

**ANÁLISE DE FILAS DE ESPERA ATRAVÉS DE
SIMULAÇÃO: CASO DE ESTUDO PEDAGÓGICO**

Pedro Miguel de Sousa Rodrigues

Projeto submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre
em Gestão dos Serviços e da Tecnologia

Orientador:
Prof. Doutor Abdul Suleman, Prof. Auxiliar, ISCTE-IUL,
Departamento de Matemática

Outubro 2014

Índice

1. Caso de estudo pedagógico.....	1
1.1. Apresentação do problema.....	1
1.2. Dados	2
1.2.1. Objeto de estudo e medidas de desempenho em análise	2
1.2.2. Passageiros	4
1.2.3. <i>Check-in</i>	6
1.2.4. Controlo de segurança.....	7
1.2.5. Controlo de fronteira	7
1.2.6. Pressupostos	8
1.3. Recapitulação do problema e etapas para a sua resolução.....	8
2. Nota pedagógica	9
2.1. Público-alvo	9
2.2. Objectivos pedagógicos	10
2.3. Revisão da literatura	10
2.3.1. Planeamento da capacidade.....	11
2.3.2 Planeamento da capacidade nos serviços	11
2.3.3 Filas de espera	13
2.3.4 Simulação.....	15
2.4. Metodologia	20
2.5. Recolha de dados e desenvolvimento das especificações do modelo.....	21
2.5.1. Modelação da chegada dos passageiros	22
2.5.2. Processo de <i>check-in</i>	29
2.5.3. Processo de controlo de segurança e fronteira	31
2.6. Ferramenta de análise	32
2.7. Plano de animação	33

2.8. Questões de animação.....	35
2.9. Resolução.....	35
2.9.1. Etapa 1.....	35
2.9.2. Etapa 2.....	37
2.9.3. Etapa 3.....	41
2.9.4. Etapa 4.....	45
2.9.5. Etapa 5.....	58
2.10. Slides de resolução.....	64
3. Conclusões	69
Referências Bibliográficas	71
Anexos.....	76

Índice de Figuras

Figura 1 - Mapa do Terminal 2.....	3
Figura 2 - Categorização dos modelos de sistemas	17
Figura 3 - Processo de modelação	18
Figura 4 - Esquematisação do processo de estudo de simulação	19
Figura 5 - Modelação das chegadas dos passageiros ao terminal.....	22
Figura 6 - Modelo conceptual.....	36
Figura 7 – Chegadas dos passageiros no modelo	38
Figura 8 - Restrições nos <i>start points</i>	39
Figura 9 - Área de <i>check-in</i> no modelo	39
Figura 10 - Controlo de segurança no modelo	40
Figura 11 - Controlo de fronteira no modelo.....	40
Figura 12 - Modelo completo no SIMUL8™.....	41
Figura 13 - Slides de resolução: O Caso.....	64
Figura 14 - Slides de resolução: Etapa 1	64
Figura 15 - Slides de resolução: Etapa 2 (Condições de simulação).....	65
Figura 16 - Slides de resolução: Etapa 2 (Modelo no SIMUL8™).....	65
Figura 17- Slides de resolução: Etapa 3	66
Figura 18 - Slides de resolução: Etapa 4 (Análise 4.1)	66
Figura 19 - Slides de resolução: Etapa 4 (Análise 4.2)	67
Figura 20 - Slides de resolução: Etapa 4 (Análise 4.3)	67
Figura 21 - Slides de resolução: Etapa 4 (Análise de sensibilidade).....	68
Figura 22 - Slides de resolução: Etapa 5 (Análise 5.1)	68
Figura 23 - Slides de resolução: Etapa 5 (Análise 5.2)	69

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Níveis de serviço em análise	3
Tabela 2 - Infraestruturas do Terminal 2	3
Tabela 3 - Dados dos voos previstos para o dia 16 de Fevereiro de 2014 no Terminal 2.....	4
Tabela 4 - Tempo médio entre chegadas dos passageiros no cenário base	5
Tabela 5 - Tempo médio entre chegadas dos passageiros no cenário de elevado tráfego	5
Tabela 6 - Percentagens de passageiros que utiliza as diferentes modalidades de <i>check-in</i>	6
Tabela 7 – Tempo de processamento dos passageiros no <i>check-in</i>	6
Tabela 8 - Tempo de processamento dos passageiros no controlo de fronteira	7
Tabela 9 - Partidas no Terminal 2 durante o dia 16 de Fevereiro de 2014.....	24
Tabela 10 – Capacidade dos aviões utilizados nos voos	25
Tabela 11 - Passageiros previstos a embarcar por voo.....	26
Tabela 12 - Antecedências das chegadas dos passageiros ao <i>check-in</i> face à hora de partida planeada.....	27
Tabela 13 - Chegadas dos passageiros por intervalos de tempo no cenário base.....	27
Tabela 14 - Chegadas dos passageiros por intervalos de tempo no cenário de elevado tráfego.....	28
Tabela 15 – Estimação dos tempos entre chegadas para o cenário base	28
Tabela 16 - Estimação dos tempos entre chegadas para o cenário de elevado tráfego ..	29
Tabela 17 - Condições de simulação	38
Tabela 18 - Infraestruturas consideradas para a Análise 3.1	41
Tabela 19 – Resultados das filas nos balcões de <i>check-in</i> na Análise 3.1.....	42
Tabela 20 - Resultados das filas no controlo de segurança na Análise 3.1	44
Tabela 21 - Resultados das filas no controlo de fronteira na Análise 3.1	45

Tabela 22 - Infraestruturas consideradas para a Análise 4.1	45
Tabela 23 - Resultados das filas nos balcões de <i>check-in</i> na Análise 4.1	46
Tabela 24 - Resultados das filas no controlo de segurança na Análise 4.1	48
Tabela 25 - Resultados das filas no controlo de fronteira na Análise 4.1	50
Tabela 26 - Infraestruturas consideradas para a Análise 4.2	51
Tabela 27 - Resultados das filas no controlo de segurança na Análise 4.2	51
Tabela 28 - Resultados das filas no controlo de fronteira na Análise 4.2	54
Tabela 29 - Infraestruturas consideradas para a Análise 4.3	54
Tabela 30 - Resultados das filas no controlo de segurança na Análise 4.3	55
Tabela 31 – Tempo médio de permanência dos passageiros no modelo para a Análise 4.3	57
Tabela 32 – Tempos de processamento dos passageiros na análise de sensibilidade	57
Tabela 33 – Sensibilidade do grau de cumprimento dos níveis de serviço a variações nos tempos de processamento dos passageiros para a Análise 4.3	58
Tabela 34 - Sensibilidade dos tempos de espera dos passageiros a variações nos tempos de processamento para a Análise 4.3.....	58
Tabela 35 - Infraestruturas consideradas para a Análise 5.1	59
Tabela 36 - Resultados das filas nos balcões de <i>check-in</i> na Análise 5.1	59
Tabela 37 - Resultados das filas no controlo de segurança na Análise 5.1	60
Tabela 38 - Resultados das filas no controlo de fronteira na Análise 5.1	61
Tabela 39 - Infraestruturas consideradas para a Análise 5.2	62
Tabela 40 - Resultados das filas no controlo de segurança na Análise 5.2	62

Índice de Gráficos

Gráfico 1- Evolução mensal dos movimentos no aeroporto de Lisboa em 2013	2
Gráfico 2- Evolução mensal do tráfego de passageiros no aeroporto de Lisboa em 2013	2
Gráfico 3- Relação entre a taxa de utilização do serviço (ρ) e a sua qualidade	12
Gráfico 4 - Compromisso entre capacidade de serviço e fila de espera	13
Gráfico 5 - Distribuição dos tempos de espera em fila nos balcões de <i>check-in</i> do voo das 9:50 na Análise 3.1	43
Gráfico 6 -Número de passageiros em fila nos balcões de <i>check-in</i> do voo das 9:50 na Análise 3.1	43
Gráfico 7 -Número de balcões a operar no de <i>check-in</i> do voo das 9:50 na Análise 3.1	43
Gráfico 8 – Comparação entre o número de passageiros que entram na fila de espera e aqueles que são processados nos balcões de <i>check-in</i> na Análise 3.1	44
Gráfico 9 - Distribuição dos tempos de espera em fila para os balcões de <i>check-in</i> do voo das 9:50 na Análise 4.1	47
Gráfico 10 - Número de passageiros em fila nos balcões de <i>check-in</i> do voo das 9:50 na Análise 4.1	47
Gráfico 11 - Número de balcões a operar no <i>check-in</i> do voo das 9:50 na Análise 4.1	47
Gráfico 12 - Comparação entre o número de passageiros que entram na fila de espera e aqueles que são processados nos balcões de <i>check-in</i> na Análise 4.1	48
Gráfico 13 - Número de passageiros em fila no controlo de segurança na Análise 4.1 .	49
Gráfico 14 - Número de postos a operar no controlo de segurança na Análise 4.1	49
Gráfico 15 - Número de passageiros em fila no controlo de segurança na Análise 4.2 .	52
Gráfico 16 - Número de postos a operar no controlo de segurança na Análise 4.2	53
Gráfico 17 - Número de passageiros em fila no controlo de segurança na Análise 4.3 .	55
Gráfico 18 - Número de postos a operar no controlo de segurança na Análise 4.3	56

Gráfico 19 - Número de passageiros em fila no controlo de segurança na Análise 5.1 .	60
Gráfico 20 - Número de postos a operar no controlo de segurança na Análise 5.1	61
Gráfico 21 - Número de passageiros em fila no controlo de segurança na Análise 5.2 .	63
Gráfico 22 - Número de postos a operar no controlo de segurança na Análise 5.2	63

Resumo

O uso da simulação tem vindo a conhecer nos últimos anos um interesse crescente nas empresas, grande parte devido à disponibilidade no mercado de meios computacionais a preço acessível.

Este caso de estudo pedagógico tem como objetivo sensibilizar estudantes de mestrado nas áreas da Gestão para a utilidade da simulação na resolução de problemas desta área científica, em particular a gestão de filas de espera.

O estudo é guiado através do exemplo de um aeroporto onde é necessário otimizar a capacidade de um dos seus terminais, de modo a se atingirem os níveis de serviço estabelecidos quanto ao tempo de espera dos passageiros, nas várias áreas de processamento. Para tal, foi escolhido o aeroporto de Lisboa, tendo sido utilizados os dados relativos ao tráfego de passageiros, infraestruturas e níveis de serviço do Terminal 2 como referência para o desenvolvimento do caso. O estudo comporta a modelação do sistema em causa, e testes de diferentes volumes de passageiros e níveis de capacidade, onde se avaliam os respetivos impactos no desempenho. A resolução do caso é suportada no *software* SIMUL8™, que se baseia na simulação por eventos discretos.

Pretende-se com este trabalho transmitir conhecimentos e competências relativas à modelação de sistemas em geral, e à resolução de problemas de gestão com recurso à simulação, para além da experiência, na ótica do utilizador, passível de adquirir no *software* SIMUL8™ ao operar-se com o mesmo.

Palavras-chave: Simulação; Gestão das Filas de Espera; Caso de Estudo Pedagógico; Aeroporto.

JEL Classification:

L8 – Industry Studies: Services

C88 – Other Computer Software;

Abstract

Simulation has been receiving an increasing attention from companies, particularly in the last few years, as simulation software solutions are readily available at a competitive price nowadays.

The purpose of this case study is to show, to business administration master's students, how useful simulation can be in solving several management problems, namely those concerning to waiting line management.

This study involves an example of an airport where there is a need to optimize the capacity of a terminal, so that the service levels related to the maximum waiting time of the passengers on the processing areas can be achieved. The Lisbon airport has been chosen to represent this scenario, and the data related to the passenger traffic, service levels and infrastructures of the Terminal 2 have been used to develop the case study. The case is solved by using discrete event simulation with the SIMUL8™ software. Based on this, the system in analysis has to be modeled and then tested under different volumes of passengers and capacity levels, followed by an evaluation of the impact of these changes on the terminal performance.

Knowledge and skills on systems modeling and also in solving management problems with simulation are passed on by this project. Additionally, experience in a user's perspective can also be acquired on the SIMUL8™ software.

Key words: Simulation; Waiting line management; Pedagogical Case; Airport.

JEL Classification:

L8 – Industry Studies: Services

C88 – Other Computer Software;

1. Caso de estudo pedagógico

1.1. Apresentação do problema

Os aeroportos fornecem as infraestruturas e os serviços necessários ao transporte aéreo (International Air Transport Association [IATA], 2013) e o objetivo dos seus terminais é facilitar todo o processo de embarque e desembarque de passageiros. Estes estão constantemente sob pressão para operarem eficientemente (Airports Council International [ACI], 2007), pelo que as suas infraestruturas devem estar adequadas ao tráfego previsto.

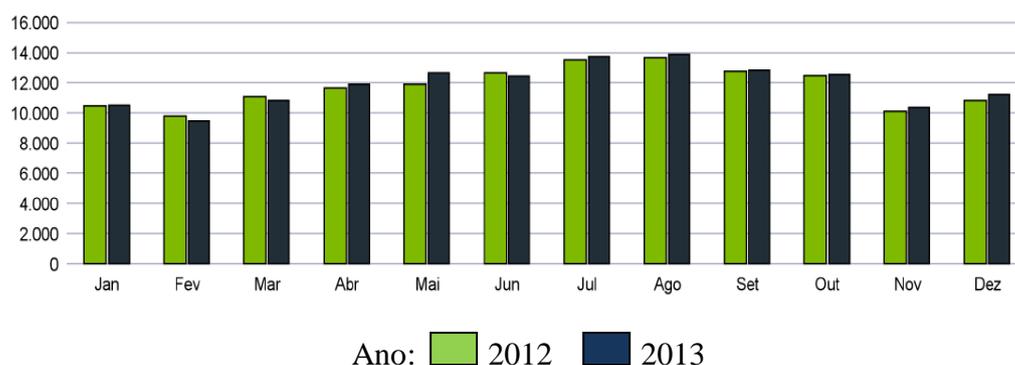
No entanto, esta eficiência é difícil de atingir dada a sazonalidade a que os aeroportos estão normalmente sujeitos. É necessário ter nos terminais uma capacidade que permita responder ao tráfego de passageiros que se verifica no período de pico, podendo ficar subutilizada fora deste período.

Torna-se então imperativo reduzir os custos operacionais do aeroporto durante os períodos fora de pico, o que poderá ser feito através da diminuição das infraestruturas de processamento dos passageiros que estão em funcionamento, adaptando assim a capacidade ao tráfego nestes períodos.

Aliás, os custos com o pessoal e os serviços subcontratados constituem mais de metade dos custos operacionais dos aeroportos europeus, sendo que sob uma perspetiva funcional, as operações nos terminais representam a segunda maior fatia do total dos custos operacionais (ACI Europe, 2013: 23-24).

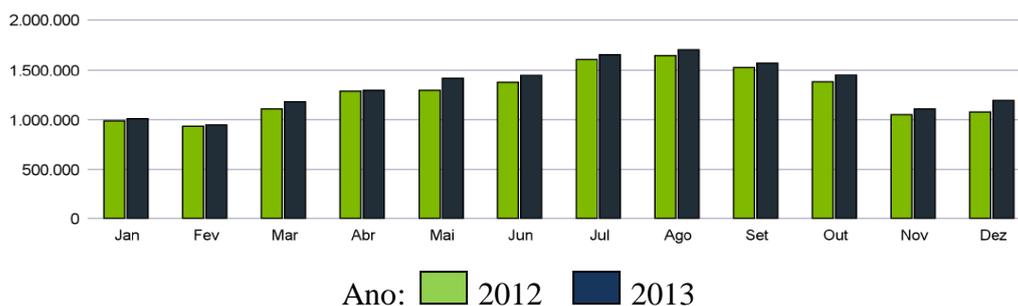
O aeroporto de Lisboa, o maior e mais importante de Portugal, encontra-se sob a concessão da ANA Aeroportos de Portugal, tendo servido em 2013 mais de 16 milhões de passageiros (ANA, 2014a), com maior concentração nos meses de julho e agosto. Por sua vez, nos meses de janeiro e fevereiro regista-se um menor número de movimentos, isto é, aterragens e descolagens, assim como de passageiros, conforme se observa nos Gráficos 1 e 2.

Gráfico 1- Evolução mensal dos movimentos no aeroporto de Lisboa em 2013



Fonte: ANA, 2013a: 6

Gráfico 2- Evolução mensal do tráfego de passageiros no aeroporto de Lisboa em 2013



Fonte: ANA, 2013a: 6

Com recurso à simulação pretende-se determinar, no período fora de pico, o nível de capacidade que permita atingir os acordos de níveis de serviço relativos ao tempo de espera dos passageiros em fila, com o mínimo dispêndio de recursos.

1.2. Dados

1.2.1. Objeto de estudo e medidas de desempenho em análise

O objeto de estudo deste caso é o Terminal 2 do aeroporto de Lisboa que se destina apenas a partidas. Atualmente serve os voos da Easyjet, Norwegian, Ryanair, Transavia.com e Transavia.com France (ANA, 2014b), i.e. companhias aéreas de baixo custo (ANA 2014c).

A análise da capacidade do terminal centra-se nas áreas de *check-in*, controlo de segurança e de fronteira, pretendendo-se avaliar o grau de cumprimento dos níveis de serviço a que estão sujeitas, que constam na Tabela 1.

Tabela 1 - Níveis de serviço em análise

	Nível de Serviço
Check-in	90% dos passageiros com espera inferior a 20 minutos
Controlo de Segurança	90% dos passageiros com espera inferior a 10 minutos
Controlo de Fronteira	90% dos passageiros com espera inferior a 15 minutos

Fonte: ANA, 2013b; 2014d

No que concerne ao processamento de passageiros, o número de balcões de *check-in*, assim como de posições de controlo de segurança e de fronteira instalados no Terminal 2, pode ser verificado na Tabela 2.

Tabela 2 - Infraestruturas do Terminal 2

	Nº de posições
Check-In	22
Controlo de Segurança	7
Controlo de Fronteira	4+3 RAPID

Fonte: ANA, 2012

É de salientar que a área de controlo de fronteira opera com uma combinação de postos convencionais e de máquinas do sistema de reconhecimento automático de passageiros identificados documentalmente (RAPID). As unidades RAPID consistem num sistema automático de controlo dos passageiros que possuem passaporte eletrónico europeu, não necessitando de qualquer intervenção humana (Serviço de Estrangeiros e Fronteiras [SEF], s.d.). Na Figura 1 é possível visualizar a disposição destas infraestruturas no terminal.

Figura 1 - Mapa do Terminal 2



Fonte: ANA, 2014e

1.2.2. Passageiros

Para o dia 16 de Fevereiro de 2014 foram previstos os seguintes voos com partida no Terminal 2.

Tabela 3 - Dados dos voos previstos para o dia 16 de Fevereiro de 2014 no Terminal 2

Hora de Partida Planeada	Nº máximo de Passageiros	Companhia	Destino	Área de Destino
06:50	156	EasyJet	Basileia/Mulhouse	Schengen
07:00	156	EasyJet	Funchal, Madeira	Schengen
07:15	156	EasyJet	Londres, Gatwick	Não Schengen
09:30	156	EasyJet	Genebra	Schengen
09:50	189	Norwegian	Copenhaga	Schengen
10:20	180	EasyJet	Edimburgo	Não Schengen
10:20	189	Ryanair	Londres, Stansted	Não Schengen
10:25	180	EasyJet	Berlim, Schoenefeld	Schengen
10:50	156	EasyJet	Bilbao	Schengen
10:55	156	EasyJet	Londres, Luton	Não Schengen
11:15	189	Ryanair	Paris, Beuavais	Schengen
11:30	156	EasyJet	Bordéus	Schengen
13:10	189	Ryanair	Bruxelas, Charleroi	Schengen
15:10	156	EasyJet	Madrid	Schengen
16:20	156	EasyJet	Bristol	Não Schengen
16:40	156	EasyJet	Amesterdão	Schengen
17:30	156	EasyJet	Paris, Charles de Gaulle	Schengen
18:55	156	EasyJet	Funchal, Madeira	Schengen
18:55	180	EasyJet	Genebra	Schengen
19:05	156	EasyJet	Milão, Malpensa	Schengen
19:20	189	Transavia France	Paris, Orly	Schengen
19:25	189	Transavia	Amesterdão	Schengen
19:50	180	EasyJet	Londres, Gatwick	Não Schengen
21:15	189	Ryanair	Londres, Stansted	Não Schengen

Fonte: Adaptado de ANA, 2013c

A taxa de ocupação média dos voos regulares que se realizaram no aeroporto de Lisboa, em Fevereiro de 2014, foi de 72% (ANA, 2014c). Este constitui o cenário base com que deverá ser inicialmente avaliada a capacidade do terminal. Adicionalmente é também proposta a análise de um cenário de elevado tráfego onde a taxa de ocupação dos voos é de 95% da capacidade máxima de passageiros.

Os passageiros começam a chegar ao *check-in* com uma antecedência de 2 horas e 30 minutos, face à hora de partida planeada do voo em que irão embarcar. Assume-se ainda que o último passageiro chegará até 30 minutos antes dessa hora, dado que o *check-in* encerra nesse mesmo momento (Esteban, 2008). No entanto, o ritmo de chegada destes varia conforme o tempo que falta para a hora de partida do voo. Nas Tabelas 4 e 5 apresenta-se, para o cenário base e para o de elevado tráfego, o tempo médio entre chegadas dos passageiros, que se assume seguir uma distribuição exponencial, habitualmente utilizada para traduzir esta situação (Chase, Jacobs e Aquilano, 2006; Concannon *et al.*, 2006).

Tabela 4 - Tempo médio entre chegadas dos passageiros no cenário base

	Tempo médio entre chegadas		
	Voos com capacidade máxima de 156 passageiros	Voos com capacidade máxima de 180 passageiros	Voos com capacidade máxima de 189 passageiros
2h 30min - 2h	1,15 minutos	1,00 minutos	0,97 minutos
2h - 1h 30 min	0,67 minutos	0,58 minutos	0,56 minutos
1h 30 min - 1h	1,03 minutos	0,88 minutos	0,86 minutos
1h - 30 min	2,50 minutos	2,14 minutos	2,00 minutos

Tabela 5 - Tempo médio entre chegadas dos passageiros no cenário de elevado tráfego

	Tempo médio entre chegadas		
	Voos com capacidade máxima de 156 passageiros	Voos com capacidade máxima de 180 passageiros	Voos com capacidade máxima de 189 passageiros
2h 30min - 2h	0,88 minutos	0,77 minutos	0,73 minutos
2h - 1h 30 min	0,51 minutos	0,44 minutos	0,42 minutos
1h 30 min - 1h	0,79 minutos	0,68 minutos	0,64 minutos
1h - 30 min	1,88 minutos	1,58 minutos	1,50 minutos

Um outro aspeto também relevante é o destino dos passageiros, pois aqueles que irão viajar para países fora do espaço Schengen¹ terão de passar obrigatoriamente pelo controlo de fronteira, enquanto que se o fizerem dentro deste espaço dispensam esse controlo.

¹ Espaço em que não existe controlo das fronteiras internas entre os países da Europa que o compõem: Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Eslováquia, Eslovénia, Espanha, Estónia, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Islândia, Itália, Letónia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Noruega, Polónia, Portugal, República Checa, Suécia, Suíça (até à data de 1/07/2013).

1.2.3. Check-in

O processo de embarque de passageiros tem início com o *check-in*. Este consiste na obtenção do cartão de embarque e no processamento de eventuais bagagens de porão. Existem 3 modos de *check-in* habitualmente disponibilizados aos passageiros: o *check-in* tradicional nos balcões, nos quiosques *self-service* ou *online*. Os passageiros da Norwegian e da Transavia podem escolher qualquer uma destas modalidades, sendo que 80 % utiliza os balcões tradicionais, 5% usa as máquinas *self-service* e os restantes 15% faz o seu *check-in online* (Franco, 2011). Contudo a Ryanair e a Easyjet apenas permitem que o *check-in* seja feito *online*. Na Tabela 6 apresenta-se as percentagens de passageiros que utilizam cada uma das diferentes modalidades de *check-in*.

Tabela 6 - Percentagens de passageiros que utiliza as diferentes modalidades de *check-in*

	Ryanair	Easyjet	Norwegian	Transavia
Balcão	-	-	80%	80%
Self-Service	-	-	5%	5%
Online	100%	100%	15%	15%

Os balcões de *check-in* abrem com uma antecedência de 2 horas da partida (ANA, 2013b; 2014d) e fecham 30 minutos antes da descolagem do avião (Esteban, 2008). Os passageiros têm assim um período de 90 minutos para efetuar o *check-in*, num dos 3 balcões que são disponibilizados em cada voo da Transavia e da Norwegian.

Relativamente aos quiosques de *check-in self-service*, assume-se que no Terminal 2 estes existem em número suficiente para que nenhum passageiro tenha que esperar em fila pela sua vez. No entanto, o *check-in* nos quiosques *self-service* é normalmente mais demorado. Na Tabela 7 encontram-se os tempos médios de processamento dos passageiros, para os casos em que o *check-in* é feito nos balcões ou nos quiosques *self-service*.

Tabela 7 – Tempo de processamento dos passageiros no *check-in*

	Tempo médio	Distribuição
Balcão	1,5 minutos	<i>Average</i>
Self-Service	2 minutos	

Fonte: Manataki e Zografos, 2010

1.2.4. Controlo de segurança

Após o *check-in*, os passageiros seguem para a área de controlo de segurança onde são inspecionados os próprios e a respetiva bagagem de mão. Este processo leva em média 0,45 minutos (ANA, 2008 citada em Franco, 2011: 66) por passageiro pressupondo-se que segue uma distribuição *Average*.

1.2.5. Controlo de fronteira

Caso os passageiros viajem para um destino fora do espaço Schengen têm também de passar pelo controlo de fronteira, a fim de lhes ser verificado o passaporte.

Este processo é realizado pelos agentes do SEF ou de uma forma automática através das máquinas do sistema RAPID. Este sistema está disponível apenas para passageiros detentores de passaporte eletrónico europeu; os restantes têm de utilizar obrigatoriamente os postos convencionais. Nesta opção contam-se 36,53% dos casos, sendo que os restantes 63,47% passam pelas máquinas RAPID (SEF, 2012).

O sistema RAPID consegue processar os passageiros num menor tempo face a um posto convencional, tal como se verifica na Tabela 8.

Tabela 8 - Tempo de processamento dos passageiros no controlo de fronteira

	Posto convencional	Máquina <i>RAPID</i>
Distribuição	<i>Average</i>	Normal
Média	0,63 minutos	0,385 minutos
Desvio-padrão	-	0,182 minutos
Máximo	-	1,717 minutos
Mínimo	-	0,067 minutos
Fonte	ANA, 2008 citada em Franco, 2011	Universidade do Algarve, 2007

1.2.6. Pressupostos

Alguns pressupostos devem ainda ser considerados no desenvolvimento do modelo:

- Não são considerados grupos de passageiros, como por exemplo famílias;
- Não é assumida a possibilidade de um passageiro se recusar a entrar numa fila de espera devido esta ser demasiado longa, nem de desistir de esperar na fila em que se encontra;
- Não é tido em conta o tempo despendido pelos passageiros a passar de uma área para a seguinte;
- Pressupõe-se que o objetivo dos passageiros é chegar à sala de embarque no menor tempo possível, pelo que assim que são processados numa das áreas estes se dirigem imediatamente para a seguinte;
- Assume-se que todos os passageiros que utilizam os quiosques de *check-in self-service* ou efetuam *check-in online* não transportam bagagem de porão. Os passageiros que tenham feito o *check-in online* dirigem-se assim diretamente para o controlo de segurança, tal como aqueles que fazem o *check-in* nos quiosques;
- Não são considerados eventuais atrasos nas partidas dos voos.

1.3. Recapitulação do problema e etapas para a sua resolução

Neste caso, pretende-se determinar o nível de capacidade que possibilite cumprir com regularidade os níveis de serviço relativos ao tempo de espera em fila dos passageiros com a mínima utilização possível de recursos no Terminal 2 do aeroporto de Lisboa

As áreas em análise são as de *check-in*, controlo de segurança e de fronteira, e utilizando o *software* de simulação SIMUL8™ deverá ser construído um modelo que recrie o processo de embarque dos passageiros, desde a sua chegada ao terminal até à entrada na sala de embarque. Com base neste modelo, deverá ser feita a simulação de um dia neste terminal de forma a avaliar o desempenho das infraestruturas correntes e posteriormente testar diferentes níveis de capacidade.

A resolução deste caso vai comportar as seguintes etapas:

- **Etapa 1** – Construir um modelo conceptual retratando o problema proposto e explicitar o mesmo, evidenciando eventuais relações de interdependência entre as suas entidades.
- **Etapa 2** – Reproduzir, para o cenário base, o modelo conceptual no SIMUL8™, e descrever o seu funcionamento, indicando também os parâmetros utilizados para definir as condições de simulação.
- **Etapa 3** – Executar o modelo considerando que a totalidade das infraestruturas do Terminal 2 se encontra em funcionamento durante todo o dia e que estão disponíveis 3 balcões de *check-in* por voo. Posteriormente devem ser analisados os resultados obtidos através da simulação para os vários objetos do modelo, assim como o grau de cumprimento dos níveis de serviço.
- **Etapa 4** – Ajustar o número de balcões de *check-in*, posições de controlo de segurança e de postos de controlo fronteira convencionais a operar durante o dia face aos níveis de serviço em análise. Em seguida deve ser efetuada uma análise de sensibilidade à solução encontrada para uma variação nas velocidades de processamento dos passageiros nas diferentes áreas.
- **Etapa 5** – Repetir o estudo para o cenário de elevado tráfego.

2. Nota pedagógica

2.1. Público-alvo

Sendo este um caso de estudo pedagógico que faz uso da simulação, deverá ser utilizado no âmbito de unidades curriculares onde se opere com tais ferramentas, mais concretamente o SIMUL8™. É usualmente nos programas de mestrados, nas áreas de gestão de operações ou de engenharia e gestão industrial, que essas unidades curriculares se encontram, constituindo assim os seus alunos os principais destinatários do caso.

Adicionalmente é também requerido que os alunos possuam conhecimentos de teoria das probabilidades, análise de dados e estatística de forma a conseguirem resolver o caso, uma vez que o primeiro é necessário a montante do processo de simulação para parametrizar o modelo e os dois últimos a jusante para analisar os resultados obtidos através da simulação (Shaliker e Suleman, 2012).

2.2. Objectivos pedagógicos

Com a resolução deste caso pretende-se que novos conhecimentos e competências, úteis no desempenho de funções na área da simulação, sejam adquiridos. Rohrer e Banks (1998), por exemplo, identificam várias competências necessárias a quem opera com ferramentas na área da simulação, das quais se destacam a experiência, quer na conceptualização de modelos de sistemas, quer na manipulação de *software* de simulação, e um raciocínio analítico, quer dizer, uma boa capacidade de análise.

Assim espera-se que os alunos:

- Obtenham experiência na utilização de *software* de simulação, nomeadamente o SIMUL8™;
- Consigam resolver problemas de gestão através do uso da simulação;
- Ganhem competências quanto à modelação de sistemas;
- Desenvolvam um pensamento analítico de forma a identificar oportunidades de melhoria no sistema;
- Obtenham conhecimentos na gestão de filas de espera.

2.3. Revisão da literatura

Nesta secção serão introduzidos os temas visados no caso e considerados necessários para a sua resolução e compreensão. Primeiramente será feita referência ao planeamento da capacidade e as suas particularidades quando aplicado em serviços. Posteriormente serão abordados os principais métodos normalmente utilizados na análise de casos no contexto do aqui apresentado, a teoria das filas de espera e a simulação.

2.3.1. Planeamento da capacidade

Num âmbito industrial, Swamidass (2000) citado por Olhager e Johansson (2012: 23), considera a capacidade como “... o nível de produção máximo que é possível atingir ao longo de um determinado período de tempo”. Para Chase, Jacobs e Aquilano (2006), o planeamento da mesma constitui a determinação do nível de capacidade mais adequado para uma determinada empresa, sendo importante que não seja superior nem inferior ao necessário. Isto é, se o nível de capacidade não for suficiente para satisfazer a procura podem perder-se clientes e, se for excessivo, incorre-se em custos desnecessários, na medida em que existe subutilização da capacidade disponível.

A relevância do planeamento da capacidade é ainda maior no caso de os recursos necessários para o aumento do seu nível serem substanciais e o retorno deste investimento ser a longo prazo (Paraskevopoulos, Karakitsos e Rustem, 1991), como é o caso nos terminais de aeroporto.

2.3.2 Planeamento da capacidade nos serviços

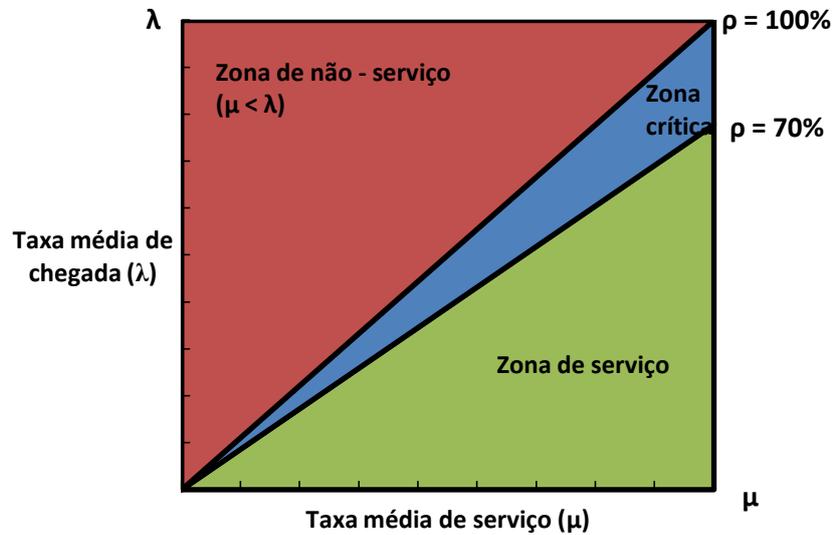
Nos serviços, segundo Johnston e Clark (2005) citados em Olhager e Johansson (2012: 25), a capacidade é “...o nível máximo de atividade com valor acrescentado que o processo de um serviço consegue, ao longo de um determinado período de tempo, consistentemente atingir sob condições normais de funcionamento”. Apesar de esta definição ser similar à apresentada anteriormente para capacidade na produção de bens, no que concerne ao planeamento da capacidade nos serviços, existem algumas diferenças face ao que seria habitual num contexto industrial.

Duas das principais dissemelhanças identificadas por Chase, Jacobs e Aquilano (2006) relacionam-se com o tempo e a utilização da capacidade. Segundo estes autores, o tempo constitui uma diferença pois, ao contrário dos bens físicos, os serviços não podem ser armazenados, pelo que tem de haver capacidade disponível para produzir um serviço sempre que o mesmo seja requerido. Já a utilização da capacidade, isto é, o rácio entre a capacidade requerida e a disponível (Corsten e Stuhlmann, 1997), tem destaque no planeamento da capacidade nos serviços, pois existe uma relação entre esta e a qualidade do serviço prestado.

Haywood-Farmer e Nollet, (1991) citados por Chase, Jacobs e Aquilano (2006), afirmam que o nível de utilização da capacidade ideal se situa perto dos 70% da

capacidade máxima. Acima deste valor pode degradar-se a qualidade do serviço, não obstante de se continuar a conseguir processar a generalidade dos clientes. Quando a procura ultrapassa a capacidade disponível formar-se-ão naturalmente filas de espera e poderá até haver clientes que nem cheguem a ser atendidos.

Gráfico 3- Relação entre a taxa de utilização do serviço (ρ) e a sua qualidade

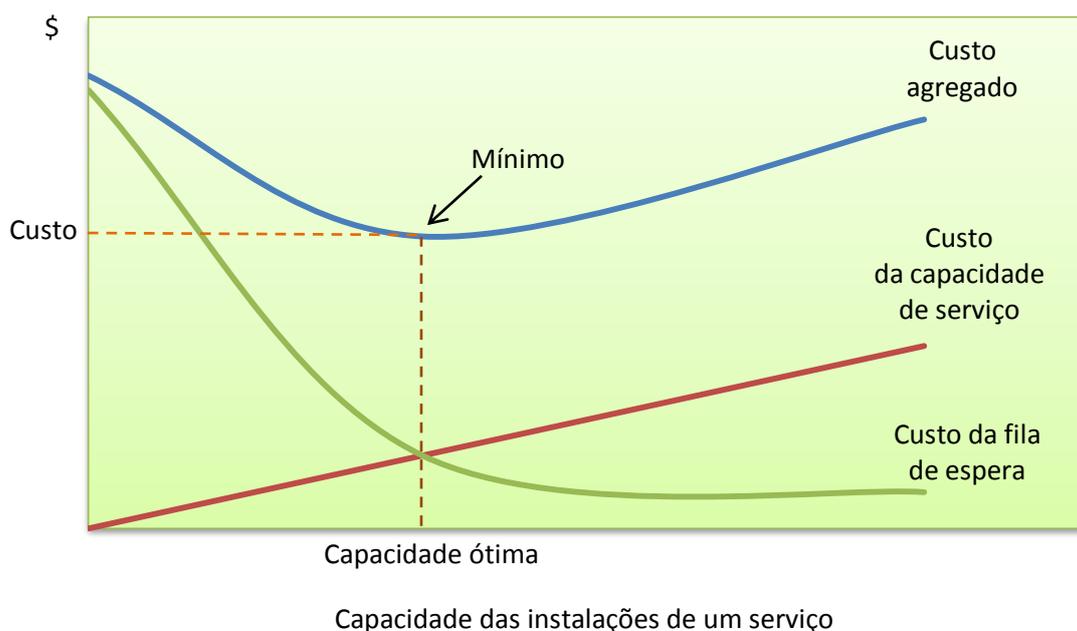


Fonte: Adaptado de Haywood-Farmer e Nollet, 1991 citado em Chase, Jacobs e Aquilano, 2006: 442

Segundo Bretthauer e Côté (1998), o planeamento dos níveis de capacidade num serviço, como o da prestação de cuidados de saúde, consiste no balanceamento entre dois objetivos contraditórios, baixos custos de capacidade e elevados níveis de serviço. Uma diminuição da capacidade instalada permite a redução dos custos associados à mesma, contudo verificar-se-á um aumento do tempo de espera dos pacientes. Já um elevado nível de serviço significa uma redução dos tempos de espera, mas resulta de um maior nível de capacidade e consequentemente de um aumento dos custos.

Essa relação pode ser verificada no Gráfico 4, onde se relaciona custos de aumento da capacidade com o da espera dos clientes.

Gráfico 4 - Compromisso entre capacidade de serviço e fila de espera



Fonte: Adaptado de Chase, Jacobs e Aquilano, 2006: 290

Contudo, nos serviços, o nível ótimo de capacidade a instalar é mais difícil de determinar com a mesma precisão que na produção de bens. Isto porque o cliente participa conjuntamente no processo produtivo do serviço, pelo que o seu tempo de produção pode variar (Frank, 1970 citado em Corsten e Stuhlmann, 1997: 164), não sendo igual de cliente para cliente.

2.3.3 Filas de espera

A teoria das filas de espera é usualmente aplicada na análise do desempenho de sistemas sob diferentes condições, permitindo conhecer quais os fatores que os influenciam e como o fazem (Ramalhoto, 1990). Assim, através de um modelo matemático é possível revelar as especificidades de um sistema, bem como as relações existentes entre os seus parâmetros e o desempenho do mesmo (Ramalhoto, 1990). Este método revela-se então especialmente útil no planeamento e desenho de sistemas uma vez que possibilita responder a perguntas como “...*quantos agentes de viagem são necessários a atender chamadas num sistema de reservas de passagens aéreas por telefone de modo a garantir que é prestado um serviço adequado?*” (Ramalhoto, 1990: 234).

As vantagens da teoria das filas de espera focam-se na rapidez e baixo custo, comparativamente à simulação, com que é possível analisar os sistemas (Ramalhoto, 1990). No entanto, os modelos são simplificações da realidade e formulados sob certas hipóteses que podem implicar uma diminuição do detalhe.

Rao *et al.* (1998: 2) afirmam que “*um sistema de filas de espera consiste em um ou mais servidores, um processo de chegada e um processo de serviço, além de alguns pressupostos sobre como o sistema funciona*”. Estes parâmetros, são usados na notação de Kendall para descrever os modelos através de um conjunto de letras e números, ou variáveis.

Tomando como exemplo um dos modelos de filas de espera mais utilizado, representado por GI/G/m na notação de Kendall (Ramalhoto, 1990), explica-se em seguida, com base neste, o significado dos vários termos da notação. O primeiro e segundo correspondem a um código alfabético que indica o tipo de processo de chegada e de serviço respetivamente (Rao *et al.*, 1998). GI refere-se então aos tempos entre chegadas e G ao tempo de serviço como variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas segundo uma determinada função de distribuição de probabilidade (Ramalhoto, 1990).

Outras letras normalmente usadas são (Rao *et al.*, 1998):

- M – para uma distribuição poisson no processo de chegada e exponencial quando aplicada ao tempo de serviço;
- D – quando o parâmetro é determinístico;
- E_k – para uma distribuição Erlang com parâmetro de forma k.

O terceiro termo, m, corresponde a um número ou variável que indica o número de servidores (Rao *et al.*, 1998). Adicionalmente um quarto, quinto e sexto termos podem também ser utilizados para representar a capacidade, o tamanho da população de origem e disciplina da fila respetivamente (Rao *et al.*, 1998).

De salientar que o quarto e quinto termo são números ou variáveis, enquanto o sexto, se existir, é um código alfabético que constitui a abreviatura da disciplina, sendo habitualmente utilizada a regra de *First Come-First Served* (FCFS) ou *Last Come-First Served* (LCFS) (Rao *et al.*, 1998). No caso de os termos serem omitidos, assume-se por defeito que tanto a capacidade como a população de origem são infinitas, e que a disciplina da fila é FCFS (Rao *et al.*, 1998).

Estando identificado o modelo é possível posteriormente calcular indicadores de desempenho do sistema dos quais se destaca, o número de clientes em espera e o tempo que estes estiveram em fila (Ramalhoto, 1990).

2.3.4 Simulação

Várias definições têm sido propostas para a simulação. Concannon *et al.* (2006: 15) definem a simulação como “...o uso de um programa de computador para modelar um sistema real com vista a validar decisões que afetam o sistema”. Similarmente, Banks *et al.* (2005), citados por Robinson *et al.* (2012: 190), afirmam que a simulação é “...a imitação da operação de um processo ou sistema real durante um período de tempo” e Pidd (2004) citado por Tako e Robinson (2010:784) considera que a simulação é uma ferramenta “...onde os modelos de computador são implementados para compreender e experimentar com um sistema”.

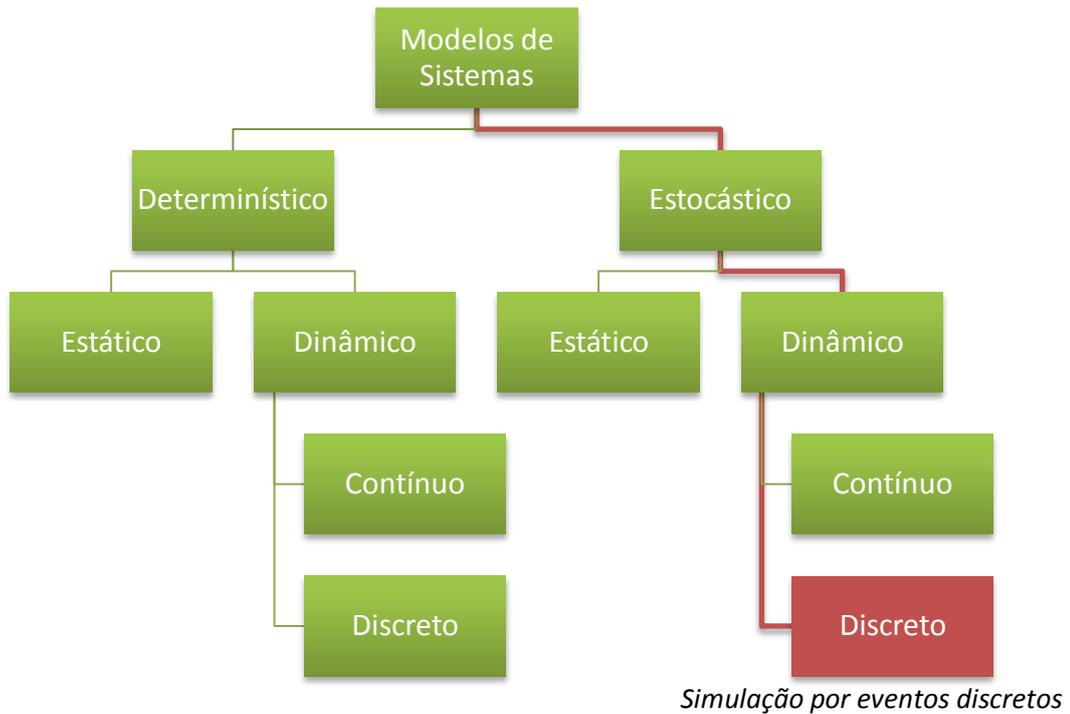
Um elemento comum entre estas definições é o facto de considerarem a simulação como a replicação de um sistema real de modo a ser possível realizar experiências sem afetar o sistema em análise. Devido a esta capacidade, a simulação é útil no teste e desenho de sistemas, assim como na avaliação do uso de diferentes combinações de recursos ou regras de operação (Concannon *et al.* 2006). Outra situação onde, segundo Robinson (2004) citado por Robinson *et al.* (2012), a utilização da simulação se revela vantajosa é quando os processos do sistema em análise têm alguma variabilidade e estão interconectados. Isto porque tal aumenta a complexidade do sistema e a simulação permite avaliar o desempenho deste com relativa facilidade.

No contexto da simulação, é normalmente utilizada uma particular terminologia que é importante clarificar de modo a se compreenderem os principais conceitos da simulação. Apresentam-se então em seguida a descrição de alguns destes conceitos.

- **Sistema** - Consiste numa “coleção de entidades (e.g. pessoas, máquinas) que interagem ao longo do tempo para cumprir objetivos.” (Shaliker e Suleman, 2012: 4);
- **Modelo** – É uma representação abstrata de um sistema que descreve os seus componentes e respetivas interações (Shaliker e Suleman, 2012; Carson, 1992). O detalhe com que os componentes e relações são modelados depende da sua relevância para os objetivos do estudo que se está a desenvolver (Carson, 1992);
- **Variáveis de estado do sistema** – São variáveis que caracterizam o sistema, como por exemplo o número de carros num certo dia (Shaliker e Suleman, 2012);
- **Eventos** – Correspondem a acontecimentos que mudam o estado do sistema, como por exemplo quando um serviço é completado (Shaliker e Suleman, 2012; Carson, 1992). Estes são instantâneos e não têm duração (Carson, 1992);
- **Entidades** – São objetos que desempenham atividades no sistema e que têm um determinado conjunto de atributos associados (Shaliker e Suleman, 2012; Carson, 1992). As entidades podem ser dinâmicas, quando se movem no sistema, como por exemplo um cliente, ou estáticas quando se trata de um objeto que serve outras entidades. Como exemplo de atributos tem-se um cliente que possui prioridade nas filas, ou a velocidade de processamento num determinado serviço (Carson, 1992);
- **Atividades** – São ações que ocorrem no sistema e o seu início e fim desencadeiam os eventos. Ao contrário destes, as atividades prolongam-se por um determinado período de tempo (Shaliker e Suleman, 2012; Carson, 1992). Uma atividade é, por exemplo, a execução de um serviço, que demora um determinado tempo (Carson, 1992).

Vários tipos de modelos de sistemas podem ser analisados. Park e Leemis (2013) categorizaram-nos segundo a existência ou não de variabilidade, se têm em consideração ou não a passagem do tempo, ou ainda a forma como efetuam essa passagem, se a considerarem. O esquema da Figura 2, proposto por estes autores, resume as classificações normalmente atribuídas aos modelos sob uma estrutura hierárquica.

Figura 2 - Categorização dos modelos de sistemas



Fonte: Adaptado de Park e Leemis, 2013: 7

Atendendo a esta categorização, os modelos podem então ser inicialmente divididos entre determinísticos ou estocásticos. Um modelo determinístico não contém qualquer aleatoriedade ou variabilidade, por sua vez nos modelos estocásticos estas características estão presentes sendo usadas distribuições estatísticas para representá-las (Concannon *et al.* 2006).

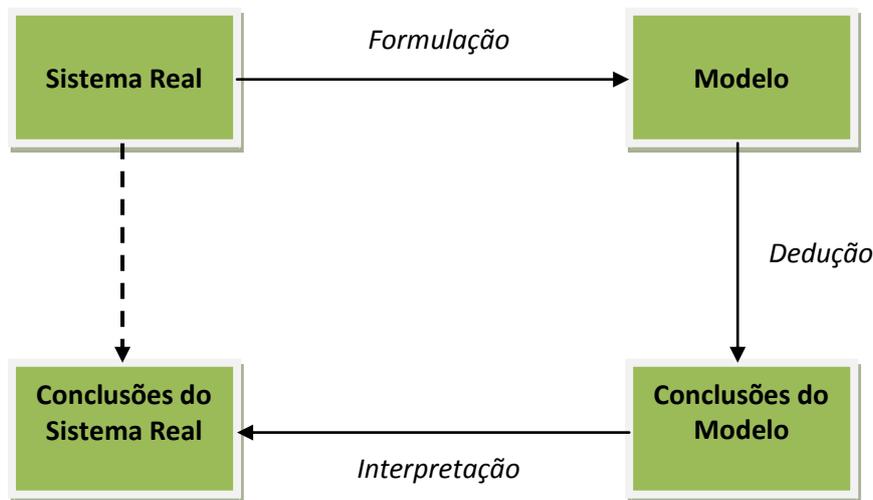
Em seguida, os modelos podem também ser subdivididos em modelos estáticos ou dinâmicos. Quando classificado como estático um modelo apenas traduz um sistema num determinado ponto no tempo ao passo que nos modelos dinâmicos é possível retratar um sistema e o seu estado ao longo de um determinado período de tempo (Concannon *et al.* 2006).

Por fim, é ainda possível decompor os modelos dinâmicos em modelos contínuos ou discretos. Os contínuos têm como particularidade o facto de alterarem o seu estado continuamente ao longo do tempo (Nance e Sargent, 2002). Em contraste os modelos discretos apenas mudam o seu estado em pontos discretos no tempo, denominados de eventos (Nance e Sargent, 2002; Tako e Robinson, 2010; Carson, 1992; Robinson *et al.*, 2012). O modo de operação destes consiste num mecanismo que avança o tempo na simulação de um evento para o próximo, atualizando o estado do sistema em cada

evento (Carson, 1992). A modelação por eventos discretos constitui o foco deste trabalho e será utilizada na resolução do caso.

Na análise de sistemas através da modelação, o processo a seguir deverá compreender as etapas descritas na Figura 3.

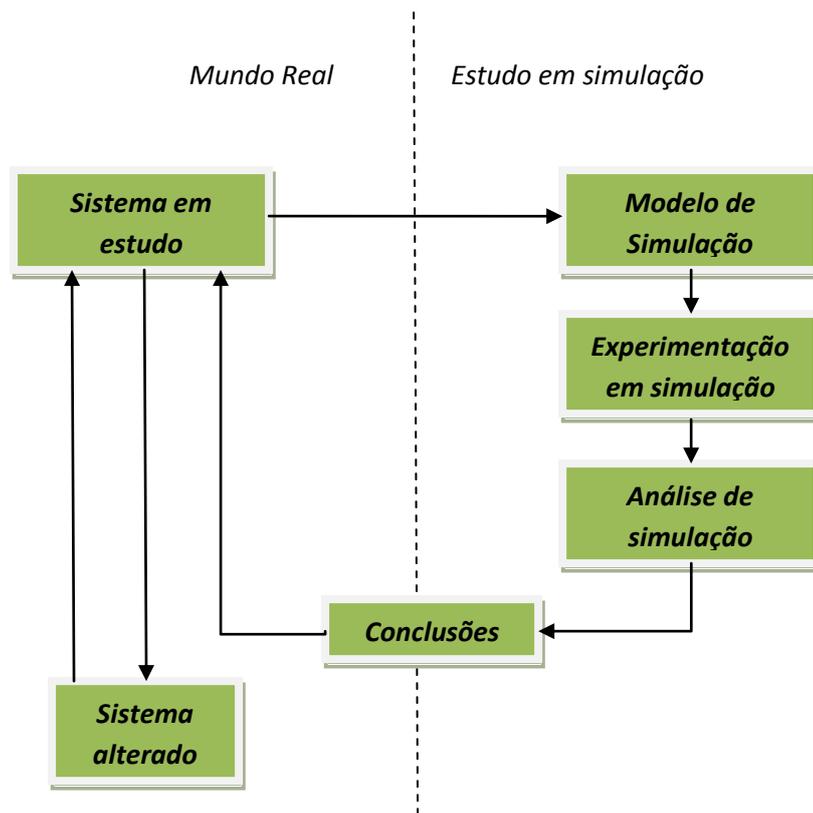
Figura 3 - Processo de modelação



Fonte: Adaptado de Ravindran, Philips e Solberg, 1987: 5

Estas consistem na formulação do modelo com base no sistema real, na dedução de conclusões a partir deste e na interpretação dessas conclusões, de modo a transpô-las para o sistema real. O estudo de sistemas com recurso à simulação assume um processo similar, mas adaptado às suas particularidades. Na esquematização proposta por Maria (1997) é possível verificar essas similaridades (Ver Figura 4).

Figura 4 - Esquemática do processo de estudo de simulação



Fonte: Adaptado de Maria, 1997: 8.

É ainda importante salientar que este processo é iterativo uma vez que o sistema alterado se transforma no sistema em estudo que, conseqüentemente, volta a ser o sistema alterado repetindo-se constantemente este ciclo (Maria, 1997).

Maria (1997) sugere igualmente um conjunto de 11 passos para executar uma análise através da simulação. O desenvolvimento do modelo é efetuado entre o primeiro e sexto passo, do sétimo ao nono passo é realizada a experimentação do modelo e nos restantes passos é feita a análise através da simulação.

Apresenta-se então em seguida a descrição dos vários passos sugeridos por este autor.

1. **Identificar o problema** – Enumerar os constrangimentos do sistema;
2. **Formular o problema** – Definir o objetivo do estudo e medidas de desempenho que serão usadas na avaliação das diferentes configurações do sistema;

3. **Recolher de dados sobre o sistema** – Consiste em obter informação em relação às principais variáveis do sistema, como por exemplo, as distribuições que assumem;
4. **Formular e desenvolver o modelo** – Construção do modelo conceptual e sua descrição através de diagramas, assim como a sua transposição para o *software* de simulação;
5. **Validar o modelo** – Comparar o desempenho do modelo com o sistema real sob condições previamente conhecidas;
6. **Documentar o modelo para uso futuro** – Documentar os objetivos, pressupostos e dados do modelo;
7. **Delinear o plano de experimentação mais adequado** – Selecionar as medidas de desempenho e variáveis que mais influência têm no sistema e que portanto devem ser incluídas na experimentação;
8. **Estabelecer as condições com que a experimentação vai ser executada** – Decisão sobre a duração do *warm-up period*² e número de *runs*³ a utilizar;
9. **Realização da simulação** – Execução do modelo no *software* de acordo com os passos 7 e 8;
10. **Interpretar e apresentar os resultados** – Consiste no cálculo de estimativas como médias e intervalos de confiança, relativamente às medidas de desempenho;
11. **Recomendações** – Sugestão de outros testes a executar ou medidas a tomar de forma a aumentar a precisão dos resultados.

2.4. Metodologia

O objetivo do caso de estudo aqui apresentado é oferecer aos seus destinatários o contacto com um exemplo da aplicação da simulação de forma a que possam, através deste, desenvolver e aplicar as suas competências nesta área.

² É um período em que o modelo de simulação é posto em funcionamento sem que se registem os resultados. É utilizado para simular sistemas que não se encontram vazios quando iniciam a sua atividade, como por exemplo uma fábrica que tem produtos em vias de fabrico (Concannon *et al.* 2006).

³ São sequências de números aleatórios geradas com base numa semente quando um modelo de simulação entra em funcionamento (Shaliker e Suleman, 2012).

Dado que simulação é uma ferramenta bastante utilizada no contexto do planeamento das infraestruturas dos terminais de aeroportos, (Gantt, 1992; Manataki e Zografos, 2009), optou-se por desenvolver o caso em torno desse contexto, que constitui um adequado exemplo do uso da simulação na resolução de problemas de gestão.

O aeroporto de Lisboa foi usado como referência para o desenvolvimento do caso, tendo sido empregues neste os dados relativos ao seu tráfego de passageiros, infraestruturas e níveis de serviço a atingir. Tais dados encontram-se disponíveis publicamente na internet. No entanto, outros dados essenciais ao desenvolvimento do caso, como por exemplo, as velocidades de processamento dos passageiros no *check-in* ou no controlo de segurança, não estão acessíveis ao público em geral.

Desta forma, esses dados foram recolhidos através da análise de publicações de organismos de relevância no sector aeroportuário e de artigos científicos que abordam a simulação em terminais de aeroportos, sendo que foram tomados como referência os valores recomendados e usados por estes.

O caso enquadra-se então dentro do cenário de planeamento da capacidade, definido por Wu e Mengerson (2013) quanto à modelação de terminais de aeroporto, pois procura-se saber se as infraestruturas correntes serão capazes de responder à procura prevista. Essa avaliação será feita com base nos níveis de serviço que dizem respeito ao tempo de espera em fila.

Os destinatários do caso terão então de recriar, a um nível macroscópico, o processo de embarque nos terminais do aeroporto de Lisboa e realizar testes no modelo desenvolvido de modo a determinar a capacidade que melhor satisfaça os níveis de serviço.

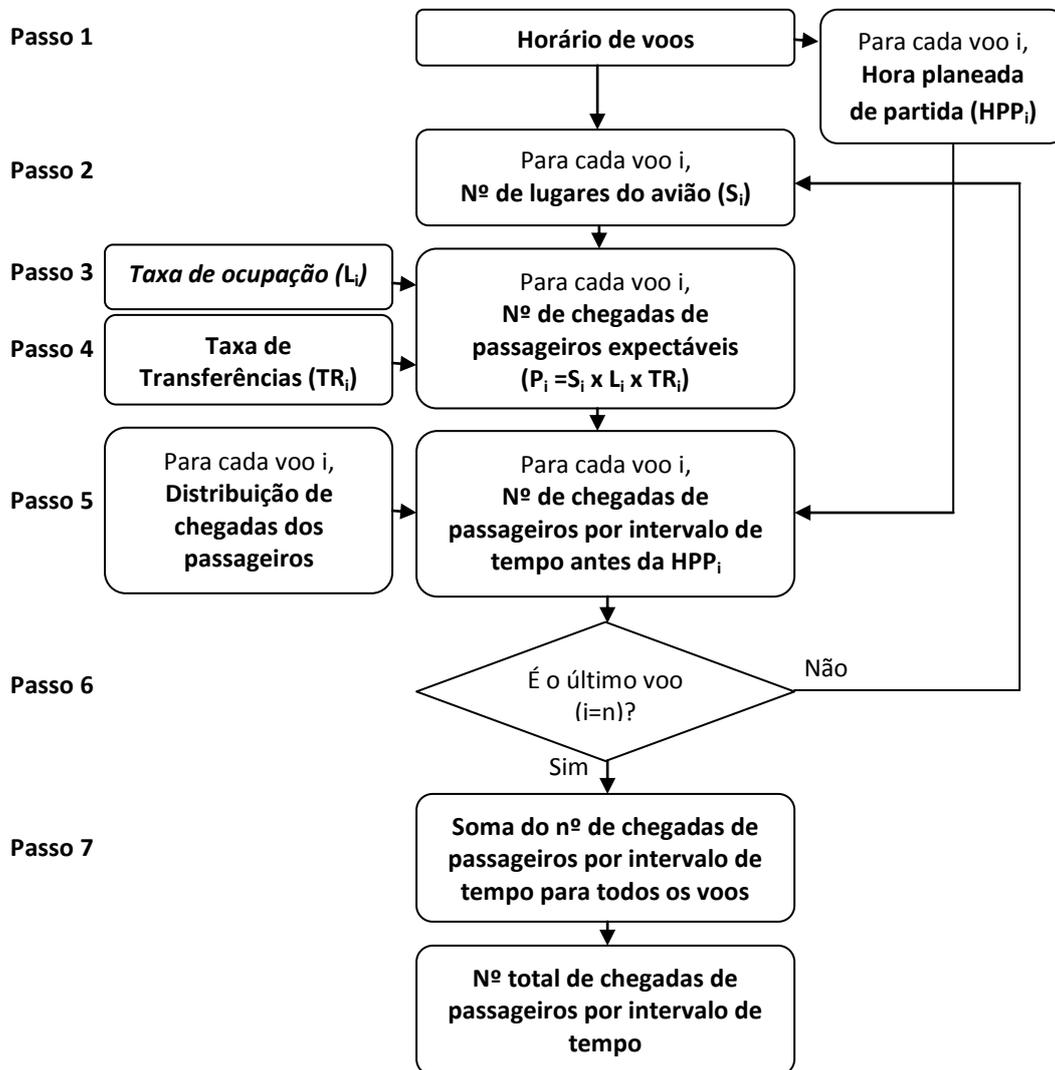
2.5. Recolha de dados e desenvolvimento das especificações do modelo

Nesta secção são explicitadas as informações e dados recolhidos para a elaboração do caso e que constituem a base do modelo, sendo também feita referência à abordagem utilizada na construção deste e o seu nível de detalhe.

2.5.1. Modelação da chegada dos passageiros

A simulação tem início com a entrada dos passageiros no sistema. Assim é necessário recriar as entradas de forma a que exibam um padrão similar ao da realidade. Manataki e Zografos (2009) sugerem um conjunto de passos que devem ser efetuados de forma a modelar as entradas dos passageiros num terminal, como indica a Figura 5.

Figura 5 - Modelação das chegadas dos passageiros ao terminal



Fonte: Adaptado de Manataki e Zografos, 2009: 436

Um método similar é descrito por Robertson *et al.* (2002), no entanto, dado que no presente caso o número de voos no período em análise não é elevado e apenas exibem 3 capacidades diferentes, optou-se por não se agregar as chegadas dos passageiros, não sendo complexo modelar estas pelos voos individualmente. Assim, o passo 7 não é realizado.

Os restantes passos apresentados por Manataki e Zografos (2009) foram executados da seguinte forma.

Passo 1:

A partir do horário de voos disponibilizado *online* pela ANA (2013c) para o período de Inverno IATA que ocorreu entre Outubro de 2013 e Março de 2014, foi recriado o plano de partidas no Terminal 2 do dia 16 de Fevereiro. O mês de Fevereiro foi o escolhido para constituir a base da análise pois trata-se do mês do ano de 2014 em que o tráfego de passageiros foi menor (ANA, 2013a: 6), considerando-se assim exemplificativo do período fora de pico. Já a escolha do dia 16 deve-se ao facto de este ser o dia em que se verificou a hora de maior tráfego de passageiros no mês de Fevereiro, entre as 13h00 e as 13h59 (ANA, 2014c), de modo a assegurar a validade da solução da análise para a generalidade dos dias do mês.

De realçar que apenas foram considerados para análise os voos regulares, isto é aqueles que operam segundo um determinado horário publicado e em que os lugares estão à venda para o público em geral.

As principais informações que se procuram obter são a hora de partida planeada, o modelo da aeronave utilizada e a companhia aérea associada, para cada um dos voos durante o período em análise. Na Tabela 9 é possível então verificar os voos que presumidamente ocorreram no Terminal 2, no dia 16 de Fevereiro de 2014, e que foram compilados observando o horário para os voos referentes às companhias aéreas que operam no terminal e que tinham lugar neste dia.

Tabela 9 - Partidas no Terminal 2 durante o dia 16 de Fevereiro de 2014

Hora de Partida Planeada	Avião	Nº de Voo	Companhia	Destino
06:50	319	U27687	EasyJet	Basileia/Mulhouse
07:00	319	U27601	EasyJet	Funchal, Madeira
07:15	319	U28716	EasyJet	Londres, Gatwick
09:30	319	U21446	EasyJet	Genebra
09:50	73H	DY3617	Norwegian	Copenhaga
10:20	320	U26982	EasyJet	Edimburgo
10:20	738	FR1885	Ryanair	Londres, Stansted
10:25	EQV	U27651	EasyJet	Berlim, Schoenefeld
10:50	319	U27631	EasyJet	Bilbao
10:55	319	U22366	EasyJet	Londres, Luton
11:15	738	FR1887	Ryanair	Paris, Beuavais
11:30	319	U27637	EasyJet	Bordéus
13:10	738	FR1889	Ryanair	Bruxelas, Charleroi
15:10	319	U27615	EasyJet	Madrid
16:20	319	U26254	EasyJet	Bristol
16:40	319	U27663	EasyJet	Amesterdão
17:30	319	U23762	EasyJet	Paris, Charles de Gaulle
18:55	319	U27605	EasyJet	Funchal, Madeira
18:55	EQV	U21448	EasyJet	Genebra
19:05	319	U22716	EasyJet	Milão, Malpensa
19:20	73H	TO3413	Transavia France	Paris, Orly
19:25	73H	HV5952	Transavia	Amesterdão
19:50	320	U28720	EasyJet	Londres, Gatwick
21:15	738	FR1883	Ryanair	Londres, Stansted

Fonte: Adaptado de ANA, 2013c

Passo 2:

O número de lugares do avião alocado a cada voo foi determinado através da consulta dos *websites* das companhias aéreas de forma a conhecer a capacidade dos aviões utilizados nos voos.

Segundo a Easyjet (2013), a sua frota é constituída somente por Airbus A319 e A320 que têm capacidade para 156 e 180 passageiros respetivamente. No entanto, existem dois voos em que o avião utilizado pode variar (código EQV- *Equipment Varies*), neste caso assumiu-se o pior cenário, pelo que se considerou que seria sempre utilizado o

Airbus A320. A Transavia (2014) usa apenas o Boeing 737-800 com *winglets* (código 73H) durante o período em análise, que possui 189 lugares.

Similarmente, a Norwegian só utiliza também o Boeing 737-800 com *winglets* (código 73H) no voo que realiza no dia 16 de Fevereiro de 2014. No entanto, a Norwegian (2014) possui duas versões deste avião, uma com 186 e outra com 189 lugares, tendo-se considerado novamente o pior cenário, ou seja, que é utilizada a versão com 189 lugares. Por fim, a Ryanair (2014) opera exclusivamente com os Boeing 737-800 normais (código 738) que têm lotação para 189 passageiros.

Um resumo das capacidades dos aviões utilizados nos voos em análise encontra-se na Tabela 10.

Tabela 10 – Capacidade dos aviões utilizados nos voos

Avião	Companhia Aérea	Capacidade máxima de passageiros	Fonte
319	EasyJet	156	Easyjet (2013)
320	EasyJet	180	
EQV	EasyJet	180	
73H	Transavia	189	Transavia (2014)
73H	Transavia F.	189	
73H	Norwegian	189	Norwegian (2014)
738	RyanAir	189	Ryanair (2014)

Passo 3:

A taxa de ocupação média dos voos regulares que se realizaram no aeroporto de Lisboa, durante o mês de Fevereiro de 2014, foi de 72% (ANA, 2014c). Esta taxa foi aplicada ao número de lugares previsto para cada voo de forma a determinar o número de passageiros que em média entrará em cada voo no cenário base. Para o cenário de elevado tráfego de passageiros foi assumido que a taxa de ocupação dos voos em análise seria de 95%. Apresenta-se na Tabela 11 o número de passageiros que é então previsto embarcarem em cada voo, para ambos os cenários.

Tabela 11 - Passageiros previstos a embarcar por voo

Hora de Partida Planeada	Avião	Nº de Voo	Capacidade máxima de passageiros	Passageiros embarcados no cenário base	Passageiros embarcados no cenário de elevado tráfego
06:50	319	U27687	156	112	148
07:00	319	U27601	156	112	148
07:15	319	U28716	156	112	148
09:30	319	U21446	156	112	148
09:50	73H	DY3617	189	136	180
10:20	320	U26982	180	130	171
10:20	738	FR1885	189	136	180
10:25	EQV	U27651	180	130	171
10:50	319	U27631	156	112	148
10:55	319	U22366	156	112	148
11:15	738	FR1887	189	136	180
11:30	319	U27637	156	112	148
13:10	738	FR1889	189	136	180
15:10	319	U27615	156	112	148
16:20	319	U26254	156	112	148
16:40	319	U27663	156	112	148
17:30	319	U23762	156	112	148
18:55	319	U27605	156	112	148
18:55	EQV	U21448	180	130	171
19:05	319	U22716	156	112	148
19:20	73H	TO3413	189	136	180
19:25	73H	HV5952	189	136	180
19:50	320	U28720	180	130	171
21:15	738	FR1883	189	136	180

Passo 4:

No passo 4 é retirado ao total de passageiros previstos embarcar num voo os provenientes de voos de ligação, ou seja, pretende-se ficar a conhecer quantos passageiros têm origem no aeroporto e que portanto passarão pelas áreas de processamento.

Contudo, o Terminal 2 não possui infraestruturas para o processamento de passageiros em transferência (ANA, 2014b) e a Easyjet, Ryanair e Transavia são companhias *point-to-point*, isto é, só efetuam voos diretos. Deste modo, apesar de a Norwegian realizar, em alguns, destinos voos de ligação, não é considerada a existência

de passageiros em transferência, pelo que todos passageiros previstos embarcar terão de passar nas áreas de processamento.

Passo 5:

Dado que, para um determinado voo, os passageiros não chegam todos no mesmo momento ao aeroporto, importa verificar qual o ritmo de chegada dos passageiros. Com base num questionário executado pela ANA aos passageiros, apresenta-se na Tabela 12 a antecedência com que os passageiros chegam ao *check-in* do aeroporto de Lisboa face à hora de partida planeada do voo em que vão embarcar.

Tabela 12 - Antecedências das chegadas dos passageiros ao *check-in* face à hora de partida planeada

Tempo de antecedência das chegadas face à hora de partida planeada	Percentagem de passageiros
2h 30min – 2h	23%
2h – 1h30min	40%
1h 30min – 1h	26%
1h – 30 min	11%

Fonte: Esteban, 2008: 62

Estas percentagens foram aplicadas ao número previsto de passageiros a embarcar nos vários voos de forma a determinar o número de passageiros que chega por cada intervalo de tempo.

Tabela 13 - Chegadas dos passageiros por intervalos de tempo no cenário base

	Percentagem de passageiros	Voos com 112 passageiros embarcados	Voos com 130 passageiros embarcados	Voos com 136 passageiros embarcados
2h 30min – 2h	23%	26	30	31
2h – 1h30min	40%	45	52	54
1h 30min – 1h	26%	29	34	35
1h – 30 min	11%	12	14	15

Tabela 14 - Chegadas dos passageiros por intervalos de tempo no cenário de elevado tráfego

	Percentagem de passageiros	Voos com 148 passageiros embarcados	Voos com 171 passageiros embarcados	Voos com 180 passageiros embarcados
2h 30min – 2h	23%	34	39	41
2h – 1h30min	40%	59	68	72
1h 30min – 1h	26%	38	44	47
1h – 30 min	11%	16	19	20

No entanto, pretende-se que o modelo seja estocástico e uma vez que é habitualmente assumido que o tempo entre chegadas segue uma distribuição exponencial (Chase, Jacobs e Aquilano, 2006; Concannon *et al.*, 2006), procurou-se traduzir as chegadas dos passageiros através desta distribuição.

Para tal, foi calculado o valor esperado ($E[X]$), isto é a média de cada distribuição exponencial determinada para os diferentes de intervalos de tempo, sendo que X corresponde ao tempo em minutos entre chegadas de passageiros. O cálculo do valor esperado ($E[X]$) foi feito através da divisão da dimensão do intervalo de tempo (30 minutos), pelo número de passageiros que chegaram durante o mesmo. Apresenta-se ainda o parâmetro lambda de cada distribuição exponencial, sabendo-se que este pode ser calculado através da seguinte fórmula:

$$E[X] = \frac{1}{\lambda} \quad (2.1)$$

Nas Tabelas 15 e 16 constam então os valores esperados e os parâmetros lambda calculados para os cenários base e de elevado tráfego de passageiros.

Tabela 15 – Estimação dos tempos entre chegadas para o cenário base

	Voos com 112 passageiros embarcados			Voos com 130 passageiros embarcados			Voos com 136 passageiros embarcados		
	Pax.⁴	E[X]	λ	Pax.	E[X]	λ	Pax.	E[X]	λ
2h 30min - 2h	26	1,15	0,87	30	1,00	1,00	31	0,97	1,03
2h - 1h 30 min	45	0,67	1,50	52	0,58	1,73	54	0,56	1,80
1h 30 min - 1h	29	1,03	0,97	34	0,88	1,13	35	0,86	1,17
1h - 30 min	12	2,50	0,40	14	2,14	0,47	15	2,00	0,50

⁴ Abreviatura de passageiros normalmente empregue no setor da aviação.

Tabela 16 - Estimação dos tempos entre chegadas para o cenário de elevado tráfego

	Voos com 148 passageiros embarcados			Voos com 171 passageiros embarcados			Voos com 180 passageiros embarcados		
	Pax.	E[X]	λ	Pax.	E[X]	λ	Pax.	E[X]	λ
2h 30min - 2h	34	0,88	1,13	39	0,77	1,30	41	0,73	1,37
2h - 1h 30 min	59	0,51	1,97	68	0,44	2,27	72	0,42	2,40
1h 30 min - 1h	38	0,79	1,27	44	0,68	1,47	47	0,64	1,57
1h - 30 min	16	1,88	0,53	19	1,58	0,63	20	1,50	0,67

Passo 6:

O passo 6 consiste em efetuar os passos de 2 a 5 para todos os restantes voos, no entanto estes passos foram logo aplicados à totalidade das partidas do Terminal 2 que se realizam no dia em análise, como referido anteriormente.

2.5.2. Processo de *check-in*

De forma a modelar o processo de *check-in* é necessário deter informação sobre as percentagens de passageiros que utilizam os vários modos de *check-in* disponíveis, o tempo médio que este demora a ser efetuado, a hora de abertura e fecho dos balcões, e quantos destes são alocados a cada voo.

No que diz respeito às modalidades de *check-in*, Franco (2011) através de informações orais obtidas por parte da ANA, considera que no aeroporto de Lisboa 80% dos passageiros realiza o *check-in* nos balcões, 5% nos quiosques *self-service* e 15% *online*. Estas proporções não divergem muito das assumidas por Manataki e Zografos (2010) para o aeroporto de Atenas em que 90% dos passageiros efetua o *check-in* nos balcões, 5% nos quiosques *self-service* e os restantes 5% *online*. Assim foram consideradas para o presente caso as percentagens utilizadas por Franco (2011).

Relativamente ao tempo médio de processamento dos passageiros nos balcões de *check-in*, segundo um estudo de capacidade realizado pela ANA (2008) e citado em Franco (2011), para o Terminal 1 do aeroporto de Lisboa este situa-se em 1,55 minutos na zona 1, 1,717 minutos na zona 2, e 3,067 minutos na zona 3. Por sua vez, Manataki e Zografos (2010) pressupõem um tempo médio de serviço de 1,5 minutos por passageiro,

o mesmo utilizado também por Esteban (2008) na análise que realizou ao *check-in* do Terminal 1 do aeroporto de Lisboa.

Dado que ambos os autores utilizam um tempo médio de 1,5 minutos para os balcões de *check-in*, este foi o tempo aplicado no caso, até porque é bastante próximo do indicado em Franco (2011). Para os quiosques *self-service* é considerado que o *check-in* demora em média 2 minutos, o tempo utilizado por Manataki e Zografos (2010) na sua análise.

Pressupõe-se ainda que todos os tempos de processamento dos passageiros, com exceção dos referentes às máquinas do sistema RAPID seguem uma distribuição de probabilidade *average*, específica ao SIMUL8™. Esta é uma distribuição normal em que o desvio padrão corresponde a 25% da média e é habitualmente utilizada em tempos de processamento e quando não existem informações que permitam justificar o uso de alguma distribuição em particular (Concannon *et al.*, 2006).

Quanto à hora de abertura dos balcões de *check-in*, um dos níveis de serviço a que a ANA está cingida estabelece que 90% destes devem abrir com uma antecedência de 2 horas face à hora de partida planeada dos voos de médio curso (ANA, 2013b; 2014d). Relativamente à hora de fecho, Esteban (2008) indica que a prática corrente na ANA, para os voos de médio de curso, é que estes encerrem 30 minutos antes da hora prevista para a descolagem. Dado que todos os voos contemplados no caso têm destinos na Europa, podendo assim ser considerados de médio curso, no modelo assume-se que os balcões abrem 2 horas antes da partida do voo e que fecham 30 minutos antes da partida.

De forma a apresentar o número base de balcões que são alocados a cada voo, procurou-se verificar qual é a prática comum no aeroporto de Lisboa. Uma vez que apenas a Transavia e a Norwegian possibilitam o *check-in* nos balcões e ambas só utilizam nos seus voos o Boeing 737-800 com *winglets* (código 73H), foi verificado no horário de voos fornecido pela ANA a Esteban (2008), o número de balcões atribuídos a cada voo efetuado por este tipo de aeronave. Assim, foi possível verificar que são normalmente utilizados entre 2 a 4 balcões, pelo que se optou por considerar como base do caso o uso de 3 balcões, o valor intermédio.

Por outro lado, não foi encontrada informação sobre quantos quiosques *self-service* se encontram instalados no terminal. No entanto, segundo o estudo de Manataki e

Zografos (2010) no aeroporto de Atenas, o tempo médio de espera dos passageiros nos quiosques era de 0 minutos atingindo no máximo 1 minuto. Assim, e uma vez que apenas existem 3 voos no dia em análise em que é possível fazer o *check-in* nos quiosques, considera-se que existem quiosques suficientes para que nunca sejam criadas filas de espera, ou seja, os passageiros não têm de esperar para fazer o *check-in*.

É de notar também que o nível de serviço em avaliação na área de *check-in* é referente aos voos *low-cost*, pois no Terminal 2 apenas operam companhias que realizam este tipo de voos.

2.5.3. Processo de controlo de segurança e fronteira

Para averiguar qual o tempo de processamento a utilizar para o controlo de segurança e o de fronteira procurou-se reunir informação sobre o que é normalmente verificado nos aeroportos.

Segundo um questionário efetuado pela IATA (2012), num conjunto de 56 aeroportos um posto de controlo de segurança processa em média 149 passageiros por hora, isto é, cada passageiro demora cerca de 0,403 minutos a ser processado. Lange, Samoilovich e Rhee (2013), no estudo de simulação que realizaram num aeroporto europeu de grandes dimensões, indicam que um posto de controlo de segurança consegue processar 52,5 passageiros em 15 minutos, ou seja o tempo de processamento de um passageiro é, aproximadamente, 0,286 minutos. Por último, num estudo de capacidade realizado pela ANA (2008) e citado em Franco (2011), o tempo de processamento dos passageiros no controlo de segurança do aeroporto de Lisboa é em média 0,45 minutos por passageiro num posto. Este será o tempo de processamento no controlo de segurança considerado para o caso uma vez que diz respeito ao aeroporto em causa.

Devido à existência de duas formas diferentes de executar o controlo de fronteira, nos postos normais ou através das máquinas RAPID, torna-se essencial saber, que percentagem do total de passageiros usa cada um destes métodos, para além dos respetivos tempos médios de processamento.

Quanto à taxa de utilização do sistema RAPID, o SEF (2012) afirma no seu relatório anual que, nas fronteiras aéreas, 63,47% dos passageiros foram controlados com recurso

a sistemas de controlo automático, o RAPID e o processo automático seguro de entradas e saída de passageiros (PASSE), pelo que foi essa a proporção utilizada no caso.

No que concerne aos tempos de processamento, para os postos de controlo normais, Manataki e Zografos (2010) consideram que um posto processa 3 passageiros por minuto, isto é cada, passageiro demora cerca de 0,333 minutos a ser processado, o mesmo tempo de processamento sugerido pela IATA (1995 citado em Ballis, 2002). No entanto, é indicado pela ANA (2008 citada em Franco, 2011: 66) que este processo demora em média 0,63 minutos, pelo que este foi o tempo de processamento assumido para o caso, uma vez que diz respeito ao aeroporto em análise.

Para as máquinas de controlo automático RAPID, segundo a avaliação feita a este sistema pela Universidade do Algarve (2007), o tempo de processamento dos passageiros é em média 23,1 segundos (0,385 minutos) com um desvio-padrão de 10,9 segundos (0,182 minutos), sendo que no máximo um passageiro é processado em 103 segundos (1,717 minutos) e no mínimo em 4 segundos (0,067 minutos), não considerando tempos nulos.

Assume-se que os tempos de processamento nas máquinas RAPID seguem uma distribuição normal com os parâmetros mencionados anteriormente e limitada ao máximo e mínimo indicados, dado que esta é habitualmente utilizada para descrever a duração de operações (SIMUL8, 2014).

2.6. Ferramenta de análise

A realização do caso de estudo será feita com suporte no *software* de simulação SIMUL8™. O seu funcionamento baseia-se maioritariamente na interface gráfica disponibilizada em que, a partir de um conjunto de objetos possíveis de parametrizar, o utilizador vai escolhendo e colocando aqueles que considera mais apropriados e interconecta-os até criar o modelo do sistema pretendido (Mona, 1999). Tal possibilita a criação de uma representação gráfica do sistema e posteriormente acompanhar o seu funcionamento ao longo do tempo.

Os principais elementos no SIMUL8™ são os *work items* e os objetos. Os *work items* representam as entidades que vão ser processadas ao longo do modelo, pelo que circulam entre os objetos (Shaliker e Suleman, 2012). Já os objetos constituem a

estrutura do modelo e são parametrizados de modo a representar o sistema em estudo. Com base nas definições propostas por Shaliker e Suleman, (2012), identificam-se e descrevem-se em seguida os mais importantes:

- *Start point* – Corresponde ao início do modelo de simulação, sendo o local onde são gerados os *work items* de acordo com o ritmo que for especificado;
- *Queues* – São os locais onde os *work items* aguardam até serem processados por uma *activity*, podendo ser definida a sua capacidade ou um tempo máximo de espera;
- *Activity* – É onde os *work items* são processados durante um período de tempo que pode ser parametrizado para seguir uma determinada distribuição de probabilidade;
- *Resources* – são os recursos necessários para que uma *activity* esteja em funcionamento.
- *End* – Corresponde ao final do modelo e é o local para onde os *work items* se destinam quando o processo em análise termina.

No entanto, a utilidade do SIMUL8™ centra-se na capacidade de produzir *outputs* estatísticos relativamente aos fatores de decisão que se considerem relevantes, podendo-se assim, a partir da análise destes, avaliar o desempenho do sistema que se quer modelar. A utilização do *software* permite também, fácil e rapidamente, proceder a alterações no modelo desenvolvido e comparar o seu impacto.

É importante também notar que o SIMUL8™, em particular, opera de acordo com o modelo de eventos discretos descrito anteriormente.

2.7. Plano de animação

A finalidade do caso de estudo desenvolvido é proporcionar aos alunos da unidade curricular de Simulação de Sistemas e Operações o contacto com um exemplo de utilização da simulação, de modo a pôr em prática os conhecimentos obtidos no âmbito desta. Deste modo, o caso constitui um trabalho que deve ser efetuado em grupo composto preferencialmente por 2 a 3 elementos. Posteriormente em aula é exposta a resolução e feita uma análise ao caso.

Apresenta-se em seguida um plano de animação que poderá ser utilizado para fazer, em aula, a referida exposição da resolução do caso:

1ª Fase – Apresentação do problema

Objetivo: Compreender o que é necessário fazer de modo a resolver o caso;

Tarefas: Explicitar em que consiste o caso e as etapas para a sua resolução;

Ferramenta: Slides de resolução do caso;

Duração: 10 min.;

2ª Fase – Formulação do modelo e suas especificações

Objetivo: Perceber como modelar um sistema;

Tarefas: Fazer a descrição das características do modelo do sistema, como este opera e quais os seus elementos;

Ferramenta: Slides de resolução do caso;

Duração: 25 min.;

3ª Fase – Desenvolvimento do modelo no SIMUL8™

Objetivo: Conhecer o processo de elaboração de um modelo no SIMUL8™;

Tarefas: Demonstrar como se cria o modelo no SIMUL8™;

Ferramenta: Projeção em tela das ações do docente no SIMUL8™;

Duração: 1h e 15 min.;

4ª Fase – Resolução do caso

Objetivo: Entender como processar os *outputs* do SIMUL8™ e retirar conclusões dos mesmos;

Tarefas: Análise da informação obtida através do SIMUL8™;
Experimentação de alterações ao modelo e verificação do impacto nos resultados;

Ferramenta: Projeção em tela das ações do docente no SIMUL8™;

Duração: 1h e 10 min.;

2.8. Questões de animação

De forma a dinamizar a resolução do caso em aula e promover a participação dos alunos na mesma, o docente deverá colocar várias questões:

Questões – 2ª Fase

- Que diferenças existem entre o modelo que desenvolveu e o aqui apresentado? Que razões o levaram a formulá-lo assim?
- Quais as diferenças entre um modelo estocástico e um determinístico?

Questões – 3ª Fase

- Que funcionalidade do SIMUL8 pode ser usada alternativamente ao menu gráfico para parametrizar um modelo? Dê um exemplo em que esta seria útil.
- Descreva os passos necessários para alterar o ícone de um objeto no SIMUL8™

Questões – 4ª Fase

- Qual o efeito no intervalo de confiança se o nível de confiança for diminuído? De que outra forma poderá diminuir o intervalo de confiança?
- Descreva os passos que deverá executar para transferir os resultados obtidos no SIMUL8™ para o Excel.

2.9. Resolução

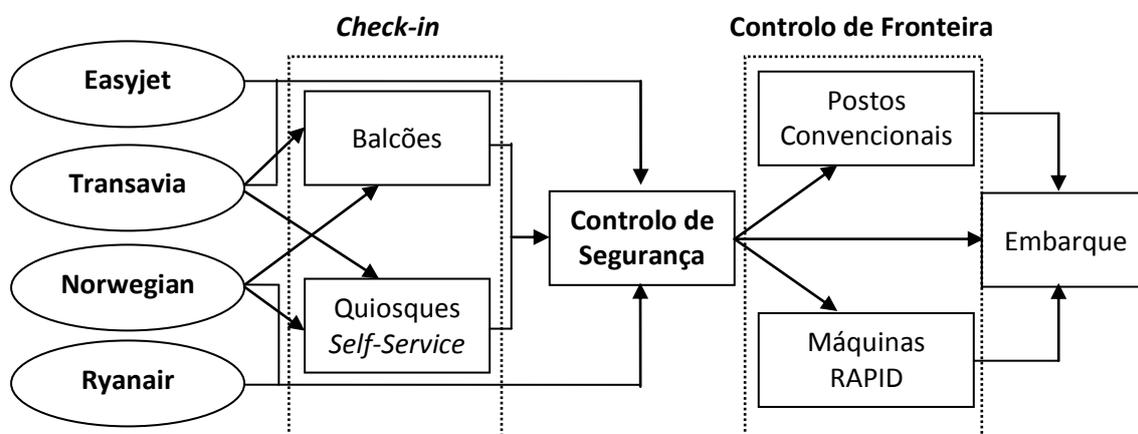
2.9.1. Etapa 1

O sistema em análise pode ser descrito por 4 elementos, as chegadas dos passageiros, a área de *check-in*, a de controlo de segurança e a de controlo de fronteira. Estas 3 áreas são aquelas onde os passageiros poderão ter que se dirigir, de modo a poderem embarcar no seu voo. No entanto, há que notar que o controlo de segurança será a única área em que todos os passageiros terão de passar obrigatoriamente, pelo que constitui a principal atividade do sistema, ditando a sua capacidade máxima.

Os passageiros, por sua vez, assumem diferentes características sendo que serão tratados pelo sistema de acordo com as mesmas. Assim, os passageiros da Transavia e da Norwegian podem escolher o seu modo de *check-in*, enquanto aqueles que viajam

através da Easyjet e da Ryanair farão todos o *check-in online*. Dependendo ainda do destino dos passageiros, fora ou dentro do espaço Schengen, estes têm de passar ou não, respetivamente, pela área de controlo de fronteira. O modelo conceptual apresentado na Figura 6 traduz então estas relações entre os vários elementos do sistema.

Figura 6 - Modelo conceptual



Apesar de apenas ocasionalmente os passageiros passarem pela área de *check-in* ou de controlo de fronteira, é necessário ter em consideração o impacto que eventuais alterações numa das áreas pode vir a ter na seguinte.

Por exemplo, o desempenho da área de controlo de fronteira pode ser influenciado pela capacidade do controlo de segurança. Se esta for aumentada, tal poderá refletir-se num maior tempo de espera no controlo de fronteira, pois poderá ficar sobrecarregada, caso já se encontre próximo do limite da sua capacidade. Ou seja, o controlo de fronteira poderá tornar-se num *bottleneck*⁵, no que diz respeito ao processamento de passageiros com destino fora do espaço Schengen.

Por outro lado, dado que apenas os passageiros que irão voar com a Transavia e a Norwegian usam as instalações do aeroporto para realizar o *check-in*, representando um número reduzido face ao total, o impacto desta área no controlo de segurança deverá ser diminuto.

⁵ Recurso que restringe todo o sistema por não ter capacidade suficiente para satisfazer a procura colocada sobre si (Chase, Jacobs e Aquilano, 2006). Optou-se por utilizar, ao longo deste trabalho, a sua designação inglesa face à portuguesa (“estrangulamento”) por se considerar que se trata de um termo normalmente utilizado no contexto da gestão.

2.9.2. Etapa 2

a) - Condições de simulação

Ainda antes da construção do modelo foram definidas as principais condições em que a simulação será executada, isto é o período de análise dos resultados, a unidade de tempo considerada, o número de *runs* a executar, o período de “aquecimento”, o tempo de trânsito dos passageiros e o nível de confiança utilizado.

A análise dos resultados será feita somente para um dia, dado que no caso apenas é disponibilizada informação sobre as chegadas dos passageiros para este período. Considerou-se que este dia tem início às 4h20, hora em que os passageiros do primeiro voo começam a chegar, e que termina às 21h15, ou seja na hora de partida planeada do último voo. Um dia tem assim uma duração de 16 horas e 55 minutos e a unidade de tempo selecionada para a análise da simulação é o minuto.

De modo a garantir uma precisão aceitável nos resultados a retirar da simulação, serão executadas 50 *runs*. Isto significa que o modelo será posto a correr 50 vezes com diferentes números aleatórios, pelo que os resultados obtidos constituirão a média das 50 *runs*.

Para este caso, optou-se por não se utilizar período de aquecimento, uma vez que é pressuposto que não se verificam atrasos nos voos e portanto não é possível que, passageiros do dia anterior estejam ainda no terminal no dia seguinte. Por isso não é necessário executar o modelo simulação antes do período de análise de modo a ter em conta eventuais passageiros que no início do dia já se encontrassem dentro do terminal.

Dado também que não são considerados na análise os tempos que os passageiros demoram a deslocar-se de uma área para a seguinte, definiu-se no SIMUL8™ que o tempo de trânsito dos passageiros é zero. O nível de confiança a utilizar será de 95%.

Por fim, de modo a evitar que nas áreas de processamento dos passageiros, ou seja no *check-in*, no controlo de segurança e de fronteira, se verifiquem valores anormais, como por exemplo passageiros a serem processados instantaneamente, todas as distribuições *average* são limitadas superior e inferiormente a 3 desvios-padrão. Assim, cerca de 1% dos valores mais extremos são eliminados, sendo que se optou que nesses casos seja recalculado um novo valor. As restantes distribuições encontram-se já limitadas, as chegadas dos passageiros não podem ultrapassar a capacidade máxima do avião que faz

o voo e para as máquinas RAPID é apresentado nos dados do caso o tempo máximo e mínimo que o processo pode levar.

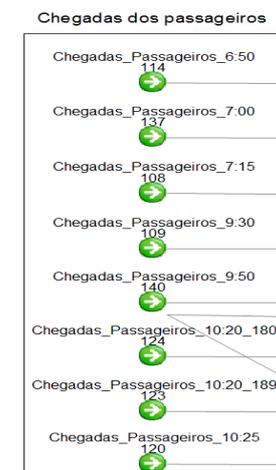
Tabela 17 - Condições de simulação

Condições de simulação	
Período de análise de resultados	1 dia
Período de aquecimento	0 minutos
Tempo de trânsito	0 minutos
Unidade de tempo	Minuto
Número de <i>runs</i>	50
Nível de confiança	95%

b) - Construção do modelo no SIMUL8™

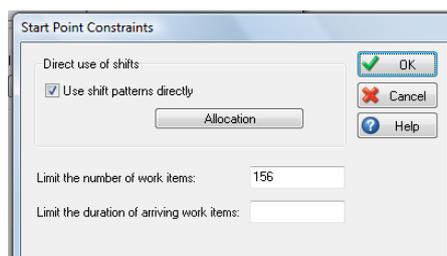
A construção do modelo no SIMUL8™ tem início com o desenvolvimento do processo de chegadas dos passageiros ao terminal. Assim, começou-se por criar um *start point* para cada voo previsto partir no dia em análise. Estes irão gerar os passageiros do voo a que são referentes, pelo que é necessário que sejam parametrizados de forma a produzir chegadas apenas a partir do momento em que faltam 2 horas e 30 minutos para a partida do voo e até restarem somente 30 minutos. Assim, foi atribuído a todos os *start points* um turno de funcionamento correspondente a esse período.

Figura 7 – Chegadas dos passageiros no modelo



Também o número de passageiros que podem ser gerados nos *start points* foi limitado à capacidade máxima do avião que irá fazer o voo, pois pretende-se evitar situações em que chegam mais passageiros do que é possível na realidade embarcarem.

Figura 8 - Restrições nos *start points*

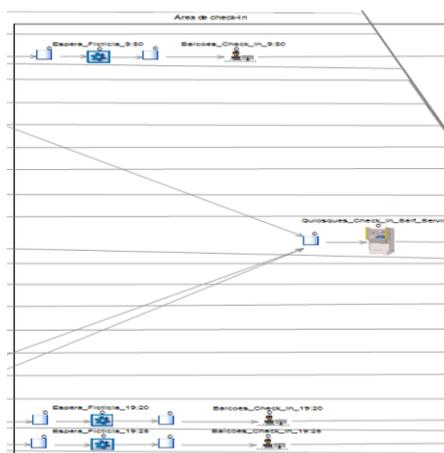


Para simular os diferentes ritmos a que os passageiros chegam, foi utilizada uma distribuição dependente do tempo. Esta varia automaticamente a distribuição de chegadas atribuída ao *start point* dependendo do tempo que falta para a partida do voo.

De modo a poderem diferenciar-se os passageiros que têm como destino países fora do espaço Schengen daqueles que irão viajar dentro deste espaço, é aplicada uma *label* aos passageiros quando saem dos *start points*. Assim, dependendo se o *start point* é relativo a um voo dentro ou fora do espaço Schengen, os passageiros são marcados com uma *label* que posteriormente os guiará para o controlo de fronteira ou diretamente às portas de embarque, respetivamente.

Além do destino, outro fator a considerar é a companhia que realiza o voo. No caso de o *start point* ser relativo a um voo da Ryanair ou da Easyjet os passageiros seguem diretamente para o controlo de segurança, uma vez que todos realizam o *check-in online*. Se o *start point* for referente a um voo da Transavia ou da Norwegian os passageiros são encaminhados para os balcões de *check-in*, quiosques *self-service* ou controlo de segurança de acordo com as proporções indicadas nos dados do caso. Na Figura 9 é possível verificar a disposição dos balcões de *check-in* e quiosques *self-service* no modelo.

Figura 9 - Área de *check-in* no modelo

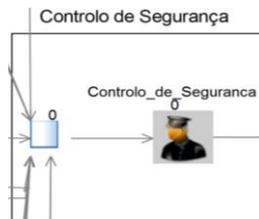


Para os balcões de *check-in* é também atribuído um turno de funcionamento de modo a que estes abram 2 horas antes da hora de partida planeada do voo e assim permaneçam durante 90 minutos. Devido ao facto de os passageiros começarem a chegar aos balcões ainda antes de estes estarem abertos, foi criada uma atividade fictícia para que a acumulação de passageiros que se verifica nesse período não influencie os tempos médios de espera. Assim, o tempo médio de espera no *check-in* só começa a ser contabilizado quando os balcões abrirem.

Já relativamente ao *check-in self-service*, o modelo foi parametrizado para assumir que existem 1000 quiosques, de modo a garantir que está sempre um disponível no caso de um passageiro querer utilizar esta modalidade de *check-in*.

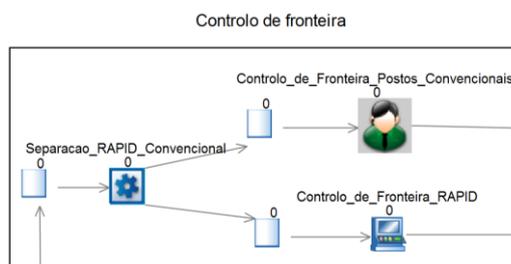
No controlo de segurança, é identificada qual a *label* atribuída aos passageiros nos *start points*, guiando-os para o controlo de fronteira se os seus voos forem fora do espaço Schengen, ou para a porta de embarque, em caso contrário.

Figura 10 - Controlo de segurança no modelo



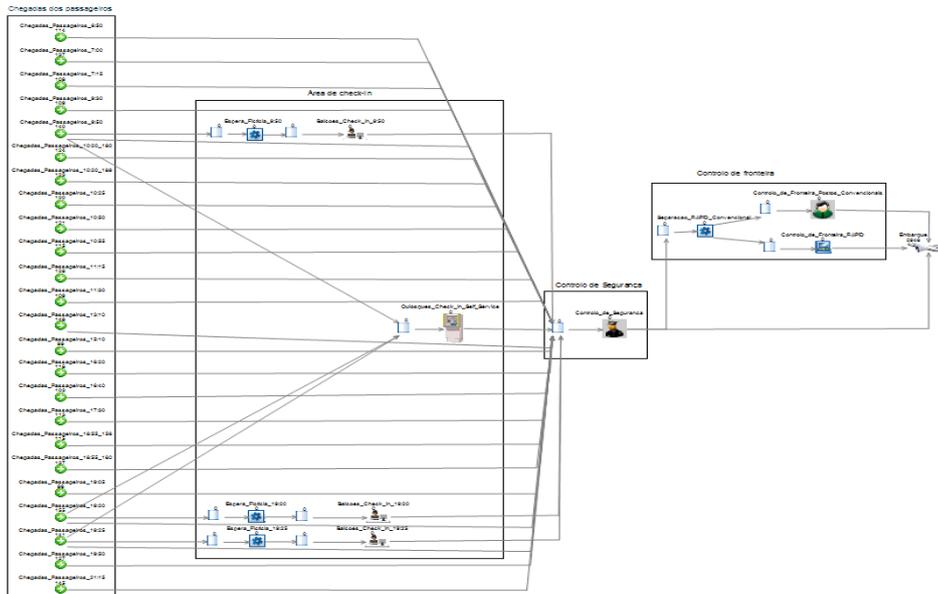
Aquando a chegada dos passageiros ao controlo de fronteira é necessário separar aqueles que irão passar nas máquinas RAPID daqueles que passam aos postos convencionais. Para fazer essa separação foi criada uma atividade fictícia, que envia 63,47% dos passageiros para as máquinas RAPID e os restantes 36,53% para os postos convencionais. Ao tempo de processamento desta atividade é aplicada uma distribuição fixa de valor zero, de modo a não ter qualquer impacto no tempo de permanência dos passageiros no sistema. Na Figura 11 apresenta-se a configuração do controlo de fronteira no modelo.

Figura 11 - Controlo de fronteira no modelo



Agrupando então todos estes elementos descritos anteriormente, o modelo completo no SIMUL8™ fica com o seguinte aspeto.

Figura 12 - Modelo completo no SIMUL8™



2.9.3. Etapa 3

a) - Análise 3.1

Nesta análise pretende-se que seja avaliado, para o cenário base, o grau de cumprimento dos níveis de serviço supondo que todas as infraestruturas disponíveis e 3 balcões de *check-in* por voo se encontram em funcionamento. Isto permite estabelecer uma referência para posteriores modificações a efetuar no modelo. Na Tabela 18 encontra-se o número de infraestruturas de processamento de passageiros consideradas para esta análise.

Tabela 18 - Infraestruturas consideradas para a Análise 3.1

<i>Check-in</i>	Controlo de Segurança	Controlo de Fronteira
3 balcões por voo	7 postos	4 postos convencionais
-	-	3 máquinas RAPID

Começando por observar os resultados obtidos para as filas de espera nos balcões de *check-in* verifica-se que, em média, entre 107 e 109 passageiros utilizaram este modo de *check-in* por cada voo. Destes, em média, apenas entre 67% e 68% esperaram em fila. Salienta-se que só os voos que ocorrem às 9h50, 19h20 e 19h25 possibilitam o *check-in*

nos balcões, sendo que no máximo poderão chegar 189 passageiros para qualquer um destes voos.

O tempo médio que os passageiros esperam em fila no *check-in* varia entre aproximadamente 4 minutos e 4 minutos e meio, atingindo no máximo 12 minutos e 9 segundos. Assim, usualmente, nenhum passageiro esperam mais de 20 minutos, o limite definido pelo nível de serviço relativo ao *check-in*, o que indica que 3 balcões são suficientes.

Tabela 19 – Resultados das filas nos balcões de *check-in* na Análise 3.1

	Média das runs: Fila no <i>check-in</i> do voo		
	9:50	19:20	19:25
Nº de passageiros que entraram	108,78	106,80	108,90
Nº de passageiros que tiveram de esperar	72,84	71,62	74,38
% de passageiros que tiveram de esperar	67%	67%	68%
Tempo médio de espera em fila	3,96 min.	4,11 min.	4,40 min.
Tempo máximo de espera em fila	11,81 min.	12,08 min.	12,15 min.
% de passageiros com tempo de espera inferior ao limite	100%	100%	100%

Nos gráficos 5,6 e 7 é possível verificar, para um *run* e para o *check-in* de um voo, a distribuição dos tempos de espera dos passageiros em fila, a dimensão da fila de espera ao longo do tempo, bem como o número de balcões em funcionamento. Os gráficos relativos à distribuição dos tempos de espera denunciam um padrão que ocorre em todos os voos, onde uma parte considerável dos passageiros tem um tempo de espera elevado, entre 9 e 13 minutos e 30 segundos, enquanto outra grande parte tem um tempo de espera relativamente baixo, entre 0 e 1 minuto e 30 segundos.

Tal pode dever-se ao facto de que alguns passageiros chegam antes da hora de abertura dos balcões, estando formada assim uma fila de espera logo no momento de abertura dos balcões. Por conseguinte, até esta situação se encontrar regularizada, o tempo de espera dos passageiros é superior ao esperado.

O gráfico que relata o número de passageiros em fila de espera, parece corroborar esta hipótese, observando-se uma diminuição constante da fila face à sua dimensão inicial quando os balcões abrem. De igual forma, o gráfico referente ao número de balcões a operar ao longo do tempo parece indicar também a ocorrência desta situação, verificando-se que no início todos os 3 balcões estão a ser utilizados, denotando que se está a operar na capacidade máxima, sendo que posteriormente apenas noutra momento tal acontece.

Gráfico 5 - Distribuição dos tempos de espera em fila nos balcões de *check-in* do voo das 9:50 na Análise 3.1

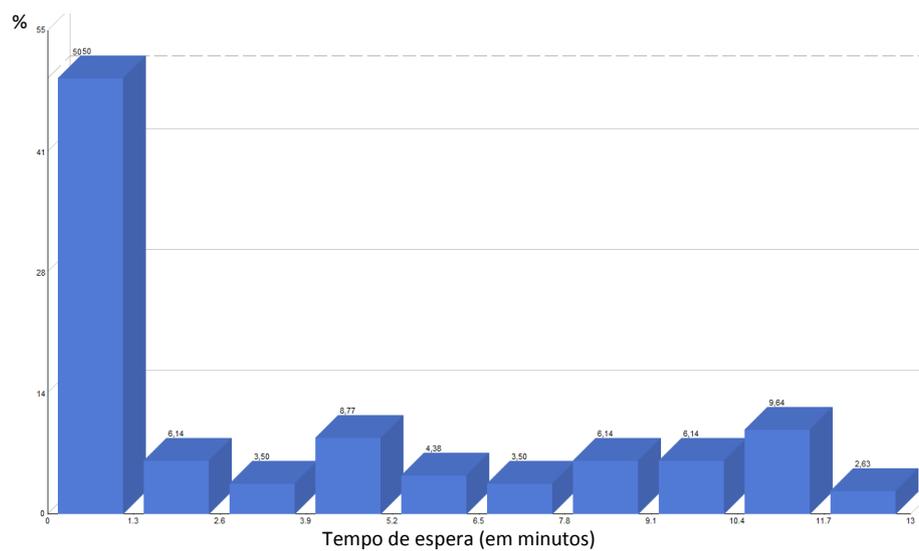


Gráfico 6 -Número de passageiros em fila nos balcões de *check-in* do voo das 9:50 na Análise 3.1

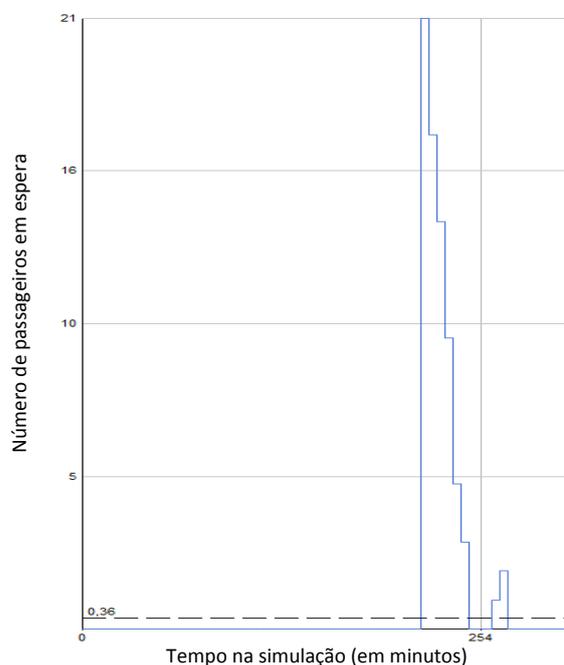
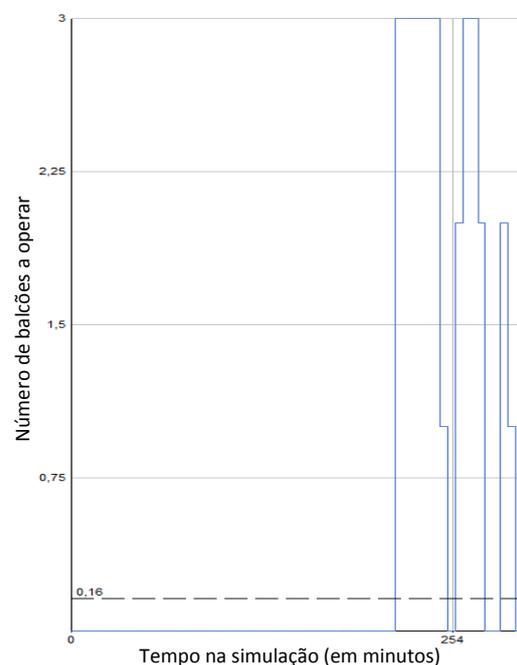
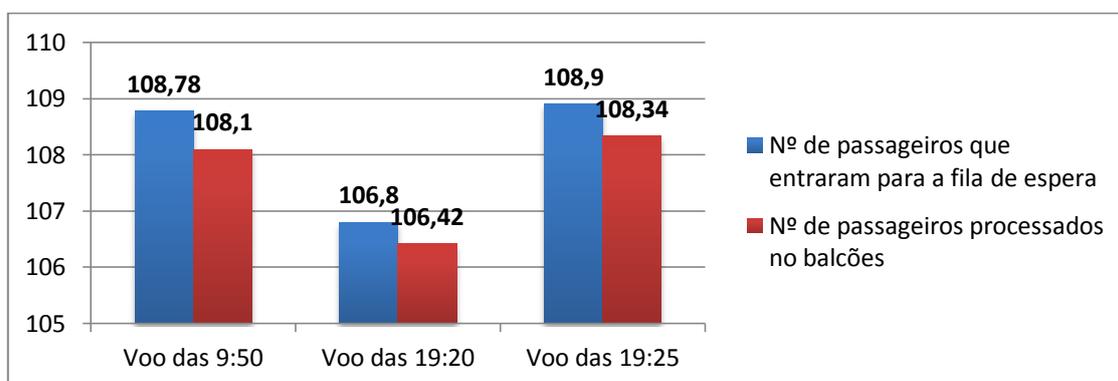


Gráfico 7 -Número de balcões a operar no *check-in* do voo das 9:50 na Análise 3.1



Praticamente todos os passageiros que entram na fila de espera para os balcões de *check-in* são processados, uma vez que, como se pode verificar no Gráfico 8, o número de passageiros que saem dos balcões é quase o mesmo que entra na fila de espera. A diferença é de aproximadamente 1 passageiro em cada voo, que se deduz tratar-se de casos em que o passageiro chega demasiado perto da hora de fecho dos balcões, não deixando tempo suficiente para ser processado.

Gráfico 8 – Comparação entre o número de passageiros que entram na fila de espera e aqueles que são processados nos balcões de *check-in* na Análise 3.1



Na tabela 20 verifica-se que no controlo de segurança, utilizando 7 postos, raramente se formam filas de espera. Em média, não existe qualquer passageiro na fila de espera e no máximo estiveram apenas cerca de 5. Somente 4% dos passageiros tiveram de esperar pela sua vez para passarem nesta área, sendo que o tempo médio de espera em fila é de 0 minutos e no máximo aproximadamente 19 segundos. Deste modo, existe margem para reduzir o número de postos de controlo de segurança pois o grau de cumprimento do nível de serviço é de 100%, ou seja todos os passageiros esperaram menos de 10 minutos.

Tabela 20 - Resultados das filas no controlo de segurança na Análise 3.1

	Média das runs
Nº médio de passageiros em fila	0,01
Nº máximo de passageiros em fila	5,44
Nº de passageiros que entraram	2923,10
Nº de passageiros que tiveram de esperar	112,84
% de passageiros que tiveram de esperar	4%
Tempo médio de espera em fila	0 min.
Tempo máximo de espera em fila	0,32 min.
% de passageiros com tempo de espera inferior ao limite	100%

No controlo de fronteira, tal como no controlo de segurança, em média não existe qualquer passageiro na fila de espera e no máximo estiveram cerca de 2 passageiros na fila para as máquinas RAPID e 1 para a fila dos postos convencionais, como pode ser verificado na tabela 21. O tempo médio de espera em fila dos passageiros nesta área é de 0 minutos, tendo todos os passageiros um tempo de espera inferior ao definido pelo nível de serviço, 15 minutos. Dado então o desempenho desta área, poderá ser possível reduzir o número de postos convencionais assegurando que o nível de serviço é atingido.

Tabela 21 - Resultados das filas no controlo de fronteira na Análise 3.1

	Média das runs	
	RAPID	Convencional
Nº médio de passageiros em fila	0	0
Nº máximo de passageiros em fila	2,40	1,12
Nº de passageiros que entraram	546,74	319,54
Nº de passageiros que tiveram de esperar	16,10	1,32
% de passageiros que tiveram de esperar	3%	0%
Tempo médio de espera em fila	0 min.	0 min.
Tempo máximo de espera em fila	0,35 min.	0,10 min.
% de passageiros com tempo de espera inferior ao limite	100%	100%

2.9.4. Etapa 4

a) - Análise 4.1

Tendo-se observado na etapa anterior, que o grau de cumprimento dos níveis de serviço é de 100%, se estiverem em funcionamento 3 balcões de *check-in* por voo e todas as infraestruturas disponíveis, pretende-se agora verificar o número de balcões de *check-in*, postos de controlo de segurança e de controlo de fronteira convencionais que é possível reduzir sem que com isso os níveis de serviço deixem de ser atingidos. Numa primeira análise, o número de balcões de *check-in* será reduzido para apenas 2 por voo e será considerado que somente 4 postos de controlo de segurança e um único posto de controlo de controlo de fronteira convencional estão em funcionamento durante um dia.

Tabela 22 - Infraestruturas consideradas para a Análise 4.1

Check-in	Controlo de Segurança	Controlo de Fronteira
2 balcões por voo	4 postos	1 posto convencional
-	-	3 máquinas RAPID

Na Tabela 23 observam-se então os resultados obtidos com este teste para as filas de espera nos balcões de *check-in*.

Tabela 23 - Resultados das filas nos balcões de *check-in* na Análise 4.1

	Média das runs: Fila no <i>check-in</i> do voo		
	9:50	19:20	19:25
Nº de passageiros que entraram	108,78	106,80	108,90
Nº de passageiros que tiveram de esperar	101,72	99,08	101,30
% de passageiros que tiveram de esperar	94%	93%	93%
Tempo médio de espera em fila	13,33 min.	13,24 min.	14,01 min.
Tempo máximo de espera em fila	21,68 min.	21,67 min.	22,81 min.
% de passageiros com tempo de espera inferior ao limite	81%	81%	75%

Com apenas 2 balcões por voo, verifica-se que quase todos os passageiros, entre 93% e 94%, têm de esperar em fila para serem atendidos, um agravamento entre 26% e 27% face à utilização de 3 balcões. Também o tempo médio de espera dos passageiros sofre um aumento significativo, variando agora entre aproximadamente 13 e 14 minutos segundo, o que representa um aumento de cerca de 10 minutos. Todavia a percentagem de passageiros com tempo de espera inferior a 20 minutos decresce para apenas uma média de 75% até a 81%, portanto abaixo do limite de 90% estabelecido pelo nível de serviço.

É apresentada, no Gráfico 9, a distribuição dos tempos de espera dos passageiros para o *check-in* de um voo e para um *run* em específico verificando-se que com 2 balcões, grande parte dos passageiros tem um tempo de espera superior 11 minutos, aliás 19% dos passageiros esperam entre 11 minutos e 13 minutos. Observa-se também, no Gráfico 11, relativo ao número de balcões a operar ao longo do tempo que estes estão continuamente em funcionamento, indicando que se está maioritariamente a funcionar na capacidade máxima, o que acontece em todos os voos em que é possível fazer o *check-in* nos balcões.

Gráfico 9 - Distribuição dos tempos de espera em fila para os balcões de *check-in* do voo das 9:50 na Análise 4.1

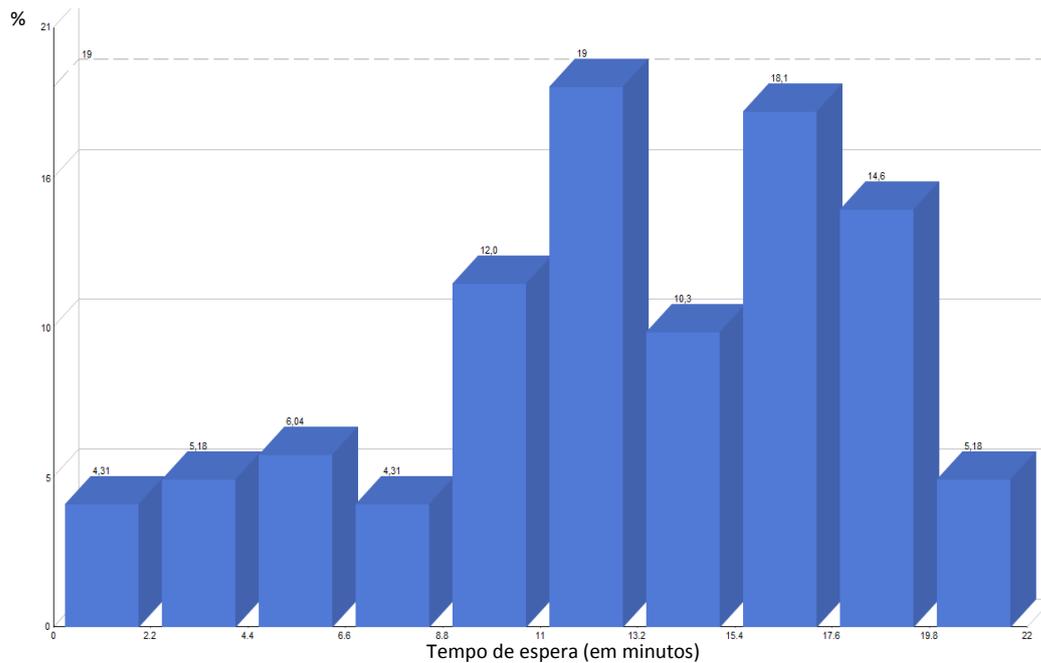


Gráfico 10 - Número de passageiros em fila nos balcões de *check-in* do voo das 9:50 na Análise 4.1

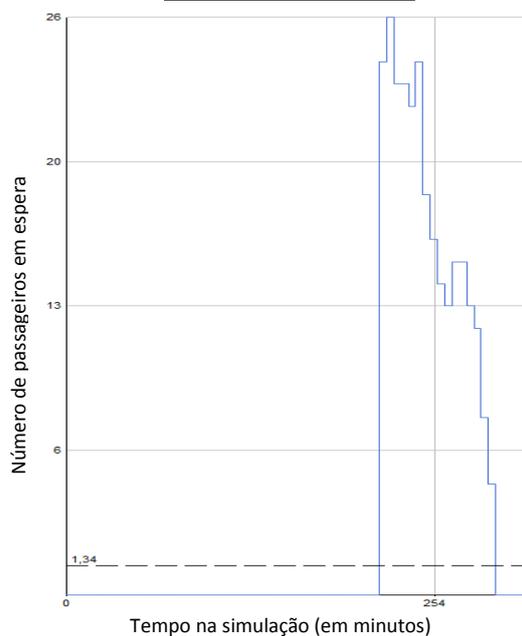
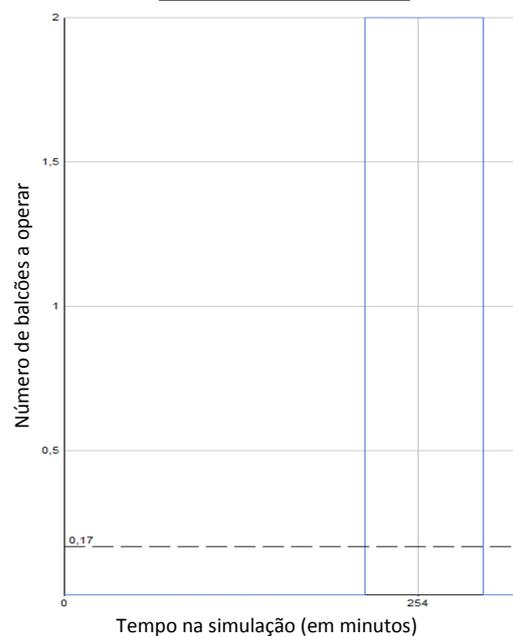
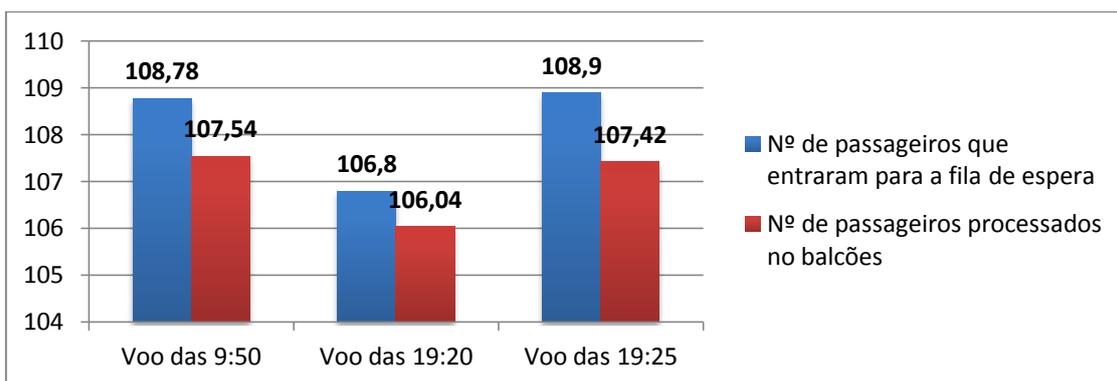


Gráfico 11 - Número de balcões a operar no *check-in* do voo das 9:50 na Análise 4.1



Apesar do agravamento dos tempos de espera, tal não se traduz num aumento significativo no número de passageiros que ficam por atender nos balcões de *check-in*. A diferença entre o número de passageiros que entram na fila de espera para os balcões de *check-in* e aqueles são processados, mantém-se em aproximadamente 1 passageiro, como pode ser verificado no Gráfico 12.

Gráfico 12 - Comparação entre o número de passageiros que entram na fila de espera e aqueles que são processados nos balcões de *check-in* na Análise 4.1



Assim, 2 balcões conseguem praticamente processar todos os passageiros que utilizam este modo de *check-in*. Contudo, não são suficientes para fazê-lo atingindo o nível de serviço estabelecido, em média, os passageiros com um tempo de espera inferior a 20 minutos não atinge os 90%, sendo então necessário utilizar pelo menos 3 balcões por voo.

Se o número de postos de controlo de segurança for reduzido para 4, formam-se filas de espera nesta área, que anteriormente não existiam. O número médio de passageiros em fila é de aproximadamente 1 passageiro, estando em média, no máximo, perto de 40. Também agora 35% dos passageiros tiveram que esperar em fila para serem processados, um agravamento de 31% face ao verificado anteriormente. No entanto, o tempo médio de espera em fila é relativamente baixo, cerca de 28 segundos, atingindo no máximo, uma média de aproximadamente 4 minutos e 26 segundos.

Deste modo todos os passageiros esperam menos de 10 minutos em fila, o limite definido pelo nível de serviço, pelo que poderá ser possível reduzir ainda mais o número de postos de controlo de segurança.

Tabela 24 - Resultados das filas no controlo de segurança na Análise 4.1

	Média das runs
Nº médio de passageiros em fila	1,35
Nº máximo de passageiros em fila	39,82
Nº de passageiros que entraram	2921,24
Nº de passageiros que tiveram de esperar	1034,78
% de passageiros que tiveram de esperar	35%
Tempo médio de espera em fila	0,47 min.
Tempo máximo de espera em fila	4,44 min.
% de passageiros com tempo de espera inferior ao limite	100%

De forma a analisar com maior detalhe o desempenho desta área, apresenta-se, nos Gráficos 13 e 14, o número de passageiros em fila e o número de postos em operação ao longo do tempo para um *run*, respetivamente.

Gráfico 13 - Número de passageiros em fila no controlo de segurança na Análise 4.1

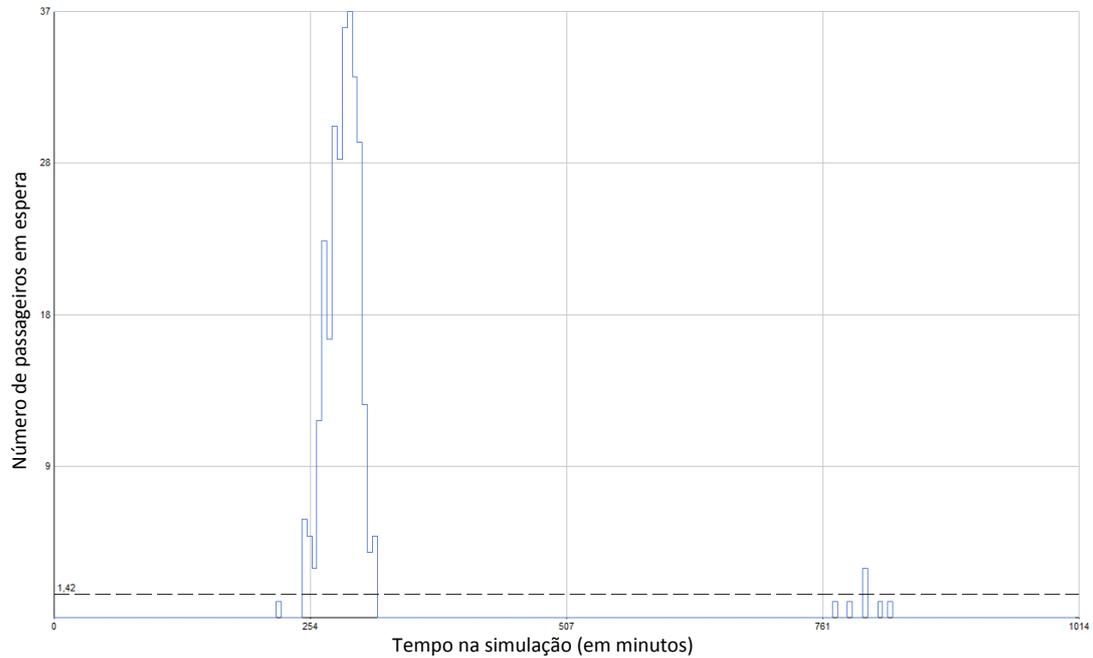
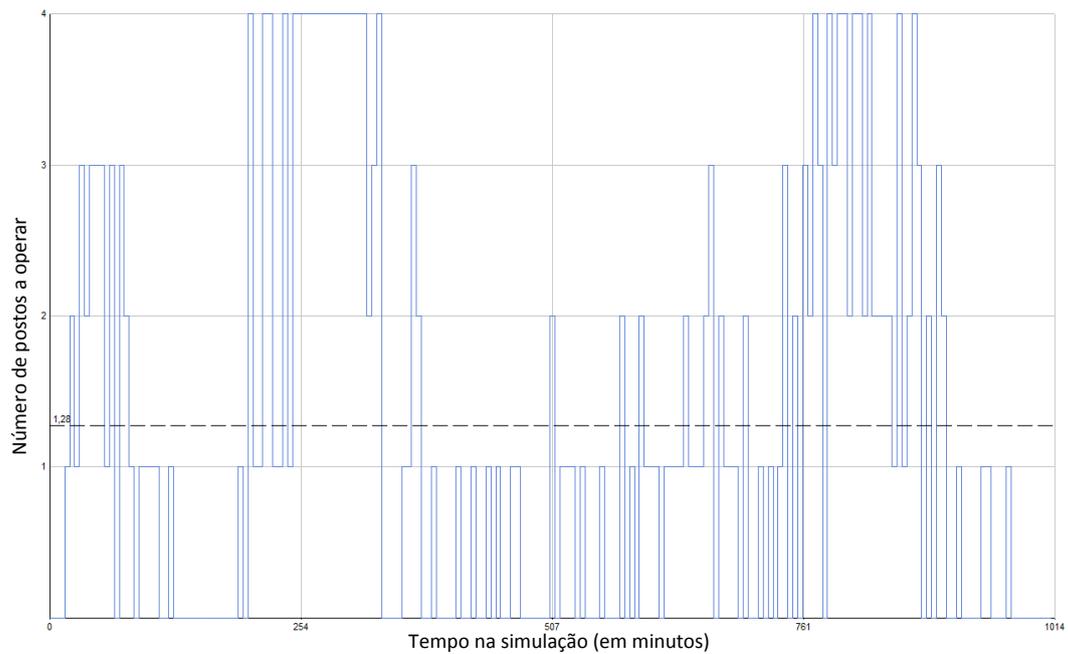


Gráfico 14 - Número de postos a operar no controlo de segurança na Análise 4.1



Com efeito, por análise dos gráficos, é possível verificar que existem dois momentos onde a atividade no controlo de segurança é maior. Um destes acontece pouco depois dos 254 minutos, ou seja por volta das 8h30, onde existe uma grande concentração de chegadas de passageiros, devido aos 7 voos que têm partida no período compreendido entre as 9h00 e as 11h00. Isto aparenta justificar o facto de todos os 4 postos estarem em funcionamento nesta altura e mesmo assim se formar uma fila que chega a conter 37 passageiros. Aos cerca de 761 minutos, isto é aproximadamente às 17h00, verifica-se também que por diversas vezes os 4 postos estão a operar em simultâneo, no entanto, apenas por breves períodos.

Dado então que todos os passageiros têm em média um tempo de espera abaixo dos 10 minutos e que apenas em determinados momentos os 4 postos estão a ser utilizados, pretende-se, numa nova análise, averiguar se 3 postos são suficientes para atingir o nível de serviço.

Para o controlo de fronteira, verifica-se que apenas 1 posto convencional, para além das 3 máquinas RAPID, é suficiente para atingir o nível de serviço. Todos os passageiros esperaram menos de 15 minutos, sendo que só quase metade teve que de facto esperar em fila. O tempo médio de espera foi de aproximadamente 37 segundos e no máximo verificam-se, em média, cerca de 8 passageiros em fila.

Tabela 25 -Resultados das filas no controlo de fronteira na Análise 4.1

	Média das runs
Nº médio de passageiros em fila	0,20
Nº máximo de passageiros em fila	7,78
Nº de passageiros que entraram	319,54
Nº de passageiros que tiveram de esperar	152,42
% de passageiros que tiveram de esperar	48%
Tempo médio de espera em fila	0,62 min.
Tempo máximo de espera em fila	4,72 min.
% de passageiros com tempo de espera inferior ao limite	100%

Com um único posto de controlo de segurança é então possível assegurar o cumprimento do nível de serviço. Esta situação pode dever-se ao facto de os voos não Schengen partirem mais espaçadamente, havendo no máximo 3 voos desses num período de 2 horas e 30 minutos.

b) - Análise 4.2

Tendo-se verificado, na análise, anterior que existe uma baixa probabilidade de atingir o nível de serviço na área de *check-in* com apenas 2 balcões, esta nova análise utiliza novamente 3 balcões, como indicado na tabela 26. Relativamente à área de controlo de segurança, será testado se o nível de serviço continua a ser atingido, reduzindo para apenas 3 os postos abertos durante o dia, sendo que na área de controlo de fronteira será mantido um único posto convencional, visto que é suficiente para garantir o cumprimento do nível de serviço.

Tabela 26 - Infraestruturas consideradas para a Análise 4.2

Check-in	Controlo de Segurança	Controlo de Fronteira
3 balcões por voo	3 postos	1 posto convencional
-	-	3 máquinas RAPID

Os resultados da área de *check-in* obtidos nesta análise são idênticos aos já apresentados anteriormente quando foi testado um número igual de balcões. Assim, apresenta-se na Tabela 27 os resultados referentes ao controlo de segurança.

Tabela 27 - Resultados das filas no controlo de segurança na Análise 4.2

	Média das runs
Nº médio de passageiros em fila	14,90
Nº máximo de passageiros em fila	149,28
Nº de passageiros que entraram	2923,10
Nº de passageiros que tiveram de esperar	1711,20
% de passageiros que tiveram de esperar	59%
Tempo médio de espera em fila	5,16 min.
Tempo máximo de espera em fila	22,31 min.
% de passageiros com tempo de espera inferior ao limite	76%

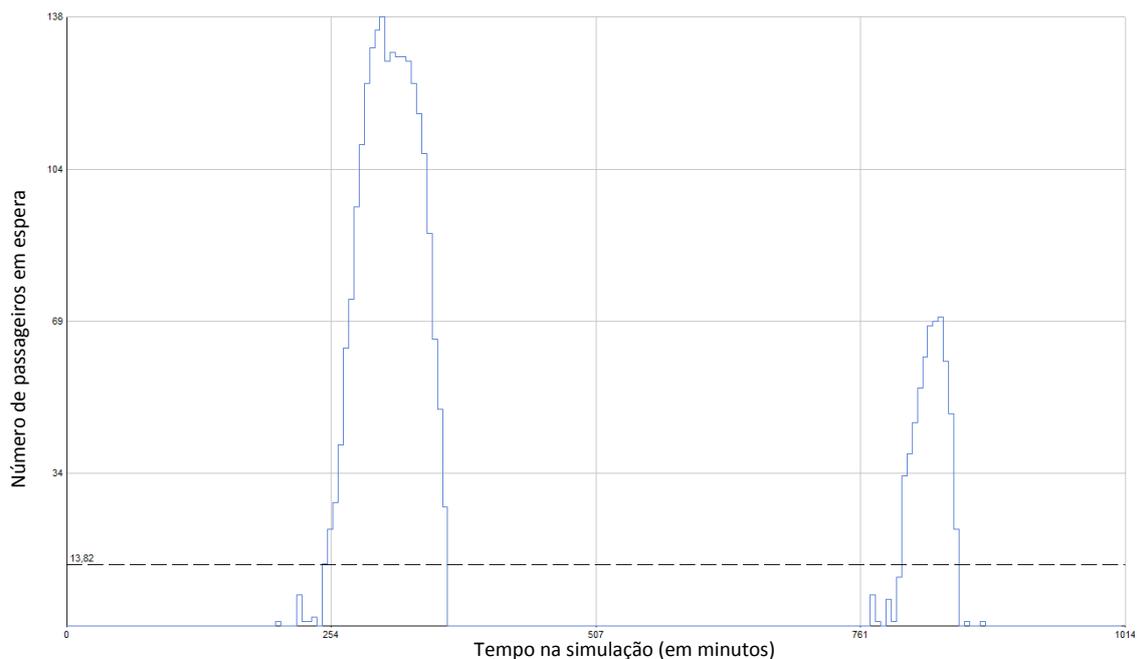
Como se pode observar a diminuição do desempenho desta área, provocada pela redução de 1 posto de controlo de segurança para apenas um total de 3, é superior à desejada. Agora, somente 76% dos passageiros têm um tempo de espera inferior a 10 minutos, quando se pretende que sejam pelo menos 90%, de forma a cumprir o nível de serviço.

O tempo médio de espera foi 5 minutos e 10 segundos, um aumento de 4 minutos e 42 segundos quando comparado com o verificado na análise anterior com um total de 4

postos. Do total de passageiros, apenas 59% tiveram que esperar e em média estiveram cerca de 15 passageiros em fila de espera para esta área.

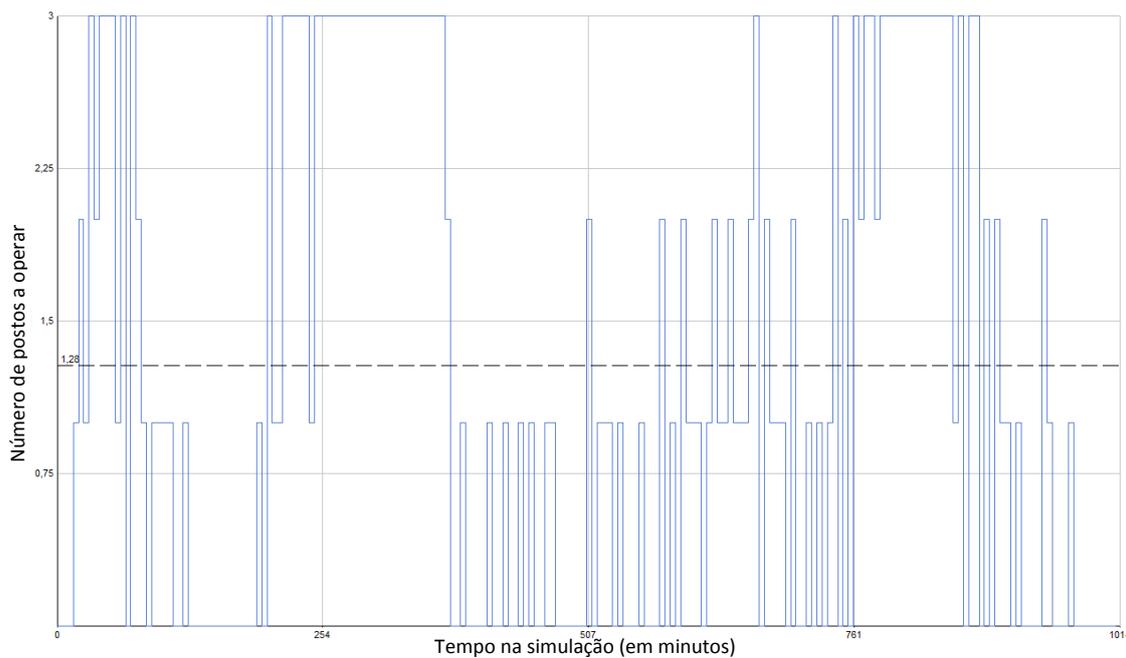
No Gráfico 15, que diz respeito ao número de passageiros em fila ao longo do tempo obtido para um dos *runs*, é possível observar que, da redução de 1 posto, não resultaram quaisquer outros momentos de elevado número de passageiros em fila de espera, para além dos identificados na análise anterior. Contudo, nesses dois momentos existe agora um maior número de passageiros em espera, face ao verificado quando estão disponíveis 4 postos.

Gráfico 15 - Número de passageiros em fila no controlo de segurança na Análise 4.2



No Gráfico 16, relativo ao número de postos a operar ao longo do tempo, observa-se que, agora, a área de controlo de segurança está durante um maior período de tempo a funcionar na sua capacidade máxima, ou seja, com os 3 postos a serem utilizados na totalidade, pelo que se pressupõem ser essa a causa para o aumento do número de passageiros em espera. O posto que foi suprimido, proporcionava então, nos momentos de maior atividade, uma capacidade adicional que permitia garantir o cumprimento do nível de serviço.

Gráfico 16 - Número de postos a operar no controlo de segurança na Análise 4.2



Dado então que apenas por volta das 8h30 e das 17h00 é que foi identificada uma concentração de chegadas de passageiros que justifique a utilização de 4 postos, pretende-se verificar se mantendo os 3 postos abertos no dia em análise, e aumentando para 4 das 8h30 às 9h30 e das 17h00 às 18h00, é possível atingir o nível de serviço.

No que diz respeito ao posto de controlo de fronteira convencional, verifica-se que existe uma redução do tempo médio de espera na fila, face à análise anterior, apesar de este já atingir o nível de serviço, como referido na análise anterior. Esta situação deve-se à redução da capacidade da área de controlo de segurança que assim envia os passageiros a um ritmo mais baixo para o controlo de fronteira, quando estes têm voos com destino fora do espaço Schengen.

Tabela 28 - Resultados das filas no controlo de fronteira na Análise 4.2

	Média das runs
Nº médio de passageiros em fila	0,09
Nº máximo de passageiros em fila	4,76
Nº de passageiros que entraram	319,54
Nº de passageiros que tiveram de esperar	134,34
% de passageiros que tiveram de esperar	42%
Tempo médio de espera em fila	0,29 min.
Tempo máximo de espera em fila	2,82 min.
% de passageiros com tempo de espera inferior ao limite	100%

c) - Análise 4.3

O objetivo desta nova análise é averiguar se é possível atingir o nível de serviço estabelecido para a área de controlo de segurança alternando o número de postos abertos entre 4, nos momentos de maior atividade, e 3 durante os restantes períodos do dia.

Tabela 29 - Infraestruturas consideradas para a Análise 4.3

Check-in	Controlo de Segurança	Controlo de Fronteira
3 balcões por voo	3/4 postos	1 posto convencional
-	-	3 máquinas RAPID

De forma a conseguir recriar a variação do número de postos de controlo de segurança abertos ao longo do dia foi utilizada a função de turnos do SIMUL8™. Assim, foi necessário criar o recurso “agentes de segurança” e associá-lo aos postos de controlo de segurança. Foram considerados um total de 4 agentes, sendo indicado que todos devem operar das 8h30 até às 9h30 e das 17h00 até às 18h00. Nos restantes períodos do dia operam apenas 3.

Os resultados obtidos nesta análise para a área de *check-in* e de controlo de fronteira indicam que estas mantêm o cumprimento dos níveis de serviço definidos, pelo que são apresentados em seguida apenas os resultados referentes ao controlo de segurança.

Tabela 30 - Resultados das filas no controlo de segurança na Análise 4.3

	Média das runs
Nº médio de passageiros em fila	2,43
Nº máximo de passageiros em fila	41,08
Nº de passageiros que entraram	2923,10
Nº de passageiros que tiveram de esperar	1488,12
% de passageiros que tiveram de esperar	55%
Tempo médio de espera em fila	0,84 min.
Tempo máximo de espera em fila	4,91 min.
% de passageiros com tempo de espera inferior ao limite	100%

Implementando esta solução em que um posto de controlo de segurança é adicionalmente aberto nos momentos de maior concentração de chegadas de passageiros, para além dos 3 já em funcionamento, consegue-se uma redução de 4 minutos e 19 segundos no tempo médio de espera, quando comparado com o verificado na Análise 4.2. Contudo, o mais relevante é que a alternância do número de postos possibilita que o nível de serviço seja atingido, ou seja, todos os passageiros esperam menos do que 10 minutos.

Através da análise dos Gráfico 17 obtido para um *run*, verifica-se que devido ao posto adicional houve uma redução do número de passageiros que estão em fila de espera por volta das 8h30 e das 17h00.

Gráfico 17 - Número de passageiros em fila no controlo de segurança na Análise 4.3

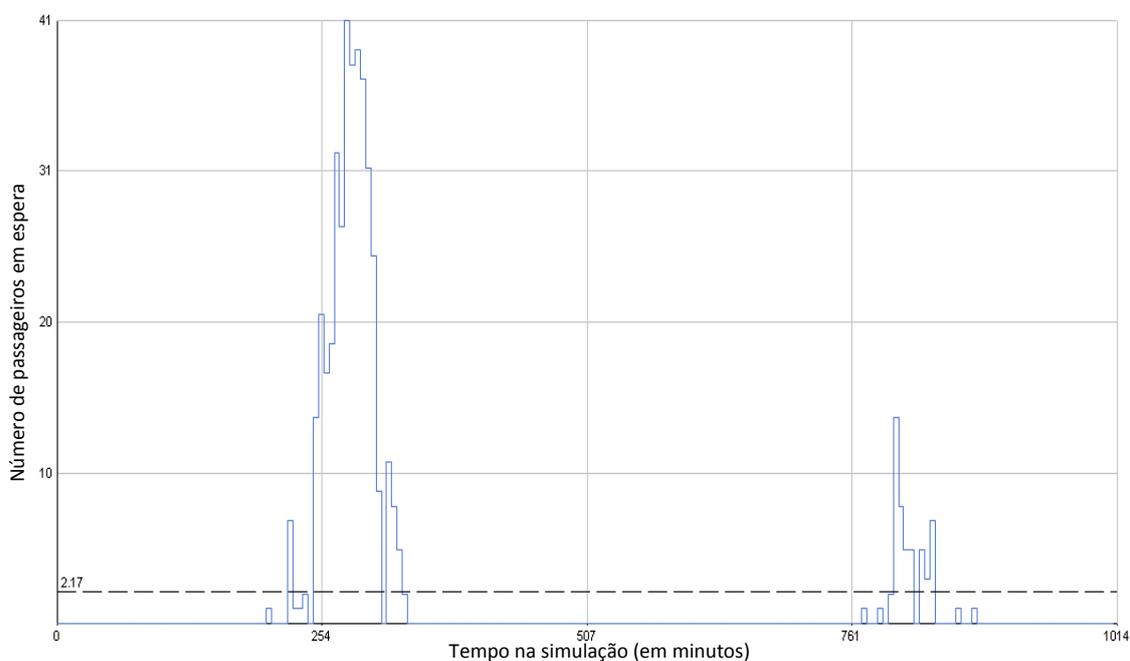
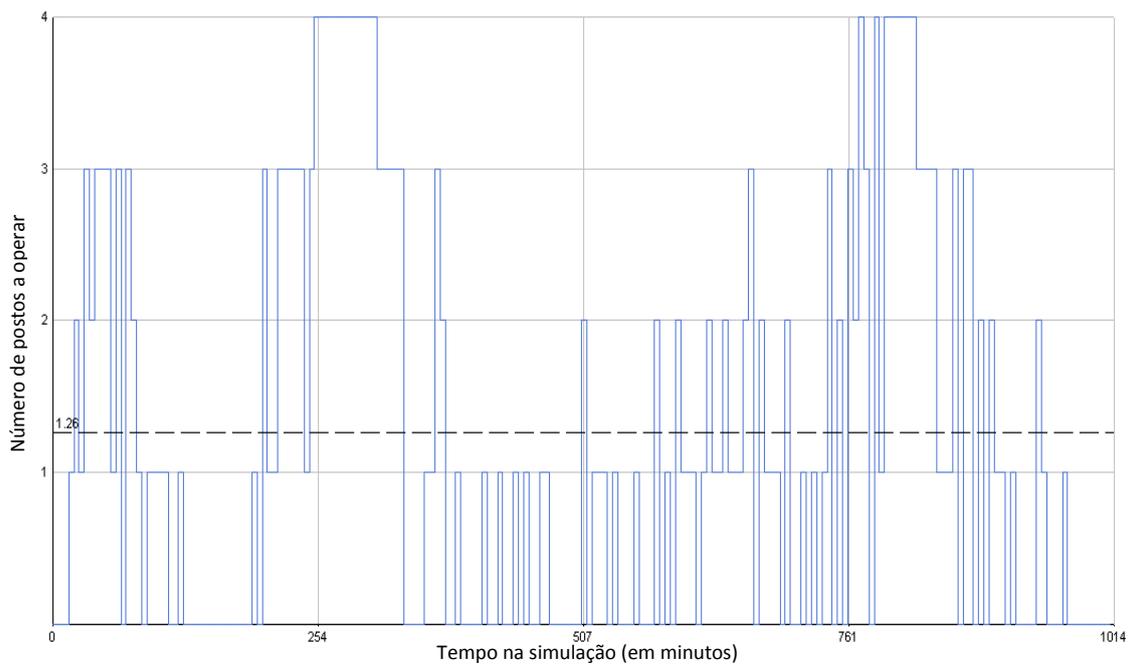


Gráfico 18 - Número de postos a operar no controlo de segurança na Análise 4.3



A configuração das infraestruturas do Terminal 2 apresentada é então, para o período em análise, a que permite alcançar os níveis de serviço estabelecidos para as diferentes áreas, com o mínimo dispêndio de recursos. Com esta configuração os passageiros que viajam dentro do espaço Schengen despendem em média 2 minutos e 41 segundos a cumprir todas as formalidades necessárias para chegar à sala de embarque, ao passo que aqueles que têm como destino países fora do espaço Schengen gastam em média 2 minutos e 14 segundos, menos 27 segundos. Na globalidade, os passageiros demoram 2 minutos e 33 segundos.

A reduzida diferença que se verifica nos tempos associados a ambos os tipos de passageiros poderá dever-se ao relativamente baixo tempo de espera que se verifica na área de controlo de fronteira. Acresce também o facto de não haver voos para fora do espaço Schengen que possibilitem o *check-in* nos balcões e de apenas dois voos deste tipo terem chegadas de passageiros perto dos momentos onde se formam maiores filas de espera no controlo de segurança.

Tabela 31 – Tempo médio de permanência dos passageiros no modelo para a Análise 4.3

	Média das runs		
	Passageiros Schengen	Passageiros não Schengen	Total de passageiros
Tempo médio no modelo	2,69 min.	2,23 min.	2,55 min.

d) - Análise de sensibilidade aos resultados da Análise 4.3

De modo a verificar o impacto que o tempo de processamento dos passageiros nas várias atividades tem no grau de cumprimento dos níveis de serviço, realizou-se uma análise de sensibilidade. A análise foi efetuada para uma variação de 10% dos tempos de processamento face ao originalmente proposto nos dados do caso para os balcões de *check-in*, controlo de segurança e posto convencional de controlo de fronteira. Apenas estes tempos de processamento foram modificados, uma vez que são aqueles que têm impacto direto nas atividades em análise. Na Tabela 32 são visíveis então os tempos de processamento utilizados para esta análise de sensibilidade, incluindo os limites superior e inferior definidos para 3 desvios-padrão.

Tabela 32 – Tempos de processamento dos passageiros na análise de sensibilidade

	Balcões de <i>check-in</i>		Controlo de segurança		Controlo de Fronteira (Convencional)	
	+10%	-10%	+10%	-10%	+10%	-10%
Média	1,65 min.	1,35 min.	0,495 min.	0,405 min.	0,693 min.	0,567 min.
Limite superior ($\mu + 3\sigma$)	2,8875 min.	2,3625 min.	0,8663 min.	0,7088 min.	1,2128 min.	0,9923 min.
Limite inferior ($\mu - 3\sigma$)	0,4125 min.	0,3375 min.	0,1238 min.	0,1013 min.	0,1733 min.	0,1418 min.

A partir da análise de sensibilidade, cujos os resultados figuram nas Tabelas 33 e 34, verifica-se que, quer os balcões de *check-in*, quer o posto de controlo de fronteira convencional conseguem continuar a processar a totalidade dos passageiros abaixo do limite imposto pelos níveis de serviço, apesar do aumento em 10% do tempo de processamento dos passageiros.

O controlo de segurança é então a única área que vê o seu desempenho mais afetado no caso de um aumento do tempo de processamento. Um aumento de 10% no tempo de

processamento dos passageiros causa um decréscimo de 8% na percentagem de passageiros que têm um tempo de espera inferior ao nível de serviço.

Tabela 33 – Sensibilidade do grau de cumprimento dos níveis de serviço a variações nos tempos de processamento dos passageiros para a Análise 4.3

	% de passageiros com tempo de espera inferior ao limite		
	+10%	Normal	-10%
Balcões de <i>check-in</i> (Todos os voos)	100%	100%	100%
Controlo de segurança	92%	100%	100%
Controlo de fronteira convencional	100%	100%	100%

A Tabela 34 refere-se ao impacto da variação dos tempos de processamento nos tempos médios e máximos de espera dos passageiros. Nesta é possível observar que o aumento do tempo de processamento no controlo de segurança leva a que o tempo máximo de espera seja superior ao limite do nível de serviço, daí se verificar o decréscimo no cumprimento deste nível.

Tabela 34 - Sensibilidade dos tempos de espera dos passageiros a variações nos tempos de processamento para a Análise 4.3

		Balcões de <i>check-in</i>			Controlo de segurança	Controlo de fronteira convencional
		09:50	19:20	19:25		
Tempo médio de espera em fila	+10%	5,20 min.	5,33 min.	5,71 min.	2,76 min.	0,77 min.
	Normal	3,96 min.	4,11 min.	4,40 min.	0,84 min.	0,68 min.
	-10%	2,99 min.	3,15 min.	3,34 min.	0,22 min.	0,46 min.
Tempo máximo de espera em fila	+10%	13,20 min.	13,47 min.	13,64 min.	13,87 min.	5,65 min.
	Normal	11,81 min.	12,08 min.	12,15 min.	4,91 min.	5,13 min.
	-10%	10,50 min.	10,75 min.	10,76 min.	2,37 min.	4,03 min.

2.9.5. Etapa 5

a) - Análise 5.1

Para este novo cenário de elevado tráfego, onde se pressupõe um número de chegadas de passageiros por voo superior ao até agora considerado, pretende-se

determinar quais as modificações que são necessárias efetuar à configuração de infraestruturas proposta na Análise 4.3, de modo a continuar a cumprir os níveis de serviço.

Tabela 35 - Infraestruturas consideradas para a Análise 5.1

<i>Check-in</i>	Controlo de Segurança	Controlo de Fronteira
3 balcões por voo	4 postos	1 posto convencional
-	-	3 máquinas RAPID

No caso da área *de check-in*, mantendo 3 balcões por voo, verifica-se que agora somente entre 95% e 97% dos passageiros é que têm um tempo de espera inferior a 20 minutos. O tempo médio de espera varia aproximadamente entre os 9 e 11 minutos, quando antes se situava entre os cerca de 4 minutos e 4 minutos e meio. Contudo, o nível de serviço continua a ser cumprido.

Uma vez que no cenário de tráfego normal se verificou que não é possível cumprir o nível de serviço com apenas 2 balcões de *check-in* por voo, no cenário de elevado tráfego tal também não será possível.

Tabela 36 - Resultados das filas nos balcões de *check-in* na Análise 5.1

	Média das runs: Fila no <i>check-in</i> do voo		
	9:50	19:20	19:25
Nº de passageiros que entraram	145,18	140,38	141,00
Nº de passageiros que tiveram de esperar	132,24	122,16	121,90
% de passageiros que tiveram de esperar	91%	87%	86%
Tempo médio de espera em fila	11,06 min.	9,01 min.	9,55 min.
Tempo máximo de espera em fila	18,67 min.	16,57 min.	17,61 min.
% de passageiros com tempo de espera inferior ao limite	95%	97%	96%

Para o controlo de segurança, um total de 4 postos, não se revela suficiente para garantir o cumprimento do nível de serviço. Os 4 postos apenas permitem que 81% dos passageiros tenham um tempo de espera inferior a 10 minutos, contrastando com o desempenho obtido para o cenário de tráfego normal.

Tabela 37 - Resultados das filas no controlo de segurança na Análise 5.1

	Média das runs
Nº médio de passageiros em fila	17,73
Nº máximo de passageiros em fila	199,20
Nº de passageiros que entraram	3810,04
Nº de passageiros que tiveram de esperar	2116,96
% de passageiros que tiveram de esperar	56%
Tempo médio de espera em fila	4,72 min.
Tempo máximo de espera em fila	22,29 min.
% de passageiros com tempo de espera inferior ao limite	81%

Pela análise dos Gráficos 19 e 20 para um dos *runs*, é possível verificar que o mesmo padrão identificado na área de controlo de segurança para o cenário normal também se verifica no cenário de elevado tráfego. Somente em dois momentos, com início perto das 8h30 e das 17h00, é que existe uma elevada concentração de passageiros em espera, enquanto durante o resto do dia o número de passageiros em espera é reduzido.

Gráfico 19 - Número de passageiros em fila no controlo de segurança na Análise 5.1

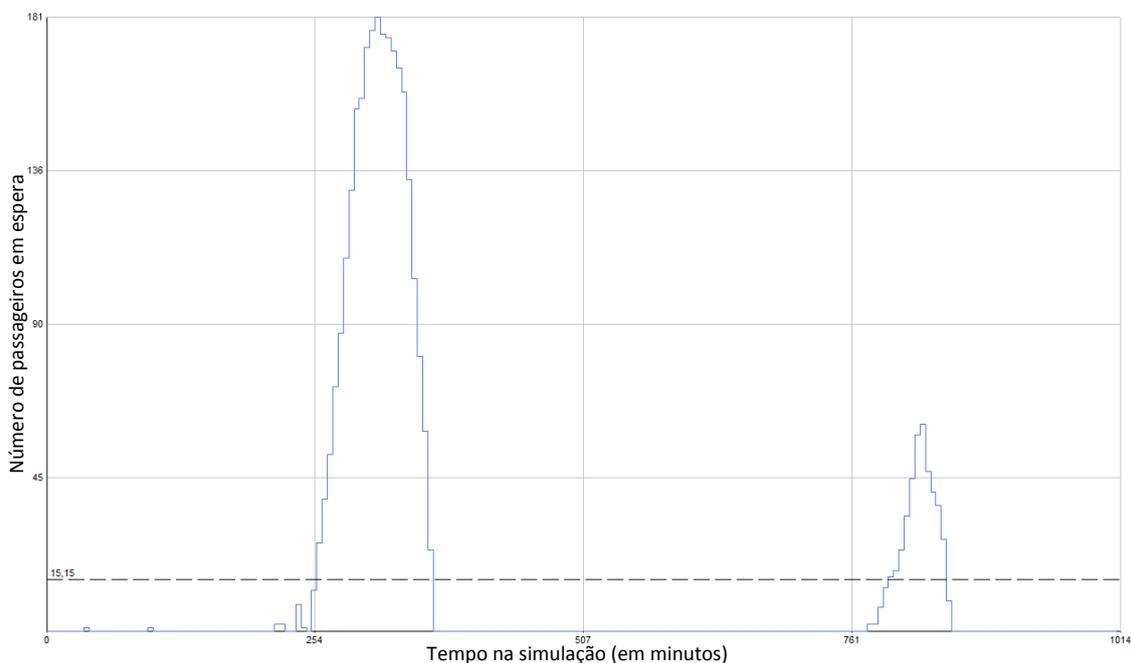
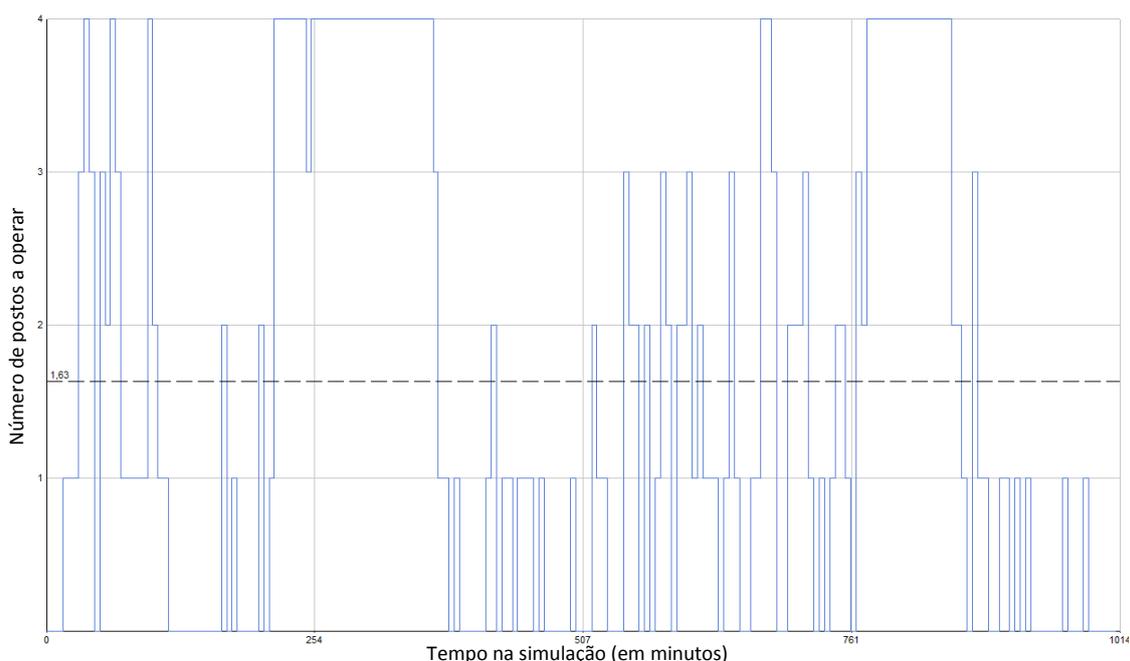


Gráfico 20 - Número de postos a operar no controlo de segurança na Análise 5.1



Assim, pretende-se, numa nova análise, utilizar novamente a funcionalidade de turnos do SIMUL8™ de modo a alternar o número de postos de controlo de segurança em aberto ao longo do dia, tal como foi efetuado anteriormente para o cenário de tráfego normal. Para este cenário de elevado tráfego será testada a utilização de um posto adicional nos momentos em que se acumulam maior número de passageiros em espera, de modo a verificar assim se é possível atingir o nível de serviço.

Relativamente ao controlo de fronteira, apesar do incremento de passageiros, quer para o sistema RAPID, quer para o posto convencional nenhum teve que esperar mais que 15 minutos, pelo que um único posto convencional e 3 máquinas RAPID continuam a ser suficientes para cumprir o nível de serviço.

Tabela 38 - Resultados das filas no controlo de fronteira na Análise 5.1

	Média das runs	
	RAPID	Convencional
Nº médio de passageiros em fila	0	0,28
Nº máximo de passageiros em fila	1,82	7,74
Nº de passageiros que entraram	714,06	414,70
Nº de passageiros que tiveram de esperar	14,26	228,08
% de passageiros que tiveram de esperar	2%	55%
Tempo médio de espera em fila	0 min.	0,68 min.
Tempo máximo de espera em fila	0,27 min.	4,64 min.
% de passageiros com tempo de espera inferior ao limite	100%	100%

b) - Análise 5.2

Nesta nova análise procura-se verificar se adotando um número variável de postos de controlo de segurança ao longo do dia se torna possível atingir o nível de serviço, sem que se tenha um excesso de capacidade durante os momentos onde existe menor número de chegadas de passageiros. O número de postos base utilizados é de 4, sendo que nos momentos de maior concentração de passageiros, identificados anteriormente para o cenário de tráfego normal, é colocado mais um posto em funcionamento. Assim, das 8h30 às 9h30 minutos e das 17h00 às 18h00 estão 5 postos abertos, enquanto durante o resto do dia somente 4.

Tabela 39 - Infraestruturas consideradas para a Análise 5.2

<i>Check-in</i>	Controlo de Segurança	Controlo de Fronteira
3 balcões por voo	4/5 postos	1 posto convencional
-	-	3 máquinas RAPID

Esta solução permite obter um tempo médio de espera de 1 minuto e 20 segundos no controlo de segurança, uma redução de 3 minuto e 23 segundos comparativamente ao verificado quando estão unicamente 4 postos abertos durante todo o período do dia.

Consequentemente também a percentagem de passageiros com um tempo de espera inferior a 10 minutos aumenta, sendo agora em média de 99%. O nível de serviço é então cumprido, podendo-se afirmar com uma confiança de 95%, que entre 98,79% e 100% dos passageiros esperam menos de 10 minutos.

Tabela 40 - Resultados das filas no controlo de segurança na Análise 5.2

	Média das runs
Nº médio de passageiros em fila	5,04
Nº máximo de passageiros em fila	81,32
Nº de passageiros que entraram	3810,04
Nº de passageiros que tiveram de esperar	1869,48
% de passageiros que tiveram de esperar	49%
Tempo médio de espera em fila	1,34 min.
Tempo máximo de espera em fila	7,71 min.
% de passageiros com tempo de espera inferior ao limite	99%

Nos Gráficos 21 e 22 pode-se observar o número de passageiros em espera e o de postos em funcionamento no controlo de segurança ao longo do período de simulação.

Gráfico 21 - Número de passageiros em fila no controlo de segurança na Análise 5.2

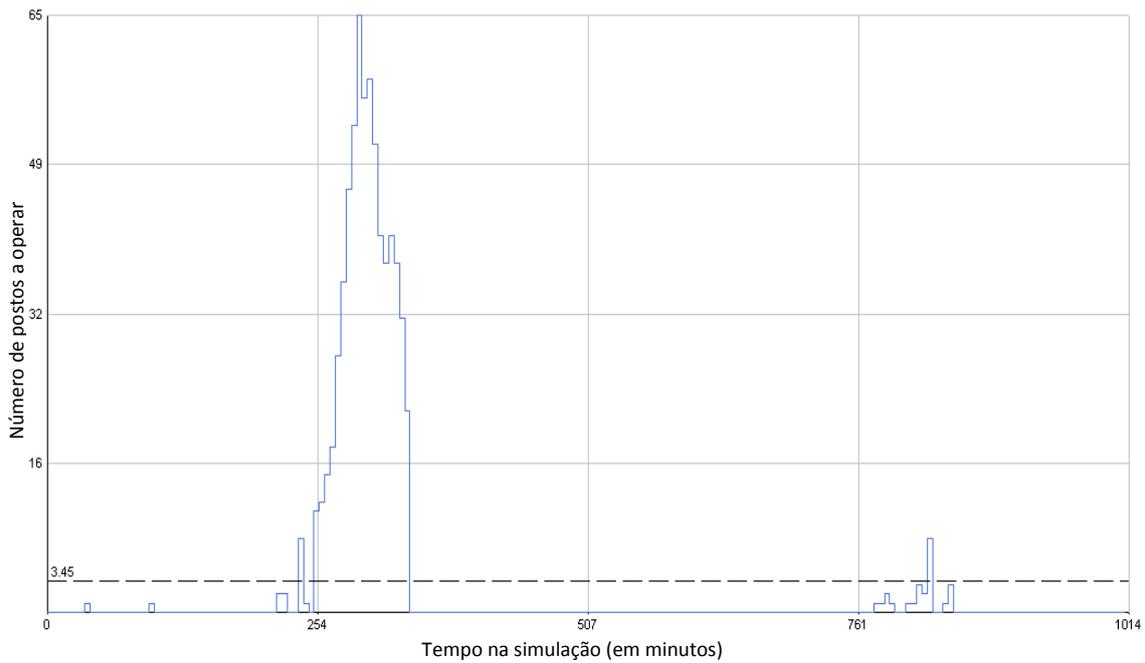
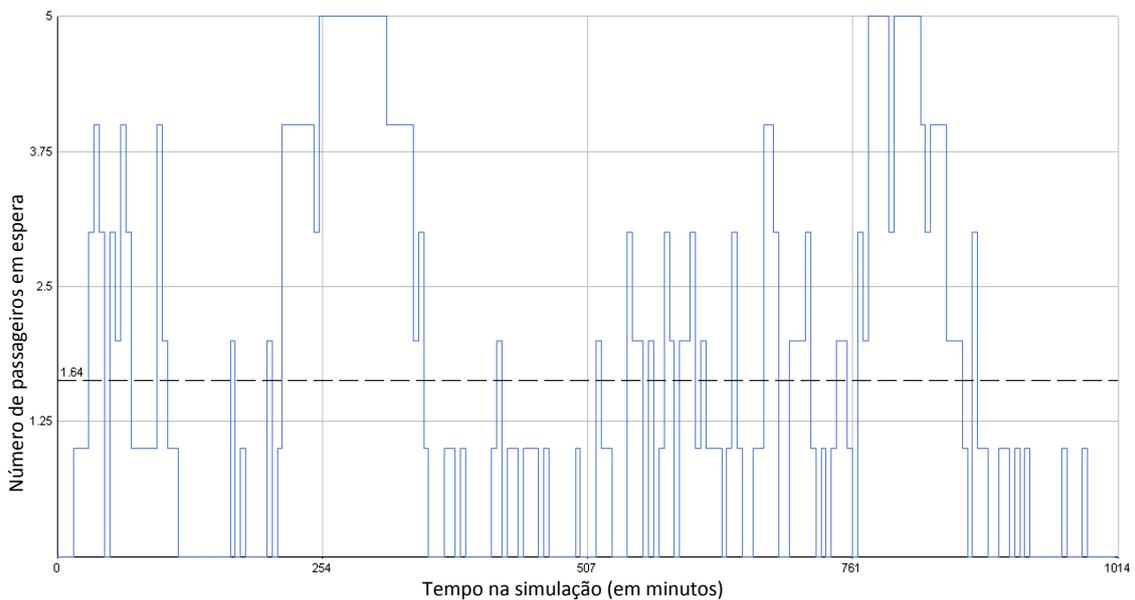


Gráfico 22 - Número de postos a operar no controlo de segurança na Análise 5.2



Para a área de *check-in*, os resultados obtidos são idênticos aos apresentados na Análise 5.1, sendo que na área de controlo de fronteira o nível de serviço continua ser atingido. A configuração apresentada nesta análise para as infraestruturas do Terminal 2 é então aquela que pode ser considerada ótima, permitindo para o dia em análise e o cenário de elevado tráfego, atingir os níveis de serviço com a mínima utilização de recursos.

2.10. Slides de resolução

Figura 13 - Slides de resolução: O Caso

1

Análise de Filas de Espera: - Caso de Estudo Pedagógico

O Caso

Objetivo

Determinar o número mínimo de infraestruturas de processamento de passageiros que garanta o cumprimento dos níveis de serviço

Níveis de Serviço

90% dos passageiros com um tempo de espera inferior a:

Check-in	Segurança	Fronteira
• 20 min.	• 10 min.	• 15 min.

ISCTE IUL
Instituto Universitário de Lisboa

• O Caso
• Etapa 1
• Etapa 2
• Etapa 3
• Etapa 4
• Etapa 5

Figura 14 - Slides de resolução: Etapa 1

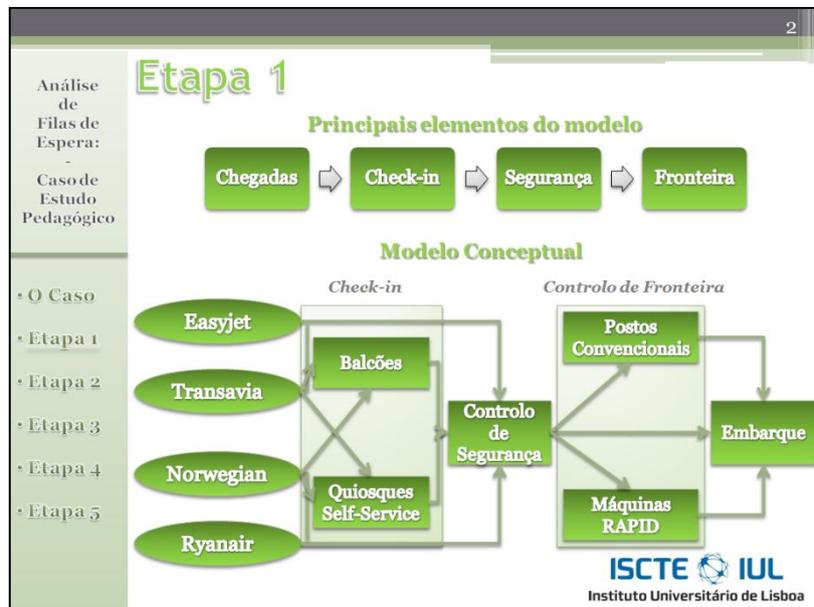


Figura 15 - Slides de resolução: Etapa 2 (Condições de simulação)

3

Etapa 2

Condições de Simulação

Período de Análise dos Resultados	• 1 dia
Período de Aquecimento	• 0 minutos
Tempo de trânsito	• 0 minutos
Unidade de Tempo	• Minuto
Número de Runs	• 50
Nível de Confiança	• 95%


 Instituto Universitário de Lisboa

Análise de Filas de Espera:
- Caso de Estudo Pedagógico

- O Caso
- Etapa 1
- Etapa 2
- Etapa 3
- Etapa 4
- Etapa 5

Figura 16 - Slides de resolução: Etapa 2 (Modelo no SIMUL8™)

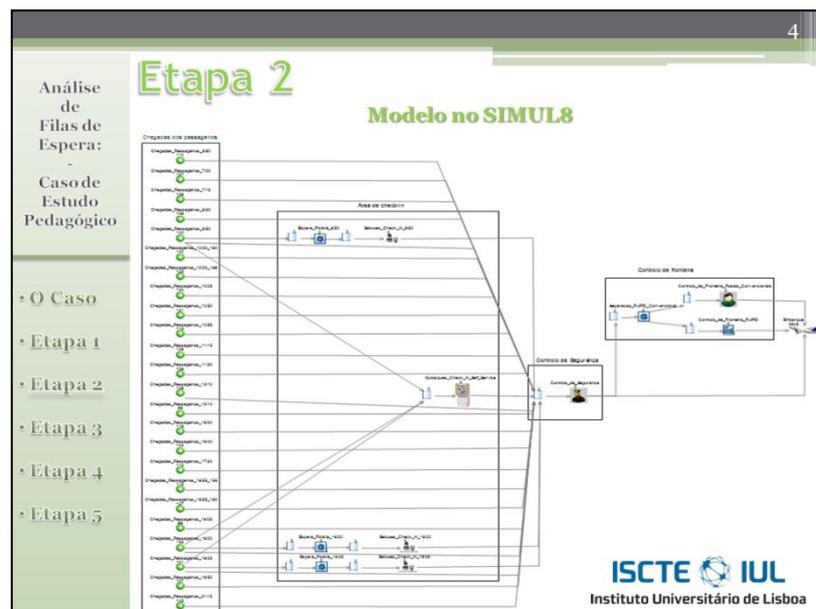


Figura 17- Slides de resolução: Etapa 3

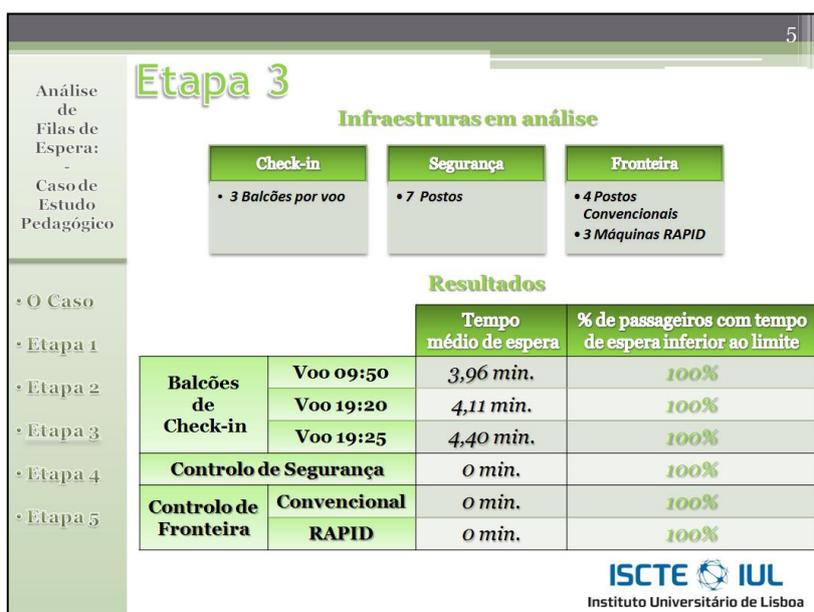


Figura 18 - Slides de resolução: Etapa 4 (Análise 4.1)

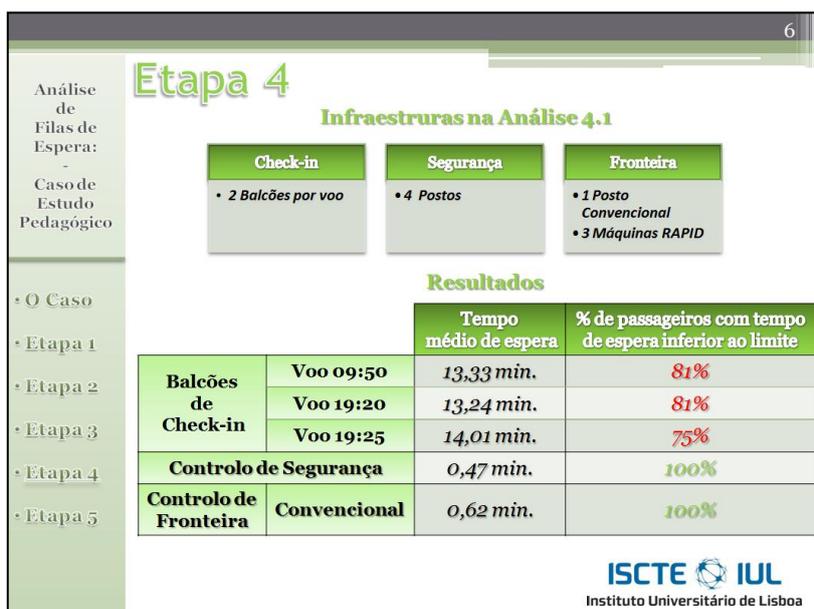


Figura 19 - Slides de resolução: Etapa 4 (Análise 4.2)

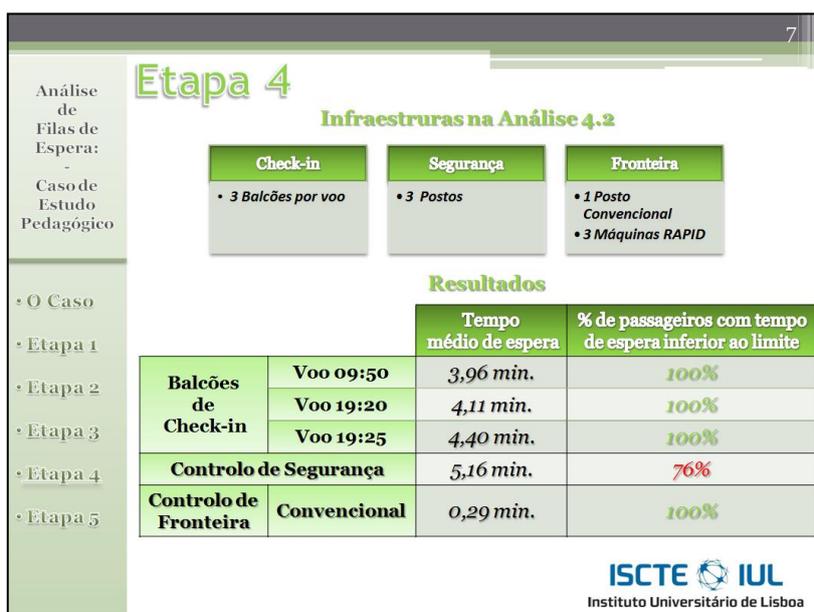


Figura 20 - Slides de resolução: Etapa 4 (Análise 4.3)

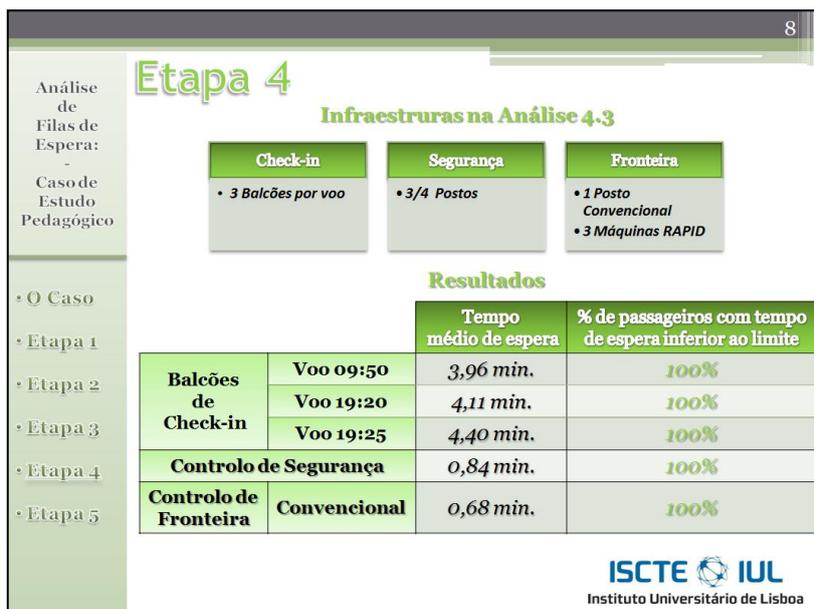


Figura 21 - Slides de resolução: Etapa 4 (Análise de sensibilidade)

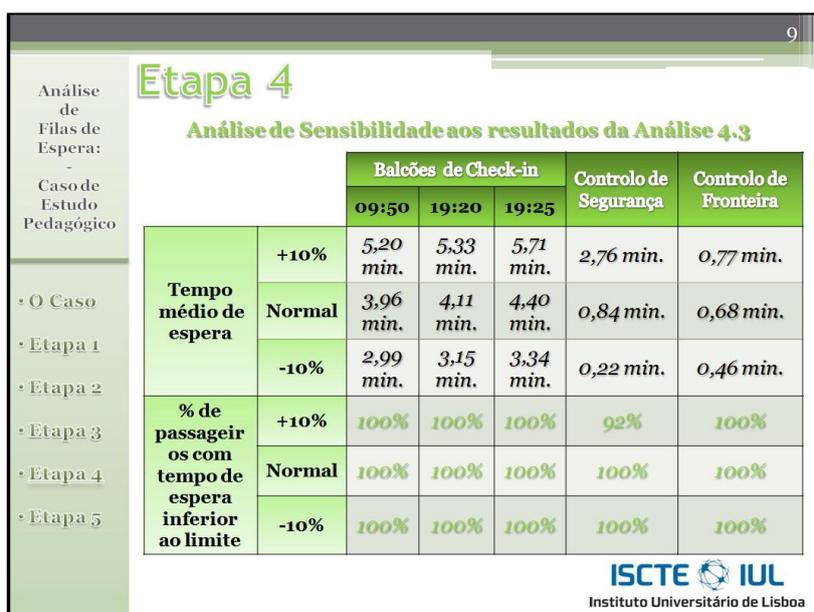


Figura 22 - Slides de resolução: Etapa 5 (Análise 5.1)

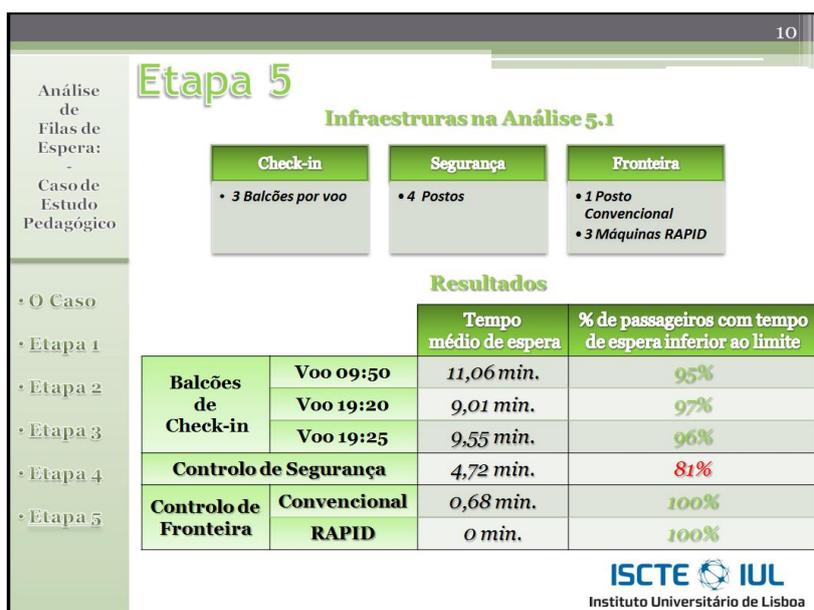
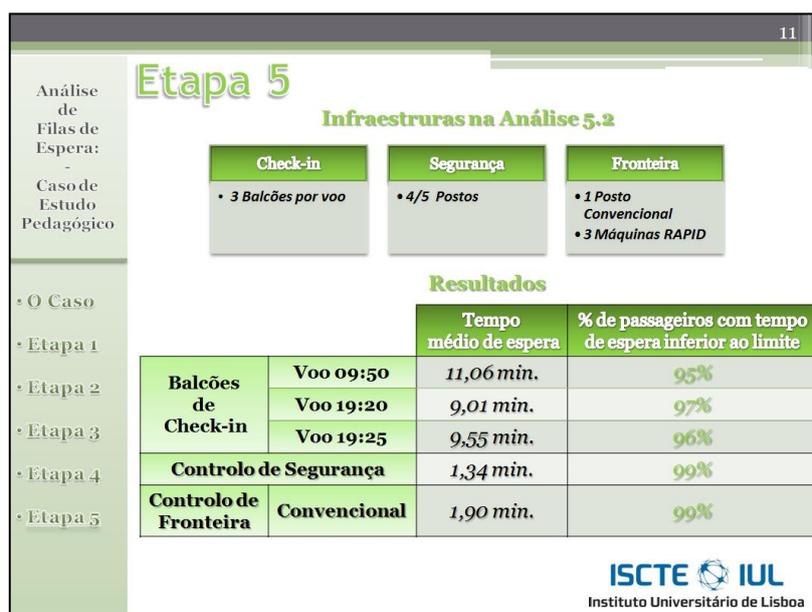


Figura 23 - Slides de resolução: Etapa 5 (Análise 5.2)



3. Conclusões

A partir do caso aqui exposto, tentou-se demonstrar a importância da simulação para a melhoria da eficiência e competitividade das organizações na área da prestação de serviços.

O problema retratado neste trabalho dá ênfase à utilidade da simulação enquanto ferramenta de apoio à tomada de decisão, no que concerne ao planeamento da capacidade nos serviços, uma vez que “*Os aeroportos são a aplicação ideal da simulação. Os processos estão num estado contínuo de mudança, são complexos e estocásticos, envolvem muitos objetos que se movem e requerem um bom desempenho que possa ser medido em vários indicadores.*” (Verbraeck e Valentin, 2002: 1199).

Nesta situação, outros métodos de modelação, como a formulação matemática do sistema através da teoria das filas de espera, têm que assumir vários pressupostos de modo a manter “baixa” a complexidade do problema, comprometendo a precisão dos resultados. Por sua vez, a simulação é capaz de representar fielmente a variabilidade e dinâmica deste sistema, constituindo desta forma, a melhor ferramenta para analisar a capacidade dos terminais de passageiros (Fayez *et al.*, 2008). Dado que se trata de um caso onde as condições são propícias à aplicação da simulação, este permite expor as potencialidades desta ferramenta aos alunos.

Também o próprio facto de se estar a abordar as operações num aeroporto faz com que, devido à natureza da atividade deste, o caso constitua um exemplo das vantagens da utilização simulação. Dentro dos inúmeros benefícios apresentados por Schiriber (1991), Banks, Carson, e Nicol (2000) e Law e Kelton (2000) (citados em Concannon *et al.*, 2006: 18) destacam-se particularmente os seguintes:

- **Determinação da melhor opção** – A simulação permite testar e avaliar várias soluções de modo a se escolher a melhor antes da sua implementação;
- **Análise de *bottlenecks*** – Através da simulação é possível identificar *bottlenecks* e rapidamente avaliar soluções dirigidas a essa situação;
- **Análise de hipóteses** – Podem ser testadas na simulação o impacto de diversas ocorrências que possam surgir no funcionamento do sistema, ficando-se preparado para essas eventualidades.

São principalmente estes que fazem então com que a simulação seja de extrema relevância para as operações num aeroporto. Por exemplo, não é conveniente alterar o seu funcionamento normal e perturbar os passageiros para testar diferentes configurações relativamente a todo o sistema de embarque dos passageiros. A simulação apresenta-se como o meio adequado para essa função uma vez que possibilita determinar a melhor opção sem ser necessário modificar o sistema real.

Além disso, é preciso ter em conta, quanto ao processo de embarque, o impacto que têm as alterações que se façam numa área nas estruturas a jusante da mesma, ou seja, se a capacidade de processamento no *check-in* for aumentada, a área de controlo de segurança poderá ficar sobrecarregada, por exemplo. Estes *bottlenecks* podem ser detetados através da simulação pois o processo de embarque é avaliado como um todo.

Por último, o número de passageiros que passam por um aeroporto é muito variável, pois possui uma forte componente sazonal. Esta situação pode ser considerada na simulação, permitindo que seja analisada a capacidade de resposta do sistema quando exposto aos diferentes picos de chegada de passageiros.

Assim, devido a estas correlações apresentadas, consegue-se sensibilizar os alunos para as vantagens da simulação e para a sua importância na gestão.

Referências Bibliográficas

ACI, 2007. *Understanding airport business* [pdf]. Disponível em: <<http://www.aci.aero/Media/aci/file/Position%20Briefs/Understanding%20the%20airport%20business%202007.pdf>> [acedido em 2/04/14].

ACI Europe, 2013. *Economics Report 2013* [pdf]. Disponível em: <<https://www.aci-europe.org/component/downloads/downloads/3950.html>> [acedido em 7/08/14].

ANA Aeroportos de Portugal, 2012. *Passenger terminals* [pdf]. Disponível em: <http://routelab.ana.pt/en-US/Airports/Lisbon/TheAirport/Operational/Lists/RouteLabGenericDocumentsListInstance/mkt_008148.pdf> [acedido em 19/10/2013].

ANA Aeroportos de Portugal, 2013a. *Relatório de tráfego: Dezembro 2013* [pdf]. Disponível em: <http://pdfpaper.ana.pt/split_document.aspx?doc=lisbon\\TrafficDec2013.pdf&airport=lisbon> [acedido em 4/05/2014].

ANA Aeroportos de Portugal, 2013b. *Service quality* [pdf]. Disponível em: <http://routelab.ana.pt/en-US/Airports/Lisbon/TheAirport/About/Lists/RouteLabGenericDocumentsListInstance/mkt_008149.pdf> [acedido em 19/10/2013].

ANA Aeroportos de Portugal, 2013c. *Guia do aeroporto: Outubro 2013 - Março 2014*. [online] Disponível em: <http://www.ana.pt/SiteCollectionDocuments/Lisboa/horario_lisboa_estacaointeira.pdf> [acedido em 16/12/2013].

ANA Aeroportos de Portugal, 2014a. *Lisbon: The airport*. [online] Disponível em: <<http://routelab.ana.pt/en-US/Airports/Lisbon/TheAirport/Pages/default.aspx>> [acedido em 2/04/14].

ANA Aeroportos de Portugal, 2014b. *No aeroporto: Terminal 2*. [online] Disponível em: <<http://www.ana.pt/pt-PT/Aeroportos/Lisboa/Lisboa/Partidas/NoAeroporto/Paginas/No-Aeroporto.aspx>> [acedido em 12/05/14].

ANA Aeroportos de Portugal, 2014c. *Relatório de Tráfego: Fevereiro 2014*. [pdf] Disponível em: <<http://routelab.ana.pt/en-US/Airports/Lisbon/Statistics/Pages/default.aspx>> [acedido em 04/05/14].

ANA Aeroportos de Portugal, 2014d. *Acordos de nível de serviço: Aeroporto de Lisboa*. [online] Disponível em: <<http://www.ana.pt/pt-PT/Topo/Institucional/NegociosEmpresa/Sobre%20os%20Aeroportos/Acordos-de-Nivel-de-Servico/Aeroporto-de-Lisboa/Paginas/Aeroporto-de-Lisboa.aspx>> [acedido em 21/05/14].

ANA Aeroportos de Portugal, 2014e. *Dentro do aeroporto: Terminal 2*. [online] Disponível em: <<http://www.ana.pt/pt-PT/Aeroportos/Lisboa/Lisboa/OAeroporto/Dentro-do-Aeroporto/Terminal-2/Paginas/Terminal-2.aspx>> [acedido em 12/05/14].

APICS. 1999. *Visual Thinking's SIMUL8* [pdf] 9 (8), Disponível em: <<http://www.simul8.com/products/apics1.pdf>> [acedido em 31/01/14].

Ballis, A. 2002. Simulation of airport terminal facilities in the Greek airports of Kavala and Alexandroupolis. *Operational Research*, 2 (3): 391-406.

Brethauer, K., & Côté, M. 1998. A model for planning resource requirements in health care organizations. *Decision Sciences*, 29 (1): 243-270.

Carson, J. 1992. Modelling. *Proceedings of the 1992 Winter Simulation Conference*: 82-87, Disponível em: <http://informs-sim.org/wsc92papers/1992_0005.pdf> [acedido em 12/04/14].

Chase, R., Jacobs, F. & Aquilano, N. 2006. *Operations management for competitive advantage* (11th edition). New York: McGraw-Hill Irwin.

Concannon, K., Elder, M., Hindle, K., Tremble, J. & Tse, S. 2006. *Simulation modeling with SIMUL8*. Canada: Visual Thinking.

Corsten, H., & Stuhlmann, S. 1997. Capacity management in service organizations. *Technovation*, 18 (3): 163-178

Easyjet, 2013. *Press Information Kit* [pdf]. Disponível em: <<http://corporate.easyjet.com/~/.media/Files/E/Easyjet-Plc-V2/pdf/content/dl017-press-pack-july-2013-q3.pdf>> [acedido em 05/05/14].

Esteban, P. J. 2008. *Check-in process at Lisbon airport: Event-based simulations and collaborative design*. [pdf] Dissertação de Mestrado em Engenharia Aeronáutica, Instituto Superior Técnico, Lisboa. Disponível em:

<http://www.mitportugal.org/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=247&Itemid=383> [acedido em 15/04/14].

Fayez, M., Kaylani, A., Cope, D., Rychlik, D. & Mollaghasemi, M. 2008. Managing airport operations using simulation. *Journal of Simulation*, 2: 41-52.

Franco, M. C. 2011. *Adaptações do layout e procedimentos em terminais aeroportuários tendo em vista a fluidez no escoamento de passageiros e bagagens*

[pdf]. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa. Disponível em:

<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/2589871802245/Tese_Carolina_Franco.pdf> [acedido em 04/05/14].

Gantt, S. 1992. Analysis of airport-airline operations using simulation. *Proceedings of the 1992 Winter Simulation Conference*: 1320-1324, Disponível em:

<http://informs-sim.org/wsc92papers/1992_0175.pdf> [acedido em 21/02/14].

IATA, 2012. *Security access & egress* [pdf]. Disponível em: <<http://www.iata.org/whatwedo/stb/Documents/pf-guide-security-2012.pdf>> [acedido em 16/09/14].

IATA, 2013. *Airport competition* [pdf]. Disponível em:

<<http://www.iata.org/whatwedo/Documents/economics/airport-competition.pdf>> [acedido em 2/04/14].

Lange, R., Samoilovich, I. & Rhee, B. 2013. Virtual queuing at airport security lanes. *European Journal of Operational Research*, 225: 153-165.

Manataki, I. & Zografos, K. 2009. A generic system dynamics based tool for airport terminal performance analysis. *Transportation Research Part C*, 17: 428-443.

Manataki, I. & Zografos, K. 2010. Assessing airport terminal performance using a system dynamics model. *Air Transport Management*, 16: 86-93.

Maria, A. 1997. Introduction to modeling and simulation. *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*: 7-13. Disponível em: < <http://www.informs-sim.org/wsc97papers/0007.PDF>> [acedido em 26/04/14].

Nance, R. & Sargent, R. 2002. Perspectives on the evolution of simulation. *Operations Research*, 50 (1):161-172.

Norwegian, 2014. *Fleet [online]*. Disponível em: <<https://www.norwegian.com/en/about-norwegian/our-company/fleet/>> [acedido em 05/05/14].

Olhager, J. & Johansson, P. 2012. Linking long-term capacity management for manufacturing and service operations. *Journal of Engineering and Technology Management*, 29: 22-33.

Paraskevopoulos, D., Karakitsos, E. & Rustem, B. 1991. Robust capacity planning under uncertainty. *Management Science*, 37 (7): 787-800.

Park, S. & Leemis, L. 2013. Discrete-event simulation: A first course, *CS 426/526 Simulation*. [pdf] College of William & Mary. Disponível em: <<http://www.cs.wm.edu/~esmirni/Teaching/cs526/DESAFC-1.1.pdf>> [acedido em 14/04/14].

Ramalhoto, M. 1990. Probabilistic modelling in engineering – Queueing theory. *European Journal of Engineering Education*, 15 (3): 233-241.

Rao, S., Gunasekaran, A., Goyal, S. & Martikainen, T. 1998. Waiting line model applications in manufacturing. *International Journal of Production Economics*, 54: 1-28.

Ravindran, A., Phillips, D. & Solberg, J. 1987. *Operations research: Principles and practice* (2nd edition). New York: John wiley.

Robertson, C., Shrader, S., Pendergraft, D., Johnson, L., Silbert, K. 2002. The role of modeling demand in process re-engineering. *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*: 1454-1458, Disponível em: < <http://informs-sim.org/wsc02papers/198.pdf>> [acedido em 20/05/14].

Robinson, S., Radnor, Z., Burgess, N. & Worthington, C. 2012. SimLean: Utilising simulation in the implementation of lean in healthcare. *European Journal of Operational Research*, 219: 188-197.

Rohrer, M. & Banks, J. 1998. Required skills of a simulation analyst. *Lie Solutions*, 30 (5): 20-23.

- Ryanair, 2014. *Fleet [online]*. Disponível em: <<http://www.ryanair.com/en/about/fleet/>> [acedido em 05/05/14].
- SEF, s.d.. *Presentation [online]*. Disponível em: <<http://www.rapid.sef.pt/1.html>> [acedido em 21/05/14].
- SEF, 2012. *Relatório de imigração, fronteiras e asilo*. Disponível em: <<http://sefstat.sef.pt/Docs/Rifa%202012.pdf>> [acedido em 27/02/14].
- Shaliker, J. & Suleman, A. 2012. Guia de simulação discreta por computador usando SIMUL8™. *01323 Simulação de Sistemas e Operações*. ISCTE Business School, não publicado.
- SIMUL8, 2014. *Normal distribution [online]*. Disponível em: <<http://simul8.com/support/help/doku.php?id=features:distributions:normal>> [acedido em 17/09/14].
- Tako, A. & Robinson, S. 2010. Model development in discrete-event simulation and system dynamics: An empirical study of expert modellers. *European Journal of Operational Research*, 210: 784-794.
- Transavia, 2014. *Fleet [online]*. Disponível em: <<http://www.transavia.com/corporate/en/organisation/fleet.html>> [acedido em 05/05/14].
- Universidade do Algarve, 2007. *Avaliação do sistema de controlo electrónico de fronteira*. Disponível em: < <http://www.rapid.sef.pt/docs/Relat12Junho.ppt> > [acedido em 28/02/14].
- Verbraeck, A. & Valentin, E. 2002. Simulation building blocks for airport terminal modeling. *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*: 1199-1206, Disponível em: < <http://informs-sim.org/wsc02papers/161.pdf> > [acedido em 21/02/14].
- Wu, P. & Mengerson, K. 2013. A review of models and model usage for an airport complex system. *Transportation Research Part A*, 47: 124-140.

Anexos

Anexo I – *Start points* do modelo

Nome	Distribuição utilizada	Label
Chegadas_Passageiros_6:50	Distribuicao_Voo_Base/ET_6:50	1
Chegadas_Passageiros_7:00	Distribuicao_Voo_Base/ET_7:00	1
Chegadas_Passageiros_7:15	Distribuicao_Voo_Base/ET_7:15	2
Chegadas_Passageiros_9:30	Distribuicao_Voo_Base/ET_9:30	1
Chegadas_Passageiros_9:50	Distribuicao_Voo_Base/ET_9:50	1
Chegadas_Passageiros_10:20_180	Distribuicao_Voo_Base/ET_10:20_180	2
Chegadas_Passageiros_10:20_189	Distribuicao_Voo_Base/ET_10:20_189	2
Chegadas_Passageiros_10:25	Distribuicao_Voo_Base/ET_10:25	1
Chegadas_Passageiros_10:50	Distribuicao_Voo_Base/ET_10:50	1
Chegadas_Passageiros_10:55	Distribuicao_Voo_Base/ET_10:55	2
Chegadas_Passageiros_11:15	Distribuicao_Voo_Base/ET_11:15	1
Chegadas_Passageiros_11:30	Distribuicao_Voo_Base/ET_11:30	1
Chegadas_Passageiros_13:10	Distribuicao_Voo_Base/ET_13:10	1
Chegadas_Passageiros_15:10	Distribuicao_Voo_Base/ET_15:10	1
Chegadas_Passageiros_16:20	Distribuicao_Voo_Base/ET_16:20	2
Chegadas_Passageiros_16:40	Distribuicao_Voo_Base/ET_16:40	1
Chegadas_Passageiros_17:30	Distribuicao_Voo_Base/ET_17:30	1
Chegadas_Passageiros_18:55_156	Distribuicao_Voo_Base/ET_18:55_156	1
Chegadas_Passageiros_18:55_180	Distribuicao_Voo_Base/ET_18:55_180	1
Chegadas_Passageiros_19:05	Distribuicao_Voo_Base/ET_19:05	1
Chegadas_Passageiros_19:20	Distribuicao_Voo_Base/ET_19:20	1
Chegadas_Passageiros_19:25	Distribuicao_Voo_Base/ET_19:25	1
Chegadas_Passageiros_19:50	Distribuicao_Voo_Base/ET_19:50	2
Chegadas_Passageiros_21:15	Distribuicao_Voo_Base/ET_21:15	2

Anexo II – *Activities* do modelo

Nome	Distribuição utilizada
Espera_Ficticia_9:50	Fixa de valor 0
Balcoes_Check_in_9:50	Distribuicao_Balcoes_Check_in
Espera_Ficticia_19:20	Fixa de valor 0
Balcoes_Check_in_19:20	Distribuicao_Balcoes_Check_in
Espera_Ficticia_19:25	Fixa de valor 0
Balcoes_Check_in_19:25	Distribuicao_Balcoes_Check_in
Quiosques_Check_in_Self_Service	Distribuicao_Quiosques_Check_in_Self_Service
Controlo_de_Segurança	Distribuicao_Controlo_de_Segurança
Controlo_de_Fronteira_Postos_Convencionais	Distribuicao_Controlo_de_Fronteira_Postos_Convencionais
Controlo_de_Fronteira_RAPID	Distribuicao_Controlo_de_Fronteira_RAPID
Separacao_RAPID_Convencional	Fixa de valor 0

Anexo III – Turnos utilizados no modelo

Nome	Início	Fim
Shift_6:50	4:20	6:20
Shift_7:00	4:30	6:30
Shift_7:15	4:45	6:45
Shift_9:30	7:00	9:00
Shift_9:50	7:20	9:20
Shift_10:20_180	7:50	9:50
Shift_10:20_189	7:50	9:50
Shift_10:25	7:55	9:55
Shift_10:50	8:20	10:20
Shift_10:55	8:25	10:25
Shift_11:15	8:45	10:45
Shift_11:30	9:00	11:00
Shift_13:10	10:40	12:40
Shift_15:10	12:40	14:40
Shift_16:20	13:50	15:50
Shift_16:40	14:10	16:10
Shift_17:30	15:00	17:00
Shift_18:55_156	16:25	18:25
Shift_18:55_180	16:25	18:25
Shift_19:05	16:35	18:35
Shift_19:20	16:50	18:50
Shift_19:25	16:55	18:55
Shift_19:50	16:25	18:55
Shift_21:15	19:45	20:45
Shift_Balcao_9:50	7:50	9:20
Shift_Balcao_19:20	17:20	18:50
Shift_Balcao_19:25	17:25	18:55
Shift_Seguranca_04:20_08:30*	04:20	08:30
Shift_Seguranca_08:30_09:30*	08:30	09:30
Shift_Seguranca_09:30_17:00*	09:30	17:00
Shift_Seguranca_17:00_18:00*	17:00	18:00
Shift_Seguranca_18:00_21:15*	18:00	21:15

(*) - Apenas se aplica aos casos em que é variado o número de postos de controlo de segurança ao longo do dia.

Anexo IV – Label utilizada no modelo

Nome	Tipo	Valores	
		1	2
lbl_Destino	Numérica	Schengen	Não Schengen

Anexo V – Distribuições utilizadas no modelo

Distribuições das <i>activities</i>					
Nome	Tipo	Distribuição	Média (min.)	Limites (min.)	
				Inferior	Superior
Distribuicao_Balcoes_Check_in	Named	Average	1,5	0,375	2,625
Distribuicao_Quiosques_Check_in_Self_Service	Named	Average	2	0,5 min.	3,5
Distribuicao_Controlo_de_seguranca	Named	Average	0,45	0,1125	0,7875
Distribuicao_Controlo_de_Fronteira_RAPID	Named	Normal*	0,385	0,067	1,717
Distribuicao_Controlo_de_Fronteira_Postos_Convencionais	Named	Average	0,63	0,1575	1,1025
Distribuições de chegadas dos períodos antes da partida dos voos					
Nome		Tipo	Distribuição	Média (min.)	
Distribuicao_Chegadas_156_Base/ET_2h30min_2h		Named	Exponencial	1,15/0,88	
Distribuicao_Chegadas_156_Base/ET_2h_1h30min		Named	Exponencial	0,67/0,51	
Distribuicao_Chegadas_156_Base/ET_1h30min_1h		Named	Exponencial	1,03/0,79	
Distribuicao_Chegadas_156_Base/ET_1h_30min		Named	Exponencial	2,5/1,88	
Distribuicao_Chegadas_180_Base/ET_2h30min_2h		Named	Exponencial	1/0,77	
Distribuicao_Chegadas_180_Base/ET_2h_1h30min		Named	Exponencial	0,58/0,44	
Distribuicao_Chegadas_180_Base/ET_1h30min_1h		Named	Exponencial	0,88/0,68	
Distribuicao_Chegadas_180_Base/ET_1h_30min		Named	Exponencial	2,14/1,58	
Distribuicao_Chegadas_189_Base/ET_2h30min_2h		Named	Exponencial	0,97/0,73	
Distribuicao_Chegadas_189_Base/ET_2h_1h30min		Named	Exponencial	0,56/0,42	
Distribuicao_Chegadas_189_Base/ET_1h30min_1h		Named	Exponencial	0,86/0,64	
Distribuicao_Chegadas_189_Base/ET_1h_30min		Named	Exponencial	2/1,5	

(*) – O desvio-padrão da distribuição normal associada às máquinas RAPID é de 0,182, nas distribuições *average* corresponde a 25% da média.

Distribuições de chegadas dos voos				
Nome	Tipo	Distribuição	Início	Fim
Distribuicao_Voo _Base/ET_6:50	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_2h30min_2h	4:20	4:50
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_2h_1h30min	4:50	5:20
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_1h30min_1h	5:20	5:50
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_1h_30min	5:50	6:20
Distribuicao_Voo _Base/ET_7:00	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_2h30min_2h	4:30	5:00
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_2h_1h30min	5:00	5:30
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_1h30min_1h	5:30	6:00
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_1h_30min	6:00	6:30
Distribuicao_Voo _Base/ET_7:15	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_2h30min_2h	4:45	5:15
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_2h_1h30min	5:15	5:45
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_1h30min_1h	5:45	6:15
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_1h_30min	6:15	6:45
Distribuicao_Voo _Base/ET_9:30	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_2h30min_2h	7:00	7:30
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_2h_1h30min	7:30	8:00
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_1h30min_1h	8:00	8:30
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_1h_30min	8:30	9:00
Distribuicao_Voo _Base/ET_9:50	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET_2h30min_2h	7:20	7:50
		Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET_2h_1h30min	7:50	8:20
		Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET_1h30min_1h	8:20	8:50
		Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET_1h_30min	8:50	9:20

Distribuicao_Voo _Base/ET _10:20_180	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_180 _Base/ET_2h30min_2h	7:50	8:20
		Distribuicao_Chegadas_180 _Base/ET_2h_1h30min	8:20	8:50
		Distribuicao_Chegadas_180 _Base/ET_1h30min_1h	8:50	9:20
		Distribuicao_Chegadas_180 _Base/ET_1h_30min	9:20	9:50
Distribuicao_Voo _Base/ET _10:20_189	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET_2h30min_2h	7:50	8:20
		Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET_2h_1h30min	8:20	8:50
		Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET_1h30min_1h	8:50	9:20
		Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET_1h_30min	9:20	9:50
Distribuicao_Voo _Base/ET_10:25	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_180 _Base/ET_2h30min_2h	7:55	8:25
		Distribuicao_Chegadas_180 _Base/ET_2h_1h30min	8:25	8:55
		Distribuicao_Chegadas_180 _Base/ET_1h30min_1h	8:55	9:25
		Distribuicao_Chegadas_180 _Base/ET_1h_30min	9:25	9:55
Distribuicao_Voo _Base/ET_10:50	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_2h30min_2h	8:20	8:50
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_2h_1h30min	8:50	9:20
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_1h30min_1h	9:20	9:50
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_1h_30min	9:50	10:20
Distribuicao_Voo _Base/ET_10:55	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_2h30min_2h	8:25	8:55
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_2h_1h30min	8:55	9:25
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_1h30min_1h	9:25	9:55
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_1h_30min	9:55	10:25
Distribuicao_Voo _Base/ET_11:15	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET_2h30min_2h	8:45	9:15
		Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET_2h_1h30min	9:15	9:45
		Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET_1h30min_1h	9:45	10:15
		Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET_1h_30min	10:15	10:45

Distribuicao_Voo _Base/ET _11:30	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET _2h30min_2h	9:00	9:30
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET _2h_1h30min	9:30	10:00
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET _1h30min_1h	10:00	10:30
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET _1h_30min	10:30	11:00
Distribuicao_Voo _Base/ET _13:10	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET _2h30min_2h	10:40	11:10
		Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET _2h_1h30min	11:10	11:40
		Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET _1h30min_1h	11:40	12:10
		Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET _1h_30min	12:10	12:40
Distribuicao_Voo _Base/ET _15:10	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET _2h30min_2h	11:40	12:10
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET _2h_1h30min	12:10	12:40
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET _1h30min_1h	12:40	14:10
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET _1h_30min	14:10	14:40
Distribuicao_Voo _Base/ET _16:20	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET _2h30min_2h	13:50	14:20
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET _2h_1h30min	14:20	14:50
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET _1h30min_1h	14:50	15:20
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET _1h_30min	15:20	15:50
Distribuicao_Voo _Base/ET _16:40	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET _2h30min_2h	14:10	14:40
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET _2h_1h30min	14:40	15:10
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET _1h30min_1h	15:10	15:40
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET _1h_30min	15:40	16:10
Distribuicao_Voo _Base/ET _17:30	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET _2h30min_2h	15:00	15:30
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET _2h_1h30min	15:30	16:00
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET _1h30min_1h	16:00	16:30
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET _1h_30min	16:30	17:00

Distribuicao_Voo _Base/ET _18:55_156	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_2h30min_2h	16:25	16:55
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_2h_1h30min	16:55	17:25
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_1h30min_1h	17:25	17:55
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_1h_30min	17:55	18:25
Distribuicao_Voo _Base/ET _18:55_180	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_180 _Base/ET_2h30min_2h	16:25	16:55
		Distribuicao_Chegadas_180 _Base/ET_2h_1h30min	16:55	17:25
		Distribuicao_Chegadas_180 _Base/ET_1h30min_1h	17:25	17:55
		Distribuicao_Chegadas_180 _Base/ET_1h_30min	17:55	18:25
Distribuicao_Voo _Base/ET_19:05	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_2h30min_2h	16:35	17:05
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_2h_1h30min	17:05	17:35
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_1h30min_1h	17:35	18:05
		Distribuicao_Chegadas_156 _Base/ET_1h_30min	18:05	18:35
Distribuicao_Voo _Base/ET_19:20	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET_2h30min_2h	16:50	17:20
		Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET_2h_1h30min	17:20	17:50
		Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET_1h30min_1h	17:50	18:20
		Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET_1h_30min	18:20	18:50
Distribuicao_Voo _Base/ET_19:25	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET_2h30min_2h	16:55	17:25
		Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET_2h_1h30min	17:25	17:55
		Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET_1h30min_1h	17:55	18:25
		Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET_1h_30min	18:25	18:55
Distribuicao_Voo _Base/ET_19:50	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_180 _Base/ET_2h30min_2h	17:20	17:50
		Distribuicao_Chegadas_180 _Base/ET_2h_1h30min	17:50	18:20
		Distribuicao_Chegadas_180 _Base/ET_1h30min_1h	18:20	18:50
		Distribuicao_Chegadas_180 _Base/ET_1h_30min	18:50	19:20

Distribuicao_Voo _Base/ET _21:15	Time dependent	Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET _2h30min_2h	18:45	19:15
		Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET _2h_1h30min	19:15	19:45
		Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET _1h30min_1h	19:45	20:15
		Distribuicao_Chegadas_189 _Base/ET _1h_30min	20:15	20:45