

Análise do Processo de Entrada e Saída de Veículos no Aeroporto Regional de Uberlândia: Um Modelo de Simulação

Process analysis for vehicle access in Uberlândia's regional airport: a simulation model

Hugo Alves Silva Ribeiro¹ - Universidade de Brasília - Faculdade de Tecnologia - Departamento de Engenharia Civil
Kleber Carlos Ribeiro Pinto² - Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Gestão e Negócios
Nathane Eva Santos Peixoto³ - Universidade de Brasília - Faculdade de Tecnologia - Departamento de Engenharia Civil

RESUMO O crescente número de usuários que utilizam os terminais de passageiros dos aeroportos regionais indica a necessidade de buscar meios para aperfeiçoar a qualidade do serviço ofertado, seja por meio da expansão da capacidade ou de atitudes de racionalização do ambiente. O presente artigo visa contribuir para a melhoria do processo de entrada e saída de veículos do aeroporto de Uberlândia utilizando a Simulação de Eventos Discretos e a Teoria das Filas. Durante a análise foram identificados três cenários capazes de melhorar a utilização desse subsistema, dos quais dois apresentaram-se mais vantajosos: um para curto prazo, por meio da racionalização dos recursos e melhoria da fiscalização de trânsito, e outro para médio prazo, mediante implantação de via de acesso.

Palavras-chave: Entrada e saída de veículos. Simulação. Teoria das filas. Aeroporto.

ABSTRACT *The growing number of users of these passenger terminals indicates that the quality of services should be improved through the expansion of their capacity or by process rationalization. This article aims to contribute to the improvement of the vehicle access process at Uberlândia's airport using the Discrete Event Simulation and Queue Theory. During the analysis, three scenarios that can improve the subsystem were identified, two of which were more advantageous: one for the short-term and another for the medium term, through the establishment of an access route.*

Keywords: *Entrance and exit of vehicles. Simulation. Queue theory. Airport.*

1. Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Anexo SG-12, 1º andar, Brasília-DF, CEP 70910-900, hugoalves.ribeiro@yahoo.com.br;
2. kleber@ufu.br; 3. nathaneeva@hotmail.com

RIBEIRO, H. A. S.; PINTO, K. C. R.; PEIXOTO, N. E. S. Análise do Processo de Entrada e Saída de Veículos no Aeroporto Regional de Uberlândia: Um Modelo de Simulação. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, Ano 12, nº 4, out-dez/2017, p. 320-343.

DOI: 10.15675/gepros.v12i4.1830

1. INTRODUÇÃO

A busca pela melhoria da infraestrutura de portos, aeroportos, rodovias e terminais de passageiros é algo fundamental para o crescimento econômico e social do país. Nesse sentido, destaca-se o caso da aviação civil brasileira que em 2009 transportou 90,8 milhões de passageiros, e, em 2012, 135,6 milhões (INFRAERO, 2014). O crescimento anual de até 19,7% nesse período foi rompido em 2013, quando o número de passageiros transportados cresceu de apenas 0,11% em comparação ao ano anterior, alcançando 135,7 milhões (INFRAERO, 2014). Devido a situação econômica do país, em 2015, a variação foi de -0,40%, quando comparado com 2014 (INFRAERO, 2016).

No entanto, mesmo com a estagnação do setor, diversos aeroportos brasileiros ainda permaneceram superlotados (COSTA et al. 2013; CRAVO, 2014). Em se tratando dos ambientes regionais, tal circunstância ainda é intensificada. Segundo os dados da Infraero (2016), entre 2013 e 2015, diversos aeroportos de médio porte ainda mantiveram um crescente número de passageiros transportados. Como exemplo citam-se os aeroportos de Santarém, Teresina e Uberlândia (INFRAERO, 2016). Esse fenômeno pode ser justificado pela desregulamentação da aviação civil, que fez com que as companhias aéreas, em busca da eficiência, concentrem suas operações em aeroportos com capacidade operacional ociosa e com elevada taxa de ocupação das aeronaves (DEMANT, 2011; GROHMANN; BATTISTELLA; LÜTZ, 2014).

Segundo Marcos e Ferreira (2015), a elevação no número de passageiros de um complexo aeroportuário pode prejudicar seu nível de serviço, especialmente quando não há racionalização ou investimentos de infraestrutura. Na busca pelo estudo sistêmico desse ambiente, é necessário analisar, não apenas o terminal de passageiros ou a capacidade de aviões no aeródromo, mas também todos seus subsistemas de forma conjunta. Esse aspecto foi destacado pela Associação Internacional do Transporte Aéreo (IATA), ao lembrar que a inauguração do Terminal 3 de Guarulhos não promoveu melhoras no tempo de transferência de passageiros, pois esse era um gargalo operacional não considerado nos investimentos (IATA, 2015). Diante disso, o subsistema de acesso/regresso do aeroporto é um elemento chave para o seu bom funcionamento, especialmente por se tratar de um ambiente utilizado, simultaneamente, por usuários que embarcam, desembarcam ou acompanham passageiros.

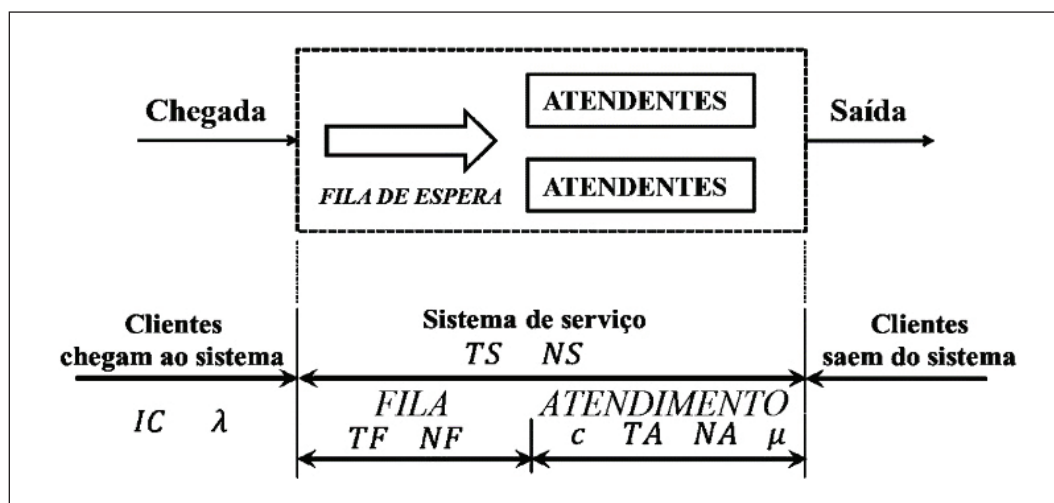
De acordo com os estudos de Pereira e Souza (2015), realizados no aeroporto Tancredo Neves em Belo Horizonte, 36,5% dos passageiros preferem ir ao terminal aeroportuário de carro, 56,4% preferem utilizar o trem, enquanto apenas 4,4% preferem ônibus. A razão para isso, segundo os autores, é devido à flexibilidade, facilidade de acesso e ao fato de ser um modo porta-a-porta, direto e sem interrupções.

Considerando a necessidade de melhorar o nível de serviço dos subsistemas de acesso e regresso de aeroportos regionais, e cientes da inexistência de sistemas ferroviários de passageiros em diversas cidades de médio porte, o presente trabalho busca promover a racionalização da infraestrutura de entrada e saída de veículos de um aeroporto regional. Para essa análise, utilizou-se a simulação de eventos discretos aliada à teoria das filas. Como objeto deste estudo foi utilizado o aeroporto de Uberlândia, no intuito de colaborar para a melhoria de sua capacidade e para o planejamento de sua eventual expansão.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Chase, Jacobs e Aquilano (2006) uma fila é composta por, principalmente, três características: chegada dos clientes, sistema de serviço e saída dos clientes. Prado (2006) apresenta a associação entre as características da fila e as variáveis fundamentais da teoria das filas: intervalo entre chegadas (IC); taxa de chegadas (λ); tempos médios de permanência no sistema (TS), na fila (TF) e no atendimento (TA); número médio de clientes no sistema (NS), na fila (NF) e no atendimento (NA); capacidade de atendimento (c); e taxa média de atendimento (μ). Essa ideia também consta em Camelo et al. (2010), e pode ser esquematicamente representada conforme a Figura 1.

Figura 1 - Sistema de filas, suas características e variáveis.

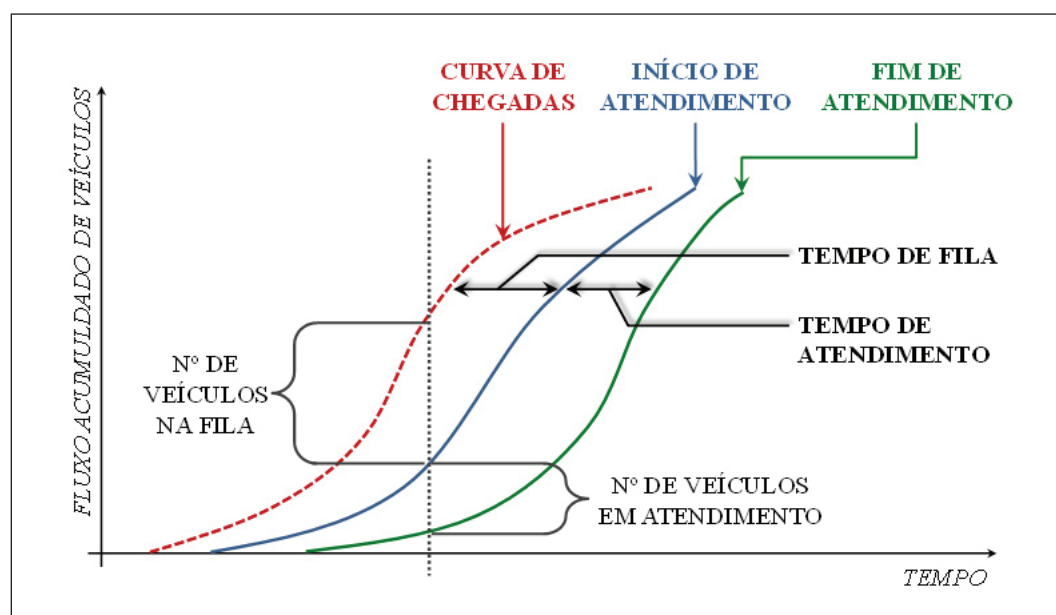


Fonte: Adaptado de Prado (2006).

A distribuição de chegada, de atendimento e de saída de usuários do sistema de filas também pode ser representada, simultaneamente, por meio do Método Gráfico. Segundo Newell (1979), esta é uma técnica determinística para análise do problema de filas. No contexto aeroportuário, Widmer (1989) utiliza o Método Gráfico para associar a demanda dos passageiros aos horários dos voos, a fim de correlacioná-la à capacidade das aeronaves.

Nesse sentido, Widmer (1989) também apresenta o método gráfico de fluxo acumulado para medir o desempenho de sistemas durante determinado intervalo de tempo, como o tamanho da fila, o tempo de espera na fila, o número de clientes (elementos) no sistema e o tempo de espera do cliente no sistema. Essas informações permitem 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 pode ocorrer conforme a Figura 2.

Figura 2 - Representação de Filas em um Gráfico de Fluxo Acumulado.



Fonte: Adaptado de Pinto (2008).

Ahyudanari e Vandebona (2005) utilizam a teoria das filas em aeroportos e analisam o tempo de atendimento dos servidores do *check-in* em função do tipo de fila adotado. Essa teoria também está presente na obra de Martín-Cejas (2006) que avalia o nível de serviço do aeroporto de Gran Canaria, nas Ilhas Canárias.

Por outro lado, segundo Chwif e Medina (2007), a simulação de eventos discretos (SED) é utilizada para modelar sistemas que mudam o seu estado em momentos discretos no tempo, a partir da ocorrência de eventos. Feitosa (2000) afirma as técnicas de simulação possibilitam 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).

Segundo Baines et al. (1998), existem três pontos fortes na técnica de SED: 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.

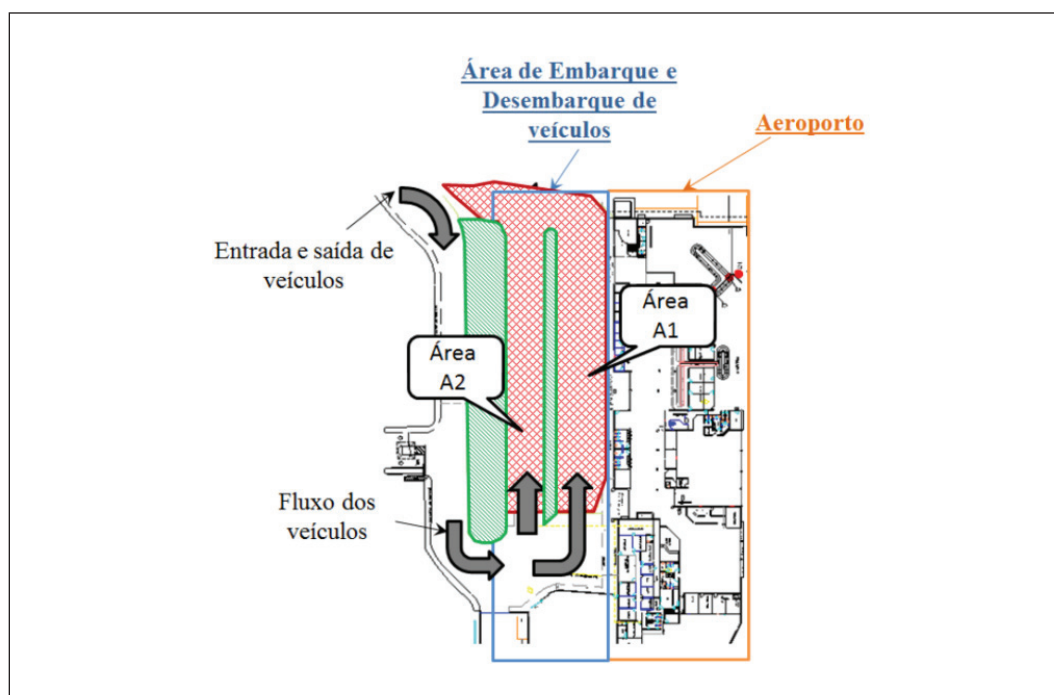
O estudo das filas em um aeroporto regional exige interação entre os subsistemas de chegada de veículos rodoviários, de *check-in*, de embarque e de recebimento de bagagem (RIBEIRO, 2015). Estes processos estão sujeitos a determinada aleatoriedade, variações dinâmicas, contidos em um sistema relativamente complexo, não sendo recomendável de ser estudado unicamente por meio dos modelos estocásticos clássicos 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; ERKOC; KARABUK, 2005).

Neste estudo, tanto o Gráfico de Fluxo Acumulado quanto a Simulação de Eventos Discretos, com o uso do *software* Arena, foram aplicados no subsistema de entrada e saída de veículos rodoviários junto ao saguão do Aeroporto de Uberlândia.

3. MÉTODO E COLETA DE DADOS

O subsistema de entrada e saída de veículos (também conhecido como acesso e regresso) no aeroporto de Uberlândia é altamente demandado nos horários críticos de embarque e desembarque das aeronaves (RIBEIRO, 2015). No ambiente estudado, os veículos que chegam para embarque e desembarque de passageiros podem percorrer dois trajetos diferentes até o meio-fio de acesso ao saguão. Normalmente o usuário prefere utilizar o percurso que permite um acesso mais direto e cômodo, sendo mais próximo das facilidades do sistema aeroportuário. Porém, essa área também é demanda por táxis, que ocupam a capacidade do subsistema. Assim, é possível que o veículo utilize um segundo percurso, menos demandado, que, embora mais distante do portão de acesso ao aeroporto, possui maior disponibilidade de vagas de embarque e desembarque (RIBEIRO, 2015). Para diferenciação, nesse estudo denominou-se a primeira área de A1 (Área 1), e a segunda de A2 (Área 2), conforme a Figura 3.

Figura 3 - Planta baixa do aeroporto, contendo as áreas A1 e A2.



Fonte: Ribeiro (2015).

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 existam vagas disponíveis, o veículo estaciona de forma irregular, em paralelo às vagas já ocupadas, iniciando o processo de embarque e/ou desembarque em local proibido, consistindo no grande problema do subsistema de acesso e regresso do aeroporto, que apresentava o caos em seu horário crítico.

Para o estudo desse subsistema foi necessário obter os seguintes dados: o intervalo entre as chegadas de sucessivos veículos, o tempo de parada dos mesmos, o número de vagas para os automóveis nas duas áreas consideradas e a quantidade de veículos capazes de ocupar cada uma dessas áreas de forma irregular. Por último, foi necessário determinar 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 1.

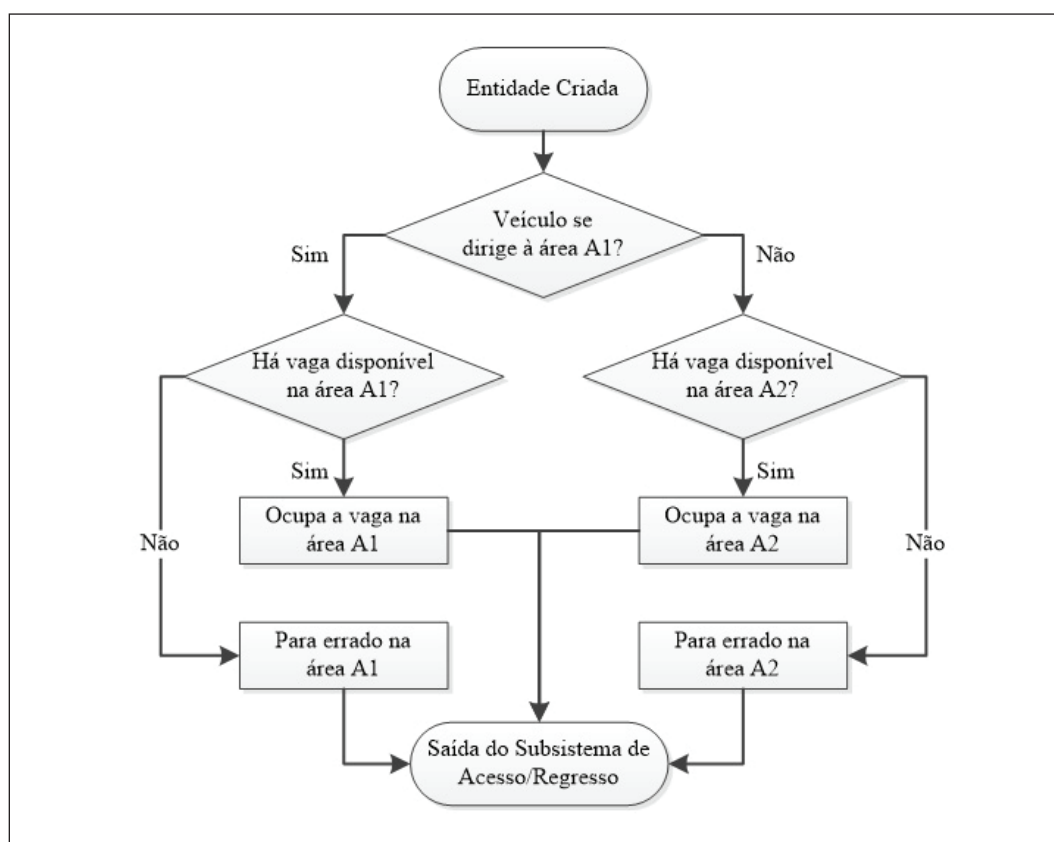
Quadro 1 - Parâmetros do modelo de Entrada e Saída de Veículos.

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

Fonte: Ribeiro (2015).

Com essas variáveis foi possível identificar a utilização correta e incorreta das vagas ao longo do período, e propor cenários em que o uso de vagas incorretas fossem reduzidos de forma racional. Para isso, a lógica comportamental dos usuários do subsistema foi desenvolvida, e apresentada na Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma do processo de Entrada e Saída dos Veículos Rodoviários.



Fonte: Ribeiro (2015).

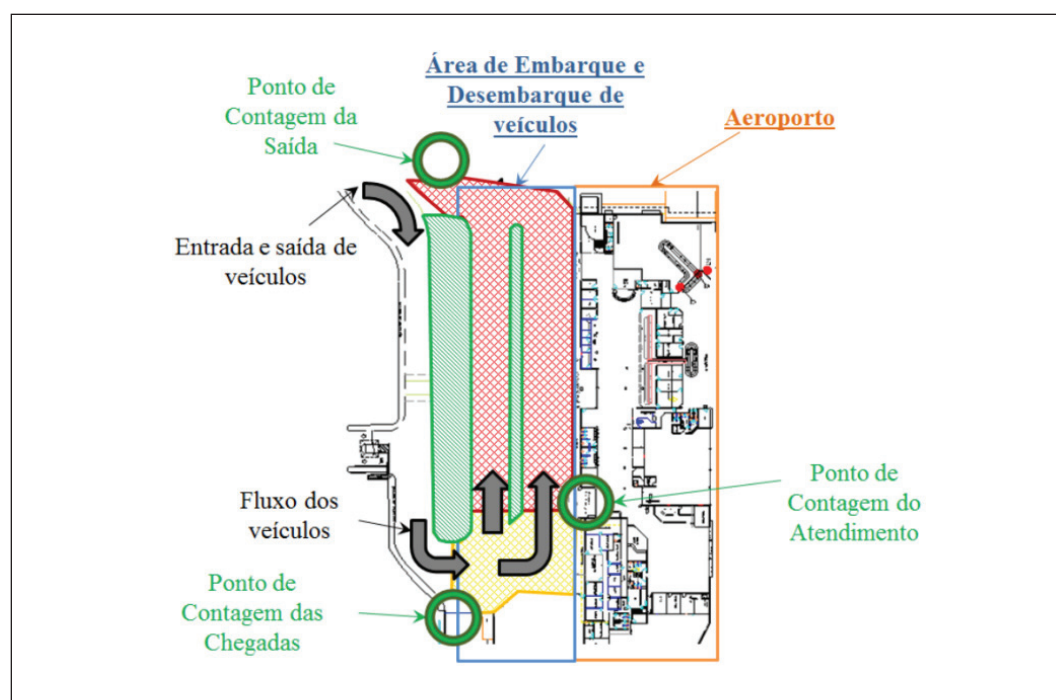
Os dados foram coletados entre, aproximadamente, 19h e 21h dos dias 14 e 28 de março de 2014. Inicialmente identificou-se que as áreas eram compostas por cerca de 41 vagas automotivas (17 na área A1 e 24 na área A2). Ressalta-se que esse número de vagas foi obtido por meio da contagem do número máximo 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.

Também foi perceptível a presença de agentes de trânsito dispostos no posto avançado da Secretaria Municipal de Trânsito e Transportes, porém eles só controlavam o fluxo de veículos no horário comercial (das 8h às 18h). Próximo à entrada da área A1 foram identificados caixas eletrônicos de bancos, que também demandam vagas automotivas nos horários em que os dados foram obtidos.

Para a coleta de dados foram aplicadas 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 (RIBEIRO, 2015).

Por meio dessa técnica, 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 (RIBEIRO, 2015). O posicionamento de cada cronometrista está apresentado na Figura 5, 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 5 - Posicionamento dos cronometristas durante a coleta de dados

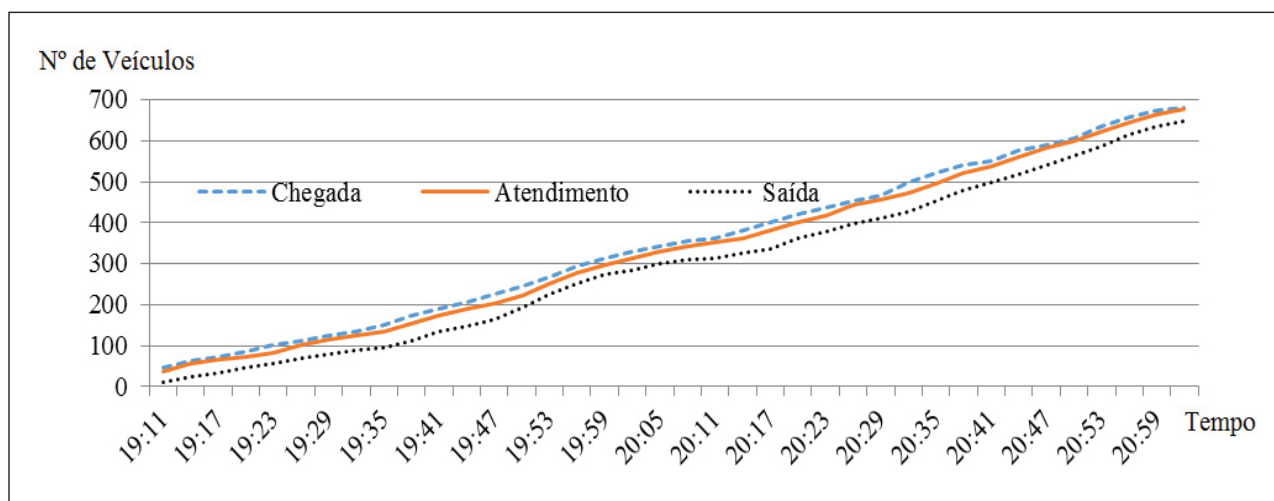


Fonte: Ribeiro (2015).

Inicialmente, antes da cronometragem dos tempos, os veículos presentes nas áreas de embarque e/ou desembarque foram contabilizados. Em média, 6 veículos ainda não tinham iniciado o atendimento e 30 já estavam em processo de embarque/desembarque.

As 19h11min foi possível consolidar dados de ambos os dias de estudo de campo. Para isso, o número de veículos que passavam pelos cronometristas era anotado por intervalo de tempo fixo de três minutos. Todos os veículos que passaram por esses pontos foram contabilizados, incluindo táxis e vans, porém cada tipo de veículo foi devidamente diferenciado. Como resultado, obteve-se o gráfico de fluxo acumulado (Figura 6), sendo que a primeira curva representa as chegadas; a segunda, o início do atendimento; e a terceira, o final do atendimento.

Figura 6 - Distribuição de chegada de veículos automotores no subsistema.



Fonte: Ribeiro (2015).

4. ANÁLISE DOS DADOS

A partir dos dados coletados, em média, 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, em média, 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 (RIBEIRO, 2015).

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 1.

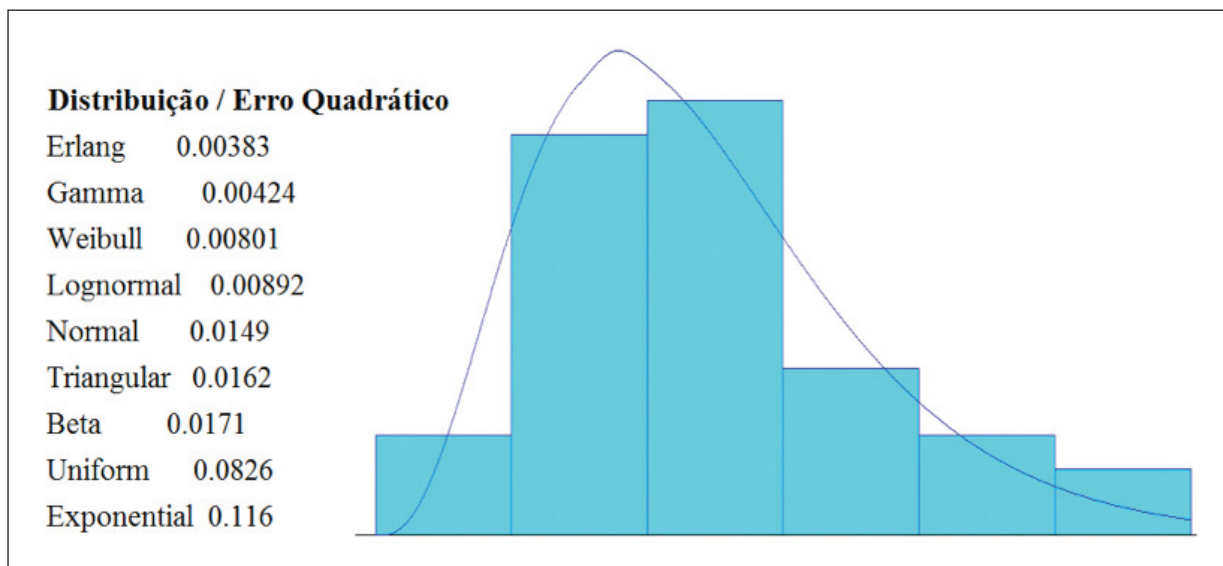
Tabela 1 – Médias dos Intervalos entre as Chegadas (IC) para cada intervalo tempo.

Horário	IC (min)	Horário	IC (min)	Horário	IC (min)	Horário	IC (min)
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	Média	0,20
19:38	0,14	20:08	0,25	20:38	0,16	Desv. Pad	0,07
Distribuição: Erlang							
Expressão: $0.06 + \text{ERLA}(0.035, 4)$							
Erro Quadrático: 0.003833							
P-Value (K-S): > 0.15							

Fonte: Ribeiro (2015).

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 (RIBEIRO, 2015). Dentre os testes destaca-se o método de Kolmogorov-Smirnov (K-S) que, segundo Costa Neto (2002), chega a ser mais poderoso que o χ^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 7.

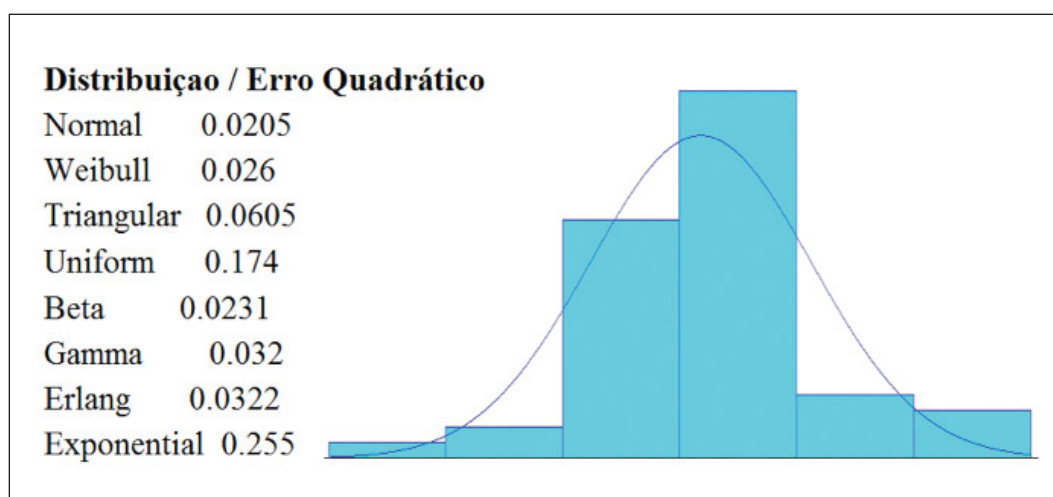
Figura 7 - Erro quadrático e histograma da distribuição dos intervalos entre as chegadas.



Fonte: Ribeiro (2015).

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 6). Aleatoriamente, foram selecionados 70 elementos amostrais de tempo de parada, dos quais 6 *outliers* foram identificados, sendo desconsiderado do universo amostral por influenciarem negativamente na representatividade do modelo. A média e o desvio padrão dos tempos de parada foram, em minutos, respectivamente 6,53 e 1,58 (RIBEIRO, 2015). Utilizando a distribuição t de *Student* para 95% de confiança, o erro amostral identificado foi de 7%. A distribuição dos intervalos entre chegadas aproximou-se da 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 8.

Figura 8 - Erro quadrático e histograma da distribuição dos tempos de parada dos veículos.



Fonte: Ribeiro (2015).

Sendo assim, os parâmetros necessários para a simulação foram anotados, e posteriormente utilizados no *software*, conforme apresenta a Tabela 2.

Tabela 2 - Dados utilizados no simulador.

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

Fonte: Ribeiro (2015).

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 por meio da lógica de fluxogramas, permitindo que o comportamento das diferentes entidades fosse acompanhado ao longo da simulação. Esse procedimento facilitou para que os erros na modelagem fossem identificados e corrigidos. Como resultado, foi possível afirmar que o modelo conceitual desenvolvido aproximou-se do comportamento do sistema real, fazendo com que o modelo fosse representativo e aceitável para as propostas da simulação.

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 1 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 (RIBEIRO, 2015).

Para a condução dos experimentos, foram realizadas 10 réplicas de 130 minutos cada (10 minutos de aquecimento). As 10 réplicas foram aplicadas em observância à Equação 1, apresentada por Freitas Filho (2008):

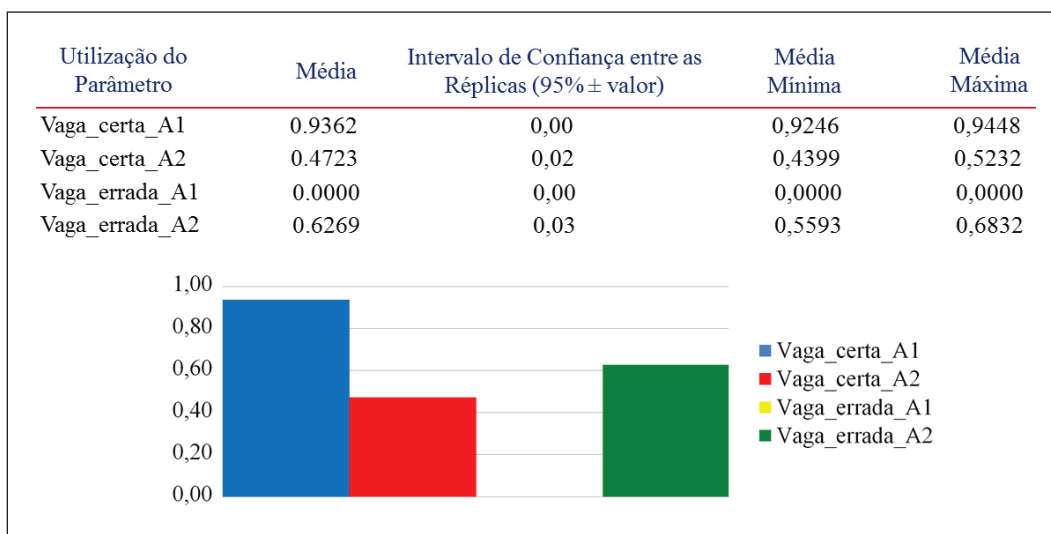
$$r^* = r \times \left(\frac{e}{e^*} \right)^2 \quad (1)$$

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.

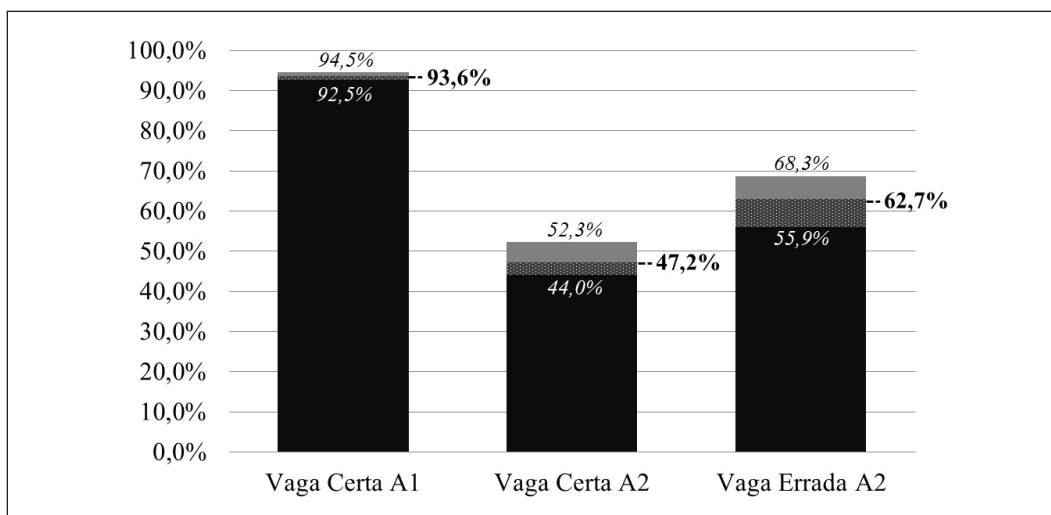
Como resultado da simulação do sistema original foi possível obter a Figura 9, que apresenta as informações do relatório fornecido pelo Arena. As variações entre as 10 réplicas desses resultados estão dispostas no diagrama da Figura 10.

Figura 9 - Utilização das vagas de veículos automotores ao longo da simulação.



Fonte: Adaptado de Ribeiro (2015).

Figura 10 - Variação da utilização das vagas de veículos automotores ao longo da simulação, considerando as médias mínimas e máximas das 10 réplicas realizadas.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Por meio dos resultados apresentados pelo *software* constatou-se 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.

Ao diagnosticar o relatório de coleta de dados de campo e compará-lo com os resultados dessa simulação, foi possível constatar 5 particularidades que afetaram o comportamento do sistema. Cada uma delas foi anotada e estudada, no sentido de compreender causas e propor soluções. Como resultado dessa análise constatou-se:

- a) Elevado tempo de parada dos veículos: A média de 6,5 minutos de tempo de parada foi muito elevada. Vários motoristas não utilizaram as áreas de embarque e desembarque como local de parada, mas sim, como estacionamento. Em muitos casos, o motorista chegou a se ausentar do veículo. A fiscalização de trânsito poderia inibir esse comportamento.
- b) Concentração de usuários na área A1: Devido às características da área A1, a área A2 acaba sendo subutilizada. Motivar o uso da área A2 melhorando sua infraestrutura poderia evitar esse comportamento.
- c) 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.

- d) 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. No entanto, esses usuários são obrigados a utilizarem, desnecessariamente, espaços nas áreas A1 e A2. Redirecionar a saída do estacionamento privativo para o ambiente externo do subsistema de acesso/regresso poderia solucionar o problema.
- e) Autoatendimento bancário pode ser considerado um polo gerador de tráfego: Caixas eletrônicas de bancos estão localizados próximo à entrada do aeroporto, ao lado da área A1, atraindo demanda de usuários externos ao subsistema aeroportuário. Por consequência, esse polo atrativo de viagens faz com que vagas sejam ocupadas desnecessariamente. A realocação do autoatendimento bancário poderia trazer redução na demanda por vagas.

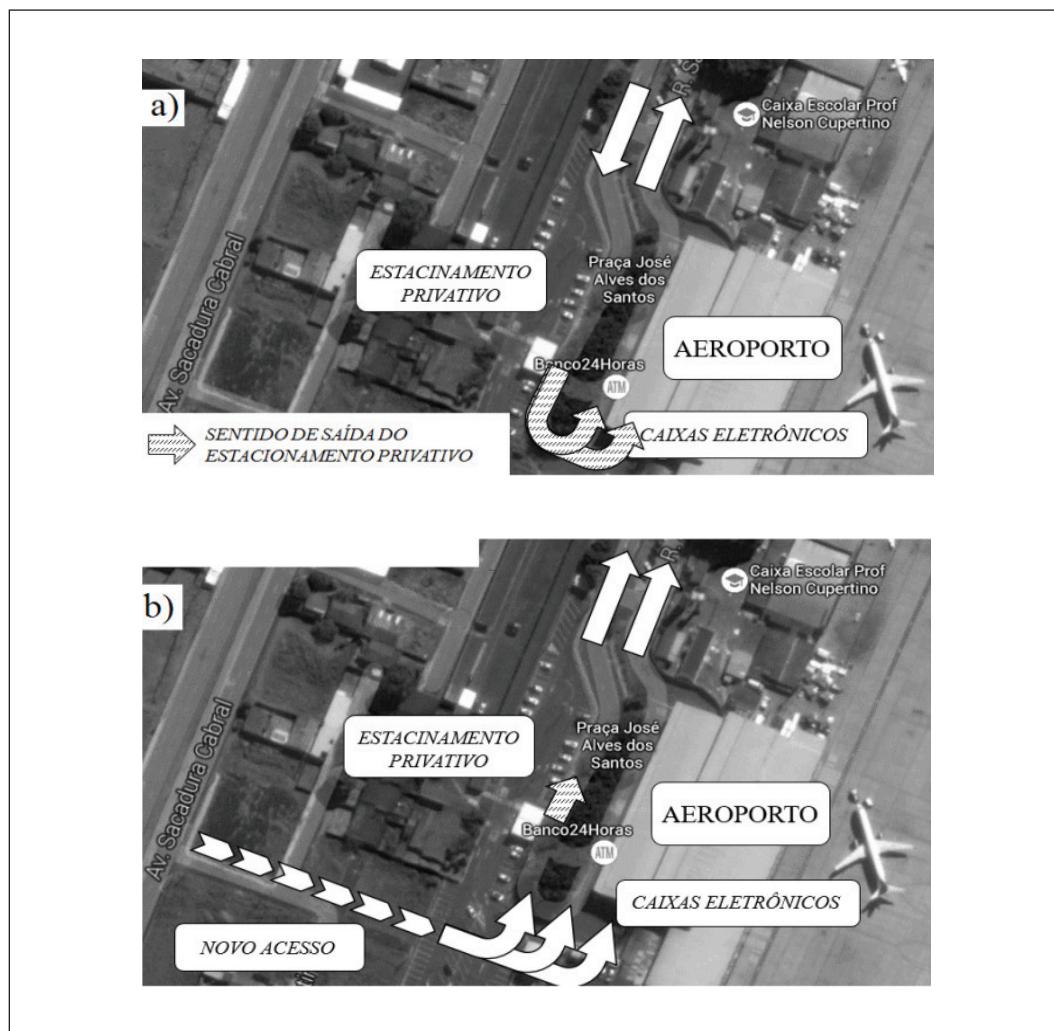
5. SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS

Analisadas as particularidades do subsistema estudado, foram simulados três cenários. Eles foram escolhidos considerando as possibilidades de melhorias para o aeroporto. O primeiro cenário (S1) simulou a construção de 5 novas vagas automotivas na área A1. Isso corresponde a 30% de aumento das vagas.

O segundo (S2) considerou a presença de um fiscal de trânsito no local com a finalidade de inibir os motoristas de estacionarem o veículo em local de parada para embarque e/ou desembarque. Com isso, na simulação, o tempo de parada foi reduzido em 30% para cada elemento amostral coletado.

O terceiro cenário (S3) foi uma proposta da gerência do aeroporto em acrescentar, diretamente, uma via de acesso ao subsistema por meio da Av. Sacadura Cabral, conforme a Figura 11. Deste modo, considerou-se que as áreas A1 e A2 não fossem passagem obrigatória para a saída dos veículos.

Figura 11 – Visualização, em mapa, da atual saída do estacionamento privativo (a) e do terceiro cenário simulado (b).



Para identificação do melhor cenário foram analisados os *outputs* do *software* referente à utilização das vagas impróprias para o embarque e desembarque em ambas as áreas (parâmetros *Vaga_errada_A1* e *Vaga_errada_A2* do *software*). Quanto menor a utilização destas áreas, melhor o resultado do cenário proposto. O desfecho da simulação de todos os cenários estão na Tabela 3.

Tabela 3 - Percentual de utilização das vagas irregulares nas áreas A1 e A2 para cada cenário simulado.

Cenário	Utilização das Vagas Irregulares
Situação Atual	62,69%
S1: aumento de 30% das vagas automotivas na A1	24,79%
S2: redução de 30% do tempo de parada	7,37%
S3: aumento de 30% no intervalo entre as chegadas (mudança no <i>layout</i> da área de embarque e desembarque de veículos)	19,15%

Fonte: Ribeiro (2015).

Como produto da simulação, em comparação com a situação atual, 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, 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, inibindo que os motoristas estacionem seus veículos em local onde deveria ocorrer a parada para embarque e/ou desembarque.

O cenário S3 foi proposto pela gerência do aeroporto e, considerando o padrão de demanda atual, culminou na 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 sob o ponto de vista do usuário, então, centrar esforços em ampliações físicas e redimensionamento o número de vagas não seria a alternativa mais apropriada.

Como resultado, recomendou-se ao aeroporto que, para melhor relação custo-benefício, fosse inserido um fiscal de trânsito no local (S2). Na hipótese de buscar melhores resultados, a associação de dois desses cenários (por exemplo, S2 e S3) também foi sugerida.

6. CONCLUSÕES

O subsistema de entrada e saída de veículos automotores é apenas um dos vários subsistemas existentes em um aeroporto regional. No entanto, por se tratar de um subsistema que conjuga o início do embarque e o término do desembarque de passageiros, apresenta-se como peça chave para o bom funcionamento do sistema aeroportuário.

Nesse sentido, a fim de melhorar o acesso e o regresso de veículos automotores no aeroporto de Uberlândia, foram promovidas simulações computacionais em 3 cenários possíveis por meio do *software* Arena. Como conclusão obteve-se que a proposta mais econômica e racional, em curto prazo, seria a de manter um fiscal de trânsito no local, impedindo que os veículos estacionem na área reservada para embarque e desembarque. Isto permitiria a melhor fluidez do trânsito, evitando que o passageiro do aeroporto tenha dificuldades em deixá-lo, ou acessá-lo.

Para médio prazo, foram propostas melhorias no *layout* da área de acesso/regresso no intuito de evitar que veículos de saída tenham que utilizar o subsistema de chegada desnecessariamente. Cabe destacar que essa alternativa culminará em aportes financeiros para desenvolvimento da infraestrutura, exigindo planejamento e novos estudos a fim de garantir a sua implantação por meio das melhores práticas possíveis. Os resultados finais deste trabalho foram apresentados à gerência do aeroporto estudado, que se dispôs a solicitar maior fiscalização de trânsito, verificar a possibilidade de realocação dos postos de autoatendimento bancário e desenvolver projeto do novo acesso de veículos.

REFERÊNCIAS

AHYUDANARI, E.; VANDEBONA, U. Simplified Model for Estimation of Airport Check-In. **Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies**, v. 6, p. 724–735, 2005.

APPELT, S.; BATTA, R.; LIN, L. DRURY, C. Simulation of passenger check-in at a medium-sized US Airport. *In: WINTER SIMULATION CONFERENCE*, 2007, p. 1252-1260. **Anais...** 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**, v. 14, n. 5, p. 369–375, 1998.

- CAMELO, G. R.; COELHO, A. S.; BORGES, R. M.; SOUZA, R. M. 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**, v. 29, p. 1-16, 2010.
- CHASE, R.; JACOBS, F.; AQUILANO, N. **Administração da Produção para a vantagem competitiva**. Porto Alegre-RS: Bookman, 2006.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações**. São Paulo: Ed. dos autores, 2007.
- COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo: 2002.
- CRAVO, B. M. A alocação de slots e a concorrência no setor de transporte aéreo. **Journal of Transporte Literature**, v. 8, n. 1, p. 159-177, 2014.
- DEMANT, M. A. R. Infraestrutura aeroportuária e o desenvolvimento do tráfego aéreo regional no Brasil. **Journal of Transport Literature**, v. 5, n. 1, p. 124-160, 2011.
- FEITOSA, M. V. M. **Um modelo de simulação para terminais de passageiros em aeroportos regionais brasileiros**. 2000. 181f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica na Área de Transporte Aéreo e Aeroportos), Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, SP, 2000.
- FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicação em Arena**. Visual Books, Florianópolis: 2008.
- 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**, v. 21, n. 1, p. 215-227, 2014.
- IATA. International Air Transport Association. **Annual Report 2015**. Miami, 2015. Disponível em: <http://www.iata.org/about/Documents/iata-annual-review-2015.pdf>>. Acesso em: 27/05/2016.
- INFRAERO. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. **Anuário Estatístico Operacional 2013**. Brasília, 2014.
- INFRAERO. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. **Anuário Estatístico Operacional 2015**. Brasília, 2016.
- JOUSTRA, P. E.; VAN DIJK, N. M. Simulation of check-in at airports. **Proceeding of the 2001 Winter Simulation Conference**, v. 2, p. 1023-1028, 2001.

- LEE, C.; NG, Y.; LV, Y.; TAEZOO, P. Empirical Analysis of a Self-service Check-in Implementation in Singapore Changi Airport. **International Journal of Engineering Business Management**, v. 6, n. 6, p. 33-44, 2014.
- MARCOS, A. R. A.; FERREIRA, L. Um modelo de simulação para gestão da capacidade dos aeroportos brasileiros. **REAd. Revista Eletrônica de Administração**, v. 21, n. 1, p. 1-26, 2015.
- MARTÍN-CEJAS, R. R. Tourism service quality begins at the airport. **Tourism Management**, v. 27, n. 5, p. 874-877, 2006.
- NEWELL, G. F. **Airport Capacity and Delays**. **Transportation Science**, v. 13, n. 3, p. 201-241, 1979.
- PEREIRA, A. C. C.; SOUZA, A. A. Determinantes na escolha do modo de transporte nos deslocamentos ao aeroporto. **Revista dos Transportes Públicos**, v. 37, p. 95-110, 2015.
- PINTO, K. C. R. **Aprendendo a decidir com a pesquisa operacional**. Uberlândia: EDUFU, 160 p, 2008.
- PRADO, D. S. **Teoria das Filas e da Simulação**. Nova Lima (MG): INDG, 2006.
- RIBEIRO, F. R. **Modelo de simulação para análise operacional de pátio de aeroportos**. 2003. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval e Oceânica), Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2003.
- RIBEIRO, H. A. S. **Modelo de simulação para análise de processos de aeroporto de médio porte**. 2015. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2015.
- SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. *In: Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*. Miami, FL, p. 157-169, 2008.
- WIDMER, J. A. **Contribuição à análise de problemas de filas e estoques nos transportes**. 1989. 215f. Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 1989.
- WU, S. D.; ERKOC, M.; KARABUK, S. Managing capacity in the high-tech industry: a review of literature. **The Engineering Economist**, v. 50, p. 125-158, 2005.