5 minutos (30 segundos) pelo número de passageiros que chegou à área nesse período. Os resultados estão apresentados na Tabela 30. O horário real não está registrado na tabela, mas sim o tempo do cronômetro.

Tabela 30 - Intervalo entre as chegadas (min) dos passageiros na ARB

Período (min)	GOL	TAM	AZUL
1) 0:00 - 0:30	0,031	0,036	0,083
2) 0:31 - 1:00	0,020	0,029	0,050
3) 1:01 - 1:30	0,022	0,022	0,031
4) 1:31 - 2:00	0,020	0,019	0,026
5) 2:01 - 2:30	0,036	0,029	0,050
6) 2:31 - 3:00	0,063	0,033	0,125
7) 3:01 - 3:30	0,083	0,045	0,500*
8) 3:31 - 4:00	0,167*	0,071	-
9) 4:01 - 4:30	-	0,125*	-
10) 4:31 - 5:00	-	-	-
Média (s/ outlier*)	0,039	0,036	0,061
Distribuição	Exponencial	Lognormal	Exponencial
Expressão	0.01 + EXPO(0.0293)	0.01 + LOGN(0.0254, 0.0154)	0.01 + EXPO(0.0508)
Erro Quadrático	0.034604	0.024482	0.034364
P-Value (K-S)	> 0.15	> 0.15	> 0.15

As distribuições dos intervalos entre chegadas foram obtidas por meio da ferramenta *Input Analyser*. Os *outliers* (marcados na tabela em asterisco) foram desconsiderados por se tratarem das últimas bagagens entregues, que não demandaram todo o período final de 30 segundos. A distribuição de chegadas dos passageiros da Azul apresentou-se, inicialmente, como Erlang. No entanto, aproximou-se à Exponencial por ela ser mais apropriada para o intervalo entre chegadas (FREITAS FILHO, 2008), sem que comprometesse os resultados do teste de aderência. O mesmo não pôde ser feito para os

passageiros da TAM. Na Figura 55 é possível visualizar os erros quadráticos e os histogramas das distribuições.

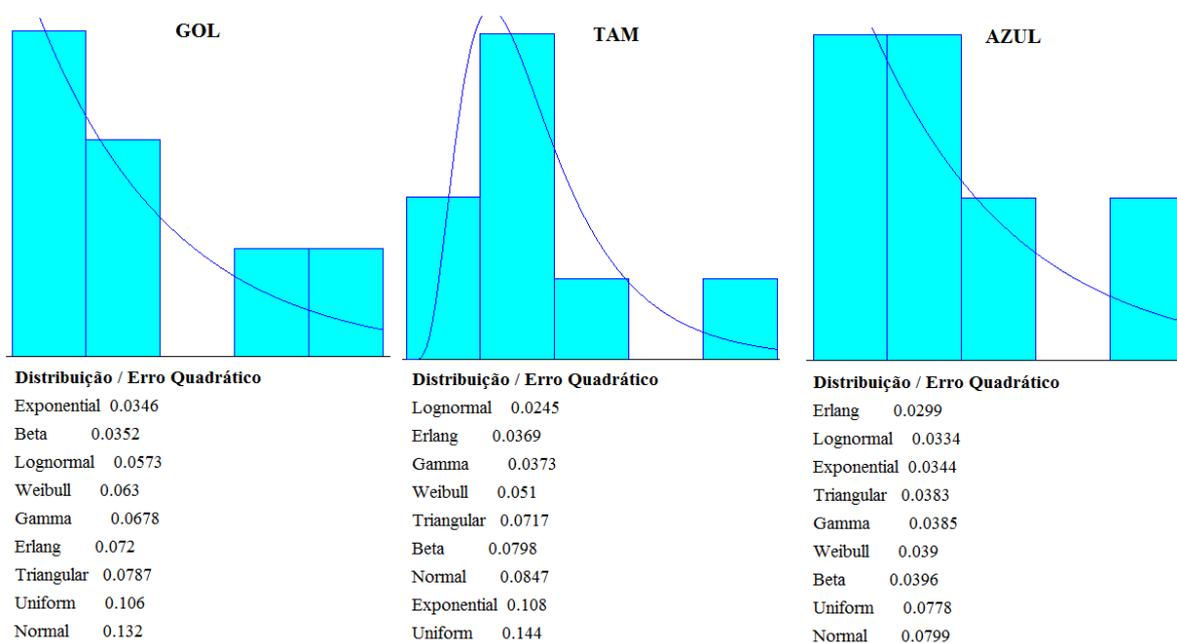


Figura 55 - Erro quadrático e histograma das distribuições dos intervalos entre chegadas dos passageiros à ARB

Os intervalos entre as chegadas (IC) das bagagens na ARB foram obtidos por meio da mesma metodologia utilizada na obtenção dos IC dos passageiros na ARB. No entanto, o resultado foi, como se esperava, semelhante para todas as empresas aéreas. Na Tabela 31 é possível analisá-los individualmente.

Tabela 31- Intervalo entre as chegadas (min) das bagagens na ARB

Período (min:seg)	GOL	TAM	AZUL
1) 0:00 - 0:29	0,050	0,063	0,056
2) 0:30 - 0:59	0,063	0,071	0,063
3) 1:00 - 1:29	0,063	0,056	0,050
4) 1:30 - 1:59	0,056	0,056	0,083
5) 2:00 - 2:29	0,100	0,083	-
6) 2:30 - 2:59	0,063	0,071	-
7) 3:00 - 3:29	0,063	0,056	-
8) 3:30 - 3:59	0,063	0,045	-
9) 4:00 - 4:29	0,250*	0,063	-
10) 4:30 - 4:59	-	-	-
Média (s/ outlier*)	0,065	0,063	0,063
Distribuição	Normal		
Expressão	NORM(0.0637, 0.0123)		
Erro Quadrático	0.006103		
P-Value (K-S)	> 0.15		

Um único fator que causa leve discrepância entre os dados das três empresas está no intervalo compreendido entre 1min30seg e 1min59seg. Na Azul houve aumento no intervalo entre as chegadas, que é justificado pelo término do despacho das bagagens.

Pela homogeneidade dos dados, foi plausível a consolidação das informações de todas as companhias aéreas, utilizando, assim, uma única distribuição para os IC. Isso foi uma aproximação que facilitou a programação do modelo no *software*. A distribuição encontrada pelo *Input Analyzer* foi a Normal, conforme pode ser visualizada na Figura 56.

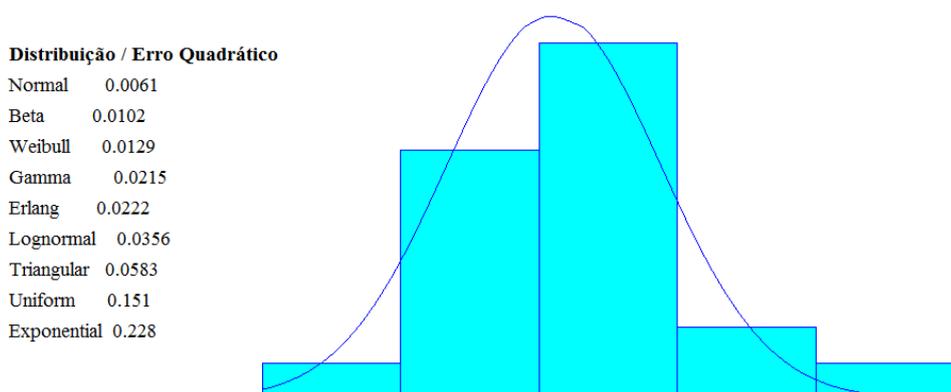


Figura 56 - Erro quadrático e histograma das distribuições dos intervalos entre chegadas das bagagens à ARB

É importante enfatizar que o modelo envolveu a simulação para todo o período analisado, com passageiros de três companhias aéreas. Sendo assim, foi necessário inserir um atributo (“empresa”) que identificasse de qual empresa o usuário era cliente. Esse atributo foi introduzido logo após a criação de cada entidade e seus índices estão apresentados no Quadro 15.

Quadro 15 - Índices de atributo de passageiros

Índice do Atributo “empresa”	Definições
1	Passageiro da empresa aérea GOL
2	Passageiro da empresa aérea TAM
3	Passageiro da empresa aérea Azul

#### 4.5.3 Validação do modelo conceitual

A validação do modelo conceitual foi realizada por meio do método de “vestígios” (traces), o qual, segundo Sargent (2008) consiste no acompanhamento das entidades durante toda a simulação a fim de identificar possíveis erros na modelagem. Como conclusão foi possível afirmar que o modelo conceitual desenvolvido confere com o



que, em média, os usuários aguardaram 4,56 minutos na ARB. O tempo máximo encontrado foi de 8,65 minutos.

Analisadas as particularidades do subsistema, foram simulados três cenários buscando possíveis alternativas para redução no tempo de espera dos passageiros. No primeiro cenário, o tempo entre o pouso da aeronave e a chegada das bagagens na ARB foi reduzido em 25%. Esse cenário buscou simular a viabilidade de um possível esforço da gerência do aeroporto em melhorar a eficiência do translado das bagagens, atualmente realizado por tratores. O segundo cenário considerou a redução do intervalo entre a chegada das bagagens na esteira em 25%. O intuito foi promover uma comparação com o primeiro cenário identificando qual dos dois proporcionaria melhores resultados. Por último foi simulado um cenário misto, em que ambas as variáveis dos cenários anteriores sofreram reduções de 15% ao mesmo tempo.

Nesse subsistema não foi simulado o aumento na demanda, visto que há limitação na lotação máxima de todos os voos (144 passageiros para GOL e TAM, e 68 para Azul). Essa decisão também foi tomada em observância ao que foi citado no final do item 4.2.6 deste trabalho. Sendo assim, um resumo dos cenários está na Tabela 32.

Tabela 32 - Cenários simulados na ARB

<i>Cenários</i>
S1: Redução de 25% no tempo entre o pouso da aeronave e a chegada das bagagens na ARB
S2: Redução de 25% no intervalo entre as chegadas das bagagens na esteira
S3: Redução de 15% no tempo entre o pouso da aeronave e a chegada das bagagens na ARB e, simultaneamente, redução de 15% no intervalo entre as chegadas das bagagens na esteira

#### 4.5.7 Apresentação dos resultados

Para identificação do melhor cenário foram consideradas as variáveis referentes ao tempo médio e máximo de espera dos passageiros. Quanto menor o tempo de espera, melhor o cenário proposto. Todos os cenários estão na Tabela 33 e foram simulados considerando apenas a demanda atual (N1).

Tabela 33 - Matriz de decisão considerando a demanda atual (N1) para a ARB

<i>Cenários</i>	<i>Tempo Médio de Espera</i>	<i>Tempo Máximo de Espera</i>
<b>Real</b>	<b>4,56 min</b>	<b>8,65 min</b>
S1	2,74 min	6,09 min
S2	3,73 min	7,01 min
S3	2,85 min	6,34 min

Analisando os resultados ficou claro que o primeiro cenário foi o mais indicado para a agilidade do subsistema. Considerando a demanda atual, reduzir em 25%, ou seja, de 8 para 6 minutos, o tempo entre o pouso da aeronave e a chegada das bagagens na ARB (S1), diminuiria o tempo médio de espera dos passageiros em 40%. Para esse cenário o aeroporto poderia investir em meios mais eficientes de transporte de bagagens entre a aeronave e a ARB. A técnica SMED (*Single Minute Exchange of Die*) pode ser uma boa alternativa para a melhoria do processo, pois permite a avaliação dos procedimentos dos funcionários e a racionalização do uso de equipamentos.

O segundo cenário não foi recomendável, pois o esforço para reduzir em 25% o intervalo entre a chegada das bagagens não compensaria os 18% de tempo, em média, que o passageiro poderia economizar. Para esse cenário, o aeroporto poderia investir em novos funcionários na reposição das bagagens, aumentar a área ou a velocidade da esteira.

O último cenário apresentou um “híbrido” das situações anteriores e não deve ser descartado. Com uma sutil melhoria em ambas as variáveis foi possível obter bons resultados. Como conclusão recomenda-se o primeiro (S1) ou o último (S3) cenário, a depender do custo de implantação de cada um deles.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho analisou os processos que envolvem o embarque e o desembarque de passageiros do aeroporto de Uberlândia, considerado de médio porte. A escolha do objeto de estudo se deu, tanto pela disponibilidade de recursos para uma possível ampliação do complexo aeroportuário, que demanda projetos de melhoria, quanto pelo constante crescimento no número de passageiros transportados. Foram analisados cinco processos: (1) entrada e saída de veículos, (2) *check-in*, (3) vistoria antissequestro, (4) embarque, representado pela sala de embarque, e (5) desembarque, representado pela área de restituição de bagagens.

Durante a análise dos processos foram identificadas as rotinas de chegada e saída dos usuários (ou veículos), bem como os *layouts* de atendimento ao público. Isto permitiu a elaboração de fluxogramas capazes de representar cada subsistema de forma simplificada. A partir desse conjunto de informações foi possível desenvolver um modelo de simulação para cada ambiente estudado. As simulações dos subsistemas foram realizadas sob diferentes condições, possibilitando analisar o comportamento de cada processo de forma dinâmica. Com os resultados das simulações foi possível propor melhorias visando reduzir o tempo total dos passageiros em filas, que, conseqüentemente, tendem a oferecer maior conforto aos usuários do sistema.

Cada processo estudado teve suas particularidades analisadas. Quanto ao subsistema de entrada e saída de veículos concluiu-se que a proposta mais inteligente para melhoria do processo, em curto prazo, será manter um fiscal de trânsito no local impedindo que os veículos estacionem na área reservada para embarque e desembarque. Isto permitirá a melhor fluidez do trânsito e evitará que o passageiro do aeroporto tenha dificuldades em acessá-lo. Para médio prazo, foram propostas melhorias no *layout* da área de acesso/regresso, evitando que veículos utilizem o subsistema desnecessariamente.

As melhorias propostas para a área de *check-in* estão associadas às atitudes das companhias aéreas. Para a TAM e a GOL concluiu-se que o incentivo ao uso do *check-in* virtual (*online* ou por *totens*) e ao não despacho de bagagens por parte dos passageiros seriam excelentes alternativas. Já para a Azul, seria suficiente alocar mais um funcionário no balcão de atendimento ao longo do horário crítico. De modo geral, para todas as companhias aéreas, treinar os funcionários com o intuito de tornar o procedimento de *check-in* mais ágil sempre reduzirá o tempo dos passageiros nas filas.

Para a vistoria antissequestro concluiu-se que é necessário disponibilizar mais um módulo de inspeção, composto por pórtilo detector de metais e equipamentos de *raio-x*. Enquanto isso não ocorre, aproximar os dois módulos disponíveis no aeroporto já resultaria em redução no tempo de fila.

Quanto à sala de embarque, onde ocorre o procedimento mais simples até então estudado no aeroporto, a limitação de sua capacidade foi o grande gargalo. Assim, para esse subsistema, a proposta de melhoria se restringe à ampliação do número de assentos e do espaço físico da sala. Isso não reduz o tempo de fila, mas faz com que um necessário aguardo se torne mais cômodo.

Concluiu-se também que a área de restituição de bagagens requer melhoria no tempo de traslado das bagagens entre a aeronave e a esteira. Esse processo é o mais crítico do subsistema, seguido pelo processo de deposição de bagagens na esteira. O tamanho da esteira, para os cenários simulados, não foi um grande problema.

De modo geral, para melhoria do sistema em curto prazo, o aeroporto de Uberlândia necessitaria aumentar a capacidade operacional dos subsistemas de vistoria antissequestro e da sala de embarque, e ainda promover melhorias pontuais nos processos de recebimento de bagagens. Em médio prazo, a área de embarque e desembarque de veículos exigirá aumento da capacidade, o que confirma a hipótese inicialmente apresentada.

Esse trabalho foi relevante para quantificar a prioridade de ampliação do aeroporto, e poderá auxiliar seus gestores na tomada de decisão. Isto porque, principalmente na área de transportes, muitas ampliações não geram um real aumento da capacidade do aeroporto (ALVES; FRAGA, 2012). Segundo Alves e Fraga (2012), tais ampliações, embora propiciem elevados níveis de qualidade e segurança às operações, acabam por transferirem o gargalo do aeroporto para outro subsistema limitante.

Vale destacar que a coleta de dados ocorreu por dez dias dispersos ao longo de nove meses do ano de 2014, sempre às sextas-feiras, e que em cada dia de observação um ou dois subsistemas foram analisados. Isso fez com que, embora os processos fossem subsequentes, os dados de saída de um, talvez não se iguallassem aos de entrada de outro.

Este trabalho teve forte embasamento na Dissertação de Mestrado de Feitosa (2000), mas promoveu uma série de modificações nos modelos de simulação e nas técnicas de coleta de dados, bem como implantando a análise do processo de embarque e desembarque de veículos automotores. É relevante lembrar que a bibliografia apresentada trouxe um debate acerca da teoria das filas, simulação e dinâmica de sistemas, resgatou a aplicabilidade do método gráfico de fluxo acumulado e do modelo da teoria da decisão.

As maiores dificuldades enfrentadas ao longo da confecção desta dissertação estão relacionadas à atividade de coleta de dados. Embora o processo de obtenção das informações tenha sido previamente estudado e cautelosamente planejado, ocorreram imprevistos. Como exemplo destaca-se que, durante a anotação dos dados do subsistema de entrada e saída de veículos, motoristas confundiram os cronometristas com fiscais de trânsito, intervindo na anotação dos dados e dificultando o processo de obtenção das informações.

Quanto aos recursos utilizados para a conclusão desta pesquisa estão aproximadamente 8.400km percorridos em deslocamentos para o ambiente estudado e 40h de planejamento e execução da atividade de coleta de dados. Adicionalmente, a transcrição e processamento dos dados, a confecção do modelo conceitual e computacional, a validação e verificação do modelo, bem como a apresentação dos resultados aos responsáveis pelo aeroporto exigiu o investimento de aproximadamente 100h do pesquisador.

Como recomendação para trabalhos futuros sugere-se aplicar o diagnóstico proposto em outros modais de transporte, tais como uma rodoviária ou estação de balsas. Quanto a aeroportos, sugere-se incrementar a simulação incluindo a programação dos voos, permitindo propor às companhias aéreas novas alternativas de horários de partida e chegada das aeronaves, utilizando racionalmente a infraestrutura aeroportuária disponível. Por último, sugere-se melhorar o processo de coleta de dados, incluindo informações referentes aos demais horários do dia, aos outros dias da semana e de diversas épocas do ano permitindo verificar os efeitos da sazonalidade no sistema.

## 6 REFERÊNCIAS

- AHYUDANARI, E.; VANDEBONA, U. Simplified Model for Estimation of Airport Check-In. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, v. 6, 724–735, 2005.
- ALVES, C. J. P., FRAGA, R. Capacidade do lado aéreo dos aeroportos brasileiros. *Journal of Transport Literature*, 6, 178–189, 2012.
- ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil. Resolução nº 207, de 22 de novembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de inspeção de segurança da aviação civil contra atos de interferência ilícita nos aeroportos e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 28 de nov. 2011. Seção 1, p. 2-4.
- APPELT, S.; BATTA, R.; LIN, L. DRURY, C. Simulation of passenger check-in at a medium-sized US Airport. *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*, 1252-1260, Washington, DC, USA, 2007.
- BAINES, T. S; HARRISON, D. K; KAY, J. M.; HAMBLIN, D. J. A. Consideration of Modelling Techniques that Can be Used to Evaluate Manufacturing Strategies. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 14 (5), 369–375, 1998.
- BANDEIRA, M.; RONZANI, G. M.; CIARLINI, M.; MOSER, R. F. Principais indicadores que afetam a percepção da qualidade de serviço em áreas críticas do embarque de passageiros aeroportuários. *Journal of Transport Literature*, v. 8, n. 4, 7 – 36, 2014.
- BANKS, J.; CARSON, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. *Discrete event system simulation*. 4.ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2005.
- BANKS, J.; GIBSON, R. R. Don't simulate when: 10 rules for determining when simulation is not appropriate. *IIE Solutions*, 1997.
- BARBOSA, L.; PIGHINI, E. Feira evidencia Uberlândia como capital da logística. *Revista Eletrônica Mercado*, Uberlândia, ano 5, ed. 45, set. 2011. Disponível em: <<http://www.revistamercado.com.br/revista/especial/feira-evidencia-uberlandia-como-capital-da-logistica/>>. Acesso em: 30 set. 2012.
- BARNES, R. M. Estudo de movimentos e de tempos. São Paulo: Edgard Blücher, 6ª ed., 1982.
- BEKMAN, O. R.; COSTA NETO, P. L. O. *Análise Estatística da Decisão*, 2ª edição, São Paulo. Editora Blucher, 2009.
- BERTRAND, J.W.M.; FRANSOO, J.C. Modelling and simulations: operations management research methodologies using quantitative modelling. *International Journal of Operations & Production Management*, v.22, n.2, p.241-264, 2002.
- BRASIL. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Institui o código de trânsito brasileiro. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 24 de set. de 1997. p. 21201.
- CAMELO, G. R.; COELHO, A. S.; BORGES, R. M.; SOUZA, R. M. DE. Teoria das filas e da simulação aplicada ao embarque de minério de ferro e manganês no terminal marítimo de ponta da madeira. *Cadernos do IME - Série Estatística*, 29, 1–16, 2010.
- CARVALHO, J. P. B. *Mapas Cognitivos Baseados em Regras Difusas: Modelação e Simulação da Dinâmica de Sistemas Qualitativos*. 2001. 361 p. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2001.
- CHASE, R.; JACOBS, F.; AQUILANO, N. *Administração da Produção para a vantagem competitiva (10ª. Ed.)*. Porto Alegre-RS: Bookman, 2006
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C. *Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações*. 2ª ed. São Paulo: Ed. dos autores, 2007.

- COMTE, A. *Curso de filosofia positiva*. Tradução de José Arthur Giannotti. 4. ed. São Paulo: Nova Cultural, 1988.
- COSTA, R. F. S. *Abordagem sistêmica para avaliação econômica de cenários para modelos de simulação discreta em manufatura*. 2010. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010.
- COSTA NETO, P. L. O. *Estatística* (2ª Ed.). São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2002.
- DCEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo. *Cartas Aeronáuticas*, 2013. Disponível em: <<http://www.aisweb.aer.mil.br/download/?arquivo=a55e63e6-24f7-1031-95e7-72567f175e3a>>. Acesso em: 22 ago. 2013.
- DE BARROS, A. G.; WIRASINGHE, S. C. Sizing the baggage claim area for the new large aircraft. *Journal of transportation engineering*, vol. 130, n. 3, pp. 274-279, 2004.
- DEMANT, M. A. R. Infraestrutura aeroportuária e o desenvolvimento do tráfego aéreo regional no Brasil. *Journal of Transport Literature*, vol. 5, n. 1, pp. 124-160, 2011.
- FALCÃO, V. A.; ZIMMERMANN, N. B.; CORREIA, A. R. Análise de nível de serviço em componentes de desembarque de terminais de passageiros aeroportuários: estudo de caso no aeroporto internacional de Campinas/Viracopos. *Anais do XXV Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes*, ANPET. Belo Horizonte, 2011.
- FEITOSA, M. V. M. *Um modelo de simulação para terminais de passageiros em aeroportos regionais brasileiros*. 2000. 181 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica na Área de Transporte Aéreo e Aeroportos, Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, 2000.
- FORRESTER, J. W. *Principles of systems*. Waltham, MA: Pegasus Communications, 1968
- FREITAS FILHO, P. J. *Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicação em Arena*. Florianópolis: Visual Books, 2008.
- GOLDNER, L. G.; NASCIMENTO, A. M.; PINTO, I. M. D. Analysis of the Salgado Filho airport as a trip generator center. *Journal of Transport Literature*, 8(3), pp. 229-249, 2014.
- GOLDSMAN, D.; NANCE, R. E.; WILSON, J. R. A brief history of simulation revisited. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, 567-574, Baltimore, USA, 2010.
- GROHMANN, M. Z.; BATTISTELLA, L. F.; LÜTZ, C. Avaliação dos serviços de transporte aéreo brasileiro: análise da imagem e da atitude como antecedentes da intenção de uso. *Gestão & Produção*, 21, no. 1, 2014.
- HOOP, W. J.; SPEARMAN, M. L. A Science of Manufacturing (cap. 6, pg 186-212). In: Hoop, W. J. and Spearman, M. L. *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management*. Boton, Irwin/Mcgraw-Hill, 2001.
- IAC - Instituto de Aviação Civil – *Estudo de demanda detalhada dos aeroportos brasileiros*, 2003 Disponível em: <[http://www2.anac.gov.br/biblioteca/Biblioteca\\_DemandaAeroportosBrasileiros.asp](http://www2.anac.gov.br/biblioteca/Biblioteca_DemandaAeroportosBrasileiros.asp)>. Acesso em 22 ago. 2013.
- IAC - Instituto de Aviação Civil – *Estudo de demanda detalhada dos aeroportos brasileiros*, 2005 Disponível em: <[http://www2.anac.gov.br/biblioteca/Biblioteca\\_DemandaAeroportosBrasileiros.asp](http://www2.anac.gov.br/biblioteca/Biblioteca_DemandaAeroportosBrasileiros.asp)>. Acesso em 22 ago. 2013.
- IBGE. *Produto Interno Bruto. Participação no PIB e variação nominal do PIB – 2002-2010*. 2010. <<http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=2265>> . Acesso em 27 abr. 2013
- INFRAERO. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. *Licitações*, 2011. Disponível em: <[http://licitacao.infraero.gov.br/arquivos\\_licitacao/2012/SRSE/029\\_ADSE\\_SBUL\\_2012\\_PG/CROQU I%20PONTOS%20PUBLICIDADES%20Layout1%20%281%29.pdf](http://licitacao.infraero.gov.br/arquivos_licitacao/2012/SRSE/029_ADSE_SBUL_2012_PG/CROQU I%20PONTOS%20PUBLICIDADES%20Layout1%20%281%29.pdf)>. Acesso em: 22 ago. 2013.

- INFRAERO. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. *Anuário Estatístico Operacional 2011*, 2012. Disponível em:  
<[http://www.infraero.gov.br/images/stories/Estatistica/anuario/anuario\\_2011\\_2.pdf](http://www.infraero.gov.br/images/stories/Estatistica/anuario/anuario_2011_2.pdf)>. Acesso em: 21 mar. 2014.
- INFRAERO. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. *Anuário Estatístico Operacional 2013*, 2014a. Disponível em:  
<[http://www.infraero.gov.br/images/stories/Estatistica/anuario/anuario\\_2013.zip](http://www.infraero.gov.br/images/stories/Estatistica/anuario/anuario_2013.zip)>. Acesso em: 24 jun. 2014.
- INFRAERO. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. 2014b. Disponível em:  
<<http://www.infraero.gov.br/index.php/aeroportos/minas-gerais/aeroporto-de-uberlandia.html>>. Acesso em 30 maio 2014.
- JOUSTRA, P. E.; VAN DIJK, N. M. Simulation of check-in at airports. *Proceeding of the 2001 Winter Simulation Conference (Cat. No.01CH37304)*, 2, 1023–1028. doi:10.1109/WSC.2001.977409, 2001.
- KAZMIER, L. J. *Estatística Aplicada a Economia e Administração*. São Paulo: McGraw-Hill, 1982.
- KELTON, D. W.; SADOWSKI, R. P.; STURROCK, D. T. *Simulation with Arena*. 4.ed. New York: McGraw-Hill, 2007.
- KIRAN, A. S.; CENTINKAYA, T; OG, S. Simulation modeling and analysis of a new international terminal. In: *Proceeding of the 2000 Winter Simulation Conference*, 1168-1172. Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2000.
- LAW, A. M. How to build valid and credible simulation models. *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, 58-66, Monterey, CA, USA, 2006.
- LAW, A. M.; KELTON, D. W. *Simulation modeling and analysis*. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 2000.
- LEAL, F. *Um diagnóstico do processo de atendimento a clientes em uma agência bancária através de mapeamento do processo e simulação computacional*. Itajubá: UNIFEI, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2003.
- LEE, C.; NG, Y.; LV, Y.; TAEZOO, P. Empirical Analysis of a Self-service Check-in Implementation in Singapore Changi Airport. *Internation Journal of Engineering Business Management*, 6 (6), 33-44, 2014.
- MAGALHAES, M. N.; LIMA, A. C. P. *Noções de Probabilidade e Estatística*. São Paulo: IME-USP, 2001.
- MANATAKI, I. E.; ZOGRAFOS, K. G. A generic system dynamics based tool for airport terminal performance analysis. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 17(4), 428–443. doi:10.1016/j.trc.2009.02.001, 2009.
- MANATAKI, I. E.; ZOGRAFOS, K. G. Assessing airport terminal performance using a system dynamics model. *Journal of Air Transport Management*, 16(2), 86–93. doi:10.1016/j.jairtraman.2009.10.007, 2010.
- MEDEIROS, A. G. M. *Um método para dimensionamento de terminais de passageiros em aeroportos brasileiros*. 2004. 470 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica)-Transporte Aéreo e Aeroportos, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2004.
- MIGUEL, P. A. C.; SOUSA, R. O método do Estudo de Caso na Engenharia de Produção. In: MIGUEL, P. A. C. (org). *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012, pp. 131-148.
- MOORE, J.; WEATHERFORD, L. R. *Tomada de decisão em administração com planilhas eletrônicas*. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 644 p

- MORABITO, R.; PUREZA, V. Modelagem e Simulação. In: MIGUEL, P. A. C. (org). *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012, pp. 131-148.
- MÜLLER, C.; GOSLING, G. D. A framework for evaluating level of service for airport terminals. *Transportation Planning and Technology*, v. 16, p. 45-61, 1991.
- NEWELL, G. F. Airport Capacity and Delays. *Transportation Science*, 13(3), 201-241. doi: 10.1287/trsc.13.3.201, 1979
- PINHO, A. F. DE; LEAL, F., MONTEVECHI, J. A. B.; ALMEIDA, D. A. DE. Combinação entre as técnicas de fluxograma e mapa de processo no mapeamento de um processo produtivo. *ENEGEP*, 2007.
- PINTO, K. C. R. *Aprendendo a decidir com a pesquisa operacional*. Uberlândia: EDUFU, 2008. 160p
- PNLT. *Plano Nacional de Logística e Transportes*. Sumário Executivo do Ministério dos Transportes e do Ministério da Defesa. Novembro de 2009.
- PRADO, D. S. *Teoria das Filas e da Simulação*. Nova Lima (MG): INDG, 2006.
- RENDEIRO MARTÍN-CEJAS, R. Tourism service quality begins at the airport. *Tourism Management*, 27(5), 874–877, 2006.
- RIBEIRO, F. R. *Modelo de simulação para análise operacional de pátio de aeroportos*. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Naval e Oceânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- RICHARDSON, G. P; PUGH III, A. L. *Introduction to system dynamics modeling with dynamo*. MIT Press, Cambridge, MA, 1981.
- ROBINSON, S. Discrete-Event Simulation: From the Pioneers to the Present, What Next? *Journal of the Operational Research Society*, v.56, n.6, p.619-629, 2005.
- ROBINSON, S. Simulation model verification and validation: increasing the users confidence. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, *Proceedings...* Atlanta, GA, USA, 1997.
- ROBINSON, S. *Simulation: The practice of model development and use*. Ed. England: John Wiley & Sons Ltd, 2004.
- SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I. Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. *Gestão & Produção*, 16, 25–43, 2009.
- SANTOS, F. G.; FERNANDES, D. C.; BARRELLA, W. D.; YOSHIDA, I. C. S. Aplicação da logística na melhoria do processo de embarque/desembarque: um estudo de caso. In: *Encontro nacional de engenharia de produção*, 2001, Salvador. XXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. PORTO ALEGRE: ABEPRO, 2001. v. 21. p. 80-80.
- SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. In: *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*. Miami, FL, 157-169, 2008.
- SHANNON, R. E. Introduction to the art and science of simulation. In: *Winter Simulation Conference, Proceedings...* Washington, DC, USA, 1998.
- SILVA, A. V.; COIMBRA, R. R. C. *Manual de Tempos e Métodos*. São Paulo: Hemus, 1980.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da Produção*, 3ª edição. Atlas, São Paulo, 2009.
- STARR, M. K. *Operations Management*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs (New Jersey), 1978.
- STEVENSON, W. J. *Estatística Aplicada à Administração*. São Paulo: Harbra, 2001
- SURYANI, E.; CHOU, S.-Y.; CHEN, C.-H. Air passenger demand forecasting and passenger terminal capacity expansion: A system dynamics framework. *Expert Systems with Applications*, 37(3), 2324–2339. doi:10.1016/j.eswa.2009.07.041, 2010.

TAKO, A. A.; ROBINSON, S. Model development in discrete-event simulation and system dynamics: An empirical study of expert modellers. *European Journal of Operational Research*, 207(2), 784–794. doi:10.1016/j.ejor.2010.05.011, 2010.

UEDA, T. V. A.; Congestionamento em aeroportos: há alguma saída para o caos? *Journal of Transport Literature*, v. 6, n. 2, p. 253-264, 2012.

WANKE, P. Previsão top-down ou bottom-up? Impacto nos níveis de erro e de estoques de segurança. *Gestão & Produção*, 231–245, 2008.

WIDMER, J. A. Contribuição à análise de problemas de filas e estoques nos transportes. Livre Docência, Escola de Engenharia de São Carlos, 1989.

WU, C. L.; LEE, A. The impact of airline alliance terminal co-location on airport operations and terminal development. *Journal of Air Transport Management*, v. 36, p. 69-77, 2014.

WU, S. D. *Managing capacity in the high-tech industry: a review of literature*. Ed. Taylor & Francis, Norman, OK, 2005.

## APÊNDICE – Programação proposta para o funcionamento da VAS

O item 4.3.7 deste trabalho apresentou os resultados da simulação do subsistema de inspeção de segurança (vistoria antissequestro – VAS) para o aeroporto de Uberlândia. Porém, verificou-se a necessidade de aprofundar o modelo para uma possível programação do funcionamento da vistoria antissequestro (VAS) no cenário em que três pórticos detectores de metais e *raio-x* fossem disponibilizados. O capítulo 4 traz simulações apenas para a sexta-feira, no horário compreendido entre aproximadamente 19h e 21h. Isso fez com que o escopo deste trabalho fosse extrapolado sendo, portanto, apresentado como apêndice. Nesse contexto, para a programação do funcionamento da VAS para todo o dia, foram necessários obter novos dados com a gerência aeroportuária.

O problema, que também foi relatado pelo aeroporto, trata, não apenas da disponibilização dos pórticos detectores de metais e do *raio-x* (conjunto chamado também de módulo de inspeção), mas principalmente pelo custo da mão-de-obra dos operadores deste subsistema. Segundo a legislação da *Aviation Security (AVSEC)*<sup>11</sup>, nos procedimentos específicos de “inspeção de passageiros, tripulantes e bagagens de mão”, o “módulo padrão” é composto por:

- a) 01 (um) detector de traços de explosivo;
- b) 01 (um) aparelho de *raio-x*;
- c) 01 (um) pórtico de detecção de metais;
- d) 02 (dois) detectores manuais de metal (raquetes);
- e) 01 (um) tapete de borracha para cada pórtico de detecção de metais;
- f) 04 (quatro) Agentes de Proteção da Aviação Civil por turno de 6 horas;
- g) 01 (um) supervisor para cada dois módulos por turno de 6 horas;
- h) 01 (uma) câmera de TV vigilância;
- i) 01 (um) alarme audiovisual; e
- j) 01 (um) conjunto de telefones e radio comunicador.

Quando se tratar de procedimentos específicos de “inspeção e verificação de credenciais de tripulantes, pessoal de serviço e outras pessoas”, todos os itens apresentados são requeridos para composição do “módulo padrão”, exceto o item “f” supracitado, em que,

---

<sup>11</sup> Item 1.1 do Anexo I da IAC 107-1004<sup>a</sup> RES, aprovada pela Portaria nº R-243/DGAC-4, de 14 de junho de 2005, que dispõe sobre o controle de acesso às áreas restritas de aeródromos civis brasileiros com operação de serviço de transporte aéreo.

neste caso, apenas 03 (três) Agentes de Proteção da Aviação Civil (APAC) são requeridos. Em outras palavras, um módulo exclusivo para a tripulação demanda um funcionário a menos que os módulos abertos ao público.

Conforme apresentado neste trabalho, atualmente existem dois módulos de inspeção (tratado também como duas áreas de VAS). O primeiro é específico de “inspeção de passageiros, tripulantes e bagagens de mão” (tratado também como VAS-1), e o segundo é específico de “inspeção e verificação de credenciais de tripulante, pessoal de serviço e outras pessoas” (tratado também como VAS-2). Nessa situação, para adequar à legislação, são requeridos sete APACs e um supervisor por cada turno de seis horas (Figura 58).

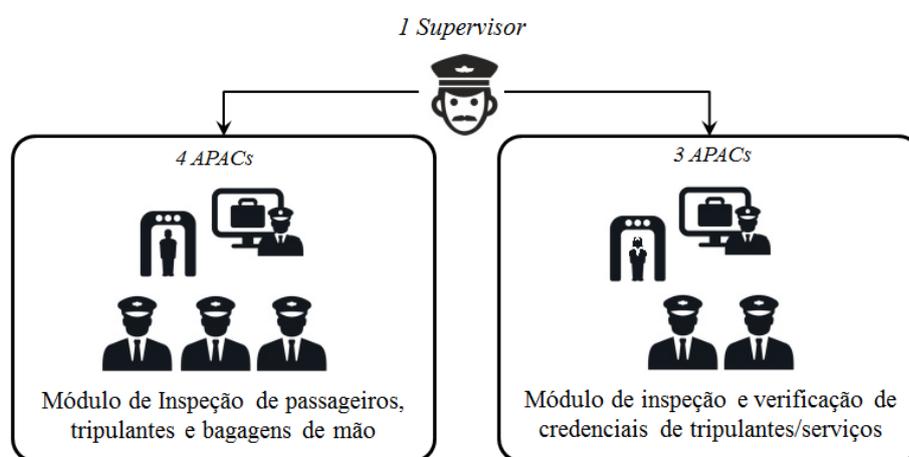


Figura 58- Representação do número de funcionários exigidos por turno de 6h na situação atual do aeroporto

Sendo assim, o aumento de um módulo de “inspeção específico para passageiros, tripulantes e bagagens de mão” exige a contratação de quatro APACs e um supervisor para cada turno de seis horas. Considerando três turnos (das 5h às 23h) a necessidade de recursos seria de 12 APACs e três supervisores. Foram considerados três turnos de seis horas, visto que, no quarto turno (das 23h às 5h), a operação ocorre em apenas um módulo de inspeção com funcionários da Infraero, ou seja, não terceirizados.

Como o aeroporto já possui a infraestrutura e o equipamento necessário para manter os três módulos de inspeção em funcionamento, mas não dispõe de recursos para contratação de tantos funcionários, foi necessário criar uma programação capaz de atender a demanda dos passageiros sem onerar financeiramente a administração do aeroporto. Neste sentido foi apresentado como recurso disponível de mão-de-obra o equivalente a sete equipes, a serem alocadas nos três turnos (das 5h às 23h) para os três módulos.

A administração do aeroporto disponibilizou os dados fornecidos pelos pórticos detectores de metal para todos os horários (das 0h às 23h59) das sextas-feiras de setembro de 2014. Estes dados forneciam informações de usuários que cruzavam o dispositivo

em intervalos de 30 minutos, bem como os alarmes do pórtilco. Para utilização dos dados considerou-se uma distribuição de chegada uniforme dentro desse intervalo de tempo.

Após o processamento dos dados chegou-se a 1920 passageiros que cruzaram a VAS-1 em um único dia, enquanto na VAS-2 esse número foi de 1014. A forma em que os usuários transpassaram ambas as VAS ao longo do dia está apresentada na Figura 59. Para a distribuição do tempo de atendimento foi considerada a amostra de 133 usuários conforme apresentado no item 4.3.2 deste trabalho.

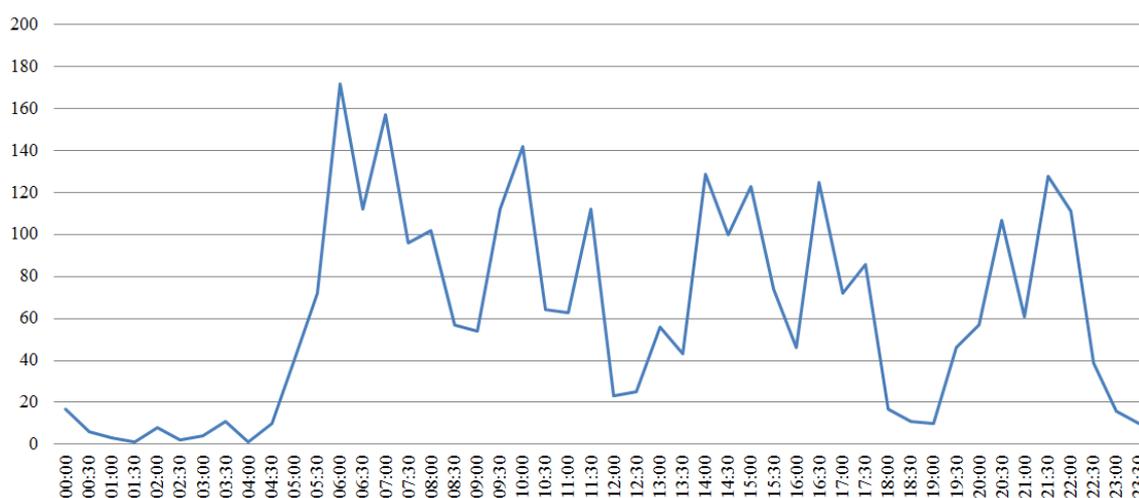


Figura 59 - Número de usuário que cruzou o pórtilco detector de metais ao longo de um dia

Inicialmente a simulação foi realizada considerando a programação desejada pela gerência do aeroporto. Nesta simulação o primeiro turno funcionaria com os três módulos (dois de passageiros e um de tripulação), enquanto os demais apenas com dois módulos (um de passageiros e outro de tripulação). No entanto, os últimos turnos teriam seus APACs migrados do módulo de tripulação para o módulo de passageiro pelos períodos compreendidos entre 12h30 e 14h, e 19h30 e 21h. Esta programação é apresentada na Figura 60, sendo que *Pass-1* (análogo ao VAS-1) e *Pass-2* indicam, respectivamente, o primeiro e segundo módulo de passageiro (“inspeção de passageiros, tripulantes e bagagens de mão”), e *tripulação* (análogo ao VAS-2) indica o módulo de tripulação (“inspeção e verificação de credenciais de tripulante, pessoal de serviço e outras pessoas”).

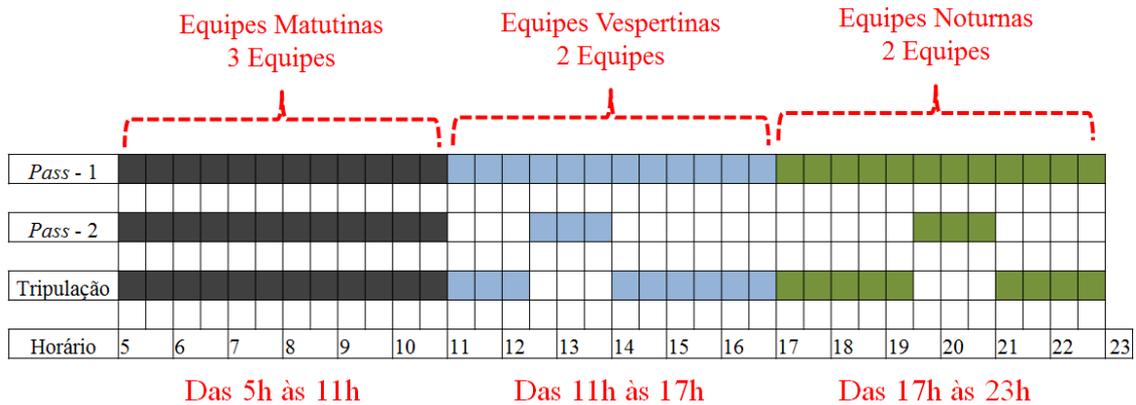


Figura 60- Programação simulada, proposta pelo aeroporto

Como resultado da simulação, o *Pass-1* apresentou 55% de utilização ao longo das 18h e o *Pass-2* apresentou 20% de utilização ao longo das 9h (40% de utilização equivalente). A fila máxima de *Pass-1* chegou a 58 passageiros, e de *Pass-2* foi de apenas três. O tempo máximo de espera na fila de *Pass-1* foi de 18,96 minutos, enquanto de *Pass-2* foi de 0,9 minutos. O passageiro que aguarda em *Pass-1* nesta proposta de programação ficou, em média, mais de 4 minutos na fila. A Figura 61 apresenta o *software* em funcionamento.

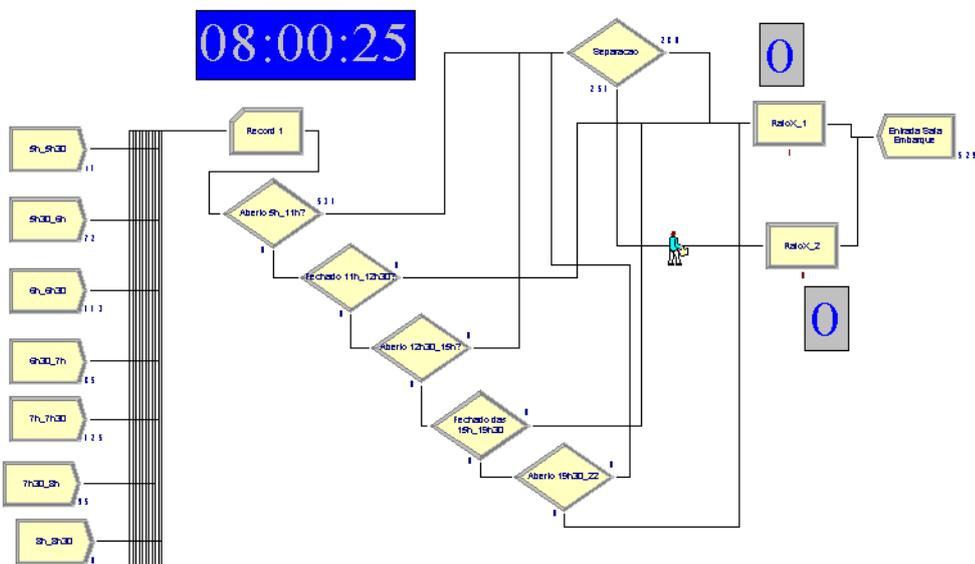


Figura 61 - Representação do *software* de simulação em funcionamento

Durante a simulação foi identificada grande formação de filas por volta das 14h30 e 21h30 (período em que a *Pass-2* está fechada). Sendo assim, uma nova programação foi proposta para ser simulada, em que a abertura de *Pass-2* se estenderia até as 15h e, posteriormente, até as 22h, conforme a Figura 62.

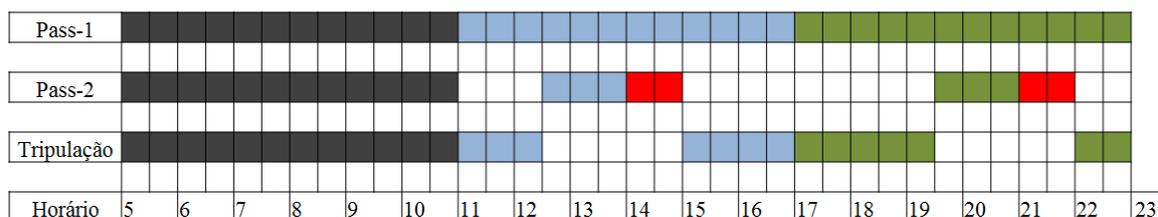


Figura 62 - Programação simulada, proposta pelo trabalho

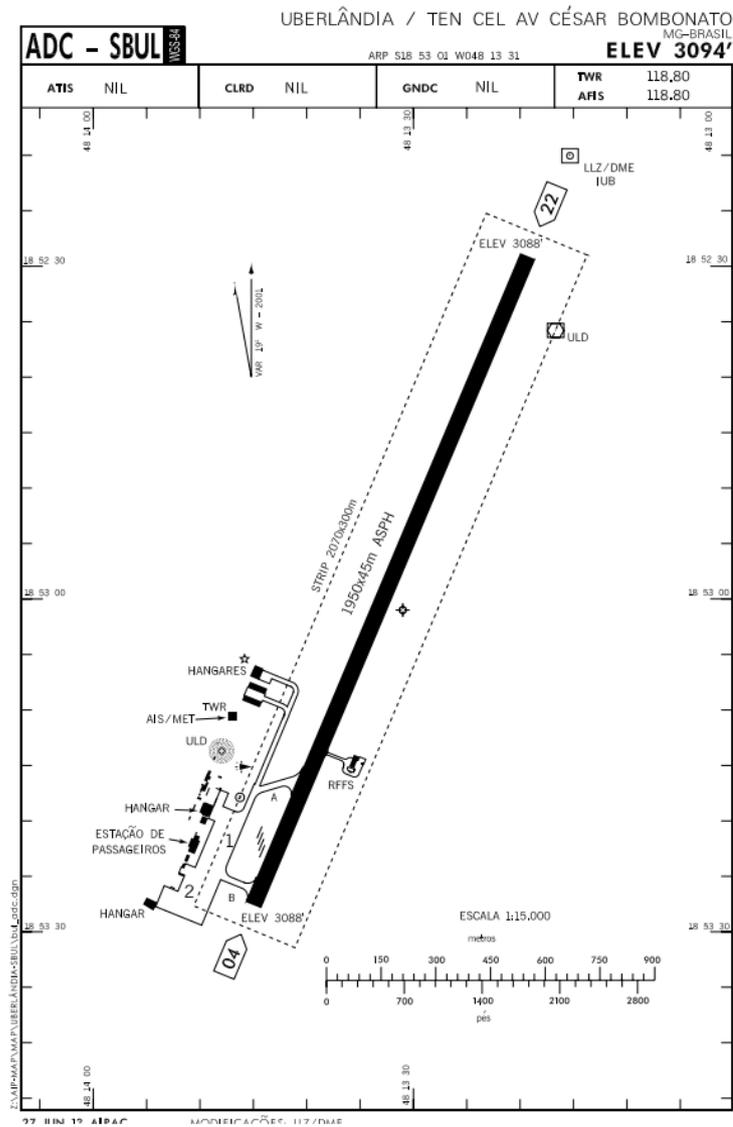
Como resultado da simulação, o *Pass-1* apresentou 48% de utilização ao longo das 18h e o *Pass-2* apresentou 26% de utilização ao longo das 9h (47% de utilização equivalente). A fila máxima de *Pass-1* foi de 22 passageiros, e de *Pass-2* manteve-se em 3. O tempo máximo de espera na fila de *Pass-1* foi de 7,86 minutos, enquanto de *Pass-2* manteve-se em 0,9 minuto. O passageiro que aguarda em *Pass-1* nesta proposta de programação ficou, em média, mais de 0,54 minuto na fila. A comparação de ambos os resultados de simulação está apresentado na Tabela 34.

Tabela 34 – Comparação dos resultados de simulação das programações propostas

<i>Módulo:</i>	<b>Programação proposta pelo aeroporto</b>		<b>Programação proposta por este trabalho</b>	
	<i>Pass-1</i>	<i>Pass-2</i>	<i>Pass-1</i>	<i>Pass-2</i>
<b>Utilização equivalente</b>	55%	40%	48%	47%
<b>Fila Máxima</b>	58	3	22	3
<b>Tempo Máximo de Fila</b>	18,96min	0,9min	7,86min	0,9min
<b>Tempo Médio de Fila</b>	4,08min	≈ 0	0,54min	≈ 0

Desta forma, o presente trabalho recomendou ao aeroporto de Uberlândia adotar a última programação proposta, devidamente justificada por meio dos dados apresentados. Vale lembrar que quaisquer alterações nas programações de voos do aeroporto gera a necessidade de atualização nos dados de entrada do *software*.

## ANEXO – Referências dos Sites Citados



A figura foi retirada do seguinte *site*:

< <http://www.aisweb.aer.mil.br/download/?arquivo=a55e63e6-24f7-1031-95e7-72567f175e3a> >

The screenshot shows the ANAC Digital Library website. At the top, there is a navigation bar with 'Acesso à Informação' and 'BRASIL'. The ANAC logo is on the left. The main header features the text 'Biblioteca Digital' and navigation links for 'Home' and 'Fale Conosco'. Below the header, there is a breadcrumb trail: 'Página Principal > Biblioteca Digital'. The main content area displays the search results for 'Demanda Detalhada dos Aeroportos Brasileiros', listing three items: 'Demanda Detalhada dos Aeroportos Brasileiros - vol I - 2005', 'Demanda Detalhada dos Aeroportos Brasileiros - vol II - 2005', and 'Demanda Detalhada dos Aeroportos Brasileiros - 2003'. On the left side, there is a search bar labeled 'Busca Avançada' and a list of navigation links including 'Catálogo de Publicações', 'Consulta ao Acervo', 'Informações Técnicas', 'Legislação', 'Links Úteis', 'Manuais de Procedimentos', 'Modelos e Formulários', and 'Publicações e Estudos'. At the bottom, there is a footer with contact information: 'Brasília/DF Setor Comercial Sul - Qd 09 - Lote C Ed. Pq Cidade Corporate - Torre A CEP: 70.308-200 Tel: (61) 3314-4105 [ Política de Privacidade ]'.

As informações de demanda foram retiradas do seguinte *site*:

< [http://www2.anac.gov.br/biblioteca/Biblioteca\\_DemandaAeroportosBrasileiros.asp](http://www2.anac.gov.br/biblioteca/Biblioteca_DemandaAeroportosBrasileiros.asp) >

