INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

Gabriel Calixto Carneiro de Sousa

Componentes Aeroportuários de Check-in e Inspeção de Segurança: Métodos de Dimensionamento e o Impacto de Novas Tecnologias

Trabalho de Graduação
2020

Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

Número da CDU (tamanho 10)

Gabriel Calixto Carneiro de Sousa

COMPONENTES AEROPORTUÁRIOS DE CHECK-IN E INSPEÇÃO DE SEGURANÇA: MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO E O IMPACTO DE NOVAS TECNOLOGIAS

Orientador: Professor Doutor Evandro José da Silva

Coorientadora: Professora Doutora Giovanna Miceli Ronzani Borille

ENGENHARIA CIVIL-AERONÁUTICA

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2020

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Divisão de Informação e Documentação

Sousa, Gabriel Calixto Carneiro de Sousa
Componentes Aeroportuários de Check-in e Inspeção de Segurança: Métodos de Dimensionamento e o Impacto de Novas Tecnologias / Gabriel Calixto Carneiro de Sousa.
São José dos Campos, 2020.
Número de folhas no formato 52f.

Trabalho de Graduação – Engenharia Civil-Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2020. Orientador: Professor Doutor Evandro José da Silva. Coorientadora: Professora Doutora Giovanna Miceli Ronzani Borille.

1. Planejamento Aeroportuário. 2.Simulação. 3. Novas Tecnologias. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II.Evolução da Metodologia de Dimensionamento de TPS e os Impactos das Novas Tecnologias

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOUSA, Gabriel Calixto Carneiro de. **Componentes Aeroportuários de Check-in e Inspeção de Segurança: Métodos de Dimensionamento e o Impacto de Novas Tecnologias**. 2020. 52f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Gabriel Calixto Carneiro de Sousa
TÍTULO DO TRABALHO: Componentes Aeroportuários de Check-in e Inspeção de Segurança: Métodos de Dimensionamento e o Impacto de Novas Tecnologias
TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2020

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

_____

Gabriel Calixto Carneiro de Sousa
Rua Abolição 87, Apartamento 146, Torre 1
12245-500, São José dos Campos – SP

COMPONENTES AEROPORTUÁRIOS DE CHECK-IN E INSPEÇÃO DE SEGURANÇA: MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO E O IMPACTO DE NOVAS TECNOLOGIAS

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação

Gabriel Calixto Carneiro de Sousa

Gabriel Calixto Carneiro de Sousa

Autor

Evandro José da Silva

Prof. Dr Evandro José da Silva (ITA)

Orientador

Profa. Dra Giovanna Miceli Ronzani Borille

Coorientadora

Prof. Dr João Cláudio Bassan de Moraes

Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 16 de novembro de 2020

Dedico este trabalho a meus pais e irmão, aos meus amigos e colegas de trabalho e estudo, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho acadêmico.

Agradecimentos

Gostaria primeiramente de agradecer a meus pais e irmão, que sempre me apoiaram e me motivaram em todas as minhas escolhas e sempre me incentivaram desde que eu era pequeno a investir na minha educação, independente de todas as dificuldades.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Evandro e minha orientadora Profa. Dra. Giovanna, pelo apoio, disponibilidade e ensinamentos antes e durante o desenvolvimento deste trabalho, fornecendo ideias, *feedbacks* construtivos e me motivando a sempre melhorar.

Gostaria de agradecer a toda a equipe da INFRAWAY Engenharia, por todo o apoio, incentivos e ensinamentos durante todo o período de estágio, proporcionando uma experiência que mudou minha vida profissional e pessoal.

Por fim, agradeço especialmente aos meus grandes amigos Elisiane Camargo, Gabriela Loiola, João Marcos, José Luciano e Thaís Soares, que sempre estiveram presentes ao meu lado em todos os momentos, sejam eles bons ou ruins. Agradeço por semprem estarem ao meu lado me ajudando a levantar, superar os desafios e dificuldades e realizar meus sonhos. Amo vocês!

"Não pense que tem que ser fácil, pense que tem que ser divertido".

Autor Desconhecido

Resumo

A crescente demanda por voos vem exigindo cada vez mais melhorias e otimizações dos terminais aeroportuários de passageiros (TPS) existentes ou planejados. Estudos relativos ao TPS estão sendo mais recorrentes, contemplando o dimensionamento do mesmo, permitindo a compatibilização das necessidades geradas pela demanda prevista. O presente Trabalho de Graduação visa discutir as metodologias de dimensionamento, analíticas e simulação, presentes na literatura, bem como analisar seus pontos fortes e suas problemáticas e discutir como os atuais terminais de passageiros estão sendo otimizados com os novos serviços presentes no mercado. Para isso, o método apresentado na ADRM 11 (2019) para dimensionamento é analisado com relação aos seus *inputs*, considerações gerais e *outputs*. De forma análoga, será analisada a metodologia baseada em modelos de simulação, com relação aos seus *inputs*, quesitos de verificação e validação e *outputs*. Em seguida, será realizado uma simulação dos novos serviços que estão sendo ofertados no mercado, a fim de comparar os resultados obtidos e se verificar as implicações da evolução das metodologias de dimensionamento e dos serviços ofertados no setor. Realizada a obtenção dos principais dados requeridos e adotando-se premissas para os demais dados, foi possível obter os resultados do dimensionamento para os diversos cenários analisados e realizar uma comparação qualitativa dos mesmos. Com isso, conclui-se que a metodologia de dimensionamento baseada em simulação traz um resultado mais otimizado em relação à metodologia analítica abordada. No entanto, ela necessita de uma quantidade maior de dados e de uma maior caracterização da operação do aeroporto e dos passageiros. Foi concluído também, que as novas tecnologias tendem a otimizar mais a operação do aeroporto com processos mais rápidos e mais seguros, porém a fim de instalar esses novos serviços, um investimento é necessário e esse investimento pode ser restritivo em aeroportos de médio e pequeno porte.

Abstract

The growing demand for flights requires improvements and optimizations for existing or planned airport passenger terminals, including terminal sizing. This Graduation Work aims to analyze airport terminal sizing methods, namely the analytical and the simulation approach.

For this, the rationale presented in ADRM 11 (2019) for airport terminal sizing is analyzed in relation to its inputs, general considerations and outputs. In a similar way, the simulation approach is analyzed, in relation to its inputs, verification and validation requirements, as well as the outputs. Along with the aforementioned methodological assessment, new airport services are analyzed, in order to assess their implications over the required processing and queueing areas.

It was concluded that the simulation-based sizing methodology brings a superior results in relation to the analytical methodology, but it needs a larger amount of data and a greater characterization of the airport operation. It was also concluded that new technologies tend to optimize the airport's operation with faster and safer processes. However, the deployment of these new services directly impact capital expenditures, wich can be more detrimental to small airports.

Lista de Figuras

Figura 1-1: Movimentação Anual de Passageiros.Fonte: ANAC, Horus 2020. 16

Figura 2-1: Fluxo de Passageiros e Bagagens no TPS. Fonte: FEITOSA (2000). 21

Figura 2-2: *Layout* dos Processadores e Área de Fila. Fonte: ADRM 11 (2019). 24

Figura 2-3: Área por Passageiro e Tempos de Espera em Fila. Fonte: ADRM 11 (2019), Adaptado. 25

Figura 2-4: Metodologia de Simulação. Fonte: Ashford (2011), Adaptado. 27

Figura 2-5: Despacho automático de bagagens no Aeroporto Internacional de Viena. Fonte: Corgan Associates, Inc. 30

Figura 2-6: Quiosques de autoatendimento e Despachos automáticos de bagagens. Fonte: ICM Airport Technics. 30

Figura 2-7: Processos de Check-in. Fonte: ADRM 11 (2019). 31

Figura 2-8: Equipamento de Tomografia Computadorizada. Fonte: Smiths Detection. 32

Figura 2-9: Restrições da bagagem de mão de acordo com o equipamento instalado. Fonte: Advanced Cabin Baggage Screening/ Computed Tomography (CT) Implementation Guide – ACI. 32

Figura 3-1: Tabela de Fatores Pico. Fonte: Plano Aeroviario do Estado de São Paulo (2007). 33

Figura 3-2: Fator Pico Estimado. Fonte: Autor. 34

Figura 3-3: Tempo de Processamento de Check-in. Fonte: Autor. 36

Figura 3-4: Tempo de Processamento de Inspeção de Segurança. Fonte: Autor. 37

Figura 3-5: Exemplo dos dados da base SIROS. Fonte: SIROS. 38

Figura 3-6: Exemplo dos dados da base VRA. Fonte: VRA. 38

Figura 3-7: Tempo mínimo de conexão. Fonte: ADRM 11 (2019). 39

Figura 3-8: Lista de dados da pesquisa de satisfação da SAC. Fonte: SAC.....39

Figura 3-9: Histograma da Chegada dos Passageiros no TPS. Fonte: Autor. 40

Figura 3-10: Curva de Chegada dos Passgeiros. Fonte: ADRM 11 (2019). 41

Figura 4-1: Exemplo de Comparação Gráfica. Fonte: FEITOSA (2000). 44

Figura 5-1: Comparação de Equipamentos necessários no Check-in. Fonte: Autor. 46

Figura 5-2: Comparação da Área de Fila necessários no Check-in. Fonte: Autor. 47

Figura 5-3: Comparação de Equipamentos necessários na Inspeção de Segurança. Fonte: Autor. 47

Figura 5-4: Comparação da Área de Fila necessários na Inspeção de Segurança. Fonte: Autor. 48

Figura 6-1: Resumo das Conlusões. Fonte: Autor.....50

Lista de Tabelas

Tabela 1-1: Descrição dos Cenários de Estudo. Fonte: Autor. 17

Tabela 2-1: Principais Componentes Operacionais. Fonte: FEITOSA (2000), Adaptado. 20

Tabela 2-2: Metodologias de Dimensionamento. Fonte: Sinthia (2016), ACRP 025 (2010), Adaptado. 29

Tabela 4-1 :Verificação Gráfica. Fonte: FEITOSA (2000), Adaptado. 42

Tabela 4-2: Verificação de Resultados Imediatos. Fonte: FEITOSA (2000), Adaptado. 43

Tabela 4-3: Parâmetros de Ajuste para Calibração. Fonte: Autor. 45

Lista de Abreviaturas e Siglas

ACI	*Airport Council International*
ACRP	*Airport Cooperative Research Program*
ADRM	*Airport Development Reference Manual*
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CAPEX	*Capital Expenditure*
FAA	*Federal Aviation Administration*
IATA	*Internacional Air Transport Association*
ICAO	*International Civil Aviation Organization*
OPEX	*Operational Expenditure*
TG	Trabalho de Graduação
TPS	Terminal de Passageiros
SAC	Secretaria de Aviação Civil
SIROS	Sistema de Registro de Operações
VRA	Sistema de Voos Realizados

Definições

Benchmark Padrão para medidas ou avaliações. Melhor marca alcançada no mercado. Ponto de referência para observação.

Benchmarking Mensuração contínua da performance dos produtos, serviços, custos, e práticas em comparação com a concorrência ou empresas que possuem a qualificação de melhores nesta classe de atividade.

Cabeceira Início da parcela da pista de pouso e decolagem destinada ao pouso.

Check-in Registro que cada passageiro deve realizar no balcão da companhia aérea antes do embarque, quando a companhia despacha as bagagens e entrega o cartão de embarque ao passageiro. Atualmente, o passageiro pode realizar o check-in eletrônico pela internet ou em terminais de autoatendimento, dirigindo-se ao balcão da companhia apenas para despachar a bagagem.

Dia-médio Dia que representa a média diária em uma amostra anual.

Hora-pico Refere-se ao intervalo de uma hora do dia-pico em que ocorreu a maior movimentação de passageiros.

Meio-fio Componente do terminal de passageiros reservado ao embarque e desembarque de passageiros em ou de automóveis o próprio terminal (calçada em frente ao terminal).

Passageiro Unidade de contagem de passageiro do ponto de vista da companhia aérea – ela transporta um passageiro de uma origem para um destino em uma rota.

PAX Unidade de contagem de movimento de passageiro em aeroporto. Do ponto de vista do aeroporto, refere-se a passageiros embarcando, desembarcando e em conexão. Um passageiro em um voo doméstico direto, por exemplo, será contado duas vezes (uma vez no aeroporto de origem, outra no aeroporto de destino). Dessa forma, um passageiro em conexão será contado "n" vezes, por outro lado, um passageiro em voo internacional direto será contabilizado no Brasil apenas uma vez.

Sumário

1 INTRODUÇÃO 16
1.1 Objetivos 17
1.2 Escopo 18
1.3 Estrutura do Documento 18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 19
2.1 Terminal de Passageiros e Seus Componentes 19
2.2 Abordagens Metodológicas 22
2.2.1 Abordagem Analítica 23
2.2.2 Simulação 26
2.3 Novos Serviços no Terminal de Passageiros 29
3 METODOLOGIA 33
3.1 Hora-Pico 33
3.2 Tempo de Processamento 34
3.3 Cronograma de Voos 38
3.4 Curva de Chegada dos Passageiros 39
4 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO 42
4.1 Verificação 42
4.2 Validação 43
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 46
6 CONCLUSÃO 49
6.1 Limitações e Melhorias Futuras 50
REFERÊNCIAS 51

1 Introdução

O setor da aviação tem evoluído cada vez mais com o crescimento do país e ganhado cada vez mais destaque no cenário nacional, tanto pela crescente demanda pelo transporte de pessoas e cargas, quanto pelas recentes concessões dos aeroportos que eram administrados pela INFRAERO. Segundo os dados fornecidos pela ANAC e disponibilizados no Portal HÓRUS (Horus, 2020), a movimentação de passageiros no Brasil foi de cerca de 157 milhões de passageiros em 2010 e de 218 milhões de passageiros em 2019, representando um aumento de aproximadamente 39%, como pode ser observado na Figura 1-1.

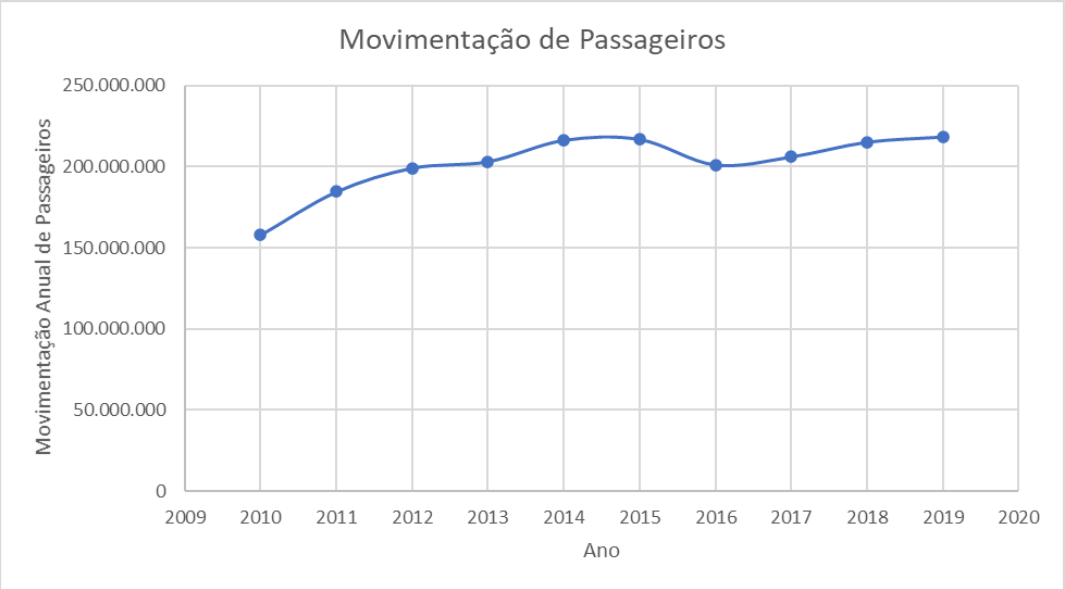


Figura 1-1: Movimentação Anual de Passageiros.Fonte: ANAC, Horus 2020.

A fim de disponibilizar a infraestrutura necessária para processar a crescente demanda de passageiros, o aeroporto pode passar por algumas mudanças. Uma delas é o aumento de área do terminal de passageiros, através do dimensionamento com uma previsão de demanda. Também pode recorrer à substituição dos equipamentos e atualização dos processos realizados, fazendo com que os tempos de processamento dos diversos sistemas do terminal sejam reduzidos e os processos sejam otimizados.

A metodologia analítica que é comumente utilizada para o dimensionamento de terminais de passageiros é a descrita na ADRM (*Airport Development Reference Manual*) da IATA (*Internacional Air Transport Association*). A metodologia é baseada no cálculo do número de equipamentos e áreas necessárias a partir da hora-pico, tempos de processamento, tempos de espera em fila e áreas mínimas por passageiro.

A metodologia baseada em modelos de simulação consiste na aplicação de técnicas que possibilitam prever o comportamento do sistema replicando os processos do terminal de

passageiros em representações computadorizadas. Esta metodologia é baseada na construção de diversos cenários operacionais e suas respectivas capacidades, servindo como ferramenta de avaliação da capacidade do sistema com relação à demanda estimada.

O presente estudo busca analisar os impactos gerados pela alteração da metodologia de dimensionamento de métodos analíticos para computacionais, visando não apenas o resultado do dimensionamento, mas também as problemáticas intrínsecas aos dados necessários. Avaliam-se ainda os impactos decorrentes da instalação das novas tecnologias e da disponibilização dos novos serviços a fim de otimizar os processos presentes no terminal de passageiros.

Os novos serviços são inovações que podem ser implementadas em aeroportos de diversas escalas a fim de melhorar a experiência dos passageiros e a eficiência operacional do aeroporto.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo uma avaliação dos impactos gerados pela evolução do processo de dimensionamento do terminal de passageiros, através de uma comparação qualitativa dos resultados obtidos com um método analítico com os resultados obtidos com o método baseado em simulação. Ademais, o trabalho visa avaliar também as consequências que os novos serviços do setor podem gerar a curto e longo prazos nos sistemas presentes no terminal de passageiros. A Tabela 1-1 resume os cenários analisados neste Trabalho de Graduação.

Cenário	Descrição
Cenário 1	Dimensionamento do TPS considerando método analítico e os serviços disponibilizados atualmente nos aeroportos brasileiros
Cenário 2	Dimensionamento do TPS considerando método baseado em modelos de simulação e os serviços disponibilizados atualmente nos aeroportos brasileiros.
Cenário 3	Dimensionamento do TPS considerando método baseado em modelos de simulação e os novos serviços que estão sendo disponibilizados no cenário mundial.

Tabela 1-1: Descrição dos Cenários de Estudo. Fonte: Autor.

1.2 Escopo

O presente estudo está voltado para a parte de dimensionamento de terminais de passageiros, dentro do aspecto de planejamento aeroportuário, visando analisar os impactos gerados pela evolução das metodologias de dimensionamento (metodologias analíticas e metodologias baseadas em modelos de simulação) e pela evolução dos precessadores e serviços ofertados no setor aeroportuário. O escopo do trabalho será restrito à análise dos principais sistemas de processamento de passageiros que embarcam no aeroporto, check-in (balcões tradicionais, quiosques de autoatendimento e despachos automáticos) e inspeção de segurança. Devido a situação de pandemia que ocorreu durante o período de desenvolvimento deste Trabalho de Graduação, não foi possível a realização do levantamento de informações operacionais detalhadas no aeroporto a fim de se realizar a análise de um caso real. Dessa forma, a análise foi aplicada em um aeroporto fictício com uma movimentação estimada de cinco milhões de passageiros anuais. A falta de dados operacionais detalhados também restringiu a realização do processo de validação do modelo de simulação desenvolvido, processo este que apesar de não realizado, foi descrito nas metodologias.

1.3 Estrutura do Documento

O capítulo 2 apresenta a definição de um terminal de passageiros, bem como os seus componentes, as principais metodologias de dimensionamento e os principais novos serviços que estão surgindo no setor aeroportuário, no quesito de terminal de passageiros. O capítulo 3 propõe metodologias de obtenção de alguns dos principais dados necessários para a aplicação das metodologias levantadas no capítulo 2. O capítulo 4 propõe metodologias para a realização do processo de verificação e validação do modelo de simulação que embasa uma das metodologias de dimensionamento apresentadas no capítulo 2. O capítulo 5 expõe análises e resultados obtidos com os dados obtidos e metodologias propostas, faz uma análise crítica dos impactos observados, apontando pontos positivos e negativos dos avanços. O capítulo 6 resume as principais conclusões do estudo e aponta possíveis melhorias e sugestões que podem ser introduzidas em estudos futuros.

2 Revisão Bibliográfica

Com base nos objetivos e no escopo do estudo, se faz necessário o entendimento dos elementos que caracterizam o terminal de passageiros, bem como as principais metodologias associadas ao seu dimensionamento, fatores de influência e inovações no setor. Neste capítulo são apresentados os principais temas referentes ao presente trabalho, além de uma análise da literatura em que são abordadas as metodologias e definições, incluindo-se manuais, estudos, trabalhos e teses correlacionados aos temas abordados no Trabalho de Graduação.

2.1 Terminal de Passageiros e Seus Componentes

De acordo com FEITOSA (2000), o terminal de passageiros (TPS) é a edificação onde acontecem os processos de transferência de passageiros entre os meios de transporte de superfície (carros, ônibus, trens, metrôs e a pé) e os transportes aéreos (aeronaves e helicópteros), ou de um modo de transporte aéreo para outro (conexões). Desta forma, Ashford (1992) atribui ao TPS três principais funções:

- Processar passageiros e bagagens;
- Fornecer as condições necessárias para a mudança de tipo de movimento; e
- Facilitar a transição de um modo de transporte para outro.

A fim de cumprir com todos esses objetivos, o terminal de passageiros dispõe de diversas instalações e componentes que realizam atividades específicas e integradas entre si.

Os componentes do TPS são as áreas específicas para a realização de determinada atividade da operação como um todo, tais como meio-fio de embarque, check-in e restituição de bagagens. Esses sistemas podem ser separados em dois grandes grupos, componentes operacionais, sendo as tarefas essenciais para o cumprimento do objetivo do TPS e os componentes não operacionais, que realizam atividades acessórias ao processo desenvolvido no TPS.

De acordo com ALMEIDA (1996), os componentes operacionais podem ser classificados em componentes de processamento, que são aqueles que o passageiro e/ou sua bagagem são processados a depender de uma taxa do serviço do componente (tempo de processamento), componentes de circulação ou conectores, que são aqueles por onde os passageiros, acompanhantes, funcionários, visitantes e demais pessoas circulam e usam para se deslocar de um sistema para outro dentro do terminal de passageiros ou de um terminal para outro, e componentes de espera, que são aqueles onde o passageiro aguarda pela liberação para se dirigir a outro sistema ou para a aeronave.

DE NEUFVILLE (1992), faz uma divisão similar dos componentes; a divisão é feita em componentes de processamento, áreas de espera e áreas de circulação. A principal diferença com relação à classificação definida por ALMEIDA (1996), é a contemplação dos componentes não operacionais na classificação, considerando assim, concessões comerciais, como áreas de espera e/ou áreas de circulação, a depender da disposição física no terminal de passageiros.

Dentre os componentes do terminal de passageiros, alguns sistemas atuam de forma independente, de modo que o seu processamento não depende de outros sistemas. Já outros têm um determinado grau de interdependência. A Tabela 2-1 lista os principais componentes operacionais segregados por fluxo e tipo.

Fluxo	Tipo	Sistema	Interdependência
Embarque	Processador	Portão de Embarque	-
		Meio-fio de Embarque	Vias de Acesso
		Balcões de Check-in	Meio-fio e Despacho de Bagagens
		Despacho de Bagagens	Meio-fio e Check-in
		Vistoria de Bilhetes	Check-in e Despacho de Bagagens
		Vistoria de Segurança	Vistoria de Bilhetes
		Emigração	Vistoria de Segurança
	Área de Espera	Saguão de Embarque	-
		Sala de Espera	-
Desembarque	Processador	Imigração	-
		Restituição de Bagagens	Imigração
		Alfândega	Restituição de Bagagens e Imigração
	Área de Espera	Meio-fio de Desembarque	-
		Saguão de Desembarque	-

Tabela 2-1: Principais Componentes Operacionais. Fonte: FEITOSA (2000), Adaptado.

No presente estudo serão abordados apenas uma parte dos sistemas relacionados ao processo de embarque, check-in e inspeção de segurança. A Figura 2-1 ilustra o fluxo completo dos passageiros e das bagagens no TPS.

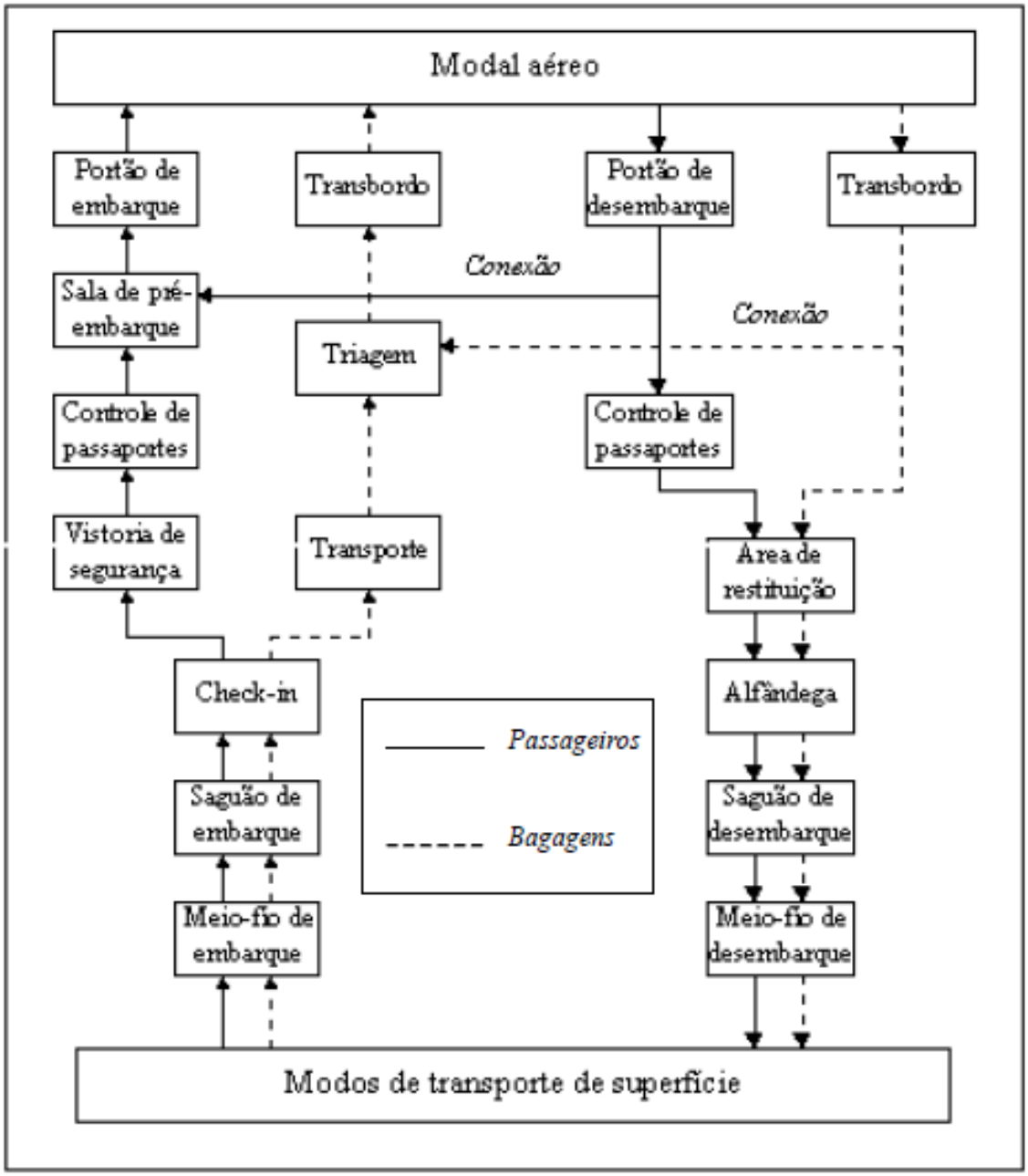


Figura 2-1: Fluxo de Passageiros e Bagagens no TPS. Fonte: FEITOSA (2000).

Pode-se notar que na Figura 2-1 foram apresentados apenas os componentes operacionais, onde a passagem dos passageiros se faz necessária, ilustrando assim a sequência mais simplificada dos procedimentos de embarque, desembarque e conexão no terminal aeroportuário. A caracterização do fluxo dos passageiros e bagagens é uma das principais etapas durante a elaboração do modelo de simulação, visto que é detalhado toda a lógica de sequência dos processadores.

2.2 Abordagens Metodológicas

As metodologias adotadas com a finalidade de dimensionar um terminal aeroportuário consistem em modelagens empíricas, modelagens analíticas e modelagens via simulação. As modelagens empíricas costumam ser caracterizadas por serem *top-down*, ou seja, o resultado do dimensionamento (infraestrutura requerida) é obtido com base em benchmarking e levantamentos de parâmetros globais dos componentes isoladamente e do terminal de passageiros como um todo. As modelagens analíticas, em geral, são caracterizadas por serem *bottom-up*, ou seja, o resultado do dimensionamento (infraestrutura requerida) é baseado em parâmetros específicos da operação que são utilizados em equações a fim de determinar quantidades de equipamentos e áreas requeridas. As modelagens via simulação também seguem um padrão *bottom-up*, em que os parâmetros específicos da operação são inseridos no software com as características operacionais do aeroporto em estudo a fim de se realizar análises de diversos cenários para se obter as quantidades de equipamentos e áreas requeridas.

Foi desenvolvido por Feitosa (2000), com a utilização do software ARENA, um modelo de simulação aplicável à análise operacional de terminais de passageiros de aeroportos regionais brasileiros.

Foi desenvolvido por Medeiros (2004) um método empírico de dimensionamento de componentes de um terminal baseado em índices de ocupação. Considerando como referencial a realidade brasileira, foram segmentados os parâmetros de dimensionamento de acordo com a classificação do aeroporto e o nível de serviço a ser atendido.

A ACRP 025 (2010) consiste em um estudo contendo diretrizes e modelos empíricos e analíticos para planejamento e dimensionamento de terminais. Nesse estudo são apresentadas as principais questões relacionadas a cada componente do terminal.

Rolim (2016) modelou as operações do Terminal 3 do Aeroporto de Guarulhos com o auxílio do software CAST Terminal. Foram desenvolvidos diversos cenários alternativos com a variação de parâmetros relacionados ao sistema de check-in. Entre outros resultados, foram obtidos os pesos que determinados fatores exercem sobre o tempo de espera na fila de check-in.

ADRM 11 (2019) é o manual de referência de dimensionamento aeroportuário da IATA. Ele apresenta diretrizes e equações para planejamento e dimensionamento das principais infraestruturas de um aeroporto. Suas equações são baseadas em metodologias analíticas regidas por diretrizes e parâmetros de operação do aeroporto.

2.2.1 Abordagem Analítica

A metodologia da ADRM 11 (2019) para o dimensionamento dos componentes de processamento é baseada no cálculo da quantidade de equipamentos e na área requerida para formação de fila.

A primeira etapa consiste na determinação da hora-pico do aeroporto, que pela definição da IATA é a hora de maior movimentação de passageiros do dia médio do mês pico. Outras definições podem ser adotadas para hora-pico, a ICAO define hora-pico como a trigésima hora de maior movimentação de passageiros no ano, a ANAC define como o intervalo de 60 minutos mais movimentados no dia médio do mês pico do ano civil e a FAA define como a hora mais ocupada do dia mais ocupado da semana típica. Tem-se neste ponto a primeira problemática, a definição a ser adotada, as definições geram valores levemente divergentes, uns com a tendência de gerar folga nos processadores, outros com a tendência de gerar valores mais próximos da real necessidade da infraestrutura frente à demanda anual estimada.

Em seguida, tem-se que determinar o tempo dos processadores e as porcentagens de utilização dos processadores, a fim de determinar a taxa de processamento de passageiros por minuto e a quantidade de passageiros processados no sistema durante a hora-pico. Neste ponto, tem-se a problemática relacionada à definição do tempo de processamento, visto este valor depende de diversas variáveis, tipo do equipamento, habilidade do operador e conhecimento dos passageiros com relação aos precessos realizados e suas necessidades, retirada de equipamentos da bagagem de mão ou entrega de documentos por exemplo.

Posteriormente, calcula-se o número de equipamentos necessários, a fim de atender a demanda estimada, considerando os *inputs* determinados nas etapas anteriores. O cálculo deve ser realizado para diferentes tempos picos, 15 minutos, 30 minutos, 60 minutos, 120 minutos e 240 minutos, sendo necessário ajustar a demanda de acordo com o tempo pico analisado. Essa análise se faz necessária devido aos diferentes tipos de operação do aeroporto devido aos diferentes portes e tamanhos. A Equação 2-1 ilustra a equação definida na ADRM 11 (2019) para o cálculo do número de equipamentos.

$$\#Units = \frac{Demand \times {}^{PT}/_{60}}{\Delta t + MQT} \qquad \textbf{Equação 2-1}$$

A equação ilustrada na Equação 2-1 depende não apenas da demanda do processador e da taxa de atendimento do equipamento (PT), mas também do tempo pico e do tempo de espera em fila (MQT), tempo de espera em fila que é estabelecido pela ADRM 11 (2019) e ilustrado na Figura 2-3. Essa dependência tem por objetivo considerar a característica estocástica do

processo e considerar a área de fila como um processador que funciona para acumular os passageiros aumentando a capacidade dos equipamentos.

Em seguida, com esse viés estocástico do processador, dimensiona-se a quantidade de passageiros em fila, baseado na quantidade de equipamentos, tempo máximo de espera em fila e tempo de processamento do equipamento, como pode ser observado na Equação 2-2.

$$Q_{MAX} = \frac{\#Units \times MQT}{PT/60} \qquad \textbf{Equação 2-2}$$

Posteriormete, calcula-se a área efetiva de fila requerida a fim de atender à demanda do sistema com o nível de serviço adotado. O dimensionamento é baseado no número de passageiros em fila dimensionado na etapa anterior e a área por passageiro definida pelo nível de serviço adotado, como pode ser observado na Equação 2-3. A ADRM 11 (2019) define intervalos de área por passageiros considerando um dimensionamento ótimo, ilustrado na Figura 2-3.

$$A = Q_{MAX} \times SP \qquad \textbf{Equação 2-3}$$

A Figura 2-2 ilustra o *layout* utilizado como exemplo na ADRM 11 (2019) a fim de ilustrar a quantidade de processadores dimensionada e a área de fila requerida a fim de atender à demanda projetada com os parâmetros adotados e o nível de serviço selecionado.

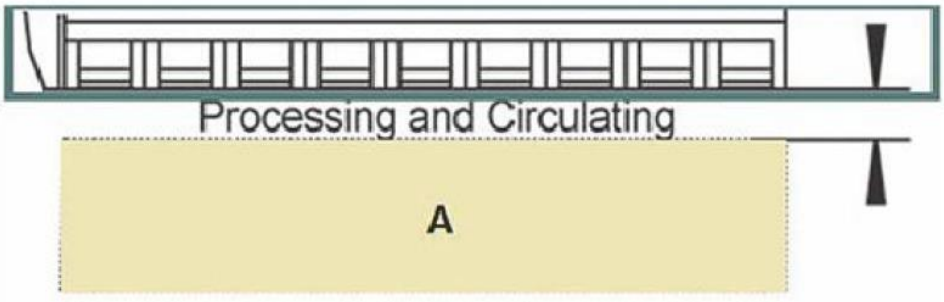
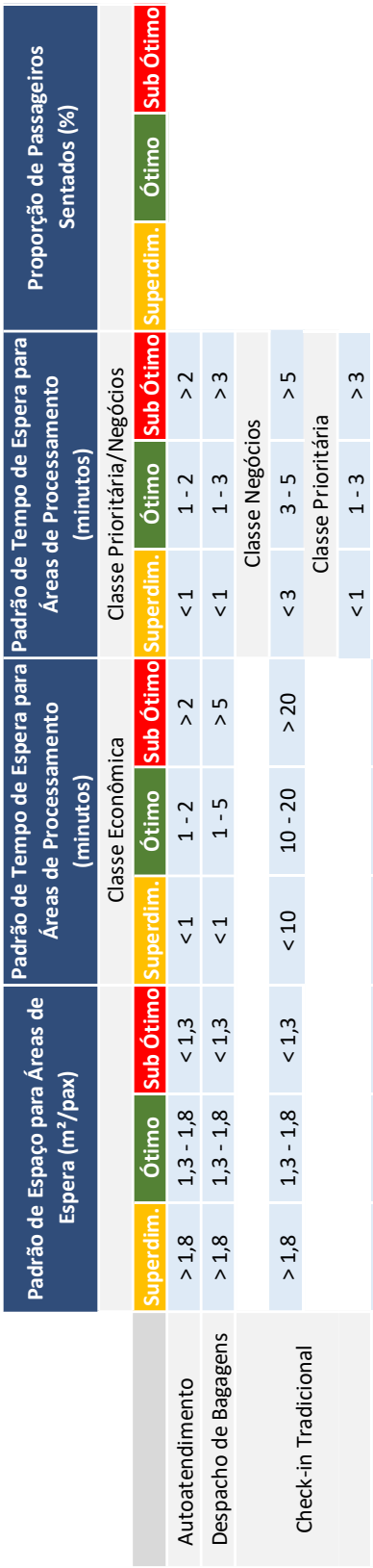


Figura 2-2: *Layout* dos Processadores e Área de Fila. Fonte: ADRM 11 (2019).



	Padrão de Espaço para Áreas de Espera (m²/pax)			Padrão de Tempo de Espera para Áreas de Processamento (minutos)			Padrão de Tempo de Espera para Áreas de Processamento (minutos)			Proporção de Passageiros Sentados (%)		
	Classe Econômica			Classe Econômica			Classe Prioritária/Negócios			Classe Prioritária/Negócios		
	Superdim.	Ótimo	Sub Ótimo	Superdim.	Ótimo	Sub Ótimo	Superdim.	Ótimo	Sub Ótimo	Superdim.	Ótimo	Sub Ótimo
Autoatendimento	> 1,8	1,3 - 1,8	< 1,3	< 1	1 - 2	> 2	< 1	1 - 2	> 2			
Despacho de Bagagens	> 1,8	1,3 - 1,8	< 1,3	< 1	1 - 5	> 5	< 1	1 - 3	> 3			
Check-in Tradicional	> 1,8	1,3 - 1,8	< 1,3	< 10	10 - 20	> 20	< 3	3 - 5	> 5			
							< 1	1 - 3	> 3			

Figura 2-3: Área por Passageiro e Tempos de Espera em Fila. Fonte: ADRM 11 (2019), Adaptado.

2.2.2 Simulação

As etapas associadas à metodologia baseada em modelos de simulação dependem primordialmente do software escolhido e do nível de detalhamento da simulação, macroscópico, mesoscópico e microscópico; porém determinadas etapas gerais são comuns após a escolha do software utilizado e do nível de detalhamento. A Figura 2-4 ilustra as principais etapas, tais como a coleta de dados e definição dos *inputs*, construção do modelo, processo que está altamente ligado à escolha do software, processo de verificação e processo de validação.

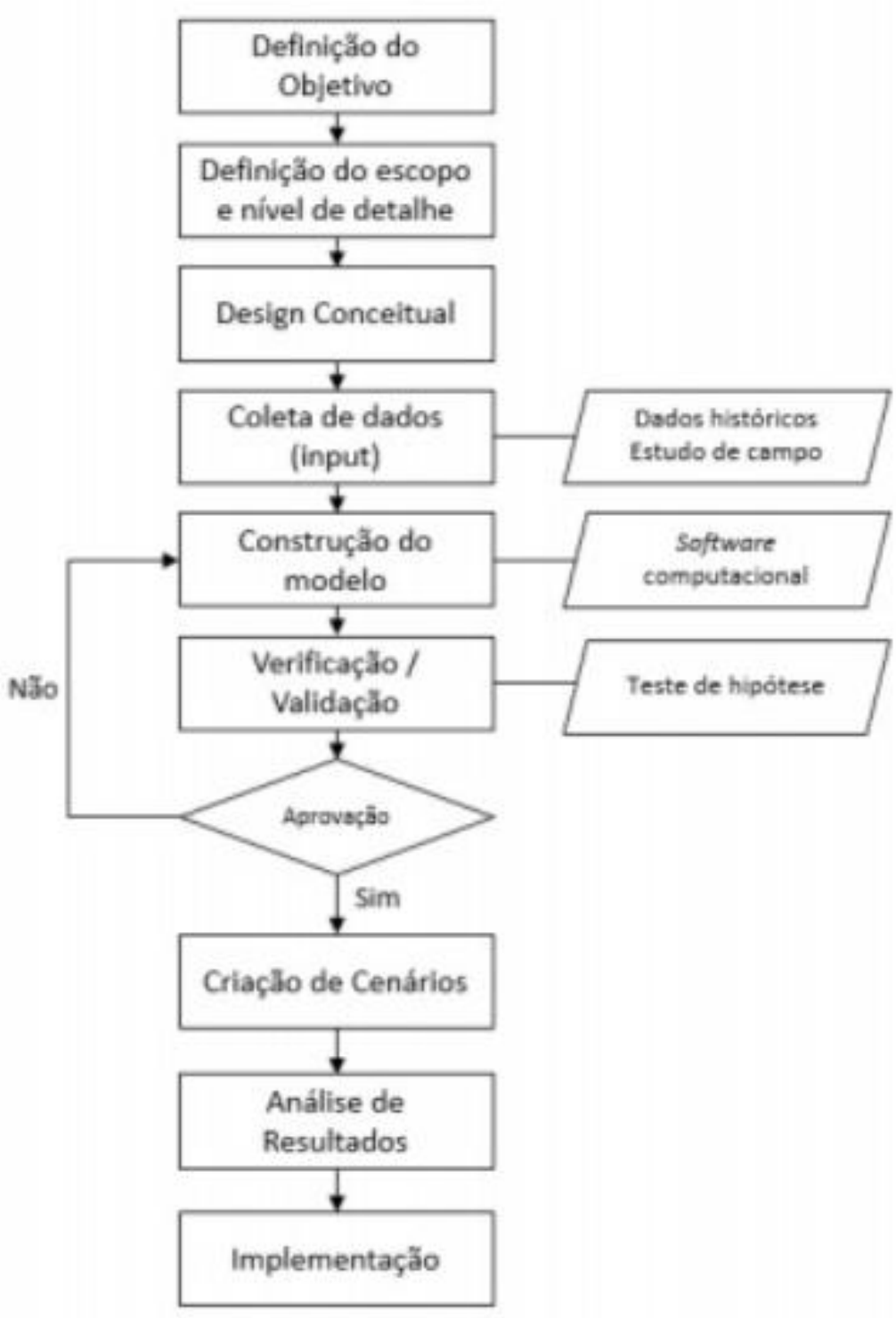


Figura 2-4: Metodologia de Simulação. Fonte: Ashford (2011), Adaptado.

O processo de definição dos *inputs*, assim como na metodologia analítica, é uma das principais problemáticas associadas ao método. No caso do método baseado em modelos de simulação, alguns dos principais *inputs* são cronograma de voos, *load factor* e curva de chegada dos passageiros, que definem a demanda do aeroporto e a hora-pico, tempo de processamento e a porcentagem de utilização dos processadores, a fim de definir a demanda de cada processador e a taxa de atendimento do equipamento. Nota-se que os *inputs* do método analítico e do método baseado em simulação são levemente diferentes. Tempo de espera em fila por exemplo, que é um *input* das metodologias analíticas, é um *output* das metodologias baseadas em simulação.

O processo de modelagem no *software* depende da escolha do programa, mas de modo geral, consiste na criação das entidades que representam os equipamentos e processadores, importação dos *inputs* e definição da geração de dados utilizados na simulação.

O processo de verificação, de modo geral, é o processo realizado a fim de checar os erros lógicos da implementação realizada e pode ser realizado através de diversos processos.

De acordo com FEITOSA (2000), a verificação é uma atividade que deve, além de acompanhar a implementação de um modelo, apurar a existência de erros, e, portanto, consome uma parcela de tempo dedicado ao projeto muito grande, tendo a sua eficiência dependente de como o programa está estruturado e a disponibilidade de documentação detalhada sobre o programa.

Para FREITAS FILHO (2008), as principais técnicas de verificação são a utilização de modelos determinísticos, variação dos *inputs*, uso de rotinas de rastreamento, execução de casos simplificados, verificação de consistências e a realização de um método gráfico.

O processo de validação, de modo geral, é o processo realizado a fim de checar o nível de aderência do modelo construído com a realizadade, sendo um processo interativo com o processo de calibração dos principais *inputs* com a finalidade de que o modelo retrate a realidade com um nível de confiança necessário para a realização das análises do estudo de caso.

De acordo com FEITOSA (2000), faz referência em seu trabalho da utilização das ferramentas de Testes de Sinais e de Wilcoxon, com base na estatística não paramétrica, que permite a comparação das séries de pontos que definam as curvas, podendo assim testar a hipótese de que as séries apresentam a mesma distribuição ou não.

A comparação de séries de pontos depende primeiramente da disponibilidade de dados para servirem de base. Esse é a principal problemática ligada ao processo de validação do

modelo que depende da coleta dos dados no aeroporto, seja manual ou automatizada, e o tratamento dos mesmo a fim de serem utilizados para a realização do processo de validação.

Em suma, as metodologias de dimensionamento podem ser segregadas de acordo com várias classificações, profundidade da análise, tipo da análise, custo operacional e tempo para execução. A Tabela 2-2 apresenta um resumo das principais metodologias de dimensionamento e suas classificações.

Tipo	Profundidade	Tipo de Análise	Custo	Tempo	Exemplos
Empíricas	Baixa	Experiência de Especialistas	Baixo	Baixo	-
		Benchmarking	Médio	Baixo	Medeiros (2004)
Analíticas	Média	Planilhas e Modelos de Fila	Médio	Médio	IATA (2019), ANAC (2012)
		Modelos de Regressão e Estatísticos	Médio/Alto	Médio	Simulação de Monte Carlo
Simulação	Alta	Modelos de Simulação	Alto	Alto	ARENA, ARCPort e CAST

Tabela 2-2: Metodologias de Dimensionamento. Fonte: Sinthia (2016), ACRP 025 (2010), Adaptado.

2.3 Novos Serviços no Terminal de Passageiros

Como mencionado anteriormente, o setor da aviação e sua demanda, tem aumentado cada vez mais nos últimos anos. Associado ao aumento de demanda, está a necessidade dos aeroportos aumentarem sua capacidade e a necessidade das companhias aéreas reduzirem seus custos operacionais. Em paralelo, existe também a crescente preocupação em deixar a realização da operação cada vez mais segura e confortável para o passageiro, a fim de melhorar a experiência do passageiro no aeroporto e aumentar a eficiência operacional.

Dentre as principais premissas e inovações da operação futura, a instalação de quiosques de autoatendimento e balcões de despacho automático tem sido as principais soluções usadas em aeroportos, visto que oferecem flexibilidade para a operação, devido a possibilidade do uso compartilhado entre as diversas companhias aéreas. Além da flexibilidade, outra motivação para a instalação de quiosques de autoatendimento e balcões de despacho automático é o aumento da taxa de processamento, que tem relação direta com a redução da infraestrutura requerida para atender à demanda, levando à redução de funcionários do aeroporto e das companhias aéreas e ao aumento da satisfação do passageiro. O processo de despacho de

bagagens automático e os quiosques de autoatendimento podem ser observados na Figura 2-5 e na Figura 2-6. A Figura 2-7 descreve os processos realizados nos diferentes tipos de equipamentos de check-in e ilusta o aumento da taxa de processamento de passageiros associado a implantação de equipamentos mais modernos.

Figura 2-5: Despacho automático de bagagens no Aeroporto Internacional de Viena.

Fonte: Corgan Associates, Inc.

Figura 2-6: Quiosques de autoatendimento e Despachos automáticos de bagagens.

Fonte: ICM Airport Technics.

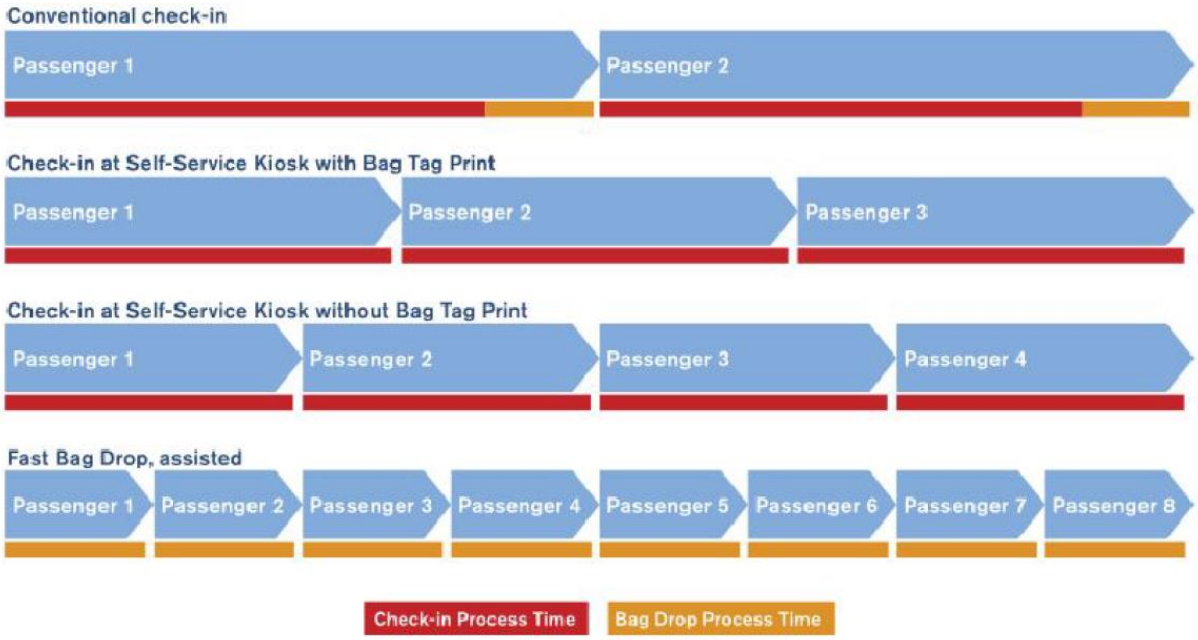


Figura 2-7: Processos de Check-in. Fonte: ADRM 11 (2019).

A principal inovação relacionada à segurança do passageiro, que ainda está em instalação, são equipamentos de tomografia computadorizada para a inspeção das bagagens de mão, mas já tem sido utilizada na triagem de bagagem de porão. Esta tecnologia detecta automaticamente explosivos dentro da bagagem de mão, inclusive dentro de líquidos e itens eletrônicos. Essas máquinas produzem uma imagem em três dimensões da bagagem inspecionada e permite que o operador rotacione e amplie a imagem. No que se diz respeiro ao passageiro, o incômodo do processo de inspeção de segurança será reduzido, visto que podem ser mantidos pertences como líquidos, aerossóis e grandes itens eletrônicos em suas malas. O Aeroporto de Heathrow no Reino Unido, com o suporte do Departamento de Transporte, está instalando equipamentos de tomografia computadorizada, com a previsão de finalizar a instalação em 2022. A Figura 2-8 ilustra o equipamento de tomografia computadorizada utilizado para a inspeção das bagagens de mão durante o processo de inspeção de segurança. A Figura 2-9 ilustra as restrições dos itens na bagagem de mão dependendo do equipamento instalado, levando em consideração que o quanto mais itens o passageiro tem que retirar da bagagem de mão, maior tende a ser o tempo de processamento; a instalação de equipamentos de tomografia computadorizada também pode ser uma possibilidade caso o aeroporto necessite aumentar a eficiência dos seus sistemas.

Figura 2-8: Equipamento de Tomografia Computadorizada. Fonte: Smiths Detection.

Figura 2-9: Restrições da bagagem de mão de acordo com o equipamento instalado. Fonte: Advanced Cabin Baggage Screening/ Computed Tomography (CT) Implementation Guide – ACI.

3 Metodologia

Para a análise dos três cenários propostos, os principais *inputs* para a metodologia analítica e para a metodologia baseada em modelos de simulação foram definidos através das metodologias listadas a seguir. Com relação aos demais *inputs*, foram adotadas premissas usando manuais de dimensionamento que listam os valores necessários, ADRM 10 (2015) e ACRP 025 (2010), e usando os Estudos de Viabilidade Técinica das concessões dos aeroportos brasileiros administrados pela INFRAERO, disponíveis no site da ANAC.

3.1 Hora-Pico

A hora-pico, como mencionado anteriormente, é um dos principais *inputs* das metodologias analíticas. A sua estimativa por ser feita através da distribuição dos passageiros de cada um dos voos presentes no cronograda de voos do aeroporto em estudo, mas esse método exige uma determinada quantidade de dados, detalhamento da operação e conhecimento da característica do passageiro.

Outra metodologia para a estimativa da hora-pico é a adoção de um fator pico, porcentagem que a hora-pico representa da movimentação anual de passageiros. O fator pico é, normalmente, estimado em estudos de demanda a fim de se estimar a hora-pico para o planejamento do plano de desenvolvimento do aeroporto. A Figura 3-1 ilustra os limites do fator pico, separado por faixa de demanda, que pode ser encontrado no Plano Aeroviário do Estado de São Paulo do ano de 2007, que além de detalhar a situação atual do aeroportos do estado de São Paulo, elabora uma previsão de demanda e um plano de desenvolvimento preliminar para os aeroportos.

Faixa de Demanda Anual	Índice de concentração – Brasil	
	Limite inferior (%)	Limite superior (%)
Abaixo de 100 mil	0,399	0,169
100 mil até 399,9 mil	0,118	0,084
400 mil até 999,9 mil	0,070	0,064
1 milhão até 2,99 milhões	0,051	0,046
3 milhões até 7,9 milhões	0,038	0,036
Acima de 8 milhões	0,027	0,024

Figura 3-1: Tabela de Fatores Pico. Fonte: Plano Aeroviario do Estado de São Paulo (2007).

Mesmo que os dados ilustrados na Figura 3-1 definam limites inferiores e superiores para cada uma das faixas de demanda, não se tem o comportamento exato do fator pico entre os valores de máximo e mínimo de cada um dos intervalos.

Frente a essa problemática, foi realizado um benchmarking a fim de se estimar uma curva que gere um valor contínuo para o fator pico dependendo da movimentação anual de passageiros.

Primeiramente foi coletado a hora-pico simultânea e a movimentação anual de diversos aeroportos do Brasil, estes dados podem ser obtidos diretamente dos Anuários Estatísticos Operacionais da INFRAERO que possibilitam o acesso as informações dos movimentos operacionais dos aeroportos administrados pela INFRAERO. Com posse da hora-pico e da movimentação anual destes aeroportos foi calculado o fator pico para diversos aeroportos e foi gerado um gráfico em que a abscissa é a movimentação anual de passageiros e a ordenada é o fator pico, ilustada na Figura 3-2.

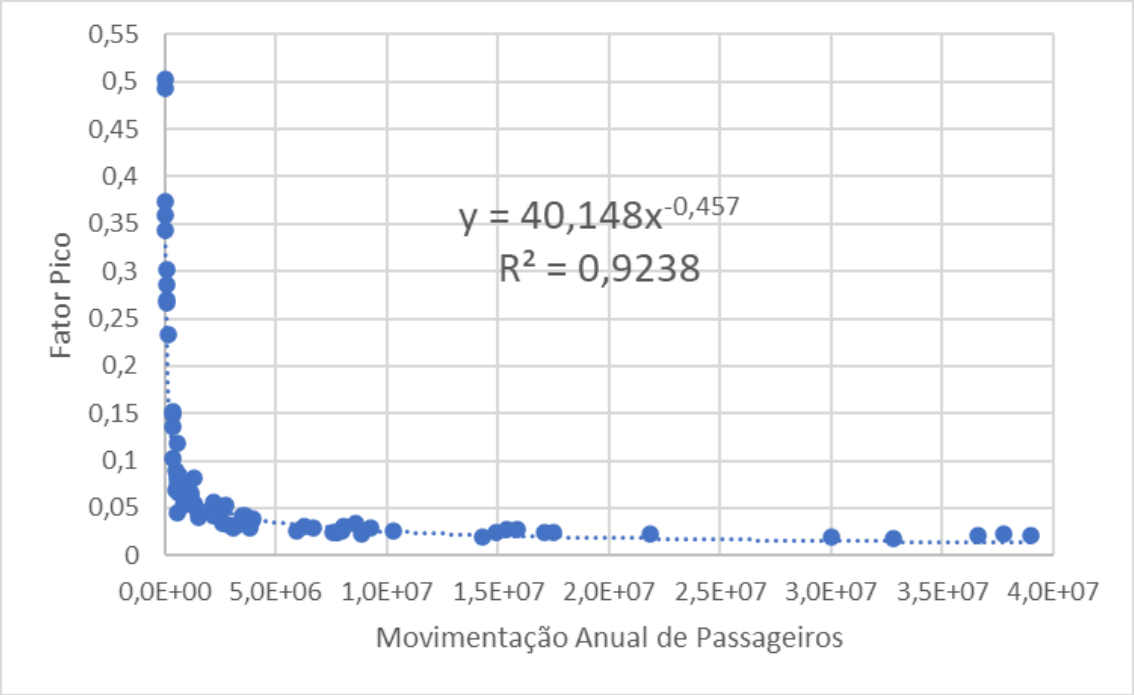


Figura 3-2: Fator Pico Estimado. Fonte: Autor.

Visto que o R^2 da equação de tendência encontrada é de 0,9238; a estimativa da hora-pico foi realizada com a equação de tendência e não com os valores encontrados no Plano Aeroviário do Estado de São Paulo. Desta forma, a hora-pico estimada foi de 1743 pax/h.

3.2 Tempo de Processamento

O tempo de processamento dos equipamentos, como mencionado anteriormente, é um dos principais *inputs* tanto das metodologias analíticas, quanto das metodologias baseadas em

modelos de simulação. Os valores do tempo de processamento dos diversos processadores podem ser encontrados em manuais tais como a ADRM 10 (2015) e em estudos como os Estudos de Viabilidade Técnica das concessões dos aeroportos brasileiros administrados pela INFRAERO, porém é mais recomendável que seja feito um benchmarking baseado nas características operacionais do aeroporto de estudo ou de aeroportos com operação similar ao aeroporto analisado.

Seguindo essa linha de raciocínio, foi realizado um benckmarking de alguns aeroportos, para que dadas as características de um aeroporto, valores mais realistas de tempo de processamento possam ser adotados. A principal fonte de dados é a Pesquisa de Desempenho Operacional da SAC, que listam dados obtidos das medições realizadas, dados estes que costumam ser, nome do aeroporto, companhia aérea, caracteristicas gerais do processador, horário da medição, horário que o passageiro entrou na fila, número de passageiros na fila, horário que o passageiro saiu da fila, quantidade de processadores abertos e tempo de espera em fila.

O tempo de processamento é dado pelo tempo que um sistema leva para processar um passageiro. Por simplificação, foi considerado que quando temos mais de um equipamento (balcões ou canais de inspeção ou guichê), foi considerado que todos os equipamentos atendem a uma única fila. Assim, o tempo de processamento preliminar, para cada uma das linhas da Pesquisa de Desempenho Operacional da SAC, pode ser estimado com a razão entre o produto do tempo total de espera em fila com o número de equipamentos disponíveis pela quantidade de passageiros em fila.

Tendo em vista que para diferentes níveis de exigência do sistema teremos diferentes valores para o tempo de processamento,visto a ociosidade do processador, se tornou necessário analisar o comportamento desses valores de acordo com a variação dos valores da razão entre o número de passageiros na fila e a média entre número de equipamentos (balcões ou canais de inspeção ou guichês) em funcionamento no início da medição e o número de equipamentos (balcões ou canais de inspeção ou guichês) em funcionamento no final da medição que costuma ser um dos indicadores do nível de exigência do sistema. Quando temos um baixo valor para esta razão é esperado que os valores de tempo de processamento sejam maiores visto que o operador está sujeito a um nível de pressão menor e a medida que o valor da razão aumenta, essa pressão aumenta e é esperado que os valores de tempo de processamento se reduzam até um valor aproximadamente constante que será atingido quando o operador estiver trabalhando no seu rendimento máximo.

Este patamar no valor de tempo de processamento pode ser observado quando colocamos em um gráfico os valores da razão calculada no eixo das abscissas e a média dos tempos de processamentos preliminares com valores de razão de tamanho de fila por equipamentos superiores a razão calculada no eixo das ordenadas. É esperado que o gráfico tenha um patamar no valor do tempo de processamento ótimo. A Figura 3-3 e a Figura 3-4 ilustram os gráficos gerados para os processadores de check-in tradicional e inspeção de segurança tradicional.

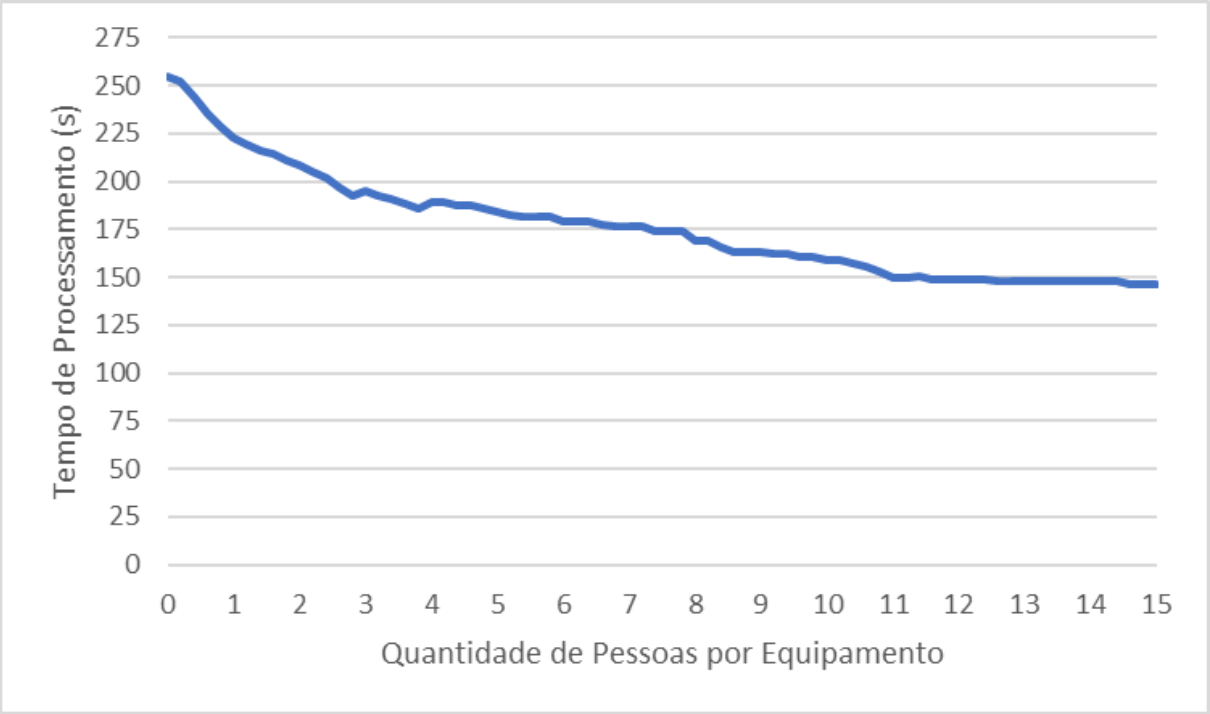


Figura 3-3: Tempo de Processamento de Check-in. Fonte: Autor.

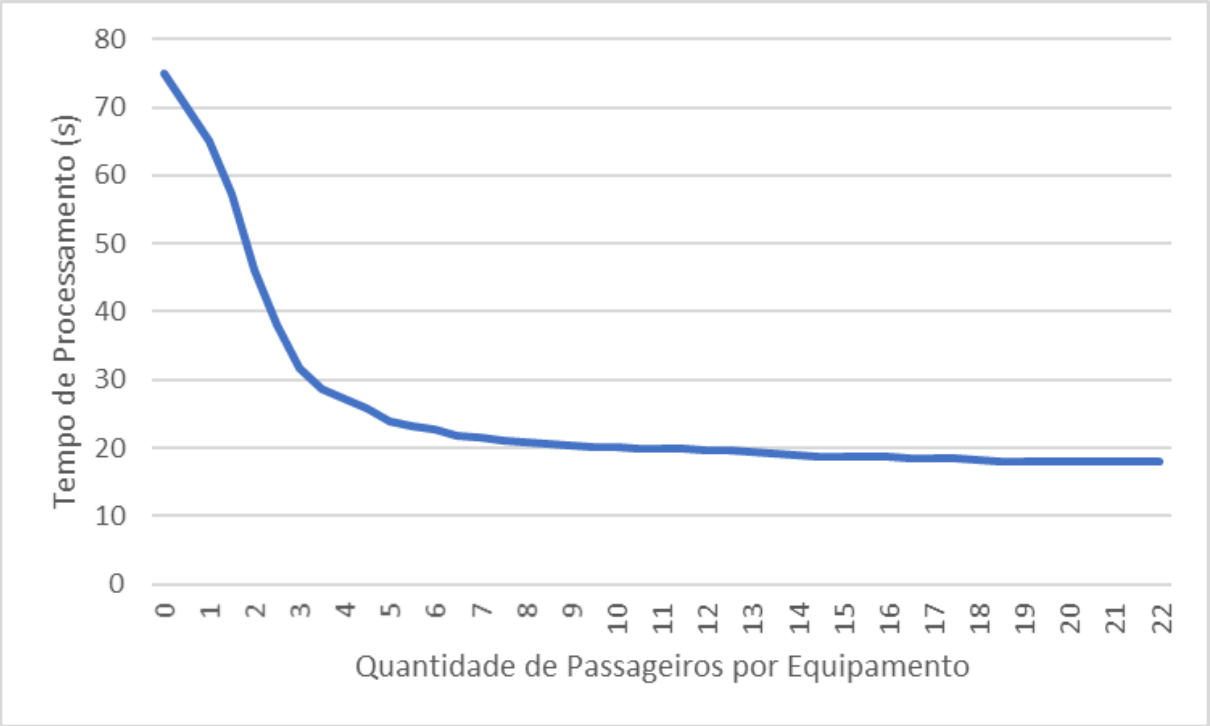


Figura 3-4: Tempo de Processamento de Inspeção de Segurança. Fonte: Autor.

Desta forma, com a análise dos gráficos, foram adotados os valores de 150 segundos para o tempo de processamento dos balcões de check-in e de 20 segundos para o tempo de processamento do processo atual de inspeção de segurança.

Com relação ao tempo de processamento do processo de despacho de bagagem automático, foram utilizados dados disponibilizados pelos fabricantes dos equipamentos (Amadeus e Materna IPS). De acordo com os folhetos detalhados disponibilizados nos sites dos fabricantes, o tempo de processamento do processo de despacho de bagagem automático é em torno de 40 a 45 segundos. Desta forma, foi adotado um tempo de processamento de 45 segundos para o processo de despacho de bagagem automático.

Com relação ao tempo de processamento do processo de inspeção de segurança com a utilização de tomografia computadorizada, devido à falta de dados a fim de se realizar uma análise análoga à realizada para check-in tradicional e o atual processo de inspeção de segurança, foi utilizado o guia de implementação de triagem avançada de bagagens de mão – tomografia computadorizada da ACI (*Advanced Cabin Baggage Screening/ Computed Tomography* (CT) Implementation Guide – ACI.). De acordo com o guia de implementação, os aeroportos tendem a ter um aumento de 20% na taxa de processamento, resultando em um tempo de processamento de aproximadamente 17 segundos para o processo de inspeção de segurança com tomografia computadorizada.

3.3 Cronograma de Voos

A principal fonte para a obtenção do cronograma de voos é a base de dados do SIROS que funciona como consulta dos voos planejados, ilustrado na Figura 3-5, e a base de dados do VRA, que funciona como consulta dos voos realizados, ilustrado na Figura 3-6.

01/01/2021	GLO	GOL LINHAS AÉREAS S.A. (EX- VRG LINHAS AÉREAS S.A.)	1	2109	B738	186	SBKP	01/01/2021 17:05	SBRJ	01/01/2021 18:15	REGULAR DE PASSAGEIROS DOMÉSTICA	
01/01/2021	AZU	AZUL LINHAS AÉREAS BRASILEIRAS S/A	1	4010	E295	136	SBKP	01/01/2021 09:20	SBIL	01/01/2021 11:20	REGULAR DE PASSAGEIROS DOMÉSTICA	
01/01/2021	AZU	AZUL LINHAS AÉREAS BRASILEIRAS S/A	1	4031	E295	136	SBKP	01/01/2021 22:30	SBMO	02/01/2021 01:20	REGULAR DE PASSAGEIROS DOMÉSTICA	
01/01/2021	AZU	AZUL LINHAS AÉREAS BRASILEIRAS S/A	1	4033	E195	118	SBKP	01/01/2021 23:10	SBAR	02/01/2021 01:45	REGULAR DE PASSAGEIROS DOMÉSTICA	
01/01/2021	AZU	AZUL LINHAS AÉREAS BRASILEIRAS S/A	1	4041	E195	118	SBKP	01/01/2021 10:30	SBRJ	01/01/2021 11:35	REGULAR DE PASSAGEIROS DOMÉSTICA	
01/01/2021	AZU	AZUL LINHAS AÉREAS BRASILEIRAS S/A	1	4045	E195	118	SBKP	01/01/2021 11:10	SBCF	01/01/2021 12:25	REGULAR DE PASSAGEIROS DOMÉSTICA	TAM/9623

Figura 3-5: Exemplo dos dados da base SIROS. Fonte: SIROS.

Sigla ICAO Empresa Aérea	Empresa Aérea	Número Voo	Código DI	Código Tipo Linha	Modelo Equipamento	Número de Assentos	Sigla ICAO Aeroporto Origem	Descrição Aeroporto Origem	Partida Prevista	Partida Real	Sigla ICAO Aeroporto Destino	Descrição Aeroporto Destino	Chegada Prevista	Chegada Real	Situacão Voo	Código Justificativa	Justificativa
AAL	AMERICAN AIRLINES, INC.	0216	0	I	B789	284	SBGR	GUARULHOS - GOVERNADOR ANDRÉ FRANCO MONTORO - GUARULHOS - SP - BRASIL	03/11/2019 21:30	03/11/2019 22:25	KLAX	LOS ANGELES INTERNATIONAL AIRPORT - LOS ANGELES, CALIFORNIA - ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA	04/11/2019 10:05	04/11/2019 11:02	REALIZADO	MX	ATRASOS NÃO ESPECÍFICOS, OUTROS
AAL	AMERICAN AIRLINES, INC.	0216	0	I	B789	284	SBGR	GUARULHOS - GOVERNADOR ANDRÉ FRANCO MONTORO - GUARULHOS - SP - BRASIL	10/04/2019 22:30	10/04/2019 23:18	KLAX	LOS ANGELES INTERNATIONAL AIRPORT - LOS ANGELES, CALIFORNIA - ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA	11/04/2019 10:55	11/04/2019 12:03	REALIZADO	MX	ATRASOS NÃO ESPECÍFICOS, OUTROS
AAL	AMERICAN AIRLINES, INC.	0216	0	I	B789	284	SBGR	GUARULHOS - GOVERNADOR ANDRÉ FRANCO MONTORO - GUARULHOS - SP - BRASIL	12/04/2019 22:30	12/04/2019 22:27	KLAX	LOS ANGELES INTERNATIONAL AIRPORT - LOS ANGELES, CALIFORNIA - ESTADOS UNIDOS DA	13/04/2019 10:55	13/04/2019 11:28	REALIZADO	MX	ATRASOS NÃO ESPECÍFICOS, OUTROS

Figura 3-6: Exemplo dos dados da base VRA. Fonte: VRA.

Ambas as bases listam detalhadamente cada uma das operações de pouso e decolagem dos aeroportos, podendo a busca ser realizada com diversos filtros, tais como data da operação, companhia aérea, aeroporto de origem e aeroporto de destino. A principal diferença entre as bases é a presença dos horários reais de partida e de chegada do voo. A fim de elaborar o cronograma de voos do aeroporto fictício em estudo, foi utilizado a base do VRA e escolhido um aeroporto real com uma movimentação anual de passageiros similar (Aeroporto de Santos Dumont) com a realização do tratamento dos dados a fim de associar as linhas de pouso com uma linha de decolagem e gerar linhas com uma operação completa da aeronave (pouso e decolagem da mesma).

As principais premissas adotadas no tratamento desses dados foi a retirada dos voos de carga e voos não realizados, consideração do tipo da aeronave, quantidade assentos disponíveis, companhia aérea, aeroporto de origem/destino e os tempos mínimos de conexão listados na ADRM 11 (2019), apresentados na Figura 3-7, como fatores base para a associação de uma operação de pouso com uma operação de decolagem.

	Domestic to Domestic	Domestic to International	International to Domestic	International to International
Minimum Connecting Time	35–45	35–45	45–60	45–60

Figura 3-7: Tempo mínimo de conexão. Fonte: ADRM 11 (2019).

Além do cronograma de voos, se faz necessária também a adoção de um *load factor* das aeronaves, visto que tanto a base SIROS, quanto a base VRA trazem dados de assentos disponíveis. Com a finalidade de simplificação, foi adotado o mesmo *load factor* utilizado nas Declarações de Capacidade da ANAC, 85%, mas caso esteja sendo feito um estudo de caso de um aeroporto real, pode-se estimar o *load factor* com a divisão da movimentação de passageiros presente no site do HÓRUS pela quantidade anual de assentos disponíveis presente na base SIROS ou na base VRA.

3.4 Curva de Chegada dos Passageiros

A curva de chegada dos passageiros pode ser obtida de diversas formas, no caso da realização de um estudo de caso de um aeroporto real é recomendável a coleta em campo desses dados através de uma pesquisa realizada a fim de coletar a informação do tempo de antecedência que o passageiro chega no aeroporto. Outra possibilidade que pode ser feita para um estudo de caso é o tratamento dos dados da Pesquisa de Satisfação da SAC. Esta pesquisa possui os tempos de antecedência de chegada para o voo, ilustrada na Figura 3-8.

QUANT. DE VIAGENS PARTINDO DESSE AEROPORTO (últimos 12 meses)	FREQUÊNCIA DE VIAGEM (últimos 12 meses)	TEMPO DE ANTECEDÊNCIA DE CHEGADA PARA O VOO
É a primeira vez	É a primeira vez	01h31min até 02h00min
É a primeira vez	2 a 3 vezes	Mais de 03h01min
Mais de 11 vezes	Mais de 11 vezes	00h30min até 01h00min
6 a 10 vezes	Mais de 11 vezes	00h30min até 01h00min
É a primeira vez	6 a 10 vezes	Mais de 03h01min
É a primeira vez	2 a 3 vezes	02h01min até 02h30min
É a primeira vez	2 a 3 vezes	Mais de 03h01min
É a primeira vez	2 a 3 vezes	02h01min até 02h30min
2 a 3 vezes	2 a 3 vezes	02h31min até 03h00min

Figura 3-8: Lista de dados da pesquisa de satisfação da SAC. Fonte: SAC.

Com o tratamento desses dados, é possível gerar um histograma que representa a chegada dos passageiros no TPS, ilustrado na Figura 3-9, em que o eixo das abscissas representa o tempo de antecedência que o passageiro chegou no terminal e o eixo das ordenadas representa a porcentagem dos passageiros. O histograma ilustrado como exemplo foi gerado com os dados do Aeroporto de Santos Dumont do ano de 2019.

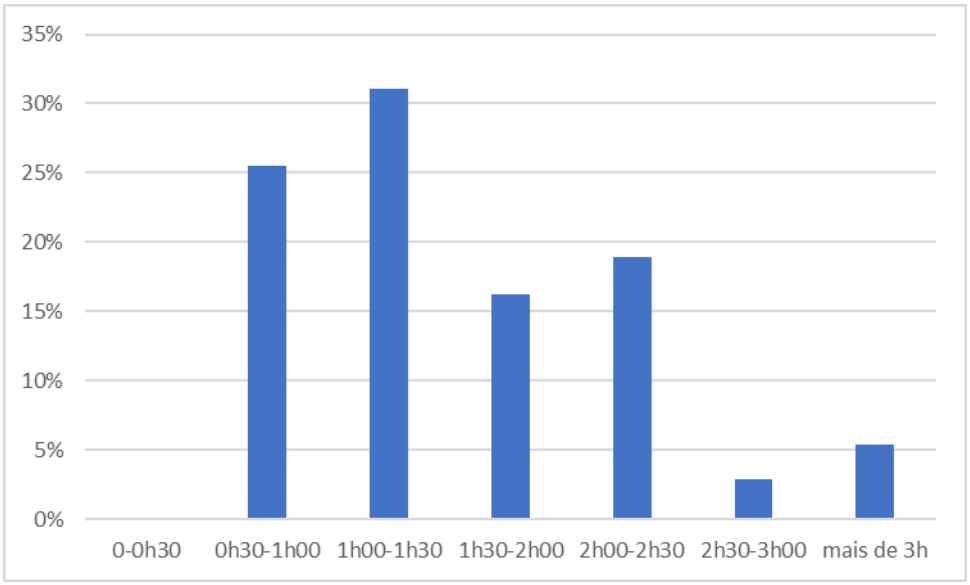


Figura 3-9: Histograma da Chegada dos Passageiros no TPS. Fonte: Autor.

Essas metodologias podem ser usadas na análise de um aeroporto específico. A ADRM 11 (2019) considera um exemplo genérico para a curva de chegada dos passageiros, ilustrada na Figura 3-10. Visto que este Trabalho de Graduação tem por objetivo analisar o impacto das metodologias e inovações com o dimensionamento de um aeroporto fictício, foi adotada como curva de chegada dos passageiros a que pode ser encontrar na ADRM 11 (2019), com a ressalva que, caso seja feito um estudo de caso de um aeroporto específico, deve-se realizar um processo de coleta de dados ou tratamento de dados previamente existentes a fim de ter uma melhor caracterização da operação do aeroporto em estudo.

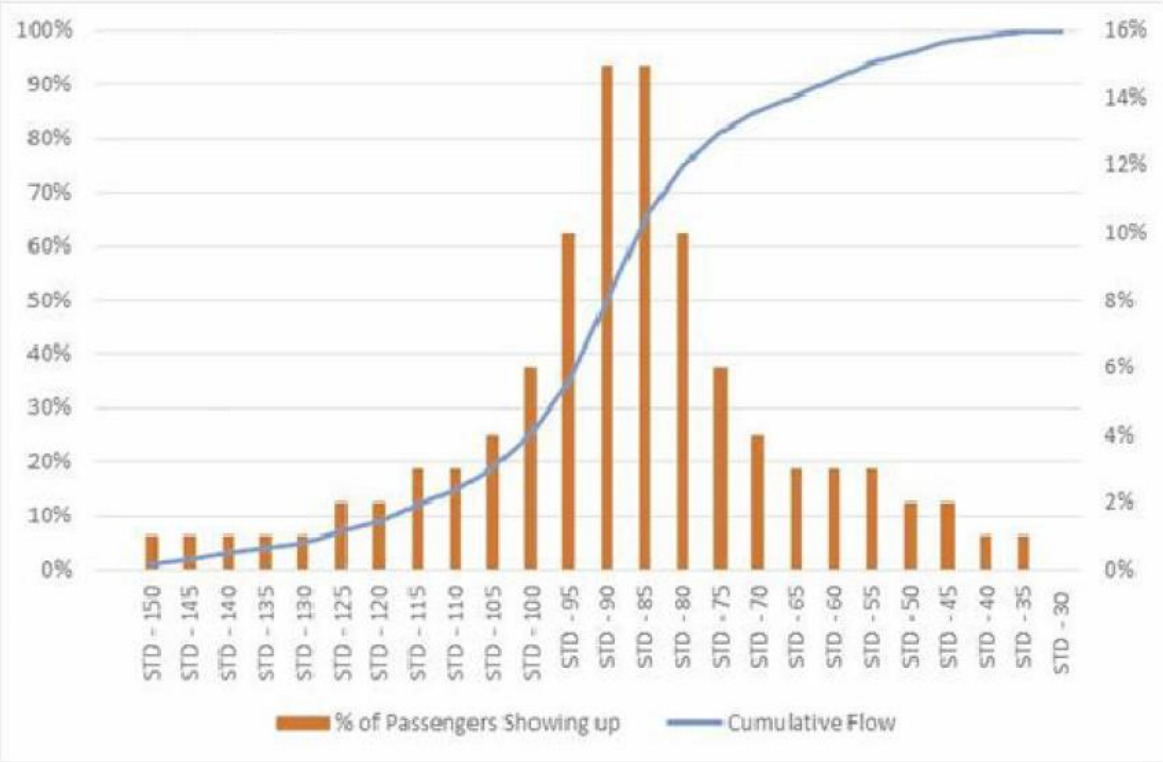


Figura 3-10: Curva de Chegada dos Passgeiros. Fonte: ADRM 11 (2019).

Nota-se que com o cronograma de voos, *load factor* e a curva de chegada dos passageiros, pode-se estimar a hora-pico, porém este é um processo que demanda um maior tempo disponível devido aos tratamentos dos dados e elaboração do cronograma de voos, que tem sua complexidade aumentada, à medida que o aeroporto possui uma maior movimentação de aeronaves e elaboração da curva de chegada dos passageiros.

4 Verificação e Validação

A verificação e validação dos modelos de simulação são imprescindíveis, visto que estes são muito sensíveis aos inputs, à implementação e à calibração.

O propósito geral da verificação é checar se o software ou o código computacional está se comportando como o esperado, ou seja, se não possui erros de lógica e resultados que não condizem com os esperados como *outputs*.

Já o processo de validação, tem como objetivo checar se o modelo contruído tem representatividade com o sistema analisado. Mesmo que o objetivo da simulação não seja alcançar uma representatividade perfeita da realidade, deve-se ter um grau de aderência mínimo a fim de que o modelo tenha utilidade prática.

4.1 Verificação

Para a realização da verificação do modelo uma das principais formas é a inspeção visual, onde por meio da animação gráfica, pode-se verificar se a simulação está condizente com o esperado, podendo ser notado erros elementares na programação, um passageiro que atravessa uma parede ou utiliza um processador errado por exemplo. A Tabela 4-1 lista os itens analisados na animação gráfica do modelo de simulação construído.

Sistema	Item Analisado
Análise Geral	• Verificação de passageiros com comportamentos anômalos (*Outliers*); • Analisar fluxo dos passageiros nos corredores.
Chegada dos passageiros	• Criação de passageiros e acompanhantes de embarque; • Mudança na frequência de chegada conforme a antecedência em relação ao horário previsto de partida do voo.
Saguão	• Consistência dos deslocamentos de cada tipo de entidade entre os componentes do TPS; • Presença de usuários que não deveriam ir para o check-in.
Check-in	• Ausência de usuários que não devem ir ao check-in; • Utilização de Filas exclusivas.
Inspeção de segurança	• Ocorrência de filas e número de pessoas; • Verificar ausência de visitantes acompanhando passageiros; • Utilização de filas exclusivas.

Tabela 4-1 :Verificação Gráfica. Fonte: FEITOSA (2000), Adaptado.

Outro processo realizado para a verificação do modelo foi a checagem da ordem de grandeza e consistências dos resultados do modelo, um passageiro que perdeu seu voo com um tempo de atraso de vinte e quatro horas ou teve um tempo de espera em fila de 30 horas por exemplo. Esses erros podem indicar que a sequência lógica não está bem definida no programa ou os dados não foram tratados de forma correta antes da importação para o programa. A Tabela 4-2 lista os principais resultados intermediários analisados do modelo de simulação.

Sistema	Resultados Analisados
Chegada dos passageiros	• Quantidade de passageiros e acompanhantes chegando; • Intervalo de tempo entre chegadas.
Saguão	• Quantidade de pessoas ao longo do tempo, número médio e máximo.
Check-in	• Quantidade de pessoas ao longo do tempo, número médio e máximo; • Tempo médio e máximo de permanência na fila; • Tempo de atendimento; • Ocupação média dos atendentes ao longo do tempo.
Inspeção de segurança	• Tempo de atendimento; • Ocupação média dos atendentes ao longo do tempo; • Ocorrência de fila e número de pessoas.

Tabela 4-2: Verificação de Resultados Imediatos. Fonte: FEITOSA (2000), Adaptado.

Essas etapas visam uma análise qualitativa do modelo de simulação a fim de dar base para o processo de calibração que é realizado na validação do modelo.

4.2 Validação

Finalizado o processo de verificação, admitindo que o modelo computacional não possui erros significativos, pode-se realizar o processo de validação e calibragem do modelo. Uma das principais formas para a realização da validação é a comparação gráfica, onde em posse das curvas que representam o estado de solicitação do sistema analisado, observa-se no mesmo gráfico os pontos gerados pelo modelo de simulação e os pontos advindos de coletas em campo, podendo ser realizada uma comparação física dos pontos. A comparação gráfica pode ser utilizada para validar tanto os dados de entrada, curva de chegada dos passageiros por exemplo, como os dados de saída, tempos de espera em fila dos sistemas por exemplo. A Figura 4-1 ilustra uma comparação relacionada à curva de chegada dos passageiros de um determinado voo.

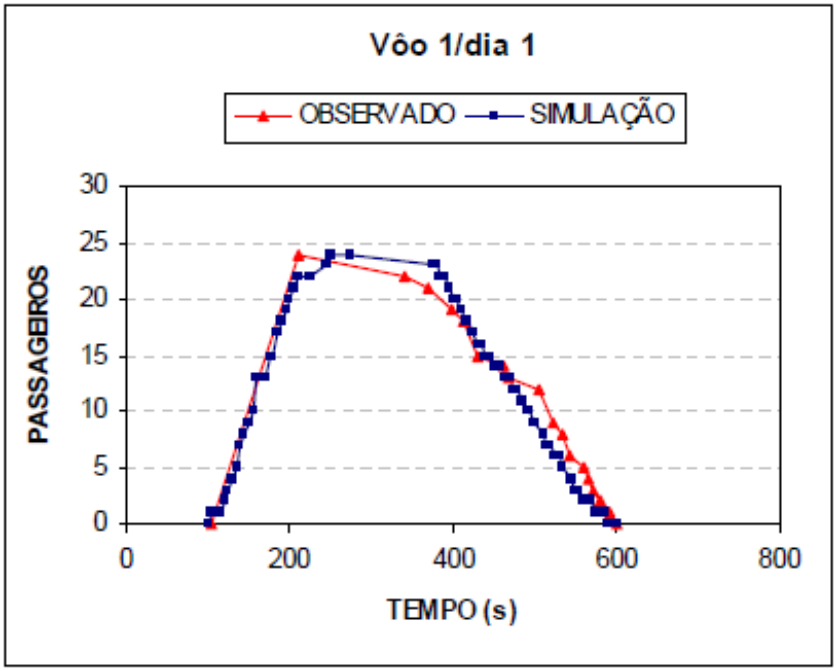


Figura 4-1: Exemplo de Comparação Gráfica. Fonte: FEITOSA (2000).

A pesquisa de campo é onde serão coletados os dados reais que serão utilizados na comparação com os resultados do modelo de simulação. Aspectos operacionais também são observados a fim de calibar o modelo de simulação. Visto a forma que os dados são coletados, tem-se que realizar um tratamento estatístico dos dados, permitindo a geração de parâmetros que serão utilizados não apenas na validação, mas também na verificação da animação gráfica.

O processo de calibração do modelo, que acontece ao longo do processo de validação, é realizado a fim de obter um modelo mais próximo da realidade. São realizados repetidos ajustes finos nos *inputs* e premissas adotadas até que a comparação gráfica fique dentro dos intervalos adotados. Premissas e curvas de distribuições adotadas são as principais fontes de ajustes. Os principais parâmetros passíveis de ajustes estão listados na Tabela 4-3.

Sistema	Parâmetros Ajustados
Geral	• Load factor das aeronaves • Atrasos • Porcentagem de utilização dos processadores
Chegada dos passageiros	• Chegada dos passageiros (Acesso remoto, meio fio)
Saguão	• Tempo de despedida das visitas
Check-in	• Tempo de processamento no Check-in • Tempo de processamento no Totem • Tempo para despacho de bagagem em autoatendimento
Inspeção de segurança	• Tempo de pré inspeção • Tempo para o passageiro se preparar para passar no check-in • Tempo de preparar a bagagem de mão para inspeção • Tempo de inspeção da bagagem de mão • Tempo de processamento no raio-x • Tempo de inspeção em caso de passageiro suspeito • Tempo de inspeção em caso de bagagem de mão suspeita

Tabela 4-3: Parâmetros de Ajuste para Calibração. Fonte: Autor.

5 Resultados e Discussões

A fim de avaliar os impactos e alterações gerados pela utilização de diferentes metodologias de dimensionamento e diferentes tipos de equipamentos, foram elaborados os gráficos a seguir. A Figura 5-1 lista o número total de equipamentos necessários no sistema de check-in; no cenário 1 e cenário 2 são considerados balcões tradicionais e quiosques de autoatendimento e no cenário 3 são considerados balcões tradicionais, quiosques de autoatendimento e despacho de bagagem automática. A Figura 5-2 ilustra a área total de fila requerida para o sistema de check-in para cada um dos cenários. A Figura 5-3 apresenta a quantidade total de equipamentos necessários no sistema de inspeção de segurança; no cenário 1 e cenário 2 são considerados os equipamentos utilizados atualmente e no cenário 3 são considerados os equipamentos de tomografia computadorizada. A Figura 5-4 lista a área total de fila requerida para o sistema de inspeção de segurança para cada um dos cenários.

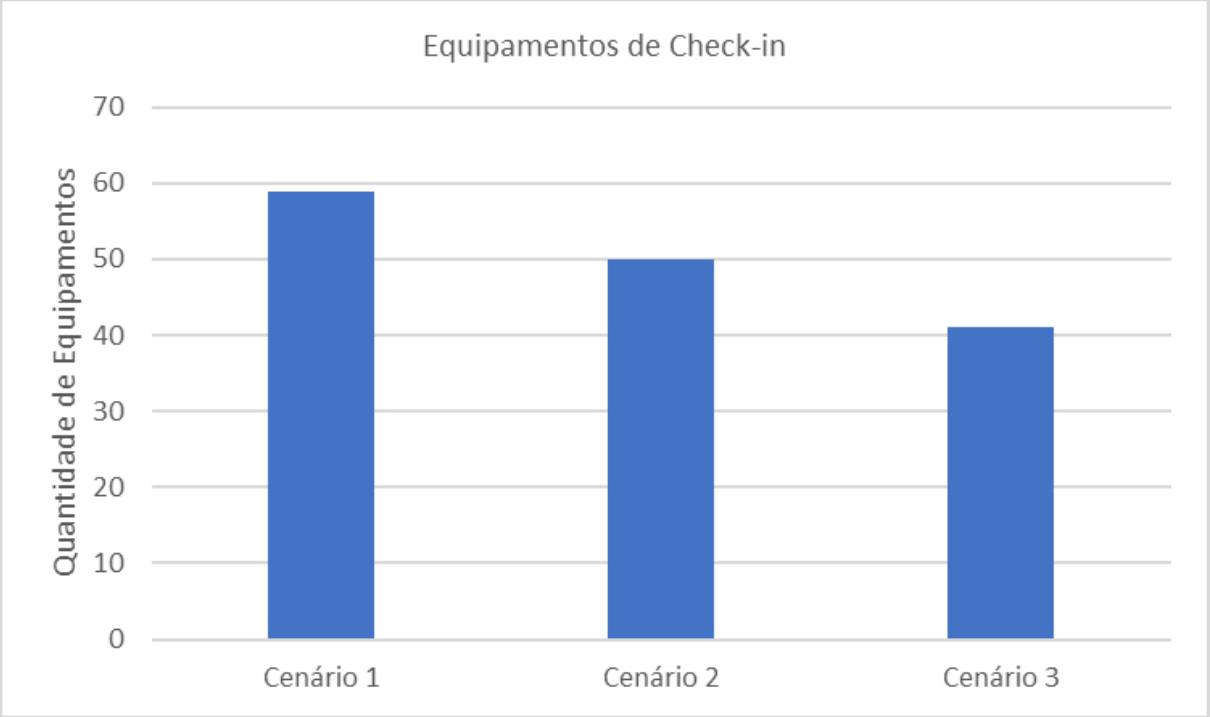


Figura 5-1: Comparação de Equipamentos necessários no Check-in. Fonte: Autor.

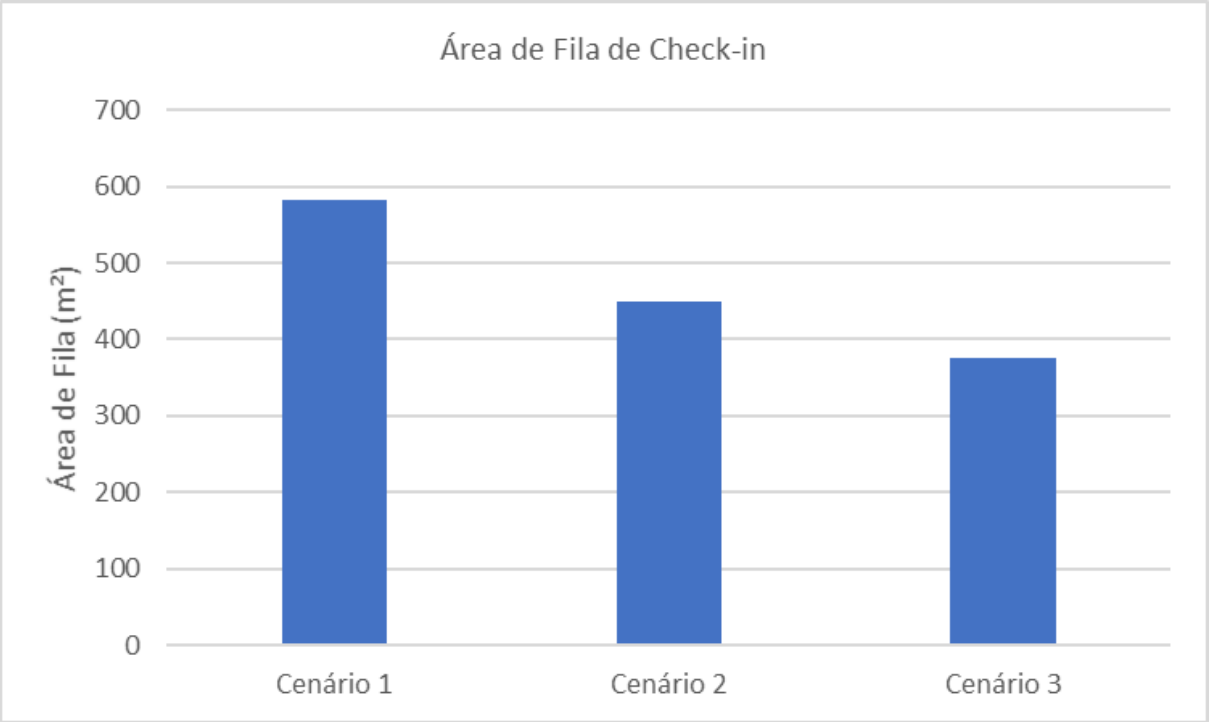


Figura 5-2: Comparação da Área de Fila necessários no Check-in. Fonte: Autor.

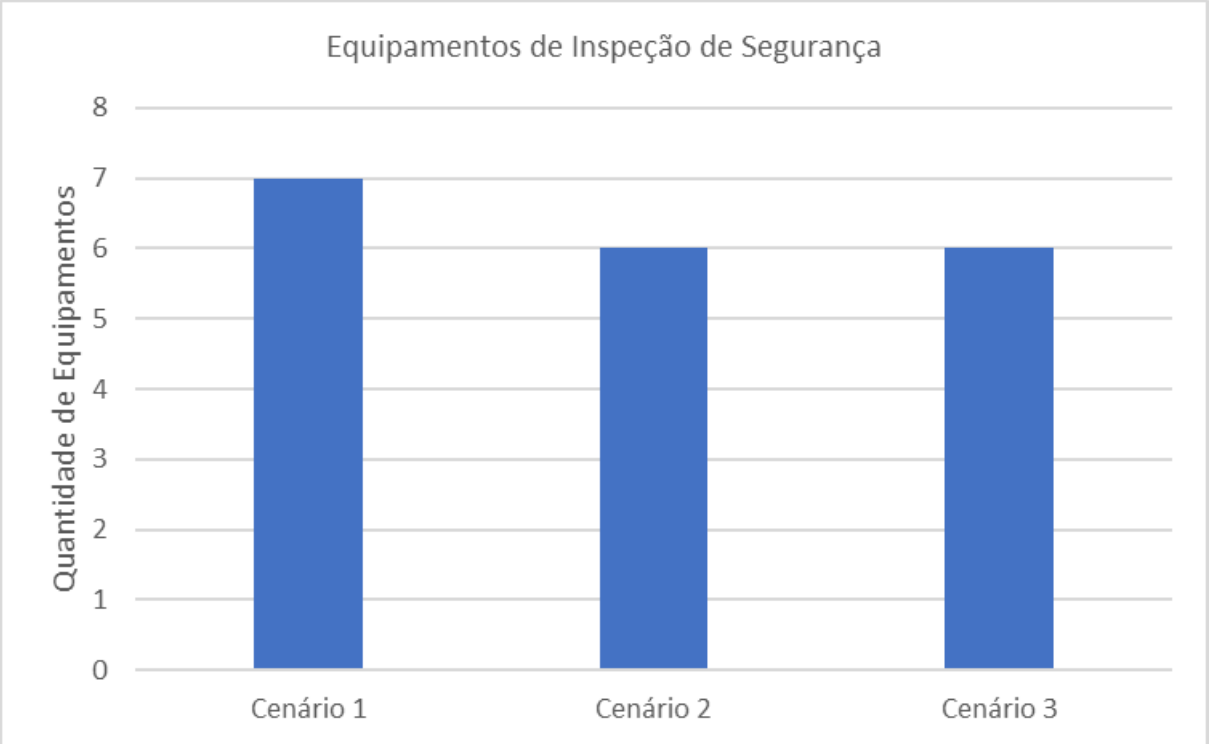


Figura 5-3: Comparação de Equipamentos necessários na Inspeção de Segurança. Fonte: Autor.

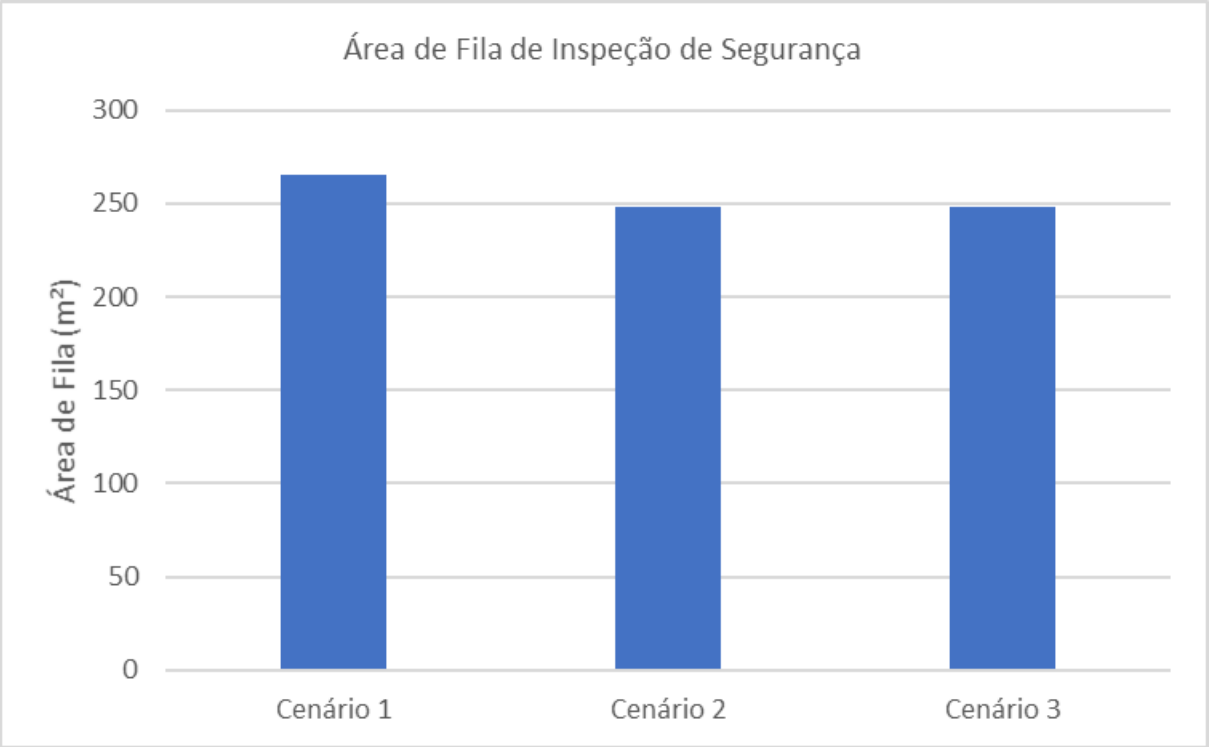


Figura 5-4: Comparação da Área de Fila necessários na Inspeção de Segurança. Fonte: Autor.

Através da análise comparativa dos resultados obtidos para o cenário 1 e cenário 2, pode-se observar a redução das infraestruturas necessárias. Essa redução está associada ao fato de a metodologia baseada em modelos de simulação retratar de forma mais real as características do aeroporto considerando as influências de um sistema nos demais; porém esta otimização do dimensionamento está vinculada à maior quantidade de dados e detalhes da operação do aeroporto.

Através da análise comparativa dos resultados obtidos para o cenário 2 e cenário 3, pode-se observar duas situações. A primeira associada ao sistema de check-in, a automatização do processo de check-in tende a reduzir a quantidade de infraestrutura necessária, visto o aumento da taxa de processamento dos passageiros, em contrapartida a eficiência do processo está relacionada com o conhecimento prévio do passageiro e não mais do operador; fazendo com que a curto prazo o processo não seja tão otimizado, porém a longo prazo tende a ser mais eficiente do que os processos tradicionais. A situação associada ao sistema de inspeção de segurança, a implantação de equipamento de tomografia computadorizada não terá um efeito significativo na infraestrutura necessária, porém terá influência positiva na segurança da operação do aeroporto e no conforto do passageiro durante sua passagem no aeroporto.

6 Conclusão

Visando os objetivos propostos no Trabalho de Graduação, pode-se afirmar que a utilização da metodologia baseada em modelos de simulação possui um impacto no dimensionamento em comparação com a metodologia analítica; e que os novos serviços também irão gerar impactos a curto e longo prazo nos sistemas presentes no TPS.

Considerando o dimensionamento com a utilização de metodologias analíticas, tanto a quantidade de *inputs*, quando o tempo despendido no processo de dimensionamento são menores, porém a utilização destes métodos não consideram a interdependência dos sistemas presentes no TPS e por não detalharem as características operacionais do aeroporto e o perfil do passageiro a fundo, consideram folgas operacionais no sistemas e não retratam a operação mais eficiente e próxima da realidade.

Considerando o dimensionamento com a utilização de metodologias baseadas em modelos de simulação, é possível se realizar uma análise mais próxima da operação real devido aos *inputs* considerados, desde a caracterização da operação e dos passageiros até a consideração da influência de um sistema nos demais, permitindo a realização de um dimensionamento mais detalhado e otimizado dos sistemas do TPS. Em contrapartida, é necessária uma maior quantidade de *inputs* a fim de descrever mais profundamente a operação, é necessário o investimento e capacitação prévia para a utilização do *software* de simulação.

Com relação aos novos serviços aeroportuários, a sua implantação tende a ser vinculada à diminuição na quantidade de equipamentos, redução do tamanho da equipe e aumento da segurança das operações, gerando um aumento na capacidade instalada. Ainda, espera-se redução do OPEX (*Capital Expenditure*) e aumento do CAPEX (*Operational Expenditure*). A eficiência da automação dos processos depende da experiência prévia do passageiro na utilização dos equipamentos, fazendo com que o aumento da taxa de processamento tenda a ir aumentando com o tempo, até o limite técnico do equipamento.

A Figura 6-1 ilustra resumidamente as conclusões referentes aos pontos positivos e negativos da utilização de diferentes tipos de metodologias no dimensionamento (Análitica e Simulação) e da implantação de novos serviços no TPS.

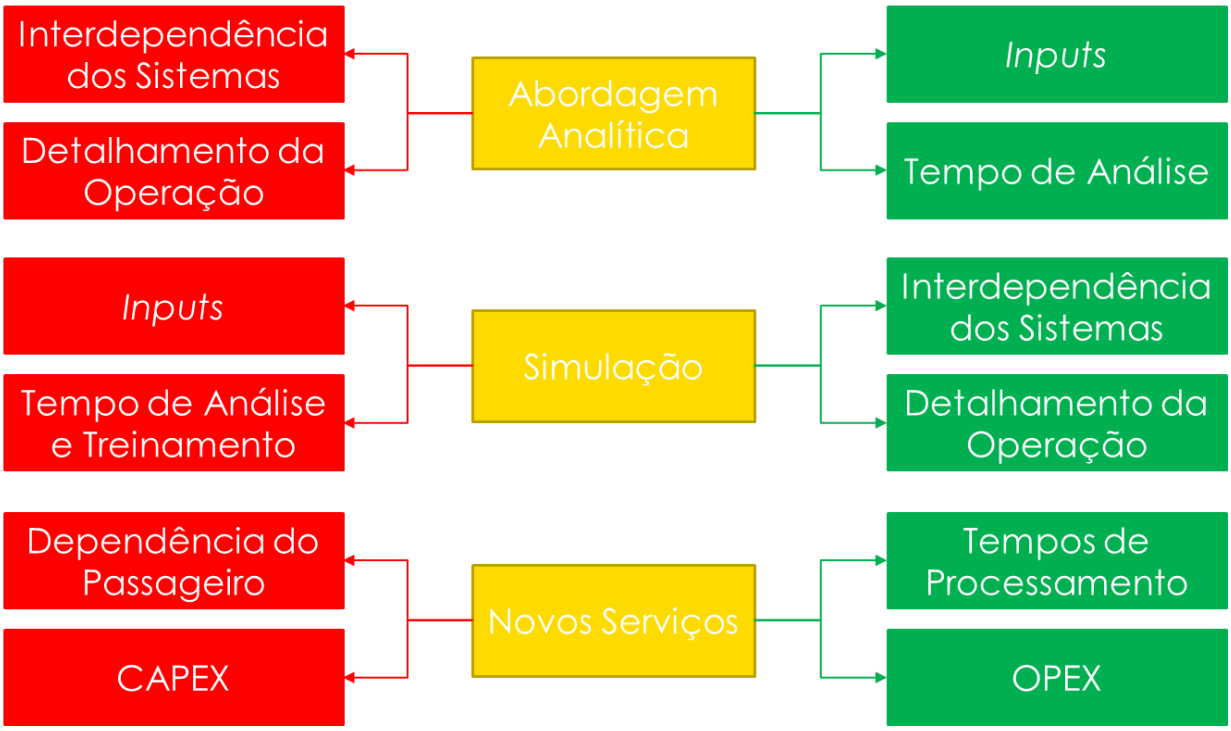


Figura 6-1: Resumo das Conlusões. Fonte: Autor.

6.1 Limitações e Melhorias Futuras

Devido à situação de pandemia que ocorreu no ano de 2020, limitações de coleta de dados foram encontradas, impossibilitando a realização de um estudo de caso de um aeroporto real, visto a necessidade da coleta de cados para a realização do processo de validação. A visita prévia a um terminal foi realizada, mas as coletas não puderam ser feitas. Outra melhoria que pode ser realizada com a análise de um aeroporto real, é a possibilidade do levantamento de dados específicos do aeroporto para a estimativa de dados de entrada, tais como tempos de processamento, tempos de espera em fila, proporção de passageiros relativos à classe, bagagens e acompanhantes e coleta de características para melhor definição das características operacionais do terminal de passageiros no modelo de simulação, tais como fluxos dos corredores e o cronograma operacional dos equipamentos.

Outra possibilidade, a fim de se complementar este estudo, é a realização da análise para o terminal completo, processo de embarque e desembarque, operação doméstica e internacional, a fim de analisar a operação completa do TPS.

Referências

ACI - Advanced Cabin Baggage Screening/ Computed Tomography (CT) Implementation Guide. Disponível em:
< https://store.aci.aero/wp-content/uploads/2019/11/Smart-Security-ACBS-CT-Implementation-Guide-v0.1.pdf> Acesso em: 3 nov. 2020.

ACRP. Airport Passenger Terminal Planning and Design. Report 25. Transportation Research Board. Washington D.C. 2010.

ANAC. **Siros.** Disponível em:
<https://sas.anac.gov.br/sas/siros/(S(jehbtl5ml3fyp3h0fhx3w1jz))/view/registro/frmConsultaVoos> Acesso em: 3 nov. 2020.

Anuário Estatístico Operacioanal – INFRAERO. Disponível em: <https://transparencia.infraero.gov.br/estatisticas/> Acesso em: 2 nov. 2020.

Almeida, P.M.S., *Terminais de Passageiros*. Apostila do curso de Planejamento de Aeoportos, ITA-IEI, São José dos Campos, 1996.

Ashford, N., Wright, P., *Airport Engennering*. John Wiley & Sons, New York, 3rd ed., 1992.

Ashford, N. J.; Mumayiz, S.; Wright, P. H. Airport Enginneering: Planning, Design and Development of 21st Century Airports. John Wiley & Sons, 2011.

De Neufville, R., Odoni, A. R. Passenger Terminal Desing. *Transportation Reserarch*, v. 26A, n. 1, 1992, p. 27-35

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. FAA. Planning and Desing Guidelines for Airport Terminal Facilities. Advisory Circular 150/5360-13. 1988.

FEITOSA, Milton Valdir de Matos. Um modelo de simulação para terminais de passageiros em aeroportos regionais brasileiros. 2000. 181f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica) – ITA "Instituto Tecnológico de Aeronáutica", São José dos Campos, 2000.

FREITAS FILHO, P.J. Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena. 2. Ed. Florianopolis: Visual Books, 2008.

MEDEIROS, A. G. Um método para dimensionamento de terminais de passageiros em aeroportos brasileiros. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica) - Instituto Técnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

Plano Aeroviário de São Paulo. Disponível em: <http://canaldoservidor.infraestrutura.gov.br/conteudo/52-sistema-de-transportes/6517-planos-aeroviarios-estaduais.html> Acessado em: 2 nov. 2020.

ROLIM, P. S. W. Metodologia de Avaliação de Fatores Determinantes no Nível de Serviço Oferecido no Check-in de Voos Internacionais. 2016. 99f. Dissertação de mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica, Área de Transporte Aéreo e Aeroportos – Instituto Técnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.