



# **Gestão de Filas de Espera com recurso à Simulação**

Mestrado em Gestão

Telmo José Dinis Sousa

Leiria, abril de 2020



# **Gestão de Filas de Espera com recurso à Simulação**

Mestrado em Gestão

Telmo José Dinis Sousa

Trabalho de Projeto realizado sob a orientação do Professor Doutor Pedro Manuel Rodrigues Carreira, Professor Adjunto na Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Politécnico de Leiria.

Leiria, abril de 2020

# **Originalidade e Direitos de Autor**

O presente relatório de projeto é original, elaborado unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para o elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado o Autor e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual o mesmo foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em Gestão, no ano letivo 2019/2020, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

# Agradecimentos

Agradeço à coordenadora do Mestrado de Gestão, a Professora Doutora Lígia Febra, pela oportunidade que me deu em participar neste Mestrado em Gestão, o qual me enriqueceu a nível profissional e pessoal.

Ao meu orientador, o Professor Pedro Carreira, pela disponibilidade, paciência, dedicação, apoio e ideias partilhadas neste projeto.

À Vanessa, pela ajuda e apoio que me deu ao longo destes últimos meses.

E, finalmente, à Doutora Amália por disponibilizar o seu estabelecimento como objeto de estudo no âmbito da execução do projeto.

A todos vós, o meu maior agradecimento!

# Resumo

A análise da gestão de filas de espera tem ganho importância na gestão das organizações ao longo do tempo. Uma gestão de filas de espera ineficaz pode originar gastos desnecessários, uma imagem negativa para o exterior e, conseqüentemente, perda de receitas pela falta de qualidade de serviço. É por isso necessário adotar uma adequada gestão das filas de espera para que cada organização encontre um ponto de equilíbrio nos seus indicadores de desempenho.

Para apoiar a gestão de filas de espera, a simulação computacional é uma ferramenta importante de auxílio na tomada de decisão. Neste projeto, utiliza-se o método de simulação de Monte Carlo como ferramenta de geração de cenários futuros possíveis e de apoio à gestão de filas de espera, através da análise do impacto de escolhas alternativas em termos de capacidade de serviço em vários indicadores de desempenho do sistema.

Mais em detalhe, o objetivo principal deste projeto é analisar o desempenho de atendimento de uma farmácia (a qual pediu anonimato) de forma a gerir a capacidade de serviço e otimizar o seu funcionamento, em cada um de três períodos do ciclo mensal que revelaram um padrão de procura distinto dos restantes: “pico do mês”, que corresponde à semana do mês de maior afluência, de dia 8 a dia 15, imediatamente após o Estado fazer o pagamento das reformas e pensões, levando a uma maior fluxo de reformados e pensionistas à compra dos seus medicamentos; “resto do mês, correspondendo às restantes semanas do mês, em que se considera uma afluência normal à farmácia; e período da “hora adicional”, que corresponde ao horário 19:30-20:30, fora do horário atual de funcionamento da farmácia, que finaliza às 19:30, com o objetivo de estudar a viabilidade da hipótese de alargar o horário de funcionamento diário da farmácia em uma hora.

É também efetuada análise de sensibilidade ao grau de paciência dos clientes, de modo a que a farmácia possa ter uma perceção do impacto do mesmo nos indicadores de desempenho do sistema.

Finalmente, em termos de indicadores de desempenho, consideram-se o tempo médio na fila de espera, a percentagem de tempo de ocupação dos funcionários, a receita diária/horária e a receita diária/horária perdida, entre outros.

Os resultados obtidos permitem concluir que, no período do pico do mês, a capacidade atual de serviço é adequada, que no período do resto do mês pode ser adequado adicionar mais um funcionário no atendimento ao público em relação à situação atual, e que o atendimento no período da hora adicional deve ser feito com dois funcionários, caso a farmácia pretenda avançar com essa hipótese.

**Palavras-chave:** Gestão de filas de espera, Simulação, Simulação de Monte Carlo, Indicadores de desempenho, Escolha da capacidade.

# Abstract

The analysis of queue management has gained importance in the management of organizations over time. A poor queue management can lead to unnecessary expenses, to a negative image abroad and, consequently, to a loss of revenue due to low reputation. This means that a correct queue management is necessary for organizations to find an equilibrium point in their performance indicators.

To support queue management, and to help in operational decision making, simulation is an important tool. In this project, Monte Carlo simulation is used as a support tool in the management of queues, in the process of finding the ideal balance between the performance indicators that will be analysed.

The main objective of this project is to analyse the performance of the service of a pharmacy (which asked for anonymity) in order to optimize its operations, in three periods of monthly cycle which revealed distinct demand patterns: “peak of the month”, correspondent to the week of the month with the greatest affluence, from day 8 to 15, immediately after the government makes the payment of the retirement and other pensions, thus leading to a high flow of pensioners to purchase their medicines; “rest of the month, correspondent to the remaining weeks of the month, in which a normal flow of customers goes to the pharmacy; and the “additional hour” period, from 19:30 to 20:30, with the purpose of investigating the economic viability of extending the daily opening hours of the pharmacy, currently finishing at 19:30, by one hour.

Moreover, a sensitivity analysis is performed on the degree of patience of customers, so that the pharmacy can have some insights about its impact on the performance indicators of the service system.

Finally, with respect to performance indicators, it is considered the average time in the queue, the percentage of employee occupation time, the daily/hourly revenue, and the lost daily/hourly revenue, among others.

The results allow to conclude that, for the peak period of the month, the current level of capacity is adequate, that for the period of the rest of the month it may be necessary to add one more employee as compared to the current situation, and that the service in the additional

hour period must be done with two employees, if the pharmacy indeed considers such hypothesis.

**Keywords:** Queue management, Simulation, Monte Carlo simulation, Performance indicators, Capacity choice.

# Índice

<b>Originalidade e Direitos de Autor .....</b>	<b>iii</b>
<b>Agradecimentos .....</b>	<b>iv</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>v</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>vii</b>
<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>xi</b>
<b>Lista de tabelas .....</b>	<b>xiii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Teoria das filas de espera .....</b>	<b>3</b>
2.1.1. Conceito de fila de espera.....	3
2.1.2 O problema económico associado à gestão de filas de espera .....	6
2.1.3 Características das filas de espera .....	7
2.1.4 Avaliação de desempenho das filas de espera .....	11
2.1.5 Modelos de gestão de filas de espera.....	13
2.1.5.1 Modelo de servidor único com capacidade de armazenamento do sistema limitada a apenas um cliente.....	14
2.1.5.2 Modelo de servidor único e com capacidade de armazenamento do sistema ilimitada.....	14
2.1.5.3 Modelo de servidores múltiplos .....	16
2.1.5.4 Modelo de tempo de serviço constante.....	16
2.1.5.5 Modelo de população limitada .....	16
<b>2.2 Simulação .....</b>	<b>19</b>
2.2.1 Conceito.....	19
2.2.2 Fases da construção de um modelo de simulação .....	21
2.2.3 Potencialidades e limitações dos estudos de simulação .....	25
2.2.4 O método de simulação de Monte Carlo e a aplicação da simulação à gestão de filas de espera .....	27

<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1. Processo de recolha de dados .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2. Modelo de simulação .....</b>	<b>31</b>
<b>3.3. Indicadores de desempenho a utilizar .....</b>	<b>35</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1. Desempenho atual do sistema.....</b>	<b>37</b>
4.1.1. Pico do mês .....	38
4.1.2. Resto do mês .....	40
4.1.3. Hora adicional .....	42
<b>4.2. Análise de sensibilidade ao número de funcionários.....</b>	<b>43</b>
4.2.1. Utilização de 5 funcionários no Pico do mês .....	44
4.2.2. Utilização de 7 funcionários no Pico do mês .....	45
4.2.3. Utilização de 3 funcionários no Resto do mês .....	47
4.2.4. Utilização de 5 funcionários no Resto do mês .....	48
4.2.5. Utilização de 1 funcionário na Hora adicional.....	50
4.2.6. Utilização de 3 funcionários na Hora adicional .....	51
<b>4.3. Análise de sensibilidade ao grau de paciência dos clientes.....</b>	<b>53</b>
4.3.1. Pico do mês, com grau de paciência dos clientes de 5 minutos .....	54
4.3.2. Pico do mês, com grau de paciência dos clientes de 20 minutos .....	55
4.3.3. Resto do mês, com grau de paciência dos clientes de 5 minutos .....	57
4.3.4. Resto do mês, com grau de paciência dos clientes de 20 minutos .....	58
4.3.5. Período na Hora adicional, com grau de paciência dos clientes de 5 minutos	59
4.3.6. Período na Hora adicional, com grau de paciência dos clientes de 20 minutos	
<b>4.4. Discussão .....</b>	<b>62</b>
<b>5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>65</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>67</b>

# Lista de Figuras

Figura 1: Sistema de uma fila de espera (Lisboa & Gomes, 2008). .....	4
Figura 2: O problema económico associado à gestão de filas de espera (Heizer et al., 2017).....	7
Figura 3: Os quatros sistemas (Heizer et al., 2017). .....	9
Figura 4: Fases do processo de um estudo de simulação (Lisboa & Gomes, 2008). .....	23
Figura 5: Atribuição de intervalos de números aleatórios (Heizer et al., 2017). .....	27
Figura 6: Ajustamento de distribuição de probabilidade para a variável “Tempo entre chegadas” no período de pico de procura do ciclo mensal. ....	32
Figura 7: Ajustamento de distribuição de probabilidade para a variável “Tempo entre chegadas” no período de procura normal do ciclo do mensal.....	32
Figura 8: Ajustamento de distribuição de probabilidade para a variável “Tempo entre chegadas” no período da Hora adicional. ....	33
Figura 9: Ajustamento de distribuição de probabilidade para a variável “Duração do serviço”. ....	33
Figura 10: Ajustamento de distribuição de probabilidade para a variável “Faturação”.....	34
Figura 11: Fluxograma do modelo de simulação. ....	35
Figura 12: Distribuições dos indicadores para o período do Pico do mês. ....	38
Figura 13: Distribuições dos indicadores para o período do Resto do mês. ....	40
Figura 14: Distribuições dos indicadores na Hora adicional. ....	42
Figura 15: Distribuições dos indicadores para o período Pico do mês, com 5 funcionários. ....	44
Figura 16: Distribuições dos indicadores para o período Pico do mês, com 7 funcionários. ....	45
Figura 17: Distribuições dos indicadores para o período Resto do mês, com 3 funcionários. ....	47
Figura 18: Distribuições dos indicadores para o período Resto do mês, com 5 funcionários. ....	48
Figura 19: Distribuições dos indicadores na Hora adicional, com 1 funcionário. ....	50
Figura 20: Distribuições dos indicadores na Hora adicional, com 3 funcionários.....	51
Figura 21: Distribuições dos indicadores para período Pico do mês, com 6 funcionários e grau de paciência de 5 minutos. ....	54
Figura 22: Distribuições dos indicadores para o período Pico do mês, com 6 funcionários e grau de paciência de 20 minutos. ....	55
Figura 23: Distribuições dos indicadores para o período Resto do mês, com 4 funcionários e grau de paciência de 5 minutos. ....	57
Figura 24: Distribuições dos indicadores para o período Resto do mês, com 4 funcionários e grau de paciência de 20 minutos. ....	58

Figura 25: Distribuições dos indicadores para o período na Hora adicional, com 2 funcionários e grau de paciência de 5 minutos.....59

Figura 26: Distribuições dos indicadores para o período na Hora adicional, com 2 funcionários e grau de paciência de 20 minutos.....61

# Lista de tabelas

Tabela 1: Indicadores de desempenho para os modelos base .....	15
Tabela 2: Indicadores de desempenho para os modelos mais complexos .....	18



# 1. INTRODUÇÃO

O presente projeto insere-se no âmbito na unidade curricular de Projeto, do mestrado em Gestão da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Politécnico de Leiria, e baseia-se no estudo do problema económico associado à gestão de filas de espera, que visa determinar o nível ótimo de capacidade de serviço. O motivo da escolha deste tema foi a vontade de desenvolver competências pessoais ao nível da logística e gestão de operações. A estratégia de investigação é o estudo de caso, em que se procura a melhoria do sistema de fila de espera de uma farmácia que se mostrou disponível para acolher o projeto, incluindo a colaboração dos responsáveis da organização.

O objetivo principal do projeto é analisar o desempenho do sistema de fila de espera atualmente implementado pela farmácia em termos de capacidade de serviço e número de servidores em atendimento ao público. Como objetivos adicionais, o projeto procura emitir parecer sobre o nível mais adequado de capacidade de serviço e número de funcionários em atendimento, efetuar análise de sensibilidade do desempenho do sistema em relação a diferentes graus possíveis de paciência dos clientes, e emitir parecer sobre a eventualidade de alargamento do horário normal diário de funcionamento da farmácia para o período das 19:30 às 20:30.

Foi necessário efetuar recolha de dados primários, através de observação planeada e estruturada do funcionamento real do sistema, com o objetivo de poder estimar a frequência com que determinados fenómenos acontecem.

Foi utilizada a simulação computacional, e em particular o *software @Risk* da Palisade ([www.palisade.com](http://www.palisade.com)), e o método de amostragem de Monte Carlo, para analisar o impacto das estratégias alternativas de gestão operacional nos indicadores de desempenho do sistema. Com um estudo de simulação, consegue-se imitar um sistema real através de relações lógico-matemáticas entre as variáveis que a compõem, estudar as características e propriedades do sistema simulado, tirar conclusões e tomar decisões com base nos outputs do estudo e indicadores de desempenho do sistema. Para além disso, a simulação é simples e flexível o suficiente para acomodar uma infinidade de especificidades da realidade, não necessitando de pressupostos, típicos dos modelos matemáticos.

Em relação aos indicadores de medição do desempenho do sistema da fila de espera da farmácia, foram escolhidos os mais adequados em relação às características do serviço analisado, de entre os mais fundamentados na literatura. Em concreto, foram considerados os seguintes: tempo médio na fila de espera, percentagem de tempo de ocupação dos funcionários, receita diária/horária e receita diária/horária perdida.

Em termos de estrutura, o presente relatório está dividido em cinco capítulos. Posteriormente à introdução, o capítulo dois efetua o enquadramento teórico necessário à concretização do projeto, estando dividido em dois subcapítulos/temas principais: 1) a gestão de filas de espera, em que será apresentado o conceito de filas de espera, definido o problema económico associado à gestão de filas de espera, caracterizadas as filas de espera, discutida a avaliação do desempenho das filas de espera, e expostos alguns modelos matemáticos de gestão de filas de espera; e 2) a simulação computacional, em que será apresentado o conceito de simulação computacional, caracterizadas as fases da construção de um modelo de simulação, indicadas as principais potencialidades e limitações dos estudos de simulação, descrição do método de simulação de Monte Carlo e definida a aplicação da simulação à gestão de filas de espera.

No terceiro capítulo, será apresentada a metodologia utilizada no presente projeto, incluindo o processo de recolha de dados, o ajustamento de distribuições de probabilidade às variáveis aleatórias do problema, o fluxograma do modelo de simulação e os indicadores de desempenho a utilizar.

O quarto capítulo apresenta os resultados e discussão sobre o desempenho atual do sistema e sobre as análises de sensibilidade ao número de funcionários e ao grau de paciência dos clientes.

Por fim, o relatório finaliza no quinto capítulo com as conclusões gerais e considerações finais no âmbito do projeto, sendo enunciados os pressupostos, dificuldades, limitações e sugestões de trabalho futuro.

## 2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Neste capítulo, será feito um enquadramento teórico sobre o tema da gestão de filas de espera e sobre a utilização da simulação computacional como metodologia apropriada para abordar o tema de um ponto de vista prático.

### 2.1 Teoria das filas de espera

Nesta primeira secção, será efetuada uma breve revisão de literatura sobre o conceito de fila de espera e o sistema associado a uma fila de espera, o problema económico subjacente à gestão de filas de espera, as características das filas de espera e, por fim, a avaliação de desempenho do sistema de gestão de uma fila de espera.

#### 2.1.1. Conceito de fila de espera

Uma fila de espera existe quando um ou mais “clientes” aguardam atendimento. Os clientes podem ser pessoas ou objetos, como máquinas que exigem manutenção, pedidos de venda aguardando envio ou itens em stock à espera para serem utilizados. Uma fila de espera forma-se devido a um desequilíbrio temporário entre a procura pelo serviço e a capacidade do sistema para fornecer o serviço. Em concreto, em muitas situações, a procura é variável ao longo do tempo, dependendo das necessidades dos clientes, o que leva a formação de filas de espera, mesmo que o tempo para processar cada cliente seja constante (Krajewski, Ritzman & Malhotra, 2013).

A Figura 1 representa aquilo que se entende por sistema de uma fila de espera, que compreende essencialmente duas etapas, a espera (na fila de espera) e o serviço (efetuado por um servidor). Os potenciais clientes entram no sistema provenientes de uma “população” ou “fonte” e, após a prestação do serviço, saem do sistema e regressam à população.

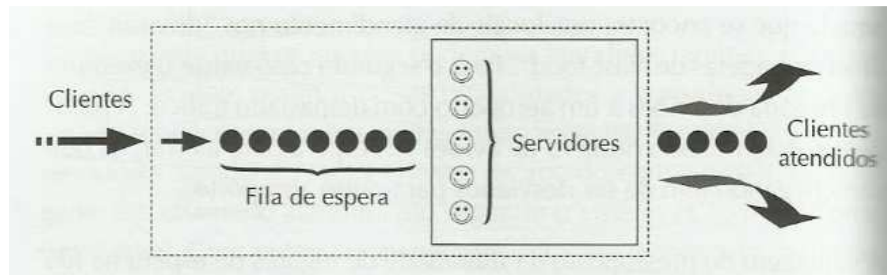


Figura 1: Sistema de uma fila de espera (Lisboa & Gomes, 2008).

Para (Pinto, 2010), por muito eficaz que seja a gestão da capacidade, é quase impossível evitar a formação de filas de espera, sobretudo nos serviços. As filas de espera podem ser formadas por pessoas alinhadas, e à espera de serem atendidas, mas podem também ser invisíveis para os clientes e para os servidores no caso de situações como reparações ou chamadas telefónicas, por exemplo. O autor refere alguns dos exemplos mais comuns de serviços propensos à formação de filas de espera:

- Pacientes à espera num serviço médico;
- Clientes num balcão de uma instituição bancária ou seguradora;
- Máquinas avariadas à espera de um técnico de manutenção;
- Automóveis na portagem à espera pela sua vez;
- Documentos numa impressora para serem impressos.

Já segundo Lisboa & Gomes (2008), a ocorrência de filas de espera é um acontecimento observável muito frequentemente. Na verdade, o fenómeno de “espera” não é exclusivo dos serviços caracterizados por atendimento ao público, pois também se encontra associado aos mais diversos processos operacionais nas empresas, nomeadamente quando um produto ou uma encomenda têm de esperar para ser transformados numa determinada máquina ou secção de fabrico. Os autores acrescentam que as questões relacionadas com filas de espera são de natureza probabilística, denominando-se os resultados (outputs) que se obtêm da análise das filas de espera por características operacionais, pelo facto de se referirem a determinados indicadores do desempenho dos processos, como por exemplo o tempo médio de espera na fila ou a probabilidade de um cliente não ter de esperar, que também são de natureza probabilística.

Os mesmos autores referem ainda que, associadas às características operacionais, estão igualmente associados custos, como por exemplo o de perder um cliente por não ser atendido

num tempo por ele considerado razoável, ou o aumento de custos devido à acumulação de produtos em vias de fabrico que aguardam para ser transformados, ou ainda os custos ocorridos com as máquinas de uma secção quando estão paradas, e concluem que, de um modo geral, não se coloca o problema de otimização quando se analisa um problema de filas de espera, o que está em causa é a determinação das características operacionais do sistema que se pretende estudar. Para Pinto (2010), manter um cliente à espera pode ser mal interpretado por este e é um sintoma de má gestão da capacidade. A insatisfação do cliente aumenta com o tempo de espera e a qualidade do serviço diminui.

A teoria associada à gestão das filas de espera procura essencialmente, através de modelos concretizados em fórmulas matemáticas, encontrar um ponto de equilíbrio que satisfaça o cliente e que seja economicamente viável para o prestador de serviço (Rossa Camelo, Sérgio Coelho, Massoli Borges & Maria de Souza, 2010; Longaray, Santos, Munhoz & Castelli, 2016, p. 107; Perdoná, Nunes, Neves, Naimer & Godoy, 2017, p. 17). Os modelos de filas de espera são amplamente utilizados em serviços de atendimento ao público, na produção, em sistemas de manuseamento de materiais e nas situações em que pode ocorrer congestionamento ou competição de recursos escassos (Jahn, Theurl, Siebert & Pfeiffer, 2010).

Ainda que o desenvolvimento dos aspetos teóricos da teoria das filas de espera esteja a ser bastante rápido, existe uma escassez de orientações para as aplicações práticas das ideias teóricas. Todos os modelos desenvolvidos são projetados para situações específicas em que são apropriados, caracterizadas por um conjunto de pressupostos matemáticos que visam modelizar a realidade de forma aproximada. Regra geral, os modelos assumem uma distribuição de chegada de Poisson, uma distribuição de tempo de serviço exponencial e uma disciplina da fila segundo a lógica do primeiro a chegar é o primeiro a ser servido. Para além disso, em geral os modelos assumem que o custo total da espera evolui exponencialmente com o tempo de espera, que o custo da capacidade de serviço é proporcional ao número de servidores, e que os clientes são infinitamente pacientes e que esperam até ser servidos, independentemente do tempo de espera, o que em muitas situações pode ser irrealista (Hillier, 1963).

O conhecimento sobre a gestão das filas de espera é uma parte importante nas operações de muitas empresas e uma ferramenta valiosa para o gestor. As filas de espera são, na verdade, situações muito comuns que podem, por exemplo, assumir a forma de automóveis à espera de serem reparados numa oficina. Embora não perfeitos, os modelos matemáticos de gestão de filas de espera são úteis para as empresas, tanto de áreas de fabricação como de serviços. A análise do desempenho das filas de espera em termos de comprimento médio da fila de espera e tempo médio de espera, entre outros indicadores, ajuda as empresas a entender o sistema de serviço e a planear melhor as atividades operacionais e a utilizar de forma mais eficiente e eficaz os recursos humanos e os equipamentos, garantindo ao mesmo tempo uma maior qualidade de serviço (Heizer, Render & Munson, 2017).

### **2.1.2 O problema económico associado à gestão de filas de espera**

O problema económico associado à gestão de filas de espera surge com a sua formação e com a respetiva dimensão em que se forma, que, tal como anteriormente referido, resulta do facto do sistema não ter capacidade suficiente para atender toda a procura (Rossa Camelo et al., 2010). É necessário que exista um equilíbrio na escolha da capacidade de serviço do sistema, isto é, o sistema não pode ser subdimensionado de forma a não ser possível atender a procura, mas também não deve ser sobredimensionado, tornando-se economicamente inviável. Ora, o problema económico associado à gestão de filas de espera reside precisamente em aproximar a capacidade de serviço de um nível que garanta a minimização dos custos totais de funcionamento do sistema e uma boa relação custo-benefício (Rossa Camelo et al., 2010), tal como ilustrado na Figura 2.

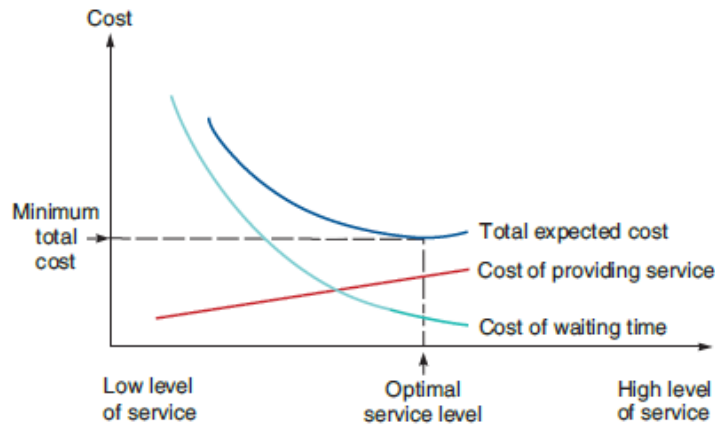


Figura 2: O problema económico associado à gestão de filas de espera (Heizer et al., 2017).

### 2.1.3 Características das filas de espera

A literatura é muito homogénea no que respeita às várias características que as filas de espera podem apresentar. Em geral, o sistema de uma fila de espera é descrito definindo a sua população, a sua natureza, o seu tempo de serviço, o seu mecanismo do comportamento na fila e a sua disciplina na fila (Jahn et al., 2010). Já para Krajewski et al. (2013), a análise do sistema de uma fila de espera começa com uma descrição dos elementos básicos que o compõem e esses elementos possam conduzir a filas de espera com características muito diferentes, podendo no entanto ser identificados quatro elementos comuns a todas as situações:

**Uma entrada, ou população de clientes, que gera potenciais clientes:** a população de clientes é a fonte de entrada para o sistema de serviço. Se o número potencial de novos clientes para o sistema de serviço for afetado consideravelmente pelo número de clientes já existentes o sistema, a fonte de entrada é considerada finita. Como alternativa, uma população infinita de clientes é aquela que o número de clientes no sistema não afeta a taxa na qual a população gera novos clientes.

**Uma fila de espera de clientes:** os clientes nas filas de espera podem ser pacientes ou impacientes, independentemente de poderem efetuar, ou não, uma reclamação. Um cliente paciente é aquele que entra no sistema e permanece até ser servido, enquanto um cliente impaciente é aquele que decide não entrar no sistema por este estar congestionado ou sai do sistema antes de ser atendido devido ao elevado tempo de espera.

**Uma estrutura de serviço**, composta por uma pessoa (ou tripulação) ou uma máquina (ou grupo de máquinas), ou por ambos, necessários para executar o serviço para o cliente, e definida pelo número de filas de espera e disposição dos servidores. As filas de espera podem ser projetadas para serem uma única linha ou várias filas (canal único ou canal múltiplo), com um serviço prestado num único momento ou em vários momentos sequenciais (fase única ou fase múltipla). A Figura 3 ilustra as quatro situações possíveis para o sistema de serviço. No sistema de canal único, todos os serviços exigidos por um cliente podem ser executados por um recurso de servidor único. Os clientes formam uma única fila e passam pelo servidor uma única vez. A organização de um canal e várias fases é usada quando o serviço exige competências, ferramentas ou profissionais diferentes e é melhor executado em sequência, por servidores diferentes, mas o volume de clientes ou restrições externas limitam a estrutura do sistema a um canal único. A estrutura de uma fase e de múltiplos canais é usado quando a procura é grande o suficiente para garantir o fornecimento do mesmo serviço em mais de um servidor ou quando os serviços oferecidos pelos servidores são diferentes. A estrutura de múltiplos canais e fases ocorre quando os clientes podem ser atendidos por qualquer um dos servidores da primeira fase, mas depois precisam de serviços de um servidor específico da segunda fase e eventualmente de outras fases. Em alguns casos, os clientes não podem mudar de canal após o início do serviço, noutros podem.

**Uma regra de prioridade**, que seleciona o próximo cliente a ser atendido pela instalação de serviço: a regra de prioridade da fila de espera determina qual o próximo cliente a servir. Tal como referido anteriormente, a maioria dos sistemas de serviço usa a regra do primeiro a chegar é o primeiro a ser servido (FCFS). Neste caso, o cliente que está na frente da fila de espera tem a maior prioridade e o cliente que está no fim da fila tem a menor prioridade. Outras regras de prioridade comuns são dar prioridade ao cliente com a data de “entrega” mais cedo ou ao cliente com menor tempo de atendimento previsto, a regra LIFO (Last In First Out), ou outras situações como a reserva prévia, emergências e clientes prioritários (Carvalho, 2015, pp. 13–15). Por vezes, também se observa uma disciplina preventiva, que é uma regra que permite que um cliente de maior prioridade interrompa o serviço de outro cliente.

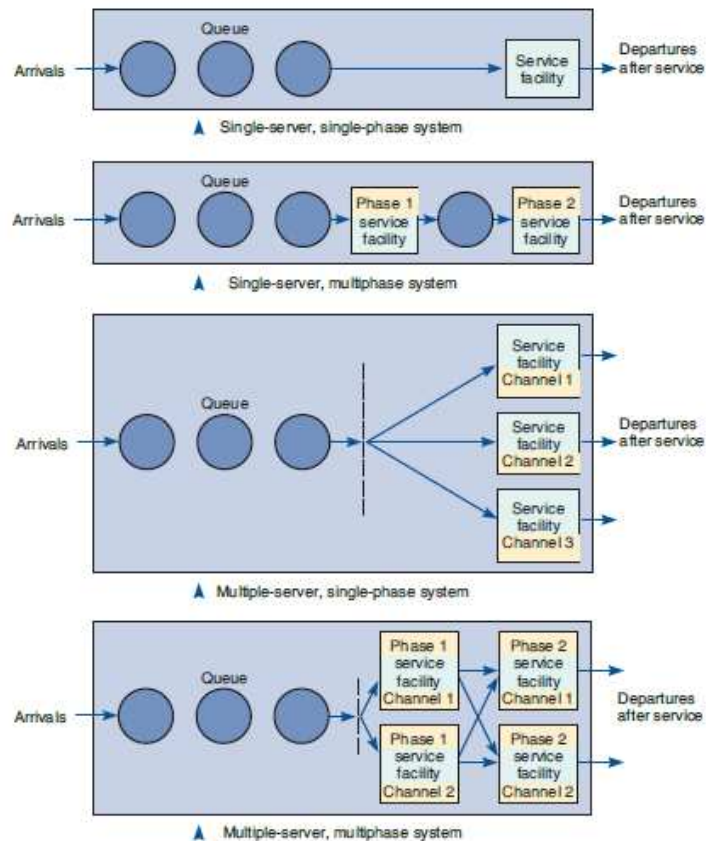


Figura 3: Os quatros sistemas (Heizer et al., 2017).

Os principais elementos de um sistema de uma fila de espera são assim a unidade que requer atendimento, que pode ser uma máquina ou uma pessoa, a própria fila, que representa os clientes que pretendem ser atendidos, e o canal de atendimento, que é o processo ou sistema segundo o qual se realiza o atendimento ao cliente (Rossa Camelo et al., 2010).

De forma mais detalhada, e com base em Heizer et al. (2017), Krajewski et al. (2013), Rossa Camelo et al. (2010) e Pinto (2010), as filas de espera podem distinguir-se com base nas seguintes características:

**Tamanho da população a servir:** representa o tamanho da fonte de origem de clientes para o sistema. Pode ser finito (quando existe um número limitado e identificável de potenciais clientes) ou infinito (quando não existe limite ou é demasiado grande e/ou difícil de medir);

**O ritmo de chegada de clientes ao sistema ( $\lambda$ ):** é medido pelo número de chegadas por uma dada unidade de tempo (habitualmente representado pelo parâmetro  $\lambda$  – taxa média de chegada) ou pelo tempo entre chegadas sucessivas (habitualmente representado pelo parâmetro  $IC = 1/\lambda$  – intervalo médio de tempo entre chegadas). O padrão das chegadas

pode ser constante ou aleatório. Quando é aleatório, a distribuição de Poisson pode ajustar-se bem ao número de chegadas por unidade de tempo e a distribuição exponencial ao tempo entre chegadas;

**A capacidade de serviço ( $\mu$ ):** é descrita pela taxa de serviço (habitualmente representada por  $\mu$  - número médio de clientes possíveis de atender num servidor por intervalo de tempo) ou pelo tempo de serviço ( $TA = 1/\mu$  - tempo médio necessário para atender cada cliente);

**Disciplina de fila:** refere-se à ordem com que os clientes são escolhidos para entrar em serviço após a formação da fila. A disciplina mais comum é a já referida First in, First out (FIFO), existindo no entanto muitas outras regras alternativas possíveis, tais como por exemplo a Last in First out (LIFO), o atendimento com prioridade para certas classes de clientes (PRI), com emergência de serviço, datas de entrega mais curtas ou tempos de atendimento mais curtos (ou mais longos), ou até mesmo a seleção aleatória independente da ordem de chegada (SIRO);

**Número de servidores ou canais de serviço:** refere-se ao número de servidores em paralelo que prestam serviços simultâneos aos clientes. Um sistema de fila de espera pode apresentar um servidor único ou múltiplos servidores, cada um operando de forma independente do outro;

**Capacidade de armazenamento do sistema:** é o número máximo de usuários, considerando tanto os que estão a ser atendidos como os que estão na fila de espera, que podem estar no estabelecimento de prestação de serviços ao mesmo tempo. Pode ser finito ou infinito;

**Fases de serviço:** um sistema de uma fila de espera pode ter apenas um único estágio de atendimento, ou vários, de acordo com o anteriormente referido, em que o cliente precisa de passar por vários estágios, de forma sequencial, até sair do sistema;

**Comportamento do cliente na fila de espera:** quando em espera, o cliente pode vários comportamentos possíveis. Pode desistir de esperar ao fim de determinado tempo de espera (ou logo à chegada se o comprimento da fila for demasiado grande) e abandonar o sistema sem ser servido, ou aguardar pacientemente pela sua vez até ser servido (podendo efetuar reclamações em ambas as situações).

### 2.1.4 Avaliação de desempenho das filas de espera

A maior parte das análises e avaliações de desempenho feitas nos sistemas de filas de espera inclui cálculos do fator de utilização (fração esperada do tempo em que os servidores estão ocupados), o comprimento esperado da fila de espera e o tempo médio de espera, incluindo as variações que existem no comprimento da fila e no tempo médio de espera. Para determinar a capacidade de serviço a implementar no sistema de fila de espera, os decisores comparam as alternativas disponíveis em termos de escolha da capacidade com base nessas (e noutras medidas) de desempenho do sistema, e analisam o *tradeoff* entre aumentar a capacidade, por exemplo utilizando mais servidores, e o comprimento esperado da fila. Geralmente, o custo da utilização dos servidores é conhecido, mas o custo com o tempo de espera dos clientes é mais difícil de obter, porque cada cliente tem o seu custo de espera relativo ao seu tempo de espera (Singhal, Singhal & Kumar, 2019). Na prática, normalmente baseia-se no tempo médio de espera dos clientes, por simplicidade, e não no tempo de espera de cada um, que é variável e que adicionaria complexidade.

Em termos de avaliação do desempenho do sistema de uma fila de espera, Lisboa & Gomes (2008) defendem que é através da análise do contexto em que se desenrola o problema das filas de espera que são obtidas as características operacionais do sistema. Cabe ao decisor estabelecer, inicialmente, as condições de desempenho que o sistema deve possuir, de modo a poder atuar sobre os elementos que influenciam esse desempenho.

Com base nos mesmos autores, e em Heizer et al. (2017), os indicadores de desempenho mais comuns nos problemas de filas de espera incluem os seguintes:

A probabilidade de existir um determinado número de clientes no sistema;

- O tempo médio de espera do cliente na fila de espera;
- O número médio de clientes na fila de espera (comprimento médio da fila de espera);
- O tempo médio que um cliente passa no sistema;
- O número médio de clientes no sistema;
- A probabilidade de o sistema ficar inativo, isto é, sem clientes;
- A probabilidade de o sistema estar ocupado;
- Taxa de utilização da capacidade instalada;
- A probabilidade de o cliente ter de esperar mais do que  $x$  unidades de tempo até começar a ser atendido;

- A probabilidade de o cliente estar no sistema mais do que  $x$  unidades de tempo.

Krajewski et al. (2013) adicionam que, na avaliação do desempenho das filas de espera, os gestores devem considerar o custo de não fazer melhorias no sistema, pois longas filas de espera ou longos tempos de espera podem levar os clientes a recusar ou renegar o serviço futuramente. Os autores fornecem também breves discussões sobre a interpretação de alguns dos indicadores de desempenho mais comuns na gestão de filas de espera, a seguir apresentadas:

**Comprimento da fila:** filas curtas podem significar bom atendimento ao cliente ou muita capacidade; longas filas podem resultar em insatisfação do cliente e podem indicar baixa eficiência do servidor ou a necessidade de aumentar a capacidade;

**Tempo de espera na fila:** as longas filas nem sempre significam longos tempos de espera, pois, se a taxa de serviço for rápida, uma longa fila poderá ser atendida com eficiência. Quando o tempo de espera lhes parece longo, os clientes percebem que a qualidade do serviço é reduzida. Neste caso, os gestores podem, para além de aumentar o número de servidores ou a eficiência dos servidores atuais, tentar controlar a taxa de chegada de clientes, alterar a regra de prioridade, ou projetar um sistema para fazer com que os longos tempos de espera pareçam mais curtos do que realmente são.

**Taxa de utilização da capacidade instalada:** reflete a percentagem de tempo em que os servidores estão ocupados. O objetivo de a administração dever ser o de manter uma taxa elevada de utilização sem afetar as outras características operacionais.

Ainda de acordo com os mesmos autores, a administração de uma empresa pode melhorar o desempenho do sistema de serviço intervindo numa ou mais das seguintes áreas:

**Taxas de chegada:** a administração pode afetar a taxa de chegada de clientes, por meio de publicidade, promoções especiais ou preços diferenciais;

**Número de servidores:** aumentando o número de servidores, ou direcionando clientes de filas diferentes para um único servidor, a gestão pode aumentar a capacidade do sistema;

**Número de fases:** os gestores podem decidir alocar tarefas de serviço para fases sequenciais se concluírem que dois serviços sequenciais são mais eficientes do que um único;

**Eficiência do servidor:** ajustando a proporção de trabalho, criando métodos de trabalho aprimorados, ou instituindo programas de incentivo, pode tornar possível aumentar a eficiência dos servidores;

**Regra de prioridade:** os gestores podem redefinir a regra de prioridade usada e decidir se há uma regra de prioridade diferente para cada servidor e decidem;

**Organização da fila:** os gestores podem influenciar o tempo de espera do cliente e a utilização do servidor decidindo se, em cada fase do serviço, existe uma única fila para todos os servidores ou uma fila independente para cada servidor.

Por último, os autores referem que estes fatores estão inter-relacionados. Por exemplo, um ajuste na taxa de chegada de clientes deve ser acompanhado por um aumento da taxa de serviço. Da mesma forma, as decisões sobre o número de servidores, número de fases e organização da fila de espera também estão relacionadas.

### 2.1.5 Modelos de gestão de filas de espera

Existe uma grande variedade de situações possíveis para os sistemas das filas de espera na realidade, dependendo da combinação das várias características das respetivas filas de espera, originando uma multiplicidade de modelos matemáticos para a sua gestão. Nesta secção, apresentam-se alguns desses modelos, destacando-se os de maior relação com o estudo de caso abordado no presente projeto.

De forma a apresentar os vários modelos, considere-se a notação matemática de Lisboa & Gomes (2008):

$\lambda$  = número médio de chegadas de clientes por unidade de tempo;

$\mu$  = número médio de clientes possíveis de atender por cada servidor por unidade de tempo;

$L_s$  = valor esperado do número de clientes no sistema;

$L_q$  = valor esperado do número de clientes na fila de espera;

$W_s$  = valor esperado de tempo que um cliente passa no sistema;

$W_q$  = valor esperado de tempo que um cliente espera até começar a ser atendido;

$\rho = \lambda / \mu$  = taxa de utilização do sistema;

$P_n$  = probabilidade de estarem  $n$  clientes no sistema.

As seguintes relações entre as variáveis estão implícitas:  $L_s = \lambda W_s$ ,  $L_q = \lambda W_q$  e  $W_q = W_s - 1/\mu$ .

### **2.1.5.1 Modelo de servidor único com capacidade de armazenamento do sistema limitada a apenas um cliente**

Um cliente, originário de uma população com um número infinito de elementos, ao procurar um determinado serviço com esta configuração, toma uma das seguintes decisões: ou o sistema se encontra vazio e o cliente é imediatamente atendido, ou o servidor não se encontra vazio e o cliente tem de abandonar o sistema, pois não existem lugares para espera.

Neste caso, o sistema diz-se estar em equilíbrio quando se verifica a condição  $\lambda P_0 = \mu P_1$ , em que  $P_0$  e  $P_1$  traduzem a probabilidade de o sistema estar vazio (não ter clientes) e cheio (conter um cliente), respetivamente. Como  $\lambda$  e  $\mu$  são conhecidos e o sistema pode assumir apenas dois estados, vazio ou cheio, com probabilidades  $P_0$  e  $P_1$  respetivamente, então o equilíbrio do sistema é atingido resolvendo as equações  $\lambda P_0 = \mu P_1$  e  $P_0 + P_1 = 1$ .

### **2.1.5.2 Modelo de servidor único e com capacidade de armazenamento do sistema ilimitada**

Neste modelo, que é o modelo mais vezes referido na literatura e que funciona como ponto de partida para situações de maior complexidade, assume-se que existe um servidor único e um número infinito de lugares na fila de espera, sendo os clientes provenientes de uma população infinita. O processo de chegada dos clientes ao sistema segue a lei de Poisson com média  $\lambda$  e o tempo de atendimento segue uma distribuição exponencial negativa com média  $1/\mu$ .

- Para além disso, este modelo assume ainda os seguintes pressupostos adicionais:
- As chegadas são atendidas com base no princípio de primeiro a entrar, primeiro a sair (FIFO) e todas as chegadas aguardam até serem atendidas (clientes pacientes), independentemente do comprimento da fila;

- As novas chegadas são independentes das chegadas anteriores, mas o número médio de chegadas não muda ao longo do tempo;
- Os tempos de serviço variam de um cliente para o outro (tempo de atendimento aleatório) e são independentes um do outro, sendo a sua taxa média conhecida;
- A taxa de serviço é mais rápida que a taxa de chegada ( $\mu > \lambda$ ).

O sistema pode conter desde 1 até  $n$  clientes, verificando-se a passagem do estado  $n-1$  para o estado  $n$  ao ritmo dado pela média de chegada dos clientes ao sistema ( $\lambda$ ), e a passagem do estado  $n$  para o estado  $n-1$  de acordo com a média de clientes atendidos ( $\mu$ ).

O sistema está em equilíbrio quando se verificam simultaneamente as condições:  $\lambda P_0 = \mu P_1$ ;  $\lambda P_1 = \mu P_2$ ;  $\lambda P_2 = \mu P_3$ ; ..., e assim sucessivamente, até ao infinito.

Nestes dois primeiros modelos, pode mostrar-se que os indicadores de desempenho  $L_s$ ,  $L_q$ ,  $W_s$  e  $W_q$  são dados pelas fórmulas apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1: Indicadores de desempenho para os modelos base**

Indicador de desempenho	Capacidade de armazenamento de 1 cliente	Capacidade de armazenamento ilimitada
$L_s$	$\frac{\lambda}{\lambda + \mu}$	$\frac{\lambda}{\mu - \lambda}$
$L_q$	0	$\frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$
$W_s$	$\frac{1}{\mu}$	$\frac{1}{\mu - \lambda}$
$W_q$	$W_s - \frac{1}{\mu}$	$\frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$
$P_0$		$1 - \frac{\lambda}{\mu}$
$P_n$		$\left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n$

### **2.1.5.3 Modelo de servidores múltiplos**

Este modelo assume os mesmos pressupostos do modelo anterior, mas introduz a possibilidade de existirem dois ou mais servidores disponíveis em paralelo para lidar com os clientes que chegam. Assume-se ainda que os clientes aguardam o serviço formando uma única fila, seguindo depois para o primeiro servidor disponível, e que todos os servidores têm o mesmo desempenho. De modo a não sobrecarregar em termos de notação matemática, os indicadores de desempenho deste modelo apresentam-se na Tabela 2 (coluna 3), no fundo da presente secção, depois da apresentação de todos os modelos. Embora não permita a correta modelização de todos os detalhes do funcionamento da farmácia objeto do presente projeto, é o modelo matemático que mais se aproxima.

### **2.1.5.4 Modelo de tempo de serviço constante**

O modelo de tempo de serviço constante também exatamente os mesmos pressupostos do modelo da secção 2.1.5.2, mas assumindo que os servidores têm tempos de serviço constantes, em vez de aleatórios e distribuídos exponencialmente. Este modelo aplica-se normalmente bem aos casos em que o serviço processado aos clientes ou equipamentos é estandardizado e processado por um servidor automático, como por exemplo no caso de uma estação de lavagem automática de automóveis com tempo de lavagem fixo. Como a taxa de serviço é determinística, não estando sujeita a incerteza, os valores de  $L_q$ ,  $W_q$ ,  $L_s$  e  $W_s$  são sempre menores do que seriam no modelo da secção 2.1.5.2. Esta comparação é visível na Tabela 2 ao fundo da presente secção, onde se exibem as fórmulas para os valores dos indicadores de desempenho comuns no âmbito deste modelo, na coluna 4.

### **2.1.5.5 Modelo de população limitada**

Quando há uma população de clientes limitada e reduzida para aceder ao serviço, devemos também considerar um modelo de diferente de gestão para a respetiva fila de espera. Exemplos podem ser as reparações de máquinas de produção numa fábrica que possui 5 máquinas, os serviços de manutenção para uma frota de 10 aviões, ou os serviços de uma enfermaria de um hospital com 20 camas. Este modelo difere significativamente dos anteriores, essencialmente porque agora existe interdependência entre o comprimento da fila

de espera e a taxa de chegada. Naturalmente, quanto maior a fila de espera, menos provável é a chegada de um novo cliente ao sistema. O modelo de população limitada permite que qualquer número de servidores seja considerado, mas exige a introdução de alguma notação adicional.

Seja  $N$  o tamanho da população, ou seja, o número máximo de potenciais clientes, e considerem-se novamente todos os restantes pressupostos do modelo da secção 2.1.5.2. Se  $N$  for maior do que 30, o modelo da secção 2.1.5.2, com a suposição de uma população infinita de clientes, considera-se adequado. Caso contrário, então é adequado o uso deste novo modelo de população finita. Para além disso, considere-se (Krajewski et al., 2013):

$P_{n>k}$  = probabilidade de estarem mais do que  $k$  unidades no sistema;

$S$  = número de servidores.

Mais uma vez, as fórmulas que se obtêm no contexto deste modelo para os indicadores de desempenho comuns estão exibidas na Tabela 2 (coluna 4) abaixo.

Tabela 2: Indicadores de desempenho para os modelos mais complexos

Indicadores de desempenho	Modelo de múltiplos servidores	Modelo de tempo serviço constante	Modelo de população limitada
$L_s$	$\lambda W_s$	$Lq + \frac{\lambda}{\mu}$	$N - \frac{\mu}{\lambda}(1 - P_0)$
$L_q$	$\frac{P_0 \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^S \left(\frac{\lambda}{S\mu}\right)}{S! \left(1 - \frac{\lambda}{S\mu}\right)^2}$	$\frac{\lambda^2}{2\mu(\mu - \lambda)}$	$N - \frac{\lambda + \mu}{\lambda}(1 - P_0)$
$W_s$	$W_q + \frac{1}{\mu}$	$Wq + \frac{1}{\mu}$	$\frac{L_s}{\lambda(N - L_s)}$
$W_q$	$\frac{L_q}{\lambda}$	$\frac{\lambda}{2\mu(\mu - \lambda)}$	$\frac{L_q}{\lambda(N - L_s)}$
$P_0$	$\frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{S-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n\right] + \frac{1}{S!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^S \frac{S\mu}{S\mu - \lambda}}$	$1 - \frac{\lambda}{\mu}$	$\frac{1}{\sum_{n=0}^N \frac{N!}{(N-n)!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}$
$P_n$	$\frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{n!} P_0, 0 < n < S;$ $\frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{S! S^{n-S}} P_0, n \geq S$	$\left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n$	

## 2.2 Simulação

Nesta secção, será feita uma apresentação da definição do conceito da simulação. Nas seguintes subsecções, serão apresentadas as fases da construção de um modelo de simulação, as potencialidades e limitações dos estudos de simulação e o método de simulação de Monte Carlo.

### 2.2.1 Conceito

A simulação é uma ferramenta que estuda variáveis de um sistema real sem necessidade de o alterar fisicamente. Permite testar novas variáveis ou alterar as regras de funcionamento de um determinado sistema, e avaliar as respetivas consequências, sem necessidade de implementação física. A simulação é, pois, um método iterativo com base de um programa computacional, que chega a uma decisão de um problema através de interações de tentativa e erro (Jorge, 2017). Noutra definição, a simulação é vista como “uma técnica da pesquisa operacional que permite imitar o funcionamento de um sistema real. Simular significa reproduzir o funcionamento de um sistema, com auxílio de um modelo” (Rossa Camelo et al., 2010). Estes últimos autores defendem ainda que a simulação é um instrumento poderoso de análise que pretende determinar o melhor sistema a ser implementado ou melhorado, permitindo quantificar os efeitos de várias mudanças no sistema, sendo usado em situações em que é muito dispendiosa ou difícil a experimentação numa situação real.

Para Heizer et al. (2017), a simulação é a tentativa de replicar os recursos, a aparência e as características de um sistema real. O modelo de simulação é normalmente usado para estimar os efeitos de várias ações possíveis e existem três aspetos fundamentais que definem um estudo de simulação:

- Consiste na imitação lógico-matemática de uma situação do mundo real;
- O objetivo é estudar as propriedades do sistema real com base nas características operacionais do sistema simulado;
- É útil para apoio à decisão, permitindo a avaliação do valor das várias alternativas de decisão disponíveis.

Os autores, tal como os anteriores, defendem que a grande vantagem da simulação é o facto de o sistema real não precisar de ser alterado ou manipulado até que as vantagens e desvantagens de uma decisão importante de gestão sejam medidas primeiro no modelo.

Segundo Carson (2005), a simulação é mais útil quando:

- Não existe um modelo analítico simples que seja suficientemente preciso para analisar a situação;
- O sistema real é regularizado, isto é, não é caótico nem está fora de controlo. Os componentes do sistema podem ser definidos e caracterizados pela interação definida;
- O sistema real possui algum nível de complexidade, interação ou interdependência entre vários componentes que dificulta a compreensão na sua totalidade. É difícil ou impossível prever o efeito das alterações propostas;
- Se está a projetar um novo sistema, a considerar alterações no *layout* físico ou nas regras operacionais de um sistema existente, ou a confrontar uma nova e diferente procura;
- Se está a considerar um grande investimento na criação de um novo sistema ou na modificação de um já existente sobre a qual existe pouco conhecimento;
- É necessária uma ferramenta na qual todas as pessoas envolvidas concordam com o modelo usado e o seu efeito nos resultados. O processo de simulação e o modelo de simulação podem ser usados para levar todos os membros de uma equipa a um entendimento comum.

Por fim, Lisboa & Gomes (2008) referem que a simulação é uma "ferramenta" que permite imitar os processos reais em tempo reduzido e que, apesar de simplista, encerra três características muito importantes: (i) tempo, (ii) custo e (iii) cuidado a ter com a sua utilização. Se por um lado a definição refere explicitamente que a sua utilização é feita em "tempo reduzido", também salienta que "imita os processos reais". Deve, por isso, ter-se cuidado com a sua utilização, uma vez que, na maioria das vezes, o modelo simulado não substitui totalmente o real ou original. É também possível depreender da sua definição que um dos fatores importantes para o sucesso da simulação é a escolha da "ferramenta", isto é, do *software* a utilizar, uma vez que proliferam no mercado inúmeros produtos direcionados para este objetivo, uns mais completos, outros mais rudimentares e, dentro de cada um destes dois grupos, alguns mais generalistas e outros mais especializados.

No exercício de apresentar uma definição mais estruturada do que é a simulação, Lisboa & Gomes (2008) afirmam que é a representação do comportamento dinâmico dum sistema,

tendo a possibilidade de o visualizar ao longo do tempo. De forma alternativa, pode também dizer-se que é um processo de movimento temporal de um sistema, baseado num relógio simulado. Independentemente da definição adotada, existe um conceito comum a todas: o modelo de simulação. Para os mesmos autores, os modelos podem ser classificados segundo diversos atributos. Podem ser estocásticos ou determinísticos, dependendo da utilização ou não de variáveis aleatórias. Poderão ser de natureza discreta ou de natureza contínua, respetivamente quando as suas variáveis de estado se alteram discretamente ou continuamente. A vantagem da simulação, segundo os autores, não se restringe apenas a ser uma alternativa aos modelos analíticos/matemáticos, residindo antes, e sobretudo, no facto de permitir ao analista a validação dos resultados que obtém nas mais variadas condições, e que seriam impossíveis de implementar fisicamente e observar o respetivo desempenho real em tempo útil. É uma abordagem menos dispendiosa do que a experimentação real e, fundamentalmente, de menor risco. Os autores defendem ainda que, apesar do elevado potencial, o risco associado a uma má utilização é também elevado. Para que este importante instrumento de diagnóstico e de teste seja fiável e seja utilizado de forma eficaz, é necessário enquadrá-lo num processo que se inicia na formulação do problema e termina na validação do modelo.

### **2.2.2 Fases da construção de um modelo de simulação**

Um modelo de simulação é a representação lógico-matemática do sistema real que incorpora o tempo e as mudanças que ocorrem ao longo do mesmo. Os modelos de simulação podem ser discretos, cujo estado muda apenas em momentos discretos, ou contínuos, em que os eventos ocorrem continuamente ao longo do tempo. Um modelo de simulação incorpora a lógica, matemática e os aspetos estruturais do sistema ou processo, como por exemplo a regra de prioridade no caso de uma fila de espera. Um evento é uma ocorrência instantânea que muda o estado do modelo e desencadeia novas atividades e processos (Carson, 2005).

O mesmo autor afirma que a maior parte dos modelos de eventos discretos são estocásticos, ou seja, contêm alguns componentes que são modelados através de distribuições estatísticas. Isto leva a que, na prática, os modelos de simulação se transformem em experiências estatísticas ou de amostragem.

Na construção de um modelo de simulação para apoio à decisão e tomada de ação, e de forma resumida, baseada em Jorge (2017), um gestor de operações atravessa um processo constituído pelas seguintes fases:

1. Definir o problema;
2. Identificar e definir as variáveis importantes associadas ao problema;
3. Construir um modelo numérico, especificando as relações lógico-matemáticas entre as variáveis;
4. Configurar possíveis cursos de ação para avaliação;
5. Executar a simulação;
6. Validar e avaliar os resultados;
7. Decidir qual o curso de ação a tomar.

A 1ª fase, definição do problema, envolve especificar os objetivos de estudo, enquanto na 2ª fase se identificam as variáveis relevantes, quer controláveis quer incontrolláveis (aleatórias), para a mensuração dos objetivos definidos na 1ª fase. A 3ª fase consiste na elaboração do modelo de simulação, que implica especificar as relações lógico-matemáticas entre as variáveis e parâmetros, as regras de decisão, as distribuições de probabilidades para as variáveis aleatórias, o procedimento de incremento do tempo, a dimensão da simulação e os valores iniciais das variáveis e parâmetros. Na 4ª fase, configura-se o modelo de modo a permitir a avaliação das várias alternativas de ação que se pretendem avaliar, e, na 5ª fase, executa-se a simulação, ou seja, corre-se o modelo de simulação no número de iterações suficiente para garantir robustez aos resultados. Na 6ª fase, validam-se os resultados, através da realização de testes estatísticos. Os outputs devem ser avaliados, quer através das suas estatísticas descritivas no conjunto das simulações realizadas, quer através de inferência, ajudando a avaliar detalhadamente cada alternativa de decisão. Para além disso, se for possível, os resultados devem ser comparados com outra informação disponível e devem ser realizadas experiências adicionais para análise de robustez/sensibilidade dos resultados, através de alterações de dados, fatores, parâmetros, variáveis, etc., e da verificação do seu impacto no sistema. Finalmente, na 7ª e última fase, depois de efetuadas todas as experiências e testes de validação, avaliação e análise de sensibilidade dos resultados, seleciona-se a melhor alternativa de decisão.

Lisboa & Gomes (2008) referem que os resultados da simulação de um sistema real podem variar entre um resultado de elevado valor acrescentado e um resultado de elevado custo acrescentado para a organização que opte pela utilização desta “ferramenta” na melhoria dos seus processos produtivos. É por isso indispensável que se minimize o risco de obtenção do pior resultado, através de um processo consciente de desenvolvimento do modelo de simulação. De forma ligeiramente diferente do autor anterior, estes autores referem que um estudo de simulação deve guiar-se pelo processo exibido na Figura 4.

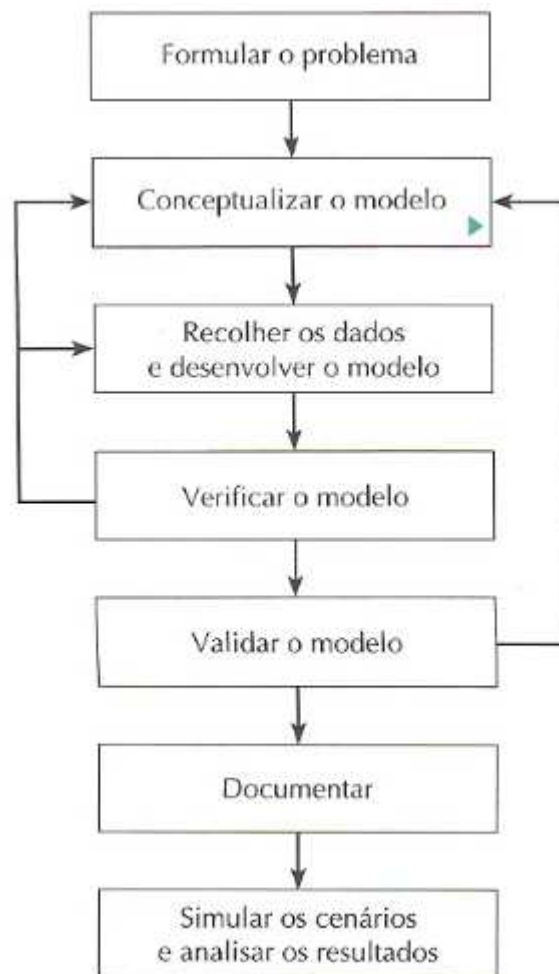


Figura 4: Fases do processo de um estudo de simulação (Lisboa & Gomes, 2008).

A 1ª fase consiste na formulação do problema que se pretende resolver. Deverá incluir a definição dos objetivos e metas a atingir com a utilização do modelo, assim como a listagem dos principais cenários que irão ser avaliados e quais os indicadores de performance a utilizar para os distinguir. Não deverá ser esquecido que uma das principais vantagens da simulação

é a obtenção de um maior conhecimento do comportamento do sistema, pelo que a definição do problema deverá ser cuidadosa e concisa.

Na 2ª fase, concetualiza-se o modelo, definindo-se os elementos do sistema e os seus atributos, assim como a forma como interatuam. É também nesta fase que se deverão ter os primeiros cuidados para diminuir os riscos de erro, nomeadamente evitar detalhes desnecessários que apenas aumentarão a complexidade e a dificuldade de análise dos cenários. Não deveremos também esquecer que este é um processo interativo e que uma das vantagens da simulação é a facilidade de alteração do modelo.

A 3ª fase inclui o desenvolvimento do modelo e a recolha de dados e é uma das fases mais difíceis do processo de simulação. O maior grau de dificuldade está muitas vezes associado à recolha de dados, uma vez que dificilmente todos os dados necessários estão disponíveis. É também nesta fase que se sofrem as primeiras reações negativas, dada a necessidade de interação com o processo produtivo, o que pode causar alguma perturbação, proporcional à quantidade de informação indisponível. É necessário identificar quais os parâmetros determinísticos e quais os estocásticos. Relativamente a estes últimos, é necessário determinar quais as distribuições de probabilidade que melhor os representam.

A 4ª fase é a verificação do modelo. Terão de ser verificados os dados de *input*, as relações funcionais e o próprio funcionamento do modelo, através de testes de sensibilidade.

A 5ª fase consiste na validação do modelo relativamente ao comportamento do sistema. Trata-se de comparar estatisticamente os resultados do modelo com o comportamento histórico do sistema e concluir se este poderá ser utilizado como uma representação do processo produtivo que se pretende simular. É nesta fase que se verifica a forma como o modelo foi concetualizado e se afere a necessidade de possíveis alterações.

A 6ª fase é a etapa em que o processo de desenvolvimento do modelo deve ficar documentado. Só assim se obtém a totalidade das vantagens da utilização da simulação, nomeadamente a facilidade de alteração dos parâmetros do modelo. A não documentação do processo de desenvolvimento do modelo pode levar a que, em futuras utilizações, seja necessário efetuar novamente todo o processo anteriormente descrito.

Finalmente, na 7ª fase, o modelo é utilizado tendo em vista os objetivos para o qual foi construído e avaliam-se os cenários alternativos que foram incluídos na formulação do problema e os que resultaram da análise do processo produtivo. Um dos aspetos mais importantes que contribuem para o sucesso na utilização da simulação é a capacidade do modelador para efetuar um exercício, difícil, que consiste em conhecer profundamente o sistema que vai ser alvo de simulação e, simultaneamente, ao modelizá-lo, abstrair-se das suas unidades orgânicas.

Ainda relativamente ao processo de condução de um estudo de simulação, Carson (2005) afirma que as simulações são quase sempre conduzidas por uma equipa e não por um indivíduo isolado, envolvendo:

- Os executivos e gestores do cliente que "possuem" o problema e que são os responsáveis pela tomada de decisão;
- Os engenheiros, a equipa, os gestores de fábrica, da linha do cliente e outras pessoas envolvidas no problema, que conhecem partes importantes das operações diárias e viverão com as soluções implementadas;
- Os *designers* de sistemas internos ou externos, que projetam um novo sistema ou alterações no sistema existente;
- O analista de simulação.

### **2.2.3 Potencialidades e limitações dos estudos de simulação**

A principal potencialidade dos estudos de simulação já foi referida anteriormente, que é o facto de não exigir a implementação no sistema real das ações alternativas que se pretendem avaliar no processo de tomada de decisão. Isto significa, por exemplo, que a simulação permite a identificação de problemas em projetos antes da construção ou modificação de um sistema, ou que permite a comparação de projetos e regras de operação alternativos antes de comprometer recursos e investimentos num projeto (Carson, 2005). Ainda segundo o mesmo autor, a simulação permite estudar a dinâmica de um sistema, como ele muda ao longo do tempo, e como os subsistemas e componentes interagem uns com os outros. No entanto, o autor também refere, como limitações dos estudos de simulação, que muitas vezes as simulações são demoradas, os dados não estão disponíveis ou são dispendiosos para obter, e

o tempo disponível antes das decisões terem de ser tomadas pode não ser suficiente para conseguir construir um modelo confiável.

Heizer et al. (2017) também elencam as principais potencialidades e limitações do uso da simulação, mas de uma forma já focada na gestão de operações. Como principais potencialidades, referem que:

- A simulação é relativamente direta e flexível;
- Pode ser usada para analisar situações de grande complexidade do mundo real que não podem ser resolvidas pelos métodos convencionais de gestão de operações;
- Podem ser incluídas aplicações do mundo real que a maioria dos modelos de gestão de operações não permite;
- A “compactação de tempo” é possível. Os efeitos das políticas de gestão de operações ao longo de muitos meses ou anos podem ser obtidos por simulação no computador em pouco tempo;
- A simulação permite responder ao tipo de pergunta “E se?”. Os gestores gostam de saber com antecedência quais as opções que serão mais atraentes. Com um modelo computadorizado um gestor pode experimentar várias estratégias alternativas em questão de minutos;
- As simulações não interferem nos sistemas do mundo real. Pode ser muito perturbador, por exemplo, experimentar fisicamente novas estratégias operacionais ou ideias num hospital ou numa fábrica;
- A simulação pode estudar os efeitos interativos de componentes ou variáveis individuais para determinar quais são as mais importantes.

Como principais limitações ao uso de estudos de simulação na gestão de operações, os autores indicam que:

- Bons modelos de simulação podem ser muito caros e podem levar muitos meses a serem desenvolvidos;
- É uma abordagem de tentativa e erro que pode produzir soluções diferentes em execuções repetidas. Não gera soluções ideais para problemas;

### 2.2.4 O método de simulação de Monte Carlo e a aplicação da simulação à gestão de filas de espera

Heizer et al. (2017) afirmam que, sempre que um sistema contém variáveis aleatórias, o método de Monte Carlo pode ser aplicado para gerar amostragens aleatórias para cada uma dessas variáveis. A técnica de amostragem de Monte Carlo para gerar um valor aleatório para uma variável pode dividir-se em cinco passos:

1. Configura-se uma distribuição de probabilidade para a variável aleatória;
2. Constrói-se a distribuição cumulativa de probabilidade para a variável;
3. Estabelece-se um intervalo de números aleatórios para cada valor da variável;
4. Gera-se um número aleatório com base na distribuição uniforme entre 0 e 100;
5. O valor simulado para a variável é o que estiver associado ao intervalo de números aleatórios definido no passo 3 que contém o número gerado no passo 4.

A Figura 5 apresenta um exemplo dos três primeiros passos deste processo, para um caso de geração de valores aleatórios para a procura diária de um produto.

DAILY DEMAND	PROBABILITY	CUMULATIVE PROBABILITY	INTERVAL OF RANDOM NUMBERS
0	.05	.05	01 through 05
1	.10	.15	06 through 15
2	.20	.35	16 through 35
3	.30	.65	36 through 65
4	.20	.85	66 through 85
5	.15	1.00	86 through 00

Figura 5: Atribuição de intervalos de números aleatórios (Heizer et al., 2017).

Depois disto, os passos 4 e 5 são aplicados repetidamente de modo a gerar a quantidade necessária de valores aleatórios para a variável, atendendo aos objetivos e opções do estudo de simulação.

Os estudos de simulação, incluindo a técnica de amostragem de Monte Carlo, têm sido utilizados com bastante intensidade no apoio à gestão de filas de espera. Na verdade, sendo o sistema de uma fila de espera, caracterizado, em geral, por vários *inputs* estocásticos (padrão aleatório de chegadas dos clientes, duração aleatória dos atendimentos, grau de

urgência de atendimento dos clientes aleatório, grau de paciência dos clientes aleatório, etc.), que levam a que os *outputs* (indicadores de desempenho) apenas possam ser conhecidos também estocasticamente, isso faz com que os estudos de simulação permitam obter um nível de informação sobre o desempenho do sistema bastante superior ao dos modelos matemáticos, essencialmente porque produzem informação sobre toda a distribuição de probabilidade dos *outputs* de interesse (nomeadamente através da construção de histogramas) e não apenas sobre alguns atributos pontuais dessas distribuições (como a média ou o desvio-padrão, por exemplo).

A gestão de filas de espera constitui, pois, uma das áreas da logística e da gestão de operações onde é mais útil e conveniente a utilização de estudos de simulação.

Os exemplos de aplicação da simulação na gestão de filas de espera vêm de um leque muito vasto de sectores de atividade. Dentro dos que mais se relacionam com o presente projeto, Shechter et al. (2005), Caro (2005) e Vissers, Van Der Bij & Kusters (2001) analisam a utilização da simulação para apoio à gestão de filas de espera no sector da saúde (filas de espera para cirurgias, transplantes, consultas especializadas, urgências, etc.), enquanto em Krajewski et al. (2013), Heizer et al. (2017) e Jorge (2017) se podem encontrar inúmeros exemplos de aplicação dentro da indústria transformadora (planeamento da produção, balanceamento e *layout* de linhas de montagem, gestão de inventários, entre outros, em que a formação de filas de espera tem normalmente a sua origem na acumulação de unidades encomendadas pelos clientes ainda por fabricar) e dos serviços (serviços públicos, postos de combustível, estações de lavagem automóvel, restaurantes *drive-in*, vendedores ambulantes, etc, em que se acumulam clientes à espera de poder usufruir do respetivo serviço).

## 3. METODOLOGIA

Neste capítulo, é apresentada e descrita a metodologia a utilizar no presente projeto, que, no seguimento do capítulo anterior, e tal como referido de forma mais detalhada na introdução, consiste na realização de estudo de simulação de Monte Carlo para apoio à decisão da farmácia relativamente à capacidade de serviço a implementar nas respetivas instalações e à gestão do seu sistema de fila de espera. É indicada a forma de recolha de dados e de ajustamento de distribuições de probabilidade às variáveis aleatórias do problema, e são explicados o modelo de simulação construído, os indicadores de desempenho considerados e as estratégias alternativas de capacidade a avaliar.

A recolha de dados foi feita por observação direta do funcionamento real do sistema de fila de espera, nas instalações da farmácia, através de um plano previamente definido com base em entrevista realizada com a administração da farmácia. Os períodos de observação foram separados por períodos indicados pela administração como picos de procura dentro de cada mês (do dia 8 ao dia 15) e períodos de procura normal (restantes dias do mês) e, dentro do ciclo semanal, por dias de procura elevada (2ª feira) ou normal (restantes dias da semana), ainda que, posteriormente, neste último caso, os dados recolhidos não tenham evidenciado diferenças significativas entre a 2ª feira e os restantes dias da semana, sendo, por isso, excluída do projeto a respetiva distinção.

Os dados recolhidos foram introduzidos no Excel, onde se formou uma base de dados, que foi posteriormente exportada e trabalhada no software @Risk. Como processo de amostragem/geração de dados aleatórios, utilizou-se o método de Monte Carlo.

### 3.1. Processo de recolha de dados

O sistema implementado na farmácia para o atendimento ao cliente é o seguinte: ao chegar, o cliente chega tira uma senha com um número de ordem; depois, espera na sala até ser chamado por um funcionário para efetuar o atendimento; depois do atendimento, o cliente sai do sistema. A farmácia é constituída por 8 balcões de atendimento, sendo que o sétimo e, sobretudo, o oitavo, apenas são utilizados pontualmente nos períodos de pico do ciclo mensal, ou seja, na semana de 8 a 15 de cada mês.

O processo de recolha de dados foi efetuado em três períodos distintos, entre o dia 9 de novembro e o dia 5 de dezembro de 2019. O primeiro período foi agendado para a semana de pico de procura do ciclo mensal (entre 8 e 15 de novembro). O motivo para este pico de procura está relacionado com os pagamentos das reformas e pensões por parte do Estado, que ocorre normalmente ao dia 8 de cada mês, e que leva os reformados e pensionistas a aumentar a frequência e volume de compras de medicamentos. O segundo período de recolha de dados foi programado para observar o comportamento do sistema de fila de espera nas restantes semanas do mês. Este período ficou designado como “Resto do mês”, em que o afluxo de clientes é menor do que na semana de pico, e representa o padrão de procura normal dos clientes pela farmácia tendo em conta a sua localização, desempenho no atendimento e reputação. Por fim, o terceiro período programou-se para dois dias em que a farmácia trabalhou 24 horas para dar apoio ao hospital, de modo a permitir medir o padrão de procura na “Hora adicional”, entre as 19:30 e as 20:30, e a medir a viabilidade económica do alargamento do horário diário normal de funcionamento da farmácia, que atualmente finaliza às 19:30, em uma hora. Estes horários noturnos extraordinários, nos dias de 24h de abertura da farmácia, são de procura mais reduzida e impostos pelo município em alternância com as outras farmácias da cidade, de modo a existir sempre uma que dê apoio ao hospital (cada uma das farmácias opera em regime noturno de 4 em 4 dias). O horário de observação limitou-se, no entanto, e logicamente, ao período das 19:30 às 20:30, que é o horário que interessa à administração da farmácia estudar em termos de viabilidade económica, isto é, avaliar se vale ou não a pena passar a incluir dentro do expediente normal diário.

Concretizando com maior pormenor os períodos de observação do funcionamento do sistema, foram definidos horários de 1, 2 ou 3 horas de observação em cada um dos dias agendados, repartidos de forma equitativa ao longo das diferentes horas do dia, de modo a garantir a aleatoriedade e representatividade da amostra. Do mesmo modo, os dias agendados dentro de cada período de observação foram repartidos equitativamente pelos vários dias da semana. Em detalhe, na semana de 8 a 15 de novembro, foram agendados três dias de observação das 9:30 às 12:30, sábado dia 9, segunda-feira dia 11 e sexta-feira dia 15, e um dia de observação das 16:30 às 19:30, quarta-feira dia 13. No período “Resto do mês”, foi escolhido um dia das 9:30 às 12:30, segunda-feira dia 25 de novembro, dois dias das 15:00 às 18:00, sábado dia 23 de novembro e terça-feira dia 26 de novembro, e um dia das 17:30 às 19:30, quinta-feira dia 28 de novembro. Quanto ao período para a hora adicional,

foram escolhidos 2 dias das 19:30 às 20:30, quarta-feira dia 27 de novembro e quinta-feira dia 5 de dezembro.

Os *inputs* foram recolhidos em tabelas em Excel, uma por cada dia de observação, posteriormente agrupadas consoante o período de procura a que correspondem, de acordo com o descrito nos parágrafos anteriores. Para cada cliente, registou-se o seguinte: nº de ordem do cliente, momento de retirada da senha, se foi atendido ou não, momento da chamada para atendimento no caso de ser atendido, momento de fim de atendimento, e receita da farmácia (valor da fatura). Foi igualmente registado o número de funcionários que, em cada momento, estavam na farmácia disponíveis para atendimento.

### **3.2. Modelo de simulação**

Tendo o problema já bem definido e as variáveis relevantes identificadas, o primeiro passo efetuado em termos da construção do modelo de simulação foi a criação das variáveis “Tempo entre chegadas”, calculada, para o cliente de ordem  $n$ , através da fórmula “Momento de retirada da senha do cliente de ordem  $n$ ” – “Momento de retirada da senha do cliente de ordem  $n-1$ ”, e “Duração do serviço”, calculada através da fórmula “Momento do fim do atendimento do cliente de ordem  $n$ ” - “Momento da chamada do cliente de ordem  $n$  para o atendimento”.

De seguida, ajustaram-se distribuições de probabilidade às três variáveis aleatórias do sistema de fila de espera da farmácia (“Tempo entre chegadas”, “Duração do serviço” e “Faturação”), utilizando para tal a ferramenta de ajuste de distribuições disponível no @Risk, restringindo a análise a distribuições contínuas com valor mínimo fixo e igual a zero para as três variáveis. Os resultados dos ajustamentos foram os seguintes:

Para a variável “Tempo entre chegadas”, no período de pico de procura do ciclo mensal, foi ajustada a distribuição exponencial com média 1.6962 minutos (Figura 6);

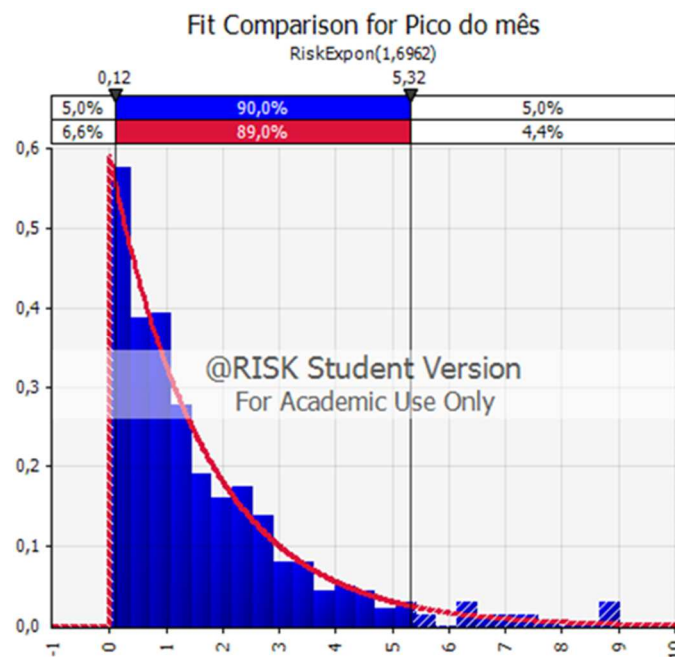


Figura 6: Ajustamento de distribuição de probabilidade para a variável “Tempo entre chegadas” no período de pico de procura do ciclo mensal.

Para o tempo entre chegadas no período de procura normal do ciclo mensal (“Resto do mês”), foi ajustada a distribuição exponencial com média 1.9914 minutos (Figura 7);

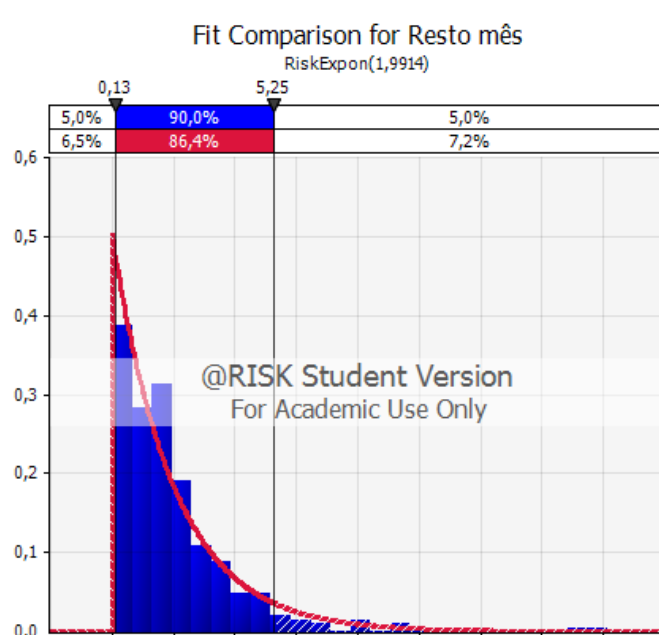


Figura 7: Ajustamento de distribuição de probabilidade para a variável “Tempo entre chegadas” no período de procura normal do ciclo do mensal.

Para o tempo entre chegadas na Hora adicional, foi ajustada a distribuição exponencial com média 6.9275 minutos (Figura 8);

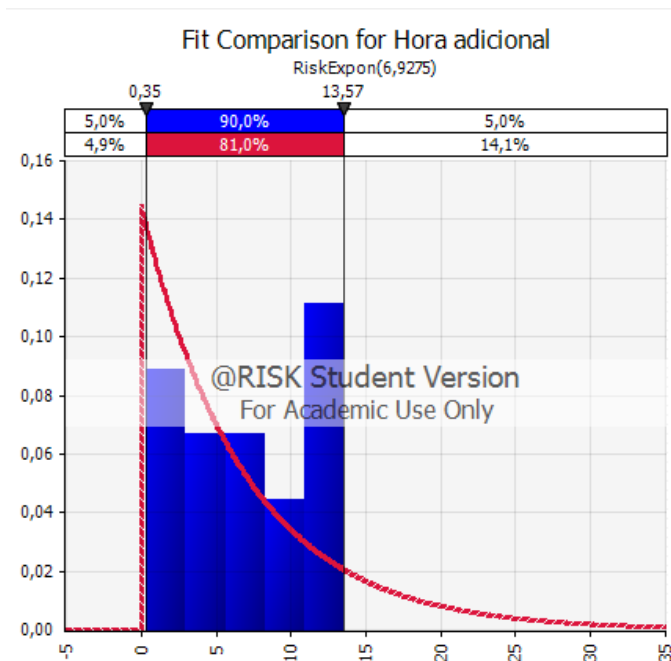


Figura 8: Ajustamento de distribuição de probabilidade para a variável “Tempo entre chegadas” no período da Hora adicional.

Para a variável “Duração do serviço” (idêntica em qualquer um dos períodos), foi ajustada a distribuição LogNormal (6,1924; 5,2402), de acordo com a Figura 9.

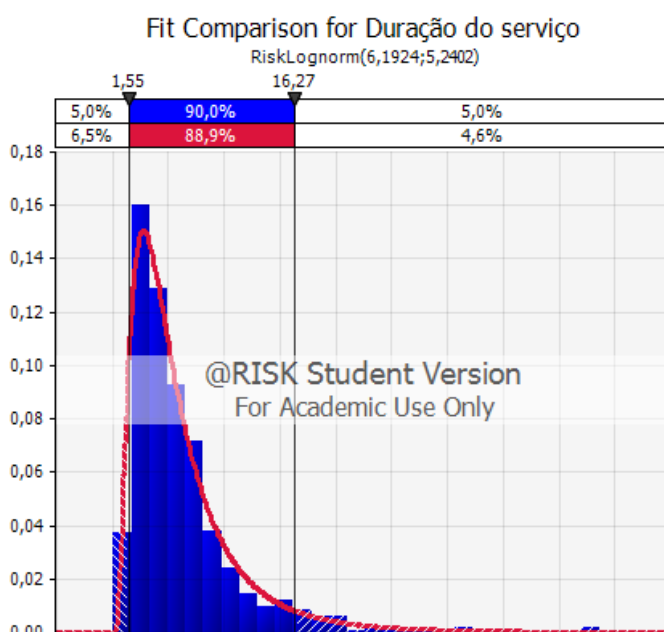
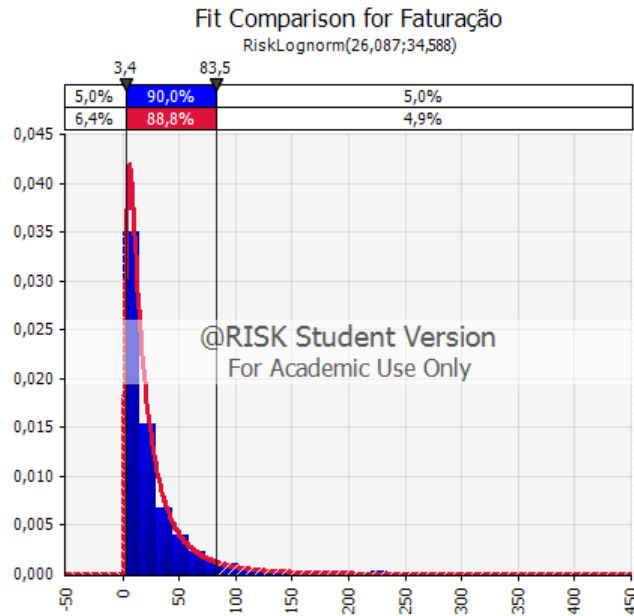


Figura 9: Ajustamento de distribuição de probabilidade para a variável “Duração do serviço”.

Para a variável do valor da faturação, foi ajustada a distribuição LogNormal (26,087; 34,588), de acordo com a Figura 10.



**Figura 10: Ajustamento de distribuição de probabilidade para a variável “Faturação”.**

Por fim, no terceiro passo, foram gerados os valores aleatórios para as variáveis aleatórias, com base no método de amostragem de Monte Carlo, e construído o modelo de simulação no @Risk, que está descrito no fluxograma exibido na Figura 11, isto é, foram configuradas as relações lógico-matemáticas entre todas as variáveis do modelo, controláveis e não controláveis, principais ou de apoio, que exercem influência direta ou indireta sobre os outputs e indicadores pretendidos pela farmácia para avaliação do desempenho do sistema, especificados na secção seguinte. Foram também definidos neste momento o incremento de tempo do modelo (por cliente), o tamanho da simulação (número médio de clientes de modo a perfazer 10 horas de chegadas, ou seja, um dia completo de serviço da farmácia, no caso dos períodos Pico do mês e Resto do mês, equivalendo, respetivamente a 350 e 300 chegadas de clientes, e a perfazer 1 hora de chegadas no caso do período da Hora adicional, equivalendo a 9 chegadas de clientes), e o número de iterações do modelo de simulação a considerar para gerar as distribuições de probabilidade e estatísticas descritivas dos outputs do sistema (1000, que assim equivale a 1000 replicações de um dia/hora de funcionamento).

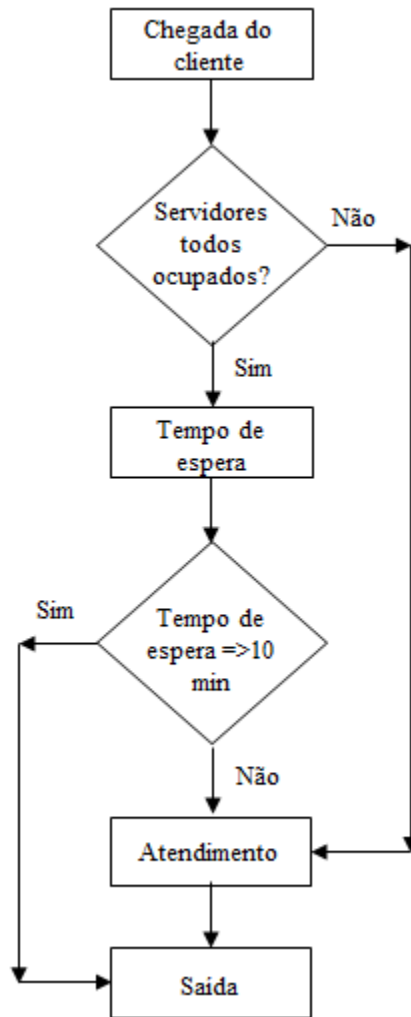


Figura 11: Fluxograma do modelo de simulação.

### 3.3. Indicadores de desempenho a utilizar

No modelo de simulação do presente projeto, foram definidos os indicadores de desempenho considerados mais importantes pela administração da farmácia para estudar o comportamento do sistema da fila de espera, que vão de encontro ao que foi abordado no enquadramento teórico como formas mais habituais de avaliar o desempenho de uma fila de espera, e que a seguir se indicam:

**Tempo médio na fila de espera**, cujo cálculo é efetuado através da média dos tempos de espera de todos os clientes da simulação;

**Percentagem média de tempo de ocupação dos funcionários**, cujo cálculo é efetuado através da divisão entre a soma dos tempos de duração do serviço de todos os clientes e o

produto entre o tempo da simulação e o número de funcionários disponíveis para atendimento (multiplicada por 100);

**Faturação diária**, calculada como sendo a soma dos valores faturados a todos os clientes da simulação;

**Receita diária perdida**, calculada através do produto entre a receita média amostral e o número total de clientes perdidos (que tiraram senha, mas não foram atendidos);

**Porcentagem de clientes perdidos**, cujo cálculo é efetuado através do rácio entre o número de clientes perdidos e o número de chegadas (multiplicado por 100).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, apresentam-se os resultados obtidos para os outputs (indicadores de desempenho) definidos para o modelo de simulação, em cada período, “Pico do mês” (semana 8 a 15), “Resto do mês” e “Hora adicional”. Tal como referido acima, os resultados, para cada período, são calculados com base em 1000 iterações do modelo de simulação.

Será apresentada a avaliação do desempenho atual do sistema na primeira subsecção enquanto, nas seguintes subsecções, será feita uma análise da sensibilidade em relação ao número de funcionários em atendimento ao público e ao grau de paciência dos clientes, de forma separada (não combinada).

### 4.1. Desempenho atual do sistema

Nesta subsecção, apresentam-se os resultados da simulação para a capacidade instalada atual da farmácia em termos de atendimento ao público, que foi definida em termos médios, pois o número de funcionários em atendimento é volátil ao longo de cada dia. Os pressupostos definidos para o desempenho atual do sistema foram:

- Capacidade instalada para o período do Pico do mês (semana 8 a 15): 6 funcionários em atendimento (permanente);
- Capacidade instalada para o período do Resto do mês: 4 funcionários em atendimento (permanente);
- Capacidade instalada para o período da Noite: 2 funcionários em atendimento (permanente);
- Grau de paciência dos clientes: sair do sistema sem ser atendido se tempo de espera atingir 10 minutos.

#### 4.1.1. Pico do mês

Com os pressupostos definidos de 6 funcionários e grau de paciência dos clientes 10 minutos, executou-se o modelo de simulação (1000 iterações), cujos resultados se exibem parcialmente na Figura 12. Optou-se por restringir a apresentação de resultados aos histogramas, por simplificação, mas também por representarem de forma adequada e completa as propriedades estatísticas das variáveis aleatórias subjacentes aos indicadores de desempenho.

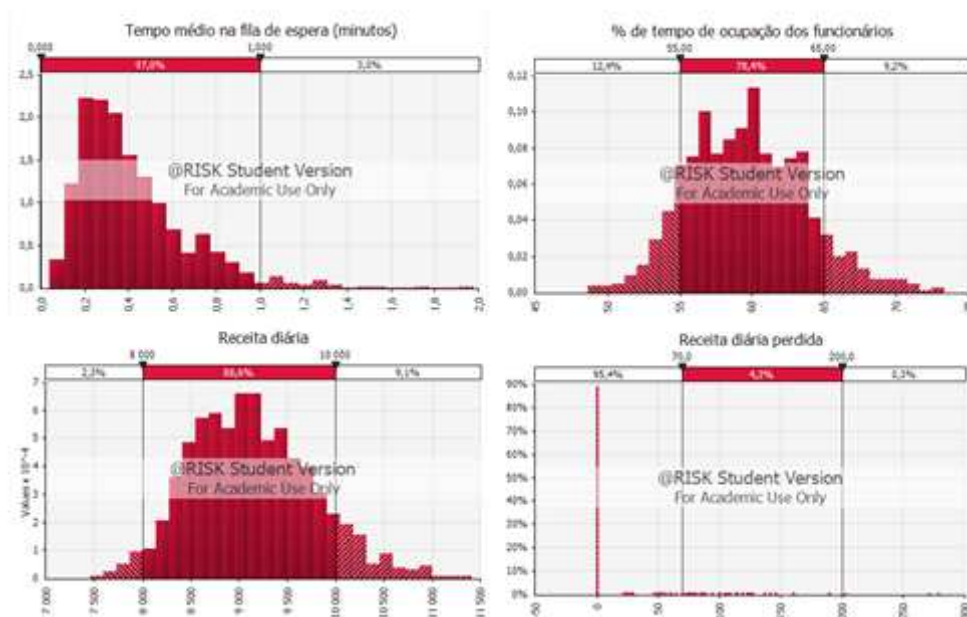


Figura 12: Distribuições dos indicadores para o período do Pico do mês.

Verifica-se que o tempo médio de espera dos clientes, para as 1000 iterações do modelo de simulação, foi de aproximadamente 25 segundos, e que 97,0% dos clientes estão menos de um minuto na fila de espera. Este é um bom indicador do desempenho no atendimento aos clientes, visto que estamos na semana de maior procura. A administração da farmácia considera que um minuto é um tempo de espera bastante aceitável.

Estima-se em cerca de 78,4% a probabilidade da percentagem de tempo de ocupação dos funcionários no atendimento ao público se encontrar entre os 55% e os 65%. Os valores considerados adequados pela farmácia para este indicador é que sejam superiores a 55%, mas idealmente superiores a 65%. Ora, de acordo com a figura, existe apenas 9,2% de

hipótese de conseguir atingir este objetivo. Conclui-se assim que 6 funcionários no atendimento ao público satisfazem eficazmente a procura, existindo no entanto demasiado tempo de inatividade dos funcionários face ao idealmente desejado pela farmácia.

Para a receita diária, nas condições atuais, estima-se uma receita média diária de 9136,18€ e uma probabilidade de 88,5% da mesma estar compreendida entre 8000€ e 10000€, com 9,1% de hipótese de ser superior a 10000€ e 100% de ser superior a 7000€.

Quanto à receita diária perdida, estima-se um valor médio diário de 7,83€ e verifica-se que, em 95,4% dos cenários simulados, não existiu qualquer receita perdida. No entanto, foi estimada uma probabilidade de 4,6% de ser superior a 70€ e uma probabilidade de 0,3% de ser superior a 200€, valor a partir do qual se considera economicamente viável a introdução de um funcionário adicional.

#### 4.1.2. Resto do mês

Com os pressupostos definidos de 4 funcionários para atendimento ao público em permanência nestes períodos do mês e de grau de paciência dos clientes de 10 minutos, a execução da simulação das 1000 iterações do modelo levou aos seguintes outputs (Figura 13):

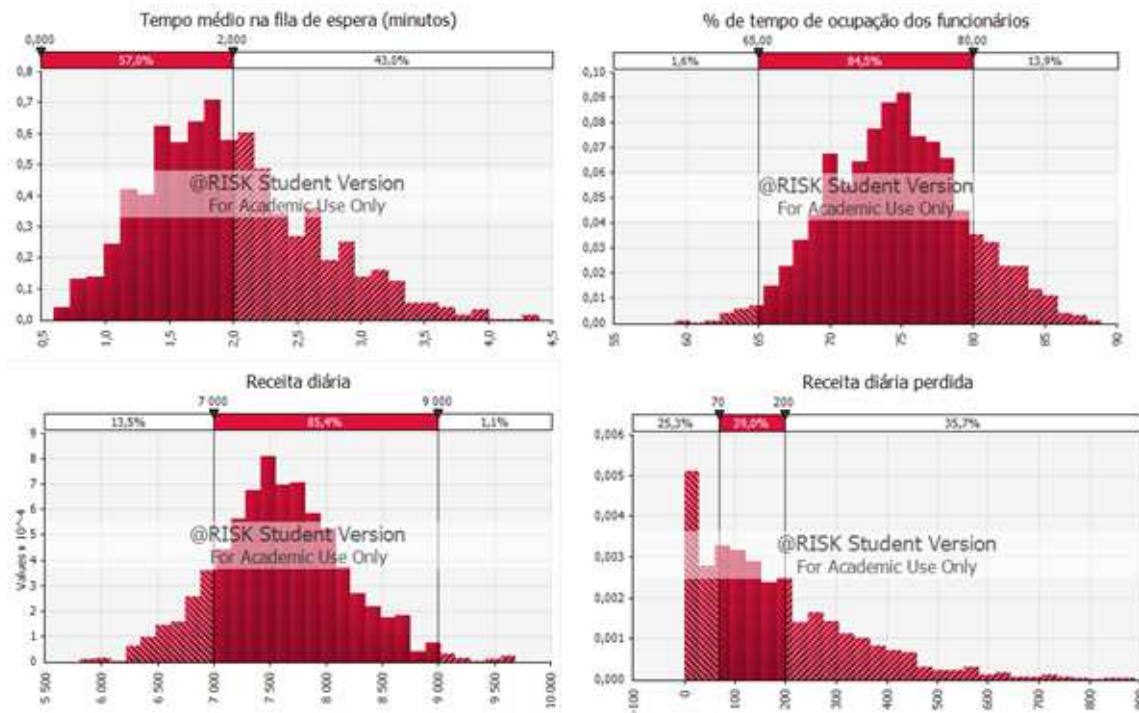


Figura 13: Distribuições dos indicadores para o período do Resto do mês.

O tempo médio de espera dos clientes, para as 1000 iterações do modelo de simulação, foi de aproximadamente 118,0 segundos (quase 2 minutos), sendo que apenas 57,0% dos clientes estão menos de 2 minutos na fila de espera. O tempo médio de espera é consideravelmente superior comparativamente ao período da semana “pico do mês”, em que a farmácia se protege com uma capacidade de serviço também superior, mas, de qualquer forma, estes valores de tempo de espera ainda são considerados razoáveis pela farmácia.

Estima-se em 84,5% a probabilidade da percentagem de tempo de ocupação dos funcionários no atendimento ao público se encontrar entre os 65% e os 80%. Mais uma vez, os valores considerados aceitáveis para este indicador é que sejam superiores a 55%, mas idealmente superiores a 65%. Neste caso, só se verifica 1,6% de probabilidade para a percentagem de

ocupação dos funcionários ser inferior a 65%, e 13,9% de ser superior a 80%. Conclui-se assim que 4 funcionários no atendimento ao público nestes períodos de “resto do mês” satisfazem de forma eficiente a procura, e com uma adequada taxa de utilização dos recursos humanos.

Para a receita diária, nas condições atuais, estima-se uma receita média diária de 7608,27€ e verifica-se uma probabilidade de 85,4% da mesma estar compreendida entre 7000€ e 9000€, com 1,1% de hipóteses de ser superior a 9000€ e certeza de ser superior a 5500€.

Quanto à receita diária perdida, estima-se um valor médio diário de 180,60€ e verifica-se uma probabilidade de 39,0% da mesma se encontrar entre os 70€ e os 200€. Foi estimada uma probabilidade de 74,7% de ser superior a 70€ e uma probabilidade de 35,7% de ser superior a 200€, valor a partir do qual se considera economicamente viável a introdução de um funcionário adicional.

### 4.1.3. Hora adicional

Com os pressupostos definidos de 2 funcionários em atendimento e de grau de paciência dos clientes de 10 minutos, a execução da simulação com 1000 iterações do modelo levou aos seguintes outputs (Figura 14):

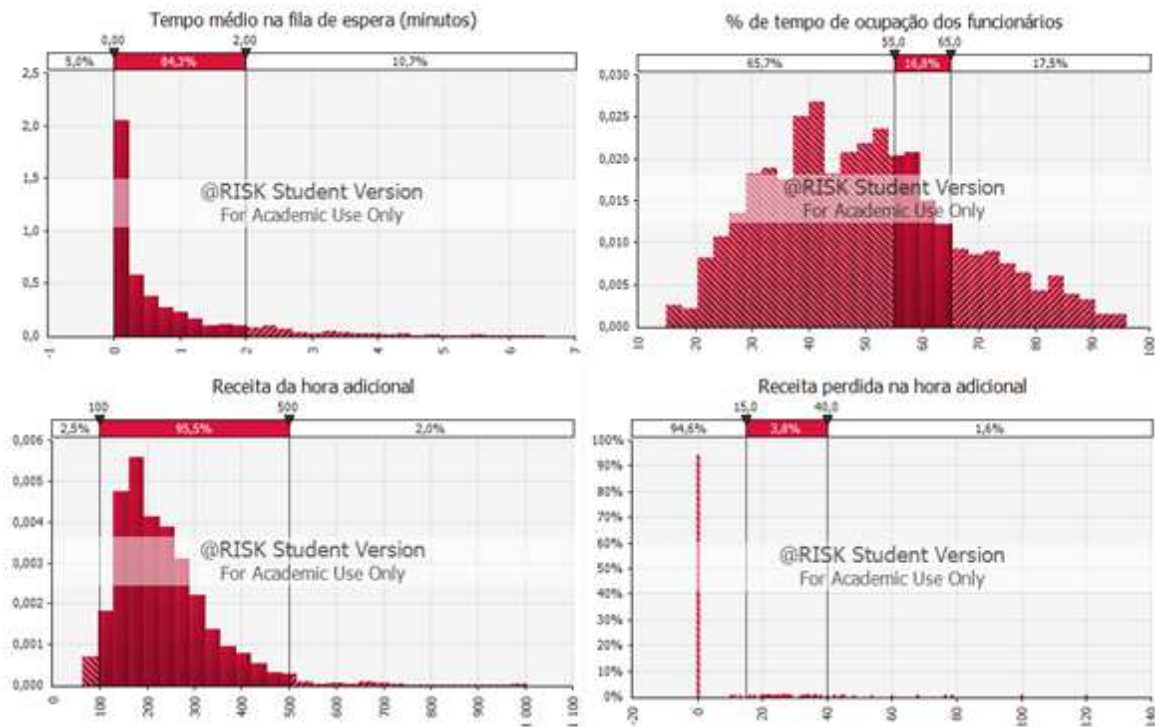


Figura 14: Distribuições dos indicadores na Hora adicional.

Verifica-se que o tempo médio de espera dos clientes, para as 1000 iterações do modelo de simulação, foi de aproximadamente 41,6 segundos, e que 84,3% dos clientes estão menos de 2 minutos na fila de espera. Este é um bom indicador do desempenho no atendimento dos clientes, visto que 2 minutos é um tempo admissível na perspetiva da administração da farmácia. Verifica-se ainda que 10,7% dos clientes esperam mais do que 2 minutos.

Estima-se em 16,8% a probabilidade da percentagem de tempo de ocupação dos funcionários no atendimento ao público se encontrar entre os 55% e os 65%. Os valores estão muito abaixo do considerado aceitável para este indicador, que é ser superior a 65% (ou, pelo menos, a 55%). Ora, de acordo com a Figura 14, existe apenas 34,3% de hipóteses da percentagem de tempo de ocupação dos funcionários ser superior a 55% e 17,5% de ser superior a 65%. Conclui-se assim que 2 funcionários no atendimento ao público satisfazem

eficazmente a procura, existindo no entanto demasiado tempo de inatividade dos funcionários.

Para a receita da hora adicional, nas condições atuais, estima-se uma receita média de 233,85€ e uma probabilidade de 95,5% da mesma estar compreendida entre 100€ e 500€, com 2,5% de hipótese de ser inferior a 100€ e 2,0% de hipótese de ser superior a 500€.

Quanto à receita perdida na hora adicional, estima-se um valor médio diário de 2,04€ e verifica-se que, em 94,6% dos cenários simulados, não existiu qualquer receita perdida. Foi ainda estimada uma probabilidade de 5,4% da receita perdida ser superior a 15€, e uma probabilidade de 1,6% de ser superior a 40€.

## **4.2. Análise de sensibilidade ao número de funcionários**

Nesta fase será feita uma análise ao comportamento dos índices de desempenho caso se reduza ou aumente a capacidade de serviço em termos do número de funcionários, mantendo-se o pressuposto do grau de paciência dos clientes ser de 10 minutos. Em concreto, vão analisar-se as alterações nos histogramas dos indicadores de desempenho caso se reduza em um funcionário e caso se aumente em um funcionário a capacidade de serviço atualmente instalada. Será assim possível à administração da farmácia avaliar se é adequado alterar a decisão a nível da capacidade de serviço em termos de número de funcionários em atendimento ao público, para cada um dos períodos. Sendo assim, e em síntese, nesta secção, serão feitas as seguintes análises de sensibilidade:

- Para o período do Pico do mês, fazer análise de sensibilidade para 5 e 7 funcionários;
- Para o período do Resto do mês, fazer análise de sensibilidade para 3 e 5 funcionários;
- Para o período da Noite, fazer análise de sensibilidade para 1 e 3 funcionários;
- Manter o parâmetro do grau de paciência dos clientes em 10 minutos para todos os períodos.

#### 4.2.1. Utilização de 5 funcionários no Pico do mês

Nesta subsecção, analisa-se o desempenho do sistema com menos 1 funcionário do que o número médio atual, ou seja, com  $6 - 1 = 5$  funcionários. A Figura 15 apresenta os novos histogramas.

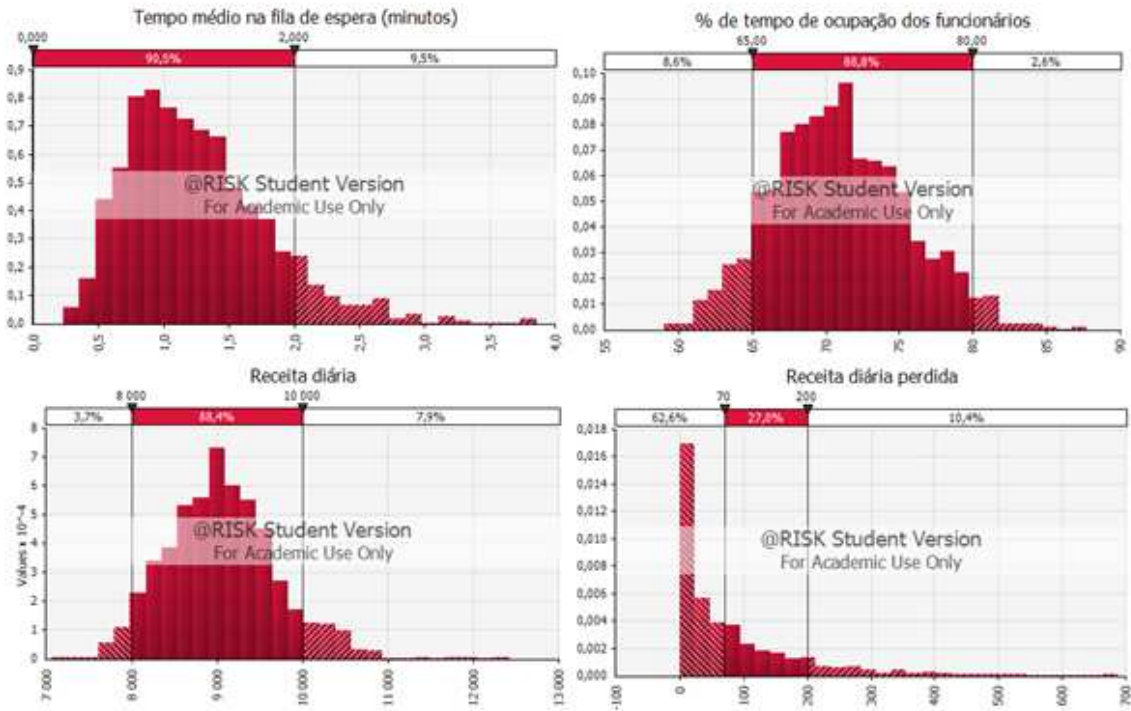


Figura 15: Distribuições dos indicadores para o período Pico do mês, com 5 funcionários.

Neste caso, o tempo médio de espera dos clientes, para as 1000 iterações do modelo de simulação, foi de aproximadamente 75,3 segundos, com 90,5% dos clientes a estar menos de 2 minutos na fila de espera. Verifica-se também que 9,5% dos clientes esperam mais de 2 minutos, mas nunca ultrapassando os 4 minutos. Considera-se uma distribuição aceitável para o tempo de espera.

Estima-se em 88,8% a probabilidade da percentagem de tempo de ocupação dos funcionários no atendimento ao público se encontrar entre os 65% e os 80%, existindo apenas 8,6% de probabilidade de não conseguir atingir o objetivo dos 65%. Cinco funcionários no atendimento ao público satisfazem eficazmente a procura e rentabilizam a utilização dos recursos humanos de forma considerada adequada pela administração da farmácia.

A nível de faturação, estima-se uma receita média diária de 9058,77€ e uma probabilidade de 88,4% da mesma estar compreendida entre 8000€ e 10000€, com 7,9% de hipóteses de ser superior a 10000€ e sempre superior a 7000€.

Quanto à receita diária perdida, estima-se um valor médio diário de 71,66€ e verifica-se que, em 27% dos cenários simulados, existiram perdas entre os 70€ e os 200€. Foi ainda estimada uma probabilidade de 37,4% da receita média diária perdida ser superior a 70€ e uma probabilidade de 10,4% da mesma ser superior a 200€ o que já é algo significativo.

#### 4.2.2. Utilização de 7 funcionários no Pico do mês

Nesta subsecção analisa-se o desempenho do sistema na semana de pico do mês, mas com 7 funcionários, mantendo-se o parâmetro do grau de paciência dos clientes em 10 minutos. Os histogramas obtidos neste caso estão exibidos na Figura 16.

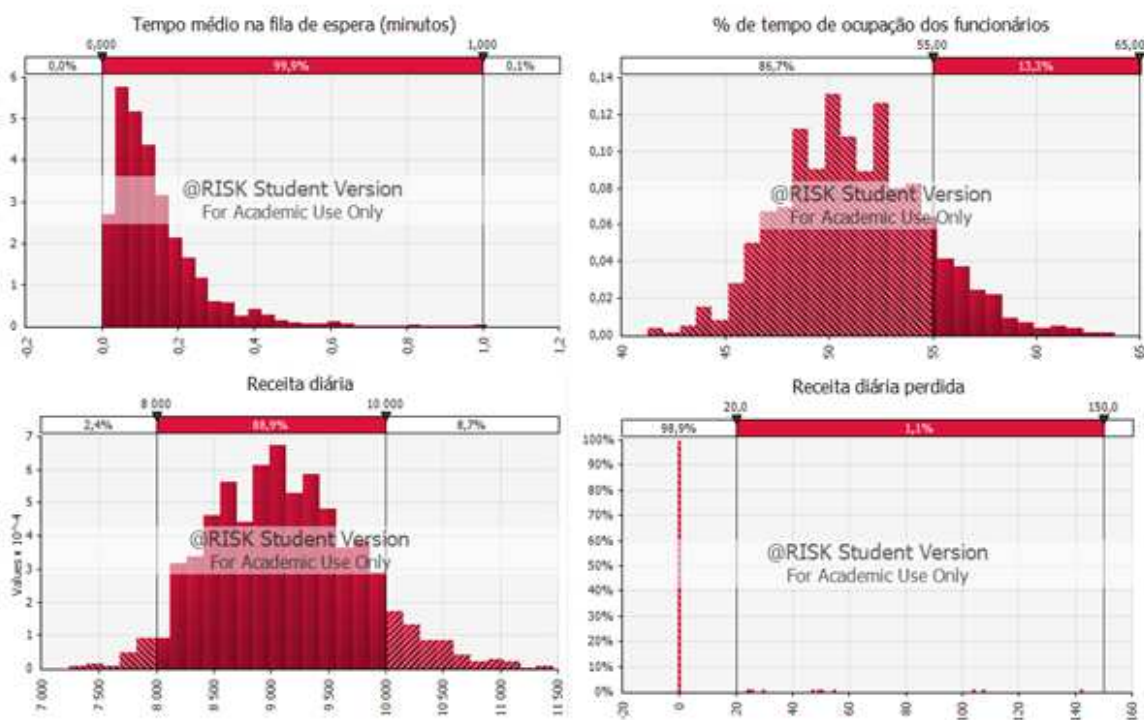


Figura 16: Distribuições dos indicadores para o período Pico do mês, com 7 funcionários.

Verifica-se que o tempo médio de espera dos clientes foi de aproximadamente 8,3 segundos, e que 99,9% dos clientes estão menos de um minuto na fila de espera. Este é um excelente

indicador em termos de atendimento aos clientes, visto que estamos na semana de maior procura.

Estima-se, no entanto, apenas em 13,3% a probabilidade da percentagem de tempo de ocupação dos funcionários no atendimento ao público ser superior a 55%. De acordo com o histograma, não existem hipóteses de conseguir atingir o objetivo dos 65%. Conclui-se assim que 7 funcionários no atendimento ao público satisfazem eficazmente a procura, mas à custa de um excessivo tempo de inatividade dos funcionários.

Estima-se também uma receita média diária de 9125,54€ e uma probabilidade de 88,9% da mesma estar compreendida entre 8000€ e 10000€, com 8,7% de hipótese de ser superior a 10000€ e garantia de ser superior a 7000€.

Quanto à receita diária perdida, estima-se um valor médio diário de 0,659€ e verifica-se que, em 98,9% dos cenários simulados, não existiu qualquer receita perdida, o que é um excelente indicador. Ficando os restantes 1,1% de probabilidade para a possibilidade da receita média diária perdida estar entre os 20€ e 150€.

### 4.2.3. Utilização de 3 funcionários no Resto do mês

Os resultados selecionados da execução da simulação no caso de utilização de 3 funcionários no período do Resto do mês, para o grau de paciência dos clientes originalmente assumido, exibem-se na Figura 17.

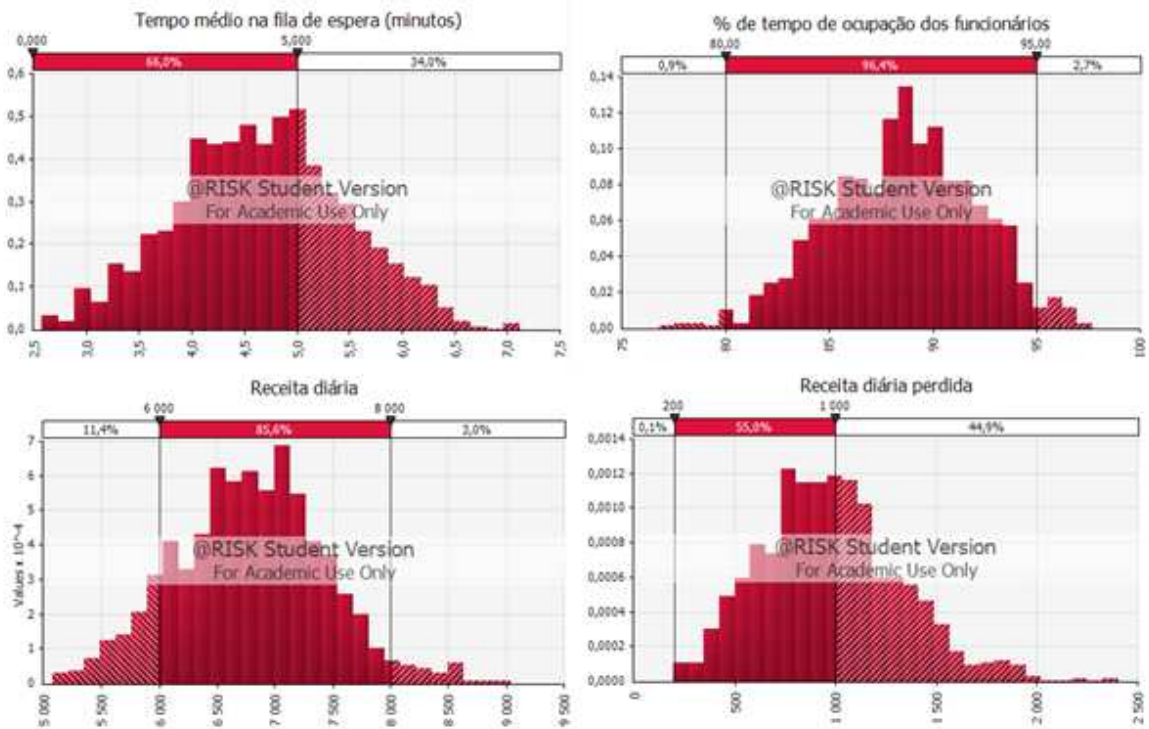


Figura 17: Distribuições dos indicadores para o período Resto do mês, com 3 funcionários.

O tempo médio de espera dos clientes foi de aproximadamente 280 segundos (quase 5 minutos), e 34% dos clientes estão mais de 5 minutos na fila de espera. Este é um indicador de desempenho menos bom em termos do serviço de atendimento aos clientes, comparativamente aos casos anteriores, visto que o tempo de espera se aproxima do tempo limite de espera do cliente, ou seja, do parâmetro assumido para o seu grau de paciência. A administração da farmácia considera que seis minutos é um tempo médio de espera pouco aceitável.

Estima-se em 96,4% a probabilidade da percentagem de tempo de ocupação dos funcionários no atendimento ao público se encontrar entre os 80% e os 95%. Neste caso, o objetivo dos 65% é atingido com certeza, pois a probabilidade da percentagem de tempo de ocupação dos funcionários ser inferior a 80% é 0%. Conclui-se assim que 3 funcionários no atendimento ao público no período do “Resto do mês” satisfazem a procura com alguma dificuldade, uma

vez que o tempo médio de espera dos clientes é algo elevado, aumentando o risco de desistências.

Quanto à receita diária, estima-se uma receita média diária de 6791,91€ e uma probabilidade de 85,6% da mesma estar compreendida entre 6000€ e 8000€, existindo apenas 3,0% de hipóteses de ser superior a 8000€.

Quanto à receita diária perdida, estima-se um valor médio diário de 973,33€ e verifica-se que as perdas são superiores a 200€ em 99,9% das ocasiões. A receita média diária perdida chegou a atingir um valor de 2000€. Consideram-se perdas demasiado elevadas, pelo que ter apenas 3 funcionários em atendimento no período do Resto do mês mostra não ser uma escolha adequada para a capacidade de serviço.

#### 4.2.4. Utilização de 5 funcionários no Resto do mês

Com 5 funcionários em atendimento ao público no período do “resto do mês”, atingiram-se os seguintes histogramas (Figura 18):

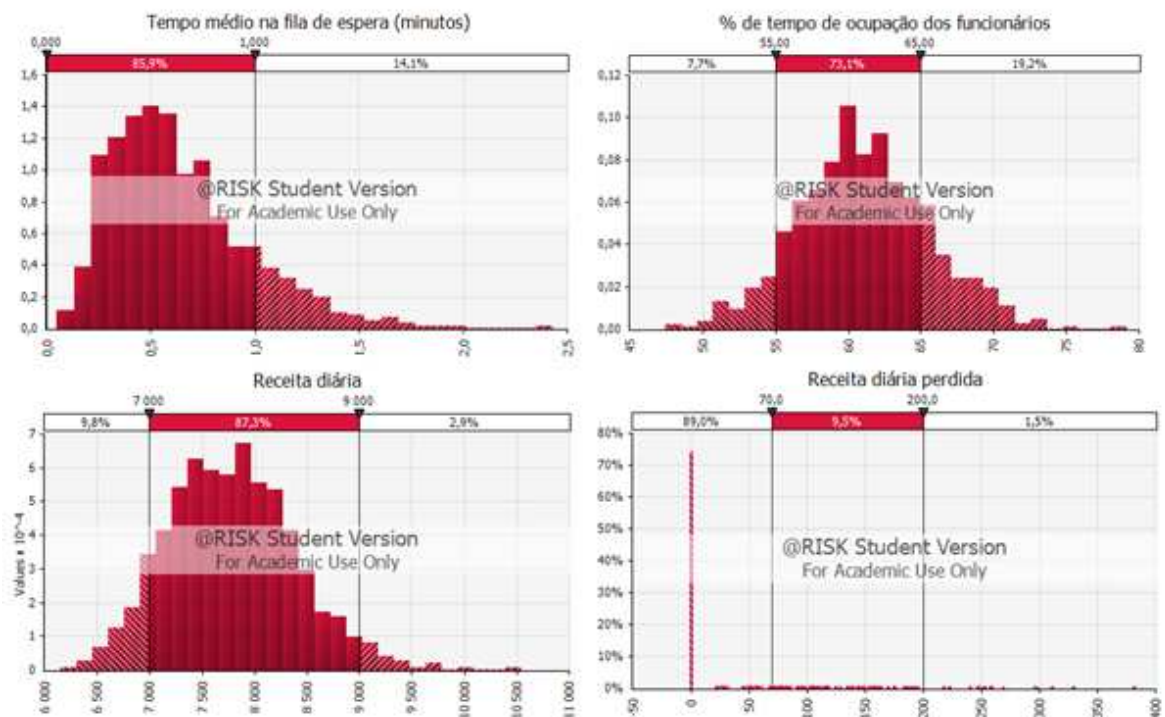


Figura 18: Distribuições dos indicadores para o período Resto do mês, com 5 funcionários.

O tempo médio de espera dos clientes foi de aproximadamente 38,3 segundos e observa-se que 85,9% dos clientes estão menos de um minuto na fila de espera. Este é um excelente indicador de desempenho no atendimento aos clientes. Para além disso, para os 14,1% de clientes que esperam mais do que um minuto, nunca o tempo de espera foi superior a 2,5 minutos.

A probabilidade da percentagem de tempo de ocupação dos funcionários no atendimento ao público se encontrar entre os 55% e os 65% é de 73,1, mas existindo apenas 19,2% de hipóteses de conseguir atingir o objetivo dos 65%. Conclui-se assim que 5 funcionários no atendimento ao público satisfazem eficazmente a procura, mas com a contrapartida de implicar ligeiramente mais tempo de inatividade dos funcionários face ao idealmente desejado pela farmácia.

A receita média diária é de 7784,74€, com uma probabilidade de 87,3% de estar compreendida entre 7000€ e 9000€, com 2,9% de hipótese de ser superior a 9000€, e com a certeza de ser superior a 6000€.

Quanto à receita diária perdida, estima-se um valor médio diário de 20,92€ e verifica-se que, em 89,0% dos cenários simulados, não existiu qualquer receita perdida. Estima-se, no entanto, uma probabilidade de 11,0% de ser superior a 70€ e uma probabilidade de 1,5% de ser superior a 200€.

#### 4.2.5. Utilização de 1 funcionário na Hora adicional

A Figura 19 exibe os resultados obtidos para a simulação efetuada ao caso do período da Hora adicional, assumindo apenas 1 funcionário em atendimento.

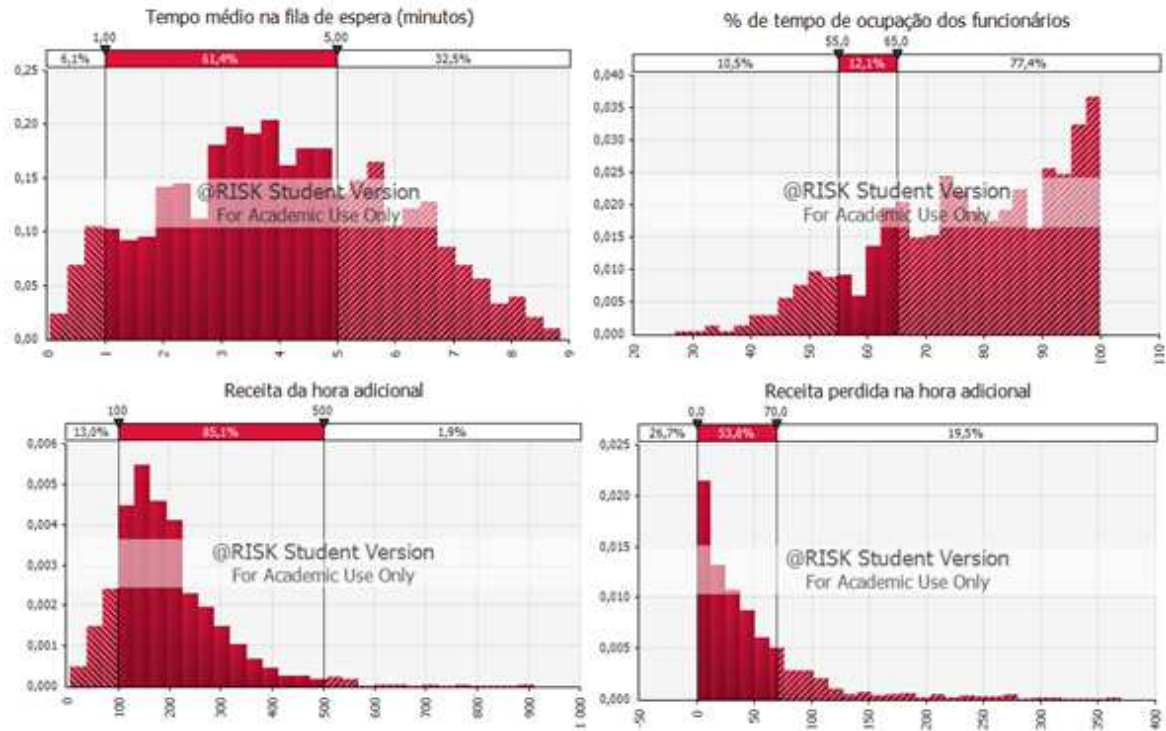


Figura 19: Distribuições dos indicadores na Hora adicional, com 1 funcionário.

Verifica-se que o tempo médio de espera dos clientes é de aproximadamente 243,7 segundos (aproximadamente 4,0 minutos), e que 32,5% dos clientes estão mais de 5 minutos na fila de espera. Este é um indicador de desempenho menos positivo em termos de qualidade de serviço no atendimento aos clientes, comparativamente à capacidade atualmente instalada para o período noturno nos dias em que a farmácia está aberta 24 horas.

Estima-se em 12,1% a probabilidade da percentagem de tempo de ocupação dos funcionários no atendimento ao público se encontrar entre os 55% e os 65%, e em 77,4% de ser superior a 65%. Conclui-se assim que 1 funcionário no atendimento ao público no período noturno satisfazeria a procura com alguma dificuldade, embora rentabilizando os recursos humanos de forma adequada no entendimento da administração da farmácia.

A receita média da hora adicional é de 194,39€ e há uma probabilidade de 85,1% da receita dessa receita estar compreendida entre 100€ e 500€, com 13,0% de hipótese de ser inferior a 100€ e 1,9% de hipóteses de ser superior a 500€.

Quanto à receita perdida na hora adicional, estima-se um valor médio de 44,28€ e verifica-se uma probabilidade de 53,8% de existirem perdas de receita entre os 0€ e os 70€, o que é considerado excessivo, pelo que ter apenas um funcionário em atendimento no período da Hora adicional parece não ser adequado.

#### 4.2.6. Utilização de 3 funcionários na Hora adicional

Analise-se agora o impacto nas distribuições dos indicadores de desempenho no caso da capacidade de serviço no período da Hora adicional ser alargada para 3 funcionários, cujos outputs se exibem na Figura 20.

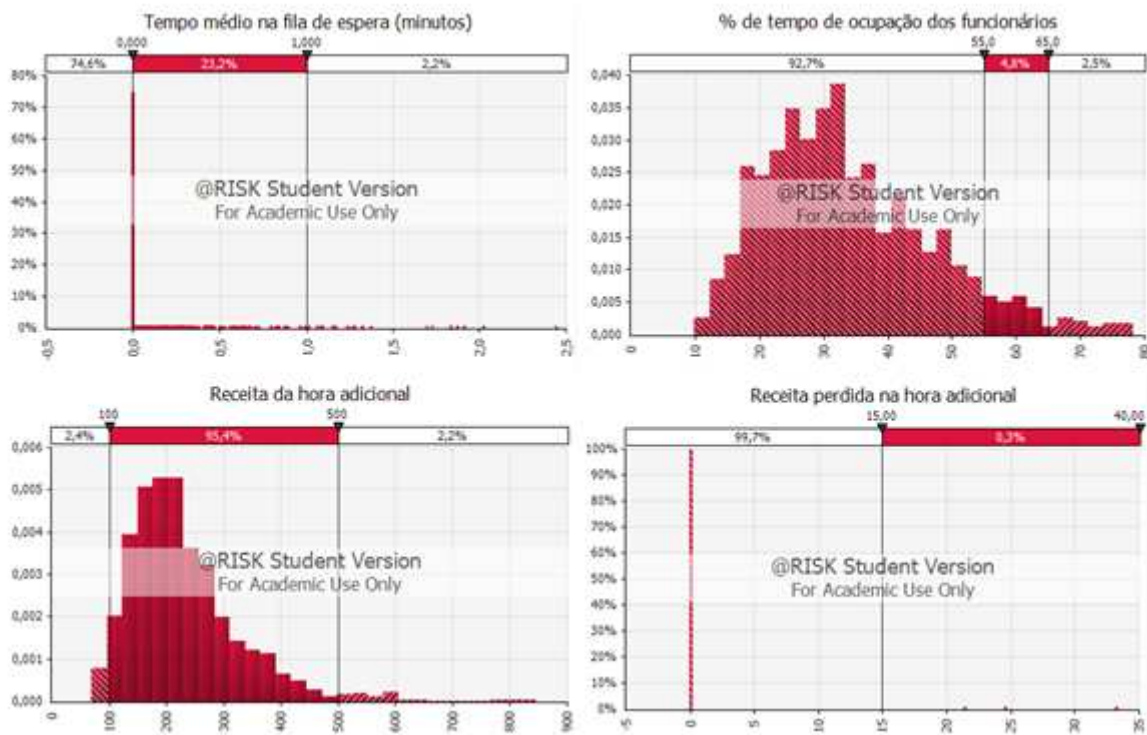


Figura 20: Distribuições dos indicadores na Hora adicional, com 3 funcionários.

Neste caso, o tempo médio de espera dos clientes é de aproximadamente 5,2 segundos, e em 74,6% dos cenários simulados os clientes não perdem nenhum tempo na fila de espera. Este é um indicador excepcional em termos de desempenho no atendimento aos clientes. Verifica-se ainda uma probabilidade de 97,8% do tempo de espera na fila ser inferior a um minuto e 2,2% de ser superior.

Verifica-se uma probabilidade de 4,8% da percentagem de tempo de ocupação dos funcionários no atendimento ao público se encontrar entre os 55% e os 65%, e apenas 2,5% de ser superior a 65%. Conclui-se assim que 3 funcionários no atendimento ao público no período noturno satisfazem a procura com elevada qualidade, existindo, no entanto, um tempo de inatividade dos funcionários manifestamente superior ao idealmente desejado pela farmácia.

Para a receita da hora adicional, estima-se um valor médio de 230,10€ e uma probabilidade de 95,4% da mesma estar compreendida entre 100€ e 500€, com 2,4% de hipótese de ser inferior a 100€ e 2,2% de ser superior a 500€.

Quanto à receita perdida na hora adicional, estima-se um valor médio diário de 0,079€, sendo que, em 99,7% dos cenários simulados, não existiu nenhuma perda de receita. Estima-se ainda uma probabilidade de 0,3% da receita diária perdida ser superior a 15€.

### **4.3. Análise de sensibilidade ao grau de paciência dos clientes**

Nesta secção, será feita uma análise do comportamento dos indicadores de desempenho em reação a alterações no grau de paciência dos clientes. Novamente, a base de comparação vai ser o nível de desempenho registado para o sistema atual, documentado na secção 4.1 do relatório. Em concreto, considerar-se-á uma redução do parâmetro do grau de paciência dos clientes para 5 minutos (metade) e um aumento do parâmetro para 20 minutos (o dobro), para os três períodos distintos de procura do mês. Neste caso, o indicador da receita potencial perdida assume um papel de maior destaque. Na situação de grau de paciência de 5 minutos, será determinante que a farmácia tenha elevada qualidade e eficácia no atendimento ao público. Já na situação de 20 minutos de grau de paciência, a farmácia poderá dar alguma prioridade ao objetivo da taxa de utilização dos recursos humanos. De forma resumida, nas seguintes subsecções serão feitas as seguintes análises:

- Para o período do Pico do mês, análises para graus de paciência de 5 e 20 minutos, com 6 funcionários;
- Para o período do Resto do mês, análises para graus de paciência de 5 e 20 minutos, com 4 funcionários;
- Para o período da Hora adicional, fazer análises para graus de paciência de 5 e 20 minutos, com 2 funcionários.

### 4.3.1. Pico do mês, com grau de paciência dos clientes de 5 minutos

A Figura 21 apresenta os histogramas no caso de grau de paciência dos clientes de apenas 5 minutos, no período da semana “pico do mês”, assumindo 6 funcionários em atendimento.

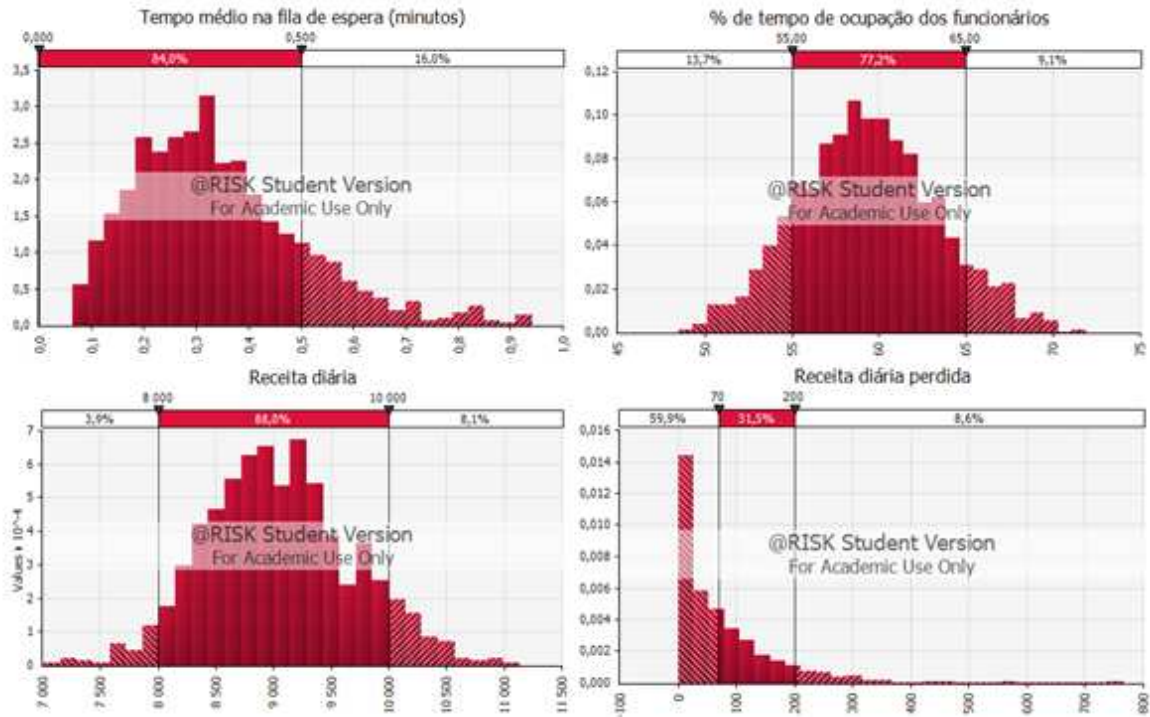


Figura 21: Distribuições dos indicadores para período Pico do mês, com 6 funcionários e grau de paciência de 5 minutos.

O tempo médio de espera dos clientes, para as 1000 iterações do modelo de simulação, é de aproximadamente 21 segundos, e 84,0% dos clientes estão menos de 0,5 minutos na fila de espera. Este é um excelente indicador do desempenho no atendimento dos clientes, mas está naturalmente condicionado pelo facto de não poder ser superior a 5 minutos (os clientes perdidos só têm 5 minutos de tempo de espera neste caso). Verifica-se ainda que apenas 16,0% dos clientes têm tempo de espera na fila superior a 0,5 minutos, não superando nunca o valor de um minuto, ou seja, 100% dos clientes são atendidos em menos de um minuto.

Estima-se em 77,2% a probabilidade da percentagem de tempo de ocupação dos funcionários no atendimento ao público se encontrar entre os 55% e os 65%, existindo apenas 9,1% de probabilidade de conseguir atingir o objetivo dos 65%.

Estima-se uma receita média diária de 9052,60€ e uma probabilidade de 88,0% da mesma estar compreendida entre 8000€ e 10000€, com 8,1% de hipóteses de ser superior a 10000€ e certeza de ser superior a 7000€.

Quanto à receita diária perdida, estima-se um valor médio diário de 71,97€ e verifica-se que, em 31,5% dos cenários simulados, a receita diária perdida se encontra entre os 70€ e os 200€. Foi ainda estimada uma probabilidade de 59,9% de ser inferior a 70€, e uma probabilidade de 8,6% de ser superior a 200€.

#### 4.3.2. Pico do mês, com grau de paciência dos clientes de 20 minutos

No caso alternativo do grau de paciência dos clientes duplicar para 20 minutos, a simulação executada para o período de Pico do mês, assumindo 6 funcionários permanentemente em atendimento, levou aos seguintes resultados (Figura 22).

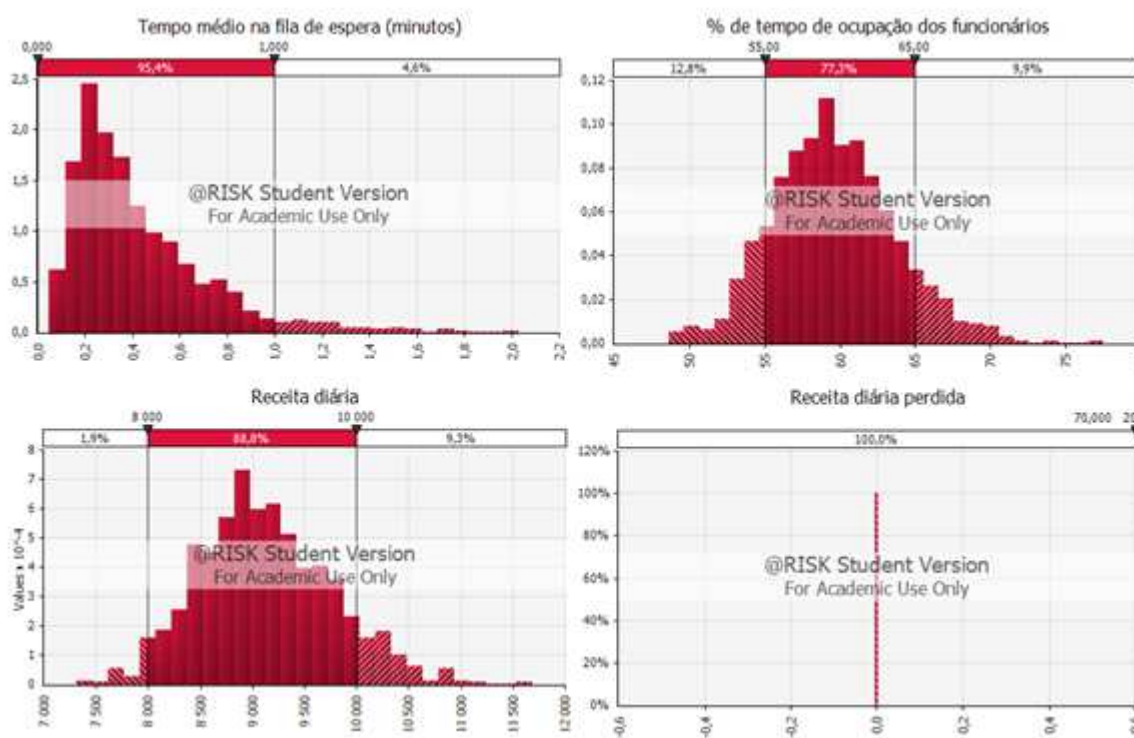


Figura 22: Distribuições dos indicadores para o período Pico do mês, com 6 funcionários e grau de paciência de 20 minutos.

O tempo médio de espera dos clientes foi de aproximadamente 25,4 segundos, 95,4% dos clientes estão menos de 1 minuto na fila de espera, e 4,6% dos clientes têm um tempo de espera na fila superior a 1 minuto.

Estima-se em 77,3% a probabilidade da percentagem de tempo de ocupação dos funcionários no atendimento ao público se encontrar entre os 55% e os 65%, mas existindo apenas 9,9% de hipóteses de conseguir atingir o objetivo dos 65%.

Em termos de receita diária, estima-se uma receita média diária de 9125,74€ e uma probabilidade de 88,8% da mesma estar compreendida entre 8000€ e 10000€, com 9,3% de hipótese de ser superior a 10000€ e 100% de ser superior a 7000€.

Quanto à receita potencial perdida, verifica-se que, em 100% dos cenários simulados, não existiu qualquer receita perdida. Um cenário excepcional para o desempenho da farmácia neste indicador em particular.

### 4.3.3. Resto do mês, com grau de paciência dos clientes de 5 minutos

Analise-se agora o período do Resto do mês, com os pressupostos de 4 funcionários em atendimento e apenas 5 minutos de tolerância máxima de espera dos clientes (Figura 23).

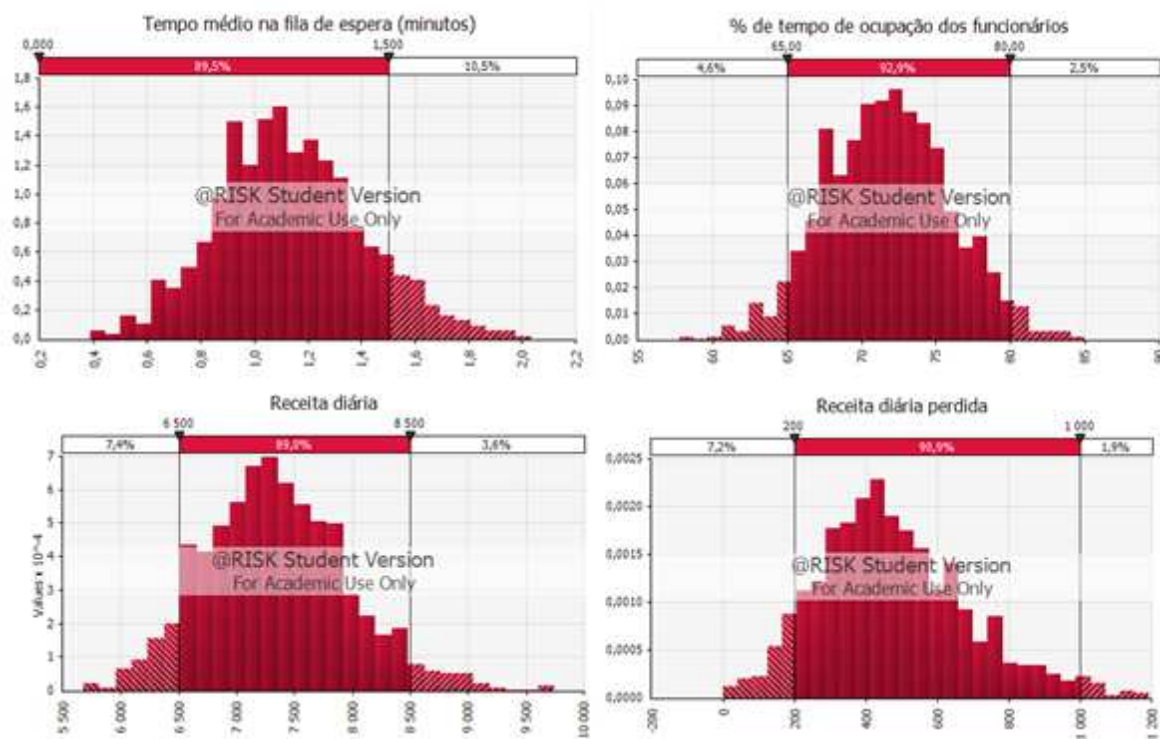


Figura 23: Distribuições dos indicadores para o período Resto do mês, com 4 funcionários e grau de paciência de 5 minutos.

Verifica-se que o tempo médio de espera dos clientes foi de aproximadamente 68,1 segundos, e que 89,5% dos clientes estão menos de 1,5 minutos na fila de espera. Verifica-se ainda uma probabilidade de 10,5% do tempo de espera na fila ser superior a 1,5 minutos.

Estima-se em 92,9% a probabilidade da percentagem de tempo de ocupação dos funcionários no atendimento ao público se encontrar entre os 65% e os 80%, cumprindo o objetivo dos 65% com elevada probabilidade.

Para a receita diária, estima-se uma receita média diária de 7337,82€ e uma probabilidade de 89,0% da mesma estar compreendida entre 6500€ e 8500€, com 3,4% de hipótese de ser superior a 8500€ e 100% de ser superior a 5500€.

Quanto à receita diária perdida, estima-se um valor médio diário de 476,93€. Foi estimada uma probabilidade de 90,9% da mesma estar entre 200€ e 1000€. Para uma probabilidade

de 92,8% superior a 200€, justifica-se neste caso muito provavelmente o alargamento da capacidade de serviço para, pelo menos, 5 funcionários em atendimento.

#### 4.3.4. Resto do mês, com grau de paciência dos clientes de 20 minutos

No caso de o grau de paciência dos clientes duplicar, de 10 para 20 minutos, admitindo que se mantêm os 4 funcionários em atendimento, os resultados obtidos após a execução da simulação foram os exibidos na Figura 24.

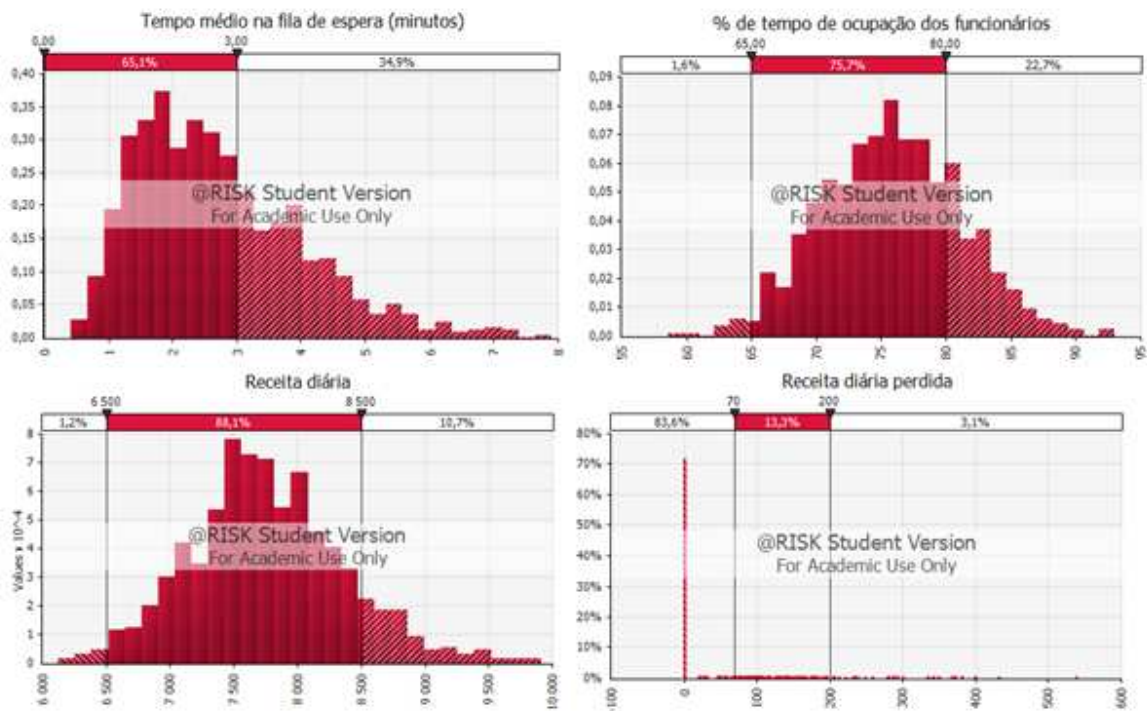


Figura 24: Distribuições dos indicadores para o período Resto do mês, com 4 funcionários e grau de paciência de 20 minutos.

O tempo médio de espera dos clientes foi de aproximadamente 162,4 segundos (aproximadamente 2 minutos e 40 segundos), e 65,1% dos clientes estão menos de 3 minutos na fila de espera. Este indicador não é excepcional, mas aceitável no caso dos 20 minutos de grau de paciência dos clientes. Verifica-se ainda uma probabilidade de 34,9% do tempo de espera na fila ser superior a 3 minutos, mas nunca chegando a atingir os 8 minutos.

Estima-se em 99,4% a probabilidade da percentagem de tempo de ocupação dos funcionários no atendimento ao público ser superior a 65%, o que é excelente indicador face ao objetivo.

Quanto à receita diária, estima-se uma receita média diária de 7768,33€ e uma probabilidade de 88,1% da mesma estar compreendida entre 6500€ e 8500€, com 10,7% de hipótese de ser superior a 8500€ e 100% de ser superior a 6000€.

Quanto à receita diária perdida, estima-se um valor médio diário de 29,89€ e verifica-se que, em 83,6% dos cenários simulados, não existiu qualquer receita perdida. No entanto, foi estimada uma probabilidade de 16,4% de ser superior a 70€, e uma probabilidade de 3,1% de ser superior a 200€.

#### 4.3.5. Período na Hora adicional, com grau de paciência dos clientes de 5 minutos

Analise-se, por fim, o desempenho do sistema na hora adicional no caso em que os clientes não suportam estar mais do que 5 minutos na fila de espera, e assumindo 2 funcionários em atendimento, cujos resultados se apresentam na Figura 25.

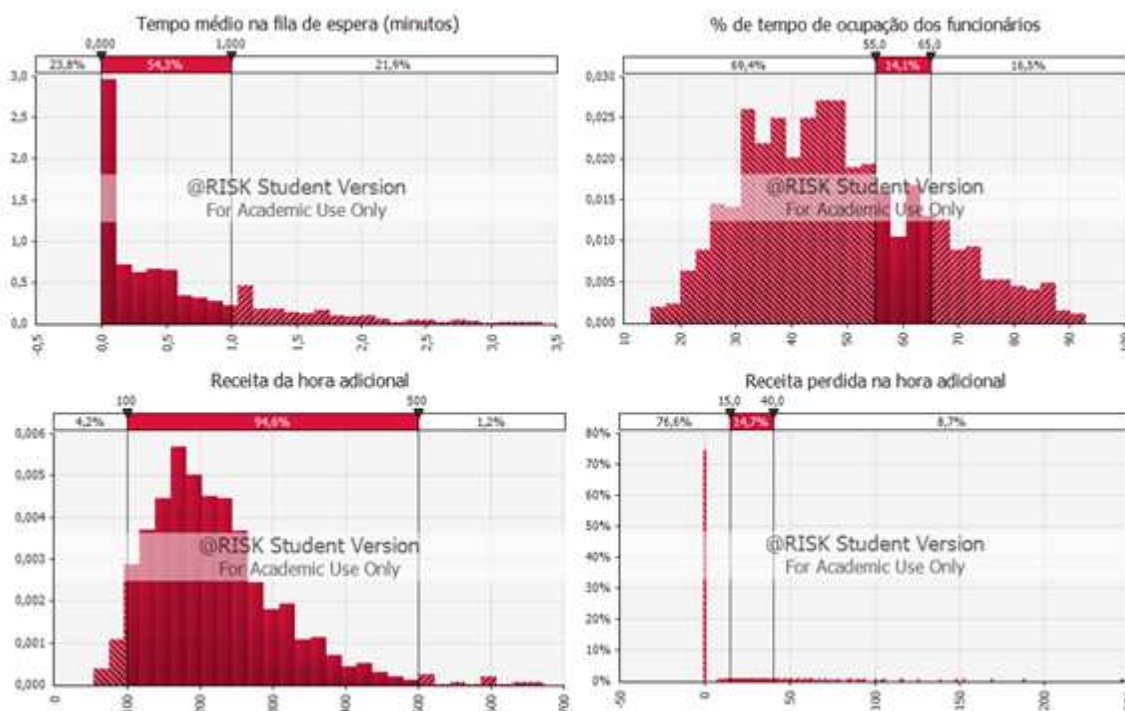


Figura 25: Distribuições dos indicadores para o período na Hora adicional, com 2 funcionários e grau de paciência de 5 minutos.

Neste caso, o tempo médio de espera dos clientes é de aproximadamente 33,2 segundos, e 78,1% dos clientes estão menos de 1 minuto na fila de espera. Este é um indicador muito

bom no desempenho de atendimento dos clientes. Verifica-se que 2 funcionários no atendimento parece ser suficiente para satisfazer as necessidades definidas pela farmácia quanto a este indicador, mesmo no caso de impaciência severa por parte dos clientes. Verifica-se ainda uma probabilidade de 21,9% do tempo de espera na fila ser superior a 1 minuto, mas nunca ultrapassando os 3,5 minutos.

Estima-se em 30,6% a probabilidade de a percentagem de ocupação dos funcionários no atendimento ao público ser superior a 55%, e em 16,5% a probabilidade de ser superior a 65%, ficando, assim, algo longe do objetivo.

Quanto à receita na hora adicional neste caso, estima-se uma receita média de 218,98€ e uma probabilidade de 94,6% da mesma estar compreendida entre 100€ e 500€, com 4,2% de hipótese de ser inferior a 100€ e 1,2% de ser superior a 500€.

A nível de receita perdida na hora adicional, estima-se um valor médio de 10,08€, existindo 76,6% de hipóteses de não existir qualquer perda de receita. Estima-se, ainda, uma probabilidade de 14,7% de estar entre 15€ e 40€, e uma probabilidade de 8,7% de ser superior a 40€.

#### 4.3.6. Período na Hora adicional, com grau de paciência dos clientes de 20 minutos

Finalmente, no caso de o grau de paciência dos clientes duplicar para um valor do respetivo parâmetro de 20 minutos, mantendo-se os 2 funcionários em atendimento, obtiveram-se os resultados ilustrados na Figura 26.

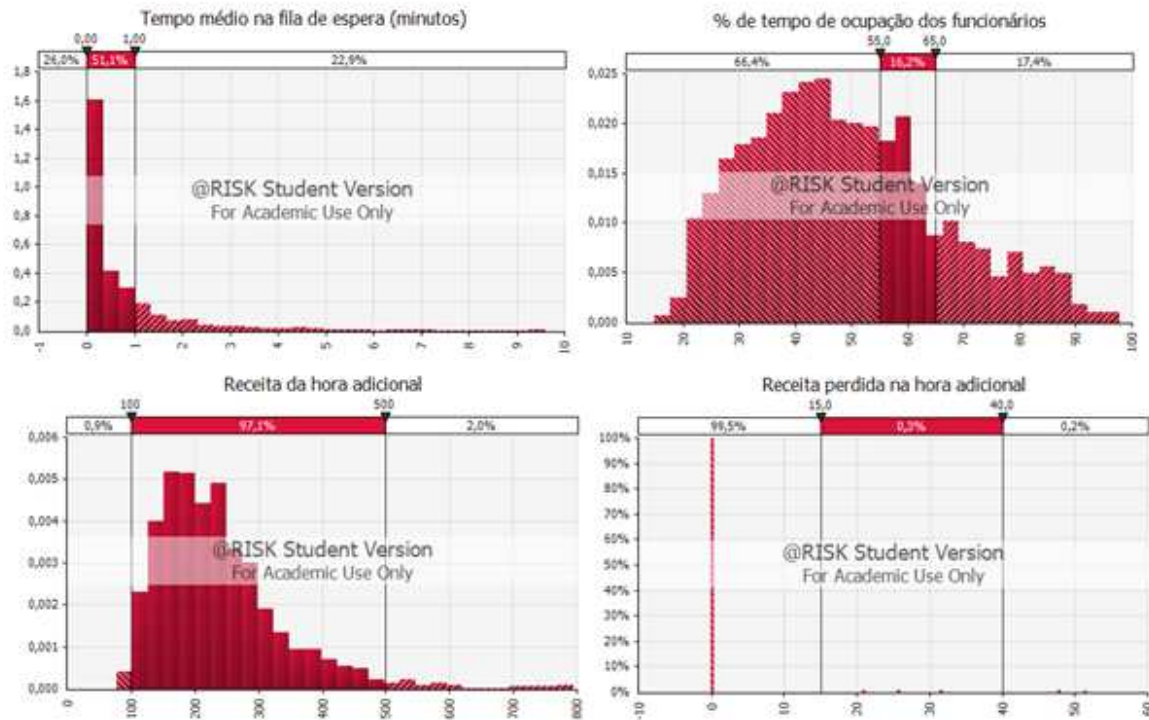


Figura 26: Distribuições dos indicadores para o período na Hora adicional, com 2 funcionários e grau de paciência de 20 minutos.

Neste último cenário simulado, o tempo médio de espera dos clientes, para as 1000 iterações do modelo, foi de aproximadamente 46,0 segundos, e 77,1% dos clientes estiveram menos de 1 minuto na fila de espera. Para além disso, verifica-se uma probabilidade de 22,9% do tempo de espera na fila ser superior a 1 minuto, mas nunca superando os 10 minutos, o que representa um bom desempenho deste indicador atendendo ao grau de paciência dos clientes de 20 minutos.

Estima-se em 33,6% a probabilidade da percentagem de tempo de ocupação dos funcionários no atendimento ao público ser superior a 55%, superando o objetivo dos 65% apenas com 17,4% de hipóteses.

A receita média na hora adicional neste caso é de 236,16€ e estima-se uma probabilidade de 97,1% da mesma estar compreendida entre 100€ e 500€ com 0,9% de hipóteses de ser inferior a 100€ e 2,0% de hipóteses de ser superior a 500€.

Quanto à receita perdida na hora adicional, estima-se um valor médio de 0,18€, verificando-se que, em 99,5% dos cenários simulados, não existiu qualquer receita perdida.

#### **4.4. Discussão**

Nesta secção, após os resultados para cada cenário simulado terem sido apresentados de forma mais objetiva, será efetuada uma discussão sobre os mesmos, na tentativa de emissão de parecer sobre a escolha de capacidade mais adequada para a farmácia em cada situação. Em concreto, serão tecidas conclusões mais técnicas sobre o estudo de simulação efetuado, sendo fundamentada uma proposta sobre o número de funcionários a implementar em cada período de procura do ciclo mensal, tendo em conta os resultados obtidos para os 3 valores de grau de paciência dos clientes em simultâneo.

Para o período do Pico do mês, entende-se que a escolha atual da capacidade de serviço por parte da administração, de ter uma média de 6 funcionários em atendimento ao público, é adequada. Todos os indicadores estão bem, existindo talvez apenas a possibilidade de melhorar a % de tempo de ocupação dos funcionários. De qualquer forma, de um modo geral, no caso de 6 funcionários em atendimento, existe bastante equilíbrio no desempenho do sistema, mesmo fazendo variar o grau de paciência dos clientes, revelando alguma imunidade a esse efeito.

De facto, ao reduzir-se o número de funcionários para 5, obteve-se uma melhoria na % de tempo de ocupação dos funcionários, mas a receita média diária perdida aumentou significativamente, de 7,83€ para 71,66€. Considerado que a importância do indicador da receita diária perdida possa ser, aos olhos da administração da farmácia, superior à importância do indicador da % de tempo de ocupação dos funcionários, reduzir a capacidade para 5 funcionários pode não ser justificável. Para além disso, o desempenho do sistema com uma capacidade de 5 funcionários seria negativa e significativamente afetado pela possível redução do grau de paciência dos clientes para 5 minutos (este cenário também foi simulado, embora se tenha decidido omitir os respetivos resultados), comparativamente ao caso de 6

funcionários, em que há alguma imunidade. Já no caso de serem escalonados 7 funcionários, a % de tempo de ocupação dos funcionários piora significativamente, não existindo melhorias de relevo nos outros indicadores. Perante tudo isto, e reforçando o parecer, é-se levado a concluir que a capacidade atual da farmácia no período do Pico do mês é adequada.

Agora em relação ao período do Resto do mês, a capacidade atual de 4 funcionários parece escassa, essencialmente porque se estima uma receita média diária perdida de 180,60€, o que poderá justificar um funcionário adicional em atendimento ao público. Ou seja, no período do Resto do mês, ter uma capacidade de 5 funcionários em permanência no atendimento ao público parece, globalmente, gerar maiores benefícios para a farmácia, do que a atual média de 4 funcionários em atendimento.

De facto, neste período do Resto do mês, colocar apenas 3 funcionários em atendimento é manifestamente inapropriado, pois todos os indicadores de desempenho pioram bastante em comparação com a situação atual (exceto naturalmente o da % de tempo de ocupação, mas que não terá uma importância tão relevante para a administração da farmácia). Já colocar 5 funcionários em atendimento permite obter um equilíbrio de bom desempenho em todos os indicadores, principalmente no indicador da perda de receita que, neste caso, apresenta uma média de apenas 20,92€, com 89% de hipóteses de não haver qualquer perda de receita, comparativamente aos 180,60€ de receita média diária perdida no caso da capacidade atual de serviço do sistema. O aumento da capacidade para 5 funcionários permanentemente em atendimento no período do Resto do mês permitirá ainda lidar de modo mais adequado com a possível impaciência severa dos clientes, uma vez que, com a capacidade atual de 4 funcionários, o desempenho do sistema piora drasticamente com o aumento do grau de impaciência dos clientes (por exemplo, a receita média diária perdida seria de 476,93€). Concluindo para o período do Resto do mês, entende-se que 5 funcionários seria a melhor opção a tomar pela administração da farmácia.

Finalmente, para o período da Hora adicional, colocar dois funcionários em atendimento parece ser a melhor escolha de capacidade de serviço. Na verdade, é exatamente a mesma capacidade que a farmácia utiliza nos dias em que trabalha em período noturno. Entende-se que essa capacidade permite atingir o melhor equilíbrio possível entre todos os indicadores.

Na simulação efetuada para a hora adicional com 1 funcionário, todos os indicadores pioram bastante em relação à simulação com 2 funcionários, com ênfase na receita perdida na hora adicional, que se estima em 44,28€, provavelmente suficiente, só por si, para pagar a hora

extra do funcionário. Na simulação com 3 funcionários, existe naturalmente uma melhoria no tempo médio de espera, com 74,6% dos clientes a não esperar qualquer tempo, mas este indicador já revelava bom desempenho com 2 funcionários e os indicadores receita na hora adicional e receita perdida na hora adicional mantêm-se praticamente inalterados, enquanto há uma grande perda no indicador da percentagem de tempo de ocupação, em que o objetivo mínimo dos 55% não seria atingido com 92,7% de probabilidade. Para além de tudo isto, a capacidade de 2 funcionários mostra-se capaz de responder ao eventual aumento do grau de impaciência dos clientes. Concluindo, e face ao exposto, entende-se que a capacidade de dois funcionários em atendimento é a mais adequada para o período das 19:30 às 20:30, caso a administração da farmácia tenha interesse em alargar o seu horário diário atual de funcionamento em uma hora.

Quanto a esta última decisão, a de alargar em uma hora o período diário normal de abertura ao público da farmácia (o período das 19:30 às 20:30), assumindo uma capacidade de 2 funcionários em atendimento, parece uma solução economicamente viável, atendendo à receita média prevista para a hora adicional de 233,85€, que poderá ser suficiente para cobrir todos os custos inerentes ao funcionamento da farmácia nessa hora adicional.

## 5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste projeto foram explorados e trabalhados os temas da gestão de filas de espera e da simulação computacional. Em detalhe, foi utilizado o *software @Risk*, com a finalidade de obter resultados sobre o dimensionamento da capacidade de serviço a ser implementada por uma farmácia no atendimento ao público, que pediu o seu anonimato. Foram atingidos vários objetivos neste projeto com benefício para a farmácia em estudo, a saber: 1) produção de informação relevante para a administração da farmácia a nível do comportamento da sua procura e do desempenho atual do seu sistema de fila de espera (objetivo principal do projeto); 2) produção de informação relevante para a administração da farmácia em termos de apoio à decisão de aumento/redução da capacidade de serviço, em termos do número de funcionários em atendimento, com respetiva emissão de parecer fundamentado (primeiro objetivo adicional do projeto); 3) produção de informação relevante para a administração da farmácia em termos de perceção do impacto do grau de paciência/impaciência dos seus clientes no desempenho do sistema de serviço da farmácia (segundo objetivo adicional do projeto); 4) produção de informação relevante para a administração da farmácia em termos de apoio à decisão de alargamento do horário diário normal de abertura da farmácia em uma hora (das 19:30 às 20:30), com respetiva emissão de parecer fundamentado (terceiro objetivo adicional do projeto).

Foram igualmente atingidos vários objetivos para o estudante autor do projeto: 1) reconhecimento dos benefícios do uso da simulação como ferramenta de apoio à tomada decisão; 2) aquisição de capacidade de efetuar um estudo de simulação, percorrendo todas as fases do mesmo, desde o trabalho de campo na recolha de dados até à análise económica dos outputs das simulações; 3) aquisição de competências na utilização do software de simulação @Risk; 4) aquisição de capacidade para exercer trabalhos de consultoria na área da gestão de operações, sobretudo em gestão de filas de espera.

Em detalhe, a aprendizagem obtida neste projeto permitiu reconhecer a importância da correta gestão das filas de espera, quer para as empresas de prestação de serviços, quer para as empresas de produção, nas quais são usados sistemas de automação na fabricação dos produtos. O comportamento de uma fila de espera pode ser o fator de sucesso ou insucesso para uma empresa, dependendo da qualidade e rapidez do serviço prestado. Uma má gestão

das filas de espera origina custos de perda de clientes, ou o aumento de produtos em vias de fabrico a aguardarem para serem transformados ou custos decorrentes das máquinas paradas.

Este projeto foi baseado num serviço muito particular, o farmacêutico, em que às suas características operacionais está igualmente associado o custo de perder um cliente por não ser atendido em tempo útil. Este é, no entanto, um problema que a teoria da gestão de filas de espera, com os seus modelos matemáticos, apoiados pela simulação, consegue dar resposta de forma fácil, rápida e com baixo custo, sem necessidade de implementação física das várias alternativas de decisão/capacidade disponíveis.

As principais dificuldades sentidas neste projeto foram no trabalho de campo de recolha de dados, pois em vários períodos de recolha revelou-se impossível de registar com rigor todos os momentos exatos de entrada e saída de clientes, devido essencialmente ao facto de existirem durante o dia períodos de grande afluência de clientes à farmácia. Existiram também situações em que os clientes se dirigiam ao balcão sem terem sido chamados pelo sistema eletrónico de senhas introduzido na farmácia. Outra dificuldade adicional decorreu do facto de existirem dois tipos de clientes, os de atendimento normal e os urgentes. Nas situações de grande afluência de clientes, revelou-se difícil a sua distinção.

O estudo técnico efetuado no âmbito do presente projeto também tem implícitas várias limitações devido aos pressupostos assumidos. Em particular, o pressuposto assumido relativamente ao número de funcionários na situação atual, porque na realidade o número de funcionários em atendimento ao público varia ao longo do dia, isto é, não existe um número fixo de funcionários disponíveis para atendimento ao longo de todo o dia. Esta situação ocorre devido à elevada variabilidade de afluência de clientes ao longo do dia, que a administração da farmácia gere fazendo com que os funcionários que estão a efetuar outras tarefas que não as de atendimento ao público, rapidamente possam passar para um dos balcões de atendimento caso haja um afluxo excessivo de clientes em determinado momento. Da mesma forma, em momentos de menor procura, os funcionários em excesso podem ser destacados para outras tarefas que não as de atendimento ao público. Por fim, existiu também uma limitação em relação ao período de recolha de dados, que só foi feita durante um mês (novembro), decorrente sobretudo do prazo curto disponível para o presente projeto (apenas um semestre e carga de trabalho de apenas 30 ECTS), que impediu por exemplo a análise do ciclo anual da procura.

## Referências Bibliográficas

- Caro, J. J. (2005). Pharmaco-economic analyses using discrete event simulation. *Pharmacoeconomics*, 23(4), 323–332.
- Carson, J. S. (2005). Introduction to modeling and simulation. *Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2005.*, 8-pp. IEEE.
- Carvalho, M. J. D. (2015). *Caracterização de uma fila de espera de um serviço hospitalar - um estudo de caso* (Dissertação Mestrado, Instituto Politécnico de Leiria). Retrieved from <https://iconline.ipleiria.pt/handle/10400.8/2547>
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2017). *Operations management* (12<sup>a</sup> Edição). New Jersey: Pearson Education Limited.
- Hillier, F. S. (1963). Economic models for industrial waiting line problems. *Management Science*, 10(1), 119–130.
- Jahn, B., Theurl, E., Siebert, U., & Pfeiffer, K. P. (2010). Tutorial in medical decision modeling incorporating waiting lines and queues using discrete event simulation. *Value in Health*, Vol. 13, pp. 501–506. <https://doi.org/10.1111/j.1524-4733.2010.00707.x>
- Jorge, M. (2017). *Gestão de filas de espera com recurso à simulação* (Dissertação de mestrado, Instituto Politécnico de Leiria). Retrieved from <https://iconline.ipleiria.pt/handle/10400.8/2579?mode=full>
- Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2013). *Operations Management - Processes and Supply Chains* (10<sup>a</sup> edição). Essex.
- Lisboa, J. V., & Gomes, C. F. (2008). *Gestão de Operações* (2<sup>a</sup> Edição; Vida Económica, Ed.). Porto.
- Longaray, A., Santos, A., Munhoz, P., & Castelli, T. (2016). Análise da Disciplina de Filas no Atendimento ao Cidadão em Agências da Previdência Social: um Estudo de Caso. *Revista de Gestão Em Sistemas de Saúde*, 5(1), 105–119. <https://doi.org/10.5585/rgss.v5i1.166>
- Perdoná, I. I., Nunes, R. V., Neves, R. M. das, Naimer, S. C., & Godoy, L. P. (2017). Sistema

de manufatura: otimização de processos em uma unidade fabril de cimento através da teoria das filas. *Exacta*, 15(4), 13–25. <https://doi.org/10.5585/ExactaEP.v15n4.6839>

Pinto, J. P. (2010). *Gestão de Operações na Indústria e nos Serviços* (3ª Edição; Lidel, Ed.). Lisboa.

Rossa Camelo, G., Sérgio Coelho, A., Massoli Borges, R., & Maria de Souza, R. (2010). Teoria das filas e da simulação aplicada ao embarque de minério de ferro e manganês no terminal marítimo de ponta da madeira. *Cadernos Do IME - Série Estatística*, 29(0). <https://doi.org/10.12957/cadest.2010.15733>

Shechter, S. M., Bryce, C. L., Alagoz, O., Kreke, J. E., Stahl, J. E., Schaefer, A. J., ... Roberts, M. S. (2005). A clinically based discrete-event simulation of end-stage liver disease and the organ allocation process. *Medical Decision Making*, 25(2), 199–209.

Singhal, K., Singhal, J., & Kumar, S. (2019). The Value of the Customer's Waiting Time for General Queues\*. *Decision Sciences*, 50(3), 567–581. <https://doi.org/10.1111/deci.12343>

Vissers, J. M. H., Van Der Bij, J. D. H., & Kusters, R. J. (2001). Towards decision support for waiting lists: an operations management view. *Health Care Management Science*, 4(2), 133–142.