

Incorporação de diferentes objectivos na gestão de doentes cirúrgicos

Optimização e simulação do processo de agendamento

Duarte Peig Dória Damásio

Dissertação de Mestrado em
Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Prof. Daniel Rebelo dos Santos

Júri

Presidente: Prof. Mónica Duarte Correia de
Oliveira

Orientador: Prof. Daniel Rebelo dos Santos

Arguente: Prof. Teresa Sofia Cipriano
Gonçalves Rodrigues

Declaração: Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

Declaration: I declare that this document is an original work of my own authorship and that it fulfils all the requirements of the Code of Conduct and Good Practices of the Universidade de Lisboa.

Agradecimentos e reconhecimentos

Em primeiro, quero agradecer ao Dr. Daniel Santos e à Mariana Oliveira pela oportunidade e disponibilidade de trabalhar este tema comigo, pelo apoio, boa vontade e pela motivação que me deram ao longo desta jornada. Em segundo lugar, aos meus pais e ao IST por me terem proporcionado todas as condições necessárias para atingir os meus objectivos académicos. À minha família e amigos pelo suporte emocional e pelos bons momentos que me proporcionam diariamente, dos quais destaco a Margarida Martins pelas constantes ajudas ao longo destes últimos anos.

A todos estes eu agradeço porque sem eles não teria sido possível fechar este ciclo com sucesso.

Resumo

No contexto do bloco operatório podem ser identificados diferentes grupos de *stakeholders* que apresentam objectivos de planeamento conflituosos, no que diz respeito aos seus interesses individuais, em relação ao sistema cirúrgico. Desta forma, este trabalho propõe uma abordagem multi-objectivo de optimização e simulação do processo de agendamento cirúrgico, que incorpora as diferentes perspectivas e interesses das partes envolvidas. Esta abordagem pode ser decomposta em duas fases principais, uma de optimização e outra de simulação. Assim, para a primeira fase, um modelo de optimização foi desenvolvido de forma a obter uma solução de agendamento semanal optimizada. Para a segunda fase, foi desenvolvido um modelo de simulação do processo cirúrgico, de forma a analisar a solução optimizada na primeira fase e comparar os respectivos resultados com uma solução considerada como representativa de uma agenda real. A metodologia é testada num contexto de um caso de estudo relativo a um hospital público português.

Palavras-chave: Bloco operatório, *stakeholders*, multi-objectivo, optimização e simulação.

Abstract

In the operating room context, different stakeholders can be identified and grouped according to their individual interests, which may reflect different planning goals for the surgical system operating processes. This way, this paper proposes a multi-objective approach to optimise and simulate the surgical scheduling process, which incorporates the different perspectives and interests of the stakeholders involved. This approach can be decomposed into two main phases, one of optimisation and the other of simulation. Thus, for the first phase, an optimisation model was developed in order to obtain an optimised weekly scheduling solution. For the second phase, a simulation model of the surgical process was developed in order to analyse the optimised solution, obtained in the first phase, and compare the respective results with a solution considered to be representative of a real schedule. The methodology is tested in a case study context concerning a Portuguese public hospital.

Keywords: Operating theatre, stakeholders, multi-objective, optimisation and simulation.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	O bloco operatório	1
1.2	Objectivos	2
1.3	Motivação	3
1.4	Estruturação	3
2	Definição do problema	5
2.1	Complexidade de gestão do bloco operatório	5
2.1.1	Níveis de decisão	6
2.2	Diferentes perspectivas	8
2.2.1	Levantamento de <i>stakeholders</i>	8
2.2.2	Conflitos de interesses dos <i>stakeholders</i>	10
2.3	Outros aspectos Comportamentais	12
2.4	Conclusão do capítulo	13
3	Revisão de literatura	15
3.1	De <i>OR</i> a <i>BOR</i> , a inclusão da componente comportamental	15
3.1.1	Aplicabilidade do <i>BOR</i>	16
3.1.2	Enquadramento do <i>BOR</i> no contexto do bloco operatório	17
3.2	Técnicas para lidar com conflitos de interesses	19
3.2.1	Modelos de optimização multi-objectivo	20
3.3	Incorporação de aspectos comportamentais em modelos	22
3.4	Exemplos de trabalhos aplicados ao contexto do sistema cirúrgico	25
3.5	Conclusão do capítulo	27
4	Metodologia de trabalho	29
5	Caso de estudo: Hospital de Évora	31
5.1	Introdução	31
5.2	Enquadramento	32
5.2.1	Enquadramento com a definição do problema	32
5.2.2	Enquadramento com a revisão de literatura	34
5.2.3	Definição de fronteiras do sistema	38
6	Recolha e tratamento de dados	41
6.1	Obtenção de parâmetros	41
7	Desenvolvimento de modelos	47
7.1	Suposições gerais	47
7.2	Modelo de optimização	48
7.2.1	Formulação do modelo	49
7.2.2	Descrição da formulação	50
7.2.3	Teste e verificação de resultados do modelo	52
7.2.4	Aplicação prática dos resultados	53

7.3	Modelo de simulação	54
7.3.1	<i>Starting points</i>	56
7.3.2	<i>Activities</i>	58
7.3.3	<i>Queues</i>	61
7.3.4	<i>Resources</i>	62
7.3.5	<i>End Points</i>	63
7.3.6	Teste e validação do modelo	64
8	Análise e comparação de resultados: solução real vs solução otimizada	69
8.1	Análise e comparação de soluções em condições de funcionamento habituais	69
8.2	Análise e comparação de soluções em regime de funcionamento variável	71
8.2.1	Modelação do disruptor	72
8.2.2	Análise e comparação de resultados de soluções	73
9	Conclusões, recomendações finais e trabalho futuro	79
A	Anexos	85

Lista de Tabelas

- 1 Principais *stakeholders*, agrupados em classes de acordo com os seus objectivos e *KPIs* correspondentes. 85

Lista de Figuras

1	LCD do Sistema cirúrgico de forma geral e delineação das fronteiras do sistema considerado (Guerriero & Guido 2011, Roure et al. 2015).	39
2	Os 10 primeiros elementos de uma amostra de 113 dados, relativa aos registos de tempos de duração cirúrgica da especialidade de oftalmologia, e os respectivos parâmetros calculados de média e desvio padrão, u e s respectivamente.	42
3	Obtenção do parâmetro de número de cirurgias por tempo (6 horas) para cada especialidade (D_i), assumindo uma distribuição Normal Logarítmica de média u_i e desvio padrão s_i como representativa da aleatoriedade inerente à duração real de cada especialidade cirúrgica (i).	43
4	Obtenção do parâmetro de nível mínimo de serviço semanal para cada especialidade (N_{min_i}), com base na distribuição de tempos real relativa ao mês de Novembro de 2018.	44
5	Obtenção do parâmetro relativo à eficiência das salas (Ef_i) consideradas no modelo, de acordo com os registo de distribuição de tempos, agendamentos e cancelamentos reais, verificados para as semanas do mês de Novembro de 2018, fornecidos pelo HESE.	45
6	Obtenção da taxa de utilização de blocos de acordo com os dados fornecidos pelo HESE.	46
7	Distribuição semanal de tempos por especialidade obtida pelo modelo de optimização.	52
8	Sugestão de agendamento semanal de cirurgias electivas, tendo em conta a solução do modelo de optimização.	54
9	Diagrama final da modelação do sistema considerado em <i>Simul8 (student version)</i>	56
10	Definição da atribuição de rotas, nas propriedades da <i>activity</i> “PHU (acolhimento)”, de acordo com o valor numérico do rótulo “Rota”, relativo a cada <i>work item</i>	59
11	Distribuição Normal Logarítmica criada para representar estocasticamente a duração de cirurgias de oftalmologia de acordo com os parâmetros média e desvio padrão obtidos com base nos dados fornecidos pelo hospital.	60
12	Inclusão de um parâmetro de eficiência para a <i>activity</i> “Sala 1”, bem como um parâmetro de tempo médio de bloqueio “ <i>average repair time</i> ”, no modelo de simulação.	61
13	Número mínimo de <i>runs</i> obtidos pelo <i>Simul8 Trial calculator</i>	65
14	Agendamento de cirurgias para uma semana representativa das semanas relativas ao mês de Novembro de 2018.	66
15	Comparação da taxas de eficiência de cirurgias verídicas, do mês de Novembro de 2018, com as taxas obtidas de acordo com os resultados da simulação da semana representativa desse mês.	66
16	Verificação dos valores obtidos para a taxa de utilização de blocos u_i resultantes da simulação de uma semana representativa da solução de agendamento de cirurgias do Hospital, para o mês de Novembro de 2018.	67
17	Comparação dos resultados de simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo <i>solver</i> , em relação à taxa de eficiência e numero de cirurgias efetuadas para cada sala.	70

18	Comparação de valores obtidos para taxas de utilização resultantes da simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo <i>solver</i>	71
19	Simulador de disrupção incluído no modelo.	72
20	Cálculo da probabilidade de rota de um evento disruptivo de acordo com a proporção de taxas de cancelamento.	73
21	Comparação dos resultados de simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo <i>solver</i> , para o número total de cirurgias efectuadas, variando o nível de disrupção.	74
22	Comparação dos resultados de eficiência da simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo <i>solver</i> , variando o nível de disrupção.	75
23	Gráfico de comparação de taxas de utilização de blocos (em percentagem), para a simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo <i>solver</i> , variando o nível de disrupção.	77
24	Despesa publica em saúde, em Portugal de 2000 a 2020, de acordo com a página web do site PORDATA (https://www.pordata.pt/DB/Portugal/Ambiente+de+Consulta/Gr%C3%A1fico), à data de 16/02/2022.	85
25	Métodos de modelação de comportamento humano, (Greasley & Owen 2016).	86
26	Relatórios de resposta de acordo com os diferentes motores de busca disponibilizados pelo <i>solver</i> do <i>Excel</i> , <i>LP Simplex</i> , <i>GRG Não Linear</i> e <i>Evolutionary</i> respectivamente. O modelo foi corrido num computador equipado com um processador <i>Intel (R) Core (TM) i5</i> e <i>6 GB</i> de <i>RAM</i> , utilizado para os 3 motores de busca testados.	87
27	Atribuição de rótulos escritos e numéricos para cada <i>starting point</i> de acordo com os diferentes tipos de cirurgias, durações cirúrgicas ajustadas a distribuições probabilísticas criadas no modelo de simulação em <i>Simul8</i> cujo nome coincide com o valor escrito do respectivo rótulo atribuído (<i>DurCir</i>) e ainda tendo em conta as diferentes rotas consideradas no modelo (onde o valor numérico definido vai corresponder à rota de igual valor no modelo, à saída da actividade “PHU (acolhimento)”.	88
28	Introdução de parâmetros de agendamento para pacientes de oftalmologia, através da ferramenta <i>Day Planner</i> disponibilizada pelo <i>Simul8</i>	89
29	<i>Simul8 Trial Calculator</i> , com 5% de precisão, para um intervalo de confiança de 95%.	89
30	Convergência da média de resultados de cirurgias executadas (recobro completed), para um intervalo de confiança de 95%, com nível de precisão de 5%	90
31	Diagrama final da modelação do sistema considerado em <i>Simul8 (student version)</i> , incluindo o diagrama referente ao disruptor (parte de baixo).	91
32	Comparação dos resultados de simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo <i>solver</i> , para o número total de cirurgias efectuadas e taxa de eficiência, em função da variação do nível de disrupção (N.D).	92
33	Tabela de comparação de taxas de utilização total de blocos (em percentagem), para a simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo <i>solver</i> , variando o nível de disrupção (N.D).	93

34	Gráfico de comparação de taxas de utilização total de blocos (em percentagem), para a simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo <i>solver</i> , variando o nível de disrupção (N.D).	93
35	Tabela de comparação de taxas de utilização electiva de blocos (em percentagem), para a simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo <i>solver</i> , variando o nível de disrupção (N.D).	94
36	Gráfico de comparação de taxas de utilização electiva de blocos (em percentagem), para a simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo <i>solver</i> , variando o nível de disrupção (N.D).	94
37	Tabela de comparação de taxas de utilização fictícias de blocos (em percentagem), para a simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo <i>solver</i> , variando o nível de disrupção (N.D).	95
38	Gráfico de comparação de taxas de utilização fictícias de blocos (em percentagem), para a simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo <i>solver</i> , variando o nível de disrupção (N.D).	95

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Descrição
AL	<i>Adaptative Landscape</i>
ASAP	<i>As Soon As Possible</i>
BOMI	Bloco Operatório de Maternidade Infantil
BOR	<i>Behavioral Operational Research</i>
CA	<i>Cellular Automata</i>
CAS	<i>Complex Adaptive System</i>
CS	<i>Complexity Science</i>
DES	<i>Discret-Event Simulation</i>
FIFO	<i>First IN First Out</i>
GA	<i>Genetic Algorithm</i>
GB	<i>GigaByte</i>
GRG	<i>Generalized Reduced Gradient</i>
HESE	Hospital Espírito Santo de Évora
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
LCD	<i>Life Cycle Diagram</i>
LOS	<i>Length of Service/Stay</i>
LP	<i>Linear Programming</i>
LPT	<i>Longest Processing Time</i>
LWR	<i>Least Work Remaining</i>
MILP	<i>Mixed Integer Linear Programming</i>
MSS	<i>Master Surgery Scheduling</i>
N.D	Nível de Disrupção
OR	<i>Operational Research</i>
ORL	Otorrinolaringologista
PED	Pediatria
PHU	<i>Pre-operative Holding Unit</i>
PNS	Plano Nacional de Saúde
RAM	<i>Random-Access Memory</i>
RB	Recurso do Bloco
(R) TM	<i>Registered Trademark</i>
SCM	<i>Supply Chain Management</i>
SD	<i>System Dynamics</i>
SP	<i>Stochastic Process</i>
SPT	<i>Shortest Processing Time</i>
UCI	Unidade de Cuidados Intensivos

1 Introdução

Neste capítulo é introduzido ao leitor, de um modo geral, o bloco operatório e a sua dinâmica no contexto do hospital, descrito na secção 1.1. De seguida, são apresentados os objectivos que se espera alcançar com a elaboração deste trabalho, descritos na secção 1.2, bem como a motivação que despoletou o interesse na escolha deste tema, expressa na secção 1.3. Finalmente, é apresentada a estruturação completa da dissertação, correspondente à secção 1.4.

1.1 O bloco operatório

Em Portugal, nos últimos 20 anos, a despesa pública com a saúde tem sido uma parcela considerável do orçamento de estado e os seus valores têm vindo a crescer, tal como sugere o gráfico da figura 24 em anexo (secção A), com excepção do intervalo entre 2011 e 2013 inclusive, cuja descida se deveu principalmente ao impacto da crise económico-financeira na economia nacional. Esta crise que afectou o país, principalmente entre 2008 e 2013 (Sakellarides et al. 2014), dificultou a capacidade de cobrir gastos de tal ordem, e assim acompanhar o crescimento de investimento em saúde pública verificado até então, o que condicionou a oferta de recursos médicos. Por outro lado, a crescente tendência de envelhecimento da população tem gerado um conseqüente aumento da procura de cuidados de saúde (VanBerkel & Blake 2007), aumentando a pressão sobre a oferta limitada de recursos. Assim sendo, é razoável desenvolverem-se esforços para otimizar a gestão dos recursos na saúde, melhorando o desempenho dos sistemas, nomeadamente no que diz respeito a hospitais públicos.

No que diz respeito aos hospitais, em média, mais de 60% das admissões de pacientes devem-se a intervenções cirúrgicas, que representam 40% das despesas totais do hospital (Guerriero & Guido 2011). Para além da importância da prestação de serviços de saúde na sociedade e do referido peso financeiro no hospital, a complexidade inerente à gestão de blocos tem levado a que, muitas vezes, os gestores sejam incentivados a apoiarem as suas decisões em trabalhos de investigação, nomeadamente na procura de soluções para problemas específicos da respectiva área hospitalar (identificados no capítulo 2), com o objectivo de melhorar o desempenho do sistema cirúrgico.

A importância deste tipo de problemas tem provocado um crescente interesse por parte dos investigadores, principalmente no domínio do planeamento e agendamento de salas cirúrgicas, que por sua vez tem induzido um aumento constante do número de contribuições da investigação operacional, no desempenho dos blocos, ao longo do tempo (Cardoen et al. 2010a). Os contributos da investigação têm sido principalmente no desenvolvimento de vários procedimentos que actuam para reduzir os custos, melhorar o fluxo de pacientes, fornecer tratamento atempado e utilização máxima dos recursos disponíveis (Guerriero & Guido 2011).

Acontece que grande parte desses trabalhos, presentes na literatura, têm tido uma certa tendência para se focar nos assuntos mais técnicos dos problemas que visam solucionar (dados relacionados com recursos, estimativas de procura, entre outros parâmetros...), ou seja, nos aspectos considerados mais relevantes pelos investigadores, preocupados com a formulação matemática dos modelos (Franco & Hämäläinen 2016). Desta forma, têm sido menosprezados os próprios indivíduos envolvidos nos sistemas que a investigação operacional pretende otimizar, resultando em soluções que sugerem a implementação de procedimentos que muitas vezes ignoram tanto in-

teresses como outras características comportamentais das partes envolvidas (*stakeholders*), desprezando a influência que isso possa ter, quer no sistema quer na implementação de soluções propostas pelos investigadores (Hämäläinen et al. 2013).

Assim, uma corrente diferente de investigação tem vindo a ganhar atenção por parte dos investigadores que, apesar de apresentar menos extensão na literatura, incide um maior foco sob aspectos comportamentais dos intervenientes humanos nos sistemas abordados. De modo a distinguir esta nova corrente daquilo que é considerado como a forma mais tradicional de investigação operacional, surgiu o conceito de *BOR*, do inglês *behavioural operational research*, entre a comunidade de investigação (introduzida na secção 3.1).

Com base em alguns aspectos salientados pela literatura, ainda que meio dispersa, à volta deste conceito de *BOR*, é proposto o desenvolvimento de um modelo de simulação como forma de apoiar a decisão de implementação de uma solução de agendamento obtida por um modelo de optimização, visando promover a compreensão e aceitação das respectivas soluções optimizadas por parte dos decisores e favorecendo um entendimento entre decisores e investigadores.

Desta forma, um modelo de optimização é sugerido como forma de obter uma solução para atribuição de tempos de blocos operatórios a especialidades, para que se possa proceder a um agendamento semanal de cirurgias. Seguidamente, uma agenda de cirurgias semanal é sugerida e analisada com recurso ao modelo de simulação, cuja modelação visa representar o sistema cirúrgico referente a um caso de estudo real (baseado em informações fornecidas pelo HESE).

Para além do propósito de promover a compreensão do impacto de soluções no sistema e facilitar o entendimento geral entre os principais intervenientes do sistema cirúrgico e investigadores, o modelo de simulação foi desenvolvido com o intuito de permitir uma análise capaz de ter em conta diferentes perspectivas, associadas aos interesses dos principais *stakeholders* envolvidos no sistema considerado, através de uma abordagem multi-objectivo aplicada ao respectivo contexto hospitalar.

1.2 Objectivos

Este trabalho visa destacar a corrente de investigação operacional associada ao conceito de *BOR*, salientando a importância da inclusão de aspectos comportamentais na elaboração de modelos, com especial foco em problemas de conflitos de interesses entre *stakeholders*, neste caso aplicado ao processo de agendamento de cirurgias envolvendo blocos operatórios.

Para tal, um modelo de optimização foi desenvolvido de forma a ser possível obter uma solução de agendamento de cirurgias semanal optimizada. Seguidamente, um modelo de simulação foi também desenvolvido com o propósito de testar e analisar soluções, no que diz respeito principalmente a resultados de *KPI's* que possam ser relevantes na óptica dos principais *stakeholders* inerentes ao processo, neste caso relativos ao número total de cirurgias efectuadas, à eficiência (em relação a cancelamentos) e ainda à taxa de utilização de recursos (principalmente humanos). Outro propósito da criação do modelo de simulação foi promover a comunicação (entre modelos de optimização e utilizadores), compreensão (das soluções no sistema em causa) e entendimento entre os envolvidos no processo.

1.3 Motivação

O que mais motivou a elaboração deste trabalho foi a necessidade crescente de apoio, que os hospitais portugueses carecem actualmente, fruto da crescente pressão sobre a oferta limitada de recursos/serviços médicos, derivada principalmente do envelhecimento da população mundial que necessita de crescentes cuidados médicos que por sua vez requer maiores investimentos no desenvolvimento de métodos e equipamentos novos e dispendiosos.

Outro aspecto que motivou a elaboração deste trabalho, foi o facto de ainda não terem sido desenvolvidos muitos trabalhos que incluam aspectos comportamentais dos indivíduos envolvidos no sistema em causa. Assim sendo, a possibilidade de destacar e explorar uma nova corrente de investigação (*BOR*), que tem vindo a ganhar alguma atenção por parte dos investigadores nos últimos anos, e que pode potenciar novos avanços e contributos para a superação dos desafios referidos relativos à gestão de sistemas de prestação de serviços de saúde, constitui uma parte significativa da motivação que moveu este trabalho.

1.4 Estruturação

O trabalho inicia-se com uma breve introdução (presente capítulo) para dar um enquadramento ao leitor daquilo que vai ser o tópico principal. É apresentada uma breve contextualização do ambiente hospitalar relativo a área de cirurgia, evidenciando algumas dificuldades relativas aos principais problemas de gestão do bloco operatório (secção 1.1). Ainda no presente capítulo, são apresentados os objectivos que a dissertação visa alcançar (secção 1.2), bem como os propósitos que sustentam a motivação para abordar este tópico (secção 1.3). A presente secção (secção 1.4), serve apenas para facilitar ao leitor a compreensão do trabalho desenvolvido através de uma estruturação geral do respectivo trabalho.

O Capítulo 2 é focado na descrição do problema. É iniciado com uma breve descrição da complexidade de gestão do bloco operatório (secção 2.1), nomeadamente destacando as dificuldades relativas à tomada de decisões e as suas implicações no respectivo contexto, bem como uma breve descrição dos níveis de decisão do sistema cirúrgico (secção 2.1.1). Segue-se uma descrição de um dos principais problemas relacionado com as diferentes perspectivas, características do ambiente descrito (secção 2.2), relativas aos diferentes *stakeholders* do sistema, listados na secção 2.2.1 e que, por sua vez, podem causar conflitos de interesses que podem prejudicar o entendimento entre as partes (*stakeholders*) envolvidas no sistema, descritos na secção 2.2.2. Por fim, são evidenciados outros aspectos comportamentais, expressos na literatura, capazes de influenciar a performance do sistema que são destacados na secção 2.3. A secção 2.4 serve para concluir e fechar este capítulo.

No Capítulo 3 é feita uma revisão de literatura, começando pela definição do conceito *BOR* (secção 3.1), passando pela descrição da sua aplicabilidade (secção 3.1.1), bem como o seu enquadramento com o tema (secção 3.1.2). Na secção 3.2 são sugeridos modelos com os requisitos necessários para abordar problemas relativos a conflitos de interesses entre *stakeholders*. Também são destacadas algumas técnicas de simplificação de modelos multi-objectivo, para lidar com a complexidade inerente ao contexto a que se aplicam (secção 3.2.1). Finalmente, algumas metodologias que visam incorporar outros comportamentos nos modelos, aplicados a sistemas complexos, são destacadas na secção 3.3. A secção 3.4 apresenta alguns exemplos de mode-

los desenvolvidos e aplicados especificamente ao contexto do sistema cirúrgico, presentes na literatura, tendo sido algumas destas ideias aproveitadas para no desenvolvimento dos modelos propostos por este trabalho. Assim, o objectivo principal deste capítulo foi reunir ferramentas, disponibilizadas pela literatura, de modo a poder lidar e solucionar alguns dos problemas descritos no capítulo 2. Para finalizar, a secção 3.5 apresenta a conclusão do respectivo capítulo.

À luz do material reunido nos capítulos anteriores, no capítulo 4 é apresentada a metodologia proposta para abordar um caso de estudo real, relativo ao agendamento semanal de cirurgias electivas de um hospital, com base em alguns dados e informações fornecidas pelo respectivo hospital.

O capítulo 5, começa por introduzir o referido caso de estudo relativo ao HESE (secção 5.1), destacando alguns detalhes referentes ao sistema cirúrgico do hospital em causa. Seguidamente é feito um enquadramento geral do caso de estudo com a teoria destacada neste trabalho (secção 5.2), bem como um enquadramento mais específico com a definição do problema expressa no capítulo 2 (secção 5.2.1) e a revisão de literatura expressa no capítulo 3 (secção 5.2.2). Finalmente, com base no enquadramento previamente efectuado, o capítulo conclui com a definição de fronteiras da parte do sistema cujo foco do trabalho deve incidir (secção 5.2.3).

O capítulo 6 refere como foi feita a recolha e tratamento de dados utilizados no trabalho, nomeadamente como foram obtidos alguns parâmetros incluídos na modelação de modelos (secção 6.1).

No capítulo 7 é detalhada a modelação de dois modelos, começando pelas suposições gerais e comuns a ambos os modelos (secção 7.1), seguindo-se a descrição da modelação do modelo de optimização (secção 7.2) e finalizando com a descrição da modelação do modelo de simulação (secção 7.3).

No capítulo 8 é feita uma análise e comparação de duas soluções diferentes de agendamento, uma gerada pelo modelo de optimização e outra considerada como representativa de uma solução do hospital em causa (obtida com base em registos históricos reais). Numa primeira fase, a análise e comparação de soluções é feita para condições normais de funcionamento (secção 8.1), baseadas em registos históricos reais, enquanto que na segunda fase é feita uma análise e comparação de soluções para um regime variável de funcionamento (secção 8.2), tendo em conta a variação do nível de disrupção do sistema.

Por último, no capítulo 9 são feitas as conclusões finais, algumas recomendações e ainda um proposta de trabalho futuro a desenvolver, finalizando-se assim esta dissertação.

2 Definição do problema

Nesta secção são descritos alguns problemas no contexto do bloco operatório que podem ter influência nos resultados operacionais e que devem ser tidos em conta na gestão do bloco. Em primeiro lugar, descreve-se a complexidade inerente à gestão do bloco e aos diferentes tipos de decisão que isso implica (secção 2.1). Essas decisões têm impacto nos resultados do sistema, podendo ou não atender às expectativas dos *stakeholders* do bloco, que apresentam diferentes perspectivas, destacadas na secção 2.2. Desta forma, são definidos os principais grupos de *stakeholders*, descritos na secção 2.2.1, bem como um dos principais problemas resultantes destas divergências, a ocorrência de conflitos de interesses, descritos na secção 2.2.2.

Por fim, são descritos outros aspectos comportamentais destacados pela literatura e que podem ter influência na performance do sistema (secção 2.3), quer de forma específica ao contexto do bloco, ou de uma forma geral, abrangendo todos os sistemas que envolvem pessoas. O capítulo finaliza com uma breve conclusão (secção 2.4).

2.1 Complexidade de gestão do bloco operatório

A complexidade do bloco operatório e os problemas inerentes ao sistema, tornam difícil a tomada de decisões por parte dos gestores hospitalares. Perante tais dificuldades que possam surgir, uma das principais pressões sentidas pelos gestores está associada à oferta limitada de recursos, o que tem motivado a busca por uma melhor eficiência na utilização de recursos, tal como referido na introdução (secção 1.1).

Para além de recursos materiais (instalações, equipamento especializado, unidades de acolhimento pré-operatórias, blocos operatórios, unidades de cuidados pós-anestésicos e unidades de cuidados intensivos), gerir blocos operatórios implica também gerir recursos humanos (cirurgiões, anestesistas, enfermeiros, etc.) (Guerriero & Guido 2011). Cada um deste tipo de recursos implica diferentes abordagens no que diz respeito à sua gestão, no sentido de que a gestão de pessoas não deve ser encarada da mesma forma que a gestão de recursos materiais.

As decisões relativas à gestão de blocos que se tomam, têm impacto nos resultados do sistema. Desta forma os decisores, não sendo completamente racionais e apresentando limitações cognitivas, perante sistemas complexos podem apresentar dificuldades no que diz respeito a tomar boas decisões (Giannoccaro 2013, Simon 1979). Deste modo, a investigação operacional tem contribuído de uma forma crescente no processo de tomada de decisões, apesar de a maioria dos modelos assumir as pessoas envolvidas nos processos operacionais como sendo completamente racionais (Gino & Pisano 2008), o que não se verifica de todo (Simon 1979).

No âmbito de blocos operatórios, tipicamente, os problemas mais abordados, na literatura, por parte dos investigadores, dizem respeito a problemas de alocação de recursos e agendamento de cirurgias. Não é de admirar a atenção dada pelos investigadores a este tipo de problemas, dada a complexidade que podem envolver, dificultando a tomada de decisões do gestor, bem como o impacto que essas decisões podem apresentar nos resultados do sistema, fazendo destes problemas assuntos de extrema importância do ponto de vista da gestão de blocos. Segue-se uma breve descrição das implicações de cada um destes problemas na dinâmica do bloco, respectivamente.

Alocação de recursos: é necessário determinar a quantidade de recursos a serem disponibilizados, o número e tipos de cirurgias a realizar, o pessoal médico envolvido, e os custos relevantes, a fim de maximizar o lucro ou minimizar os custos (Guerriero & Guido 2011). Acarreta alguns desafios na medida em que o sobre-dimensionamento da capacidade incorre em custos desnecessários e o sub-dimensionamento provoca ineficiências indesejáveis.

Agendamento de cirurgias: uma das dificuldades reside sobretudo no grau de incerteza associado a pacientes urgentes que possam surgir, aos atrasos que podem ocorrer (de pacientes, cirurgiões ou até relativos à duração das cirurgias) bem como às restrições de capacidade da respectiva unidade hospitalar (Cardoen et al. 2010b). Além disso, outros factores, tais como diferentes especialidades cirúrgicas e prioridades de pacientes para o serviço também devem ser considerados. O principal objectivo, neste contexto, é tentar alcançar a agenda que melhor se adequa, de modo a tornar todo este serviço o mais eficiente possível, garantindo capacidade suficiente para atender a eventuais pacientes urgentes que possam surgir de forma inesperada. É importante referir também que este tópico está relacionado com a alocação de recursos supra mencionada, pois para se poder fazer cumprir uma dada agenda, é necessário que a estratégia de alocação de recursos definida assim o permita.

No contexto dos referidos problemas, a tomada de decisões pode ser considerada crítica nos processos associados, pois essas decisões podem traduzir-se em boas ou más soluções, tendo em conta o respectivo impacto nos resultados do sistema cirúrgico. De modo a facilitar a análise de decisão, no contexto da complexidade do sistema em causa, é comum na literatura as decisões serem agrupadas em diferentes tipos de decisão, mediante algumas características relacionadas com a suas implicações a nível de impacto no sistema. A próxima secção apresenta uma breve descrição distinção dos diferentes tipos de decisão, com base na literatura.

2.1.1 Níveis de decisão

Um decisor pode-se deparar com diversos tipos de decisão, envolvendo diferentes aspectos e muitas vezes associadas a diferentes horizontes temporais de resultados. Na literatura é frequente considerar-se que as decisões de gestão do bloco operatório podem ser tomadas a três níveis principais de decisão: estratégico, tático e operacional.

Nível Estratégico - Os intervenientes na decisão pertencem a um nível hierárquico superior dos quadros do hospital (geralmente directores e gestores administrativos hospitalares) e estas decisões tipicamente têm em conta um horizonte temporal mais alargado (a longo prazo) (Cardoen et al. 2010b).

Decisões deste nível incluem, por exemplo, um problema de alocação de recursos, em que o tempo de alocação aos cirurgiões varia de acordo com os objectivos do gestor, que podem ser maximizar a utilização do bloco operatório, minimizar as horas extra dos trabalhadores, minimizar o custo total ou maximizar o lucro. É também necessário determinar tanto o número como os tipos de cirurgias a realizar, o pessoal médico envolvido, e os custos relevantes, tendo em conta

a capacidade dimensionada do hospital. Muitas vezes outras unidades hospitalares podem ter de ser consideradas também neste tipo de decisão, como é o caso da unidade de cuidados intensivos (UCI), dependendo da forma como interagem e influenciam a área de cirurgia hospitalar.

As previsões usadas no planeamento estratégico baseiam-se em dados históricos e normalmente o respectivo horizonte temporal é de um ou mais anos (Guerriero & Guido 2011).

Nível Tático - É ao nível tático que diz respeito o desenvolvimento de um plano mestre de agendamento para um determinado horizonte temporal de planeamento (normalmente de 1 a 3 meses), conhecido como *Master Surgery Schedule (MSS)*. No problema do *MSS*, o gestor do bloco operatório define a atribuição de tempos específicos de cada bloco operatório a diferentes grupos de cirurgias por dia, com base na disponibilidade de tempo dos blocos operatórios previamente estabelecida a nível estratégico, de acordo com os objectivos do gestor do bloco operatório para a implementação do *MSS* (Cardoen et al. 2010b).

Os dados históricos e a procura real/prevista (por exemplo, em termos de lista de espera e pedidos de consulta para cirurgias) são utilizados como *input*. É criado um novo *MSS* sempre que a quantidade total de tempo de um bloco operatório muda (Guerriero & Guido 2011).

A natureza específica de um *MSS* (ou seja, a sua ciclicidade) determina a programação dos vários tipos de cirurgias, que podem ser agrupados de acordo com homogeneidade a nível cíclico (duração da cirurgia, duração da estadia) e a nível económico (grupo relacionado com o diagnóstico, códigos de procedimento). Um *MSS* definido especifica a rotina diária de cada bloco, ou seja, uma lista de tipos de cirurgia recorrentes que deve ser realizado durante um ciclo de planeamento (Guerriero & Guido 2011).

Nível Operacional - Nesta fase, as decisões são tomadas ao nível do paciente no curto prazo, com base no *MSS* previamente desenvolvido a nível tático, que por sua vez é condicionado pelas decisões de alocação de recursos referentes ao nível estratégico. Existem dois tipos principais de processos de agendamento: *offline scheduling* e *online scheduling*.

No *offline scheduling*, o processo tem em conta o calendário antecipado pelo *MSS*, onde as cirurgias dos pacientes são agendadas (*advanced scheduling*) e as respectivas são sequenciadas de acordo com o nível prioritário do paciente (*allocation scheduling*) (Guerriero & Guido 2011).

Para além de possíveis atrasos de chegada de pacientes ou atrasos em cirurgias, um dos principais factores que pode complicar ainda mais o problema é a chegada de pacientes de urgência, que são os principais causadores de incerteza e variabilidade no processo operacional e cujo seu processo de agendamento é feito para um curto prazo, correspondendo ao *online scheduling*, (Cardoen et al. 2010b, Guerriero & Guido 2011).

Estes três níveis de decisão dependem uns dos outros, porque o resultado das actividades ou decisões relativas a um nível são as entradas para o seguinte (Guerriero & Guido 2011).

É importante referir neste contexto que os interesses e motivações pessoais, bem como os atributos comportamentais dos envolvidos no processo de tomada de decisões, afectam acentuadamente a respectiva tomada de decisão (Mantel et al. 2006) e, desta forma, os resultados do

sistema. É assim relevante referir as diferentes perspectivas dos *stakeholders* e tentar conciliá-las de modo a promover um equilíbrio unânime e consensual, com o intuito de alcançar uma maior aceitação de soluções resultantes de modelos que abordem os problemas no bloco, e desta forma melhorar o nível de satisfação global dos *stakeholders*.

2.2 Diferentes perspectivas

Uma vez que os blocos operatórios não envolvem apenas um *stakeholder*, podem ocorrer conflitos resultantes das divergências a nível de interesses e motivações dos *stakeholders* envolvidos no sistema. Isto pode levar a que as decisões que são tomadas a nível do bloco possam gerar alguma discórdia e descontentamento por parte de um ou mais grupos de intervenientes do respectivo sistema. Por exemplo, um inquérito realizado na Suíça no início da década de 2000, por Sieber & Leibundgut (2002), revelou que na amostra dos hospitais públicos considerada, apenas 26% dos anestesistas estavam satisfeitos com o sistema de agendamento em vigor no hospital que integravam.

Desta forma, as decisões do bloco devem ter em conta os diversos objectivos relativos aos diferentes *stakeholders*, não devendo ser baseadas em apenas um critério (Wachtel & Dexter 2008), o que justifica a utilização de modelos de optimização multi-objectivo (secção 3.2.1) para abordar problemas que envolvem diferentes grupos de pessoas no que diz respeito aos seus interesses e motivações. Infelizmente, considerar objectivos múltiplos ao mesmo tempo que se trata de decisões inerentes aos diferentes níveis de decisão, pode resultar numa dificuldade e complexidade acrescida na elaboração dos modelos, bem como um esforço computacional mais elevado podendo mesmo comprometer a obtenção de soluções para resolver problemas relativos a casos reais (Cappanera et al. 2016).

Apesar da dificuldade/impossibilidade de agradar de igual modo todos os agentes, é muito importante tentar enquadrar as decisões com os diferentes interesses, a fim de nivelar a satisfação individual *stakeholders* de uma forma justa e equitativa. No entanto, não existem muitos estudos que tenham explicitamente em conta esta questão (Rachuba & Werners 2014).

Para melhor compreender o contexto deste sistema, é importante identificar e caracterizar os seus intervenientes e a forma como actuam e se relacionam entre si. Desta forma propõe-se um levantamento dos principais *stakeholders* envolvidos na área de cirurgia hospitalar, com base em alguns trabalhos existentes na literatura acerca de blocos (Cardoen et al. 2010b,a, Guerriero & Guido 2011, Glouberman & Mintzberg 2001), literatura envolvendo métodos multi-objectivo para lidar com conflitos de interesses entre *stakeholders* (Cappanera et al. 2016, Marques & Captivo 2017), bem como alguns trabalhos envolvendo uma corrente de investigação mais direccionada para a componente comportamental (Hämäläinen 2015, Franco & Hämäläinen 2016).

2.2.1 Levantamento de *stakeholders*

Os *stakeholders* identificados foram agrupados em 5 grupos principais, de acordo com as suas semelhanças a nível de interesses e forma de interagir com o sistema. Assim, com base na literatura acerca de blocos/hospitais, segue-se uma breve descrição acerca dos respectivos grupos considerados como representativos dos *stakeholders* chave, no contexto do sistema cirúrgico hospitalar, entre os quais: Pacientes, pessoal/*staff*, gestores/administradores, investigadores e comu-

nidade.

Pacientes: todos aqueles a que o respectivo serviço de cirurgia é prestado. Duas classes principais de pacientes são frequentemente consideradas na literatura acerca de planeamento e marcação de cirurgias em blocos operatórios, podendo assim ser considerados como electivos ou não-electivos (Cardoen et al. 2010a). A classe dos electivos representa pacientes para os quais a cirurgia pode ser planeada com antecedência, enquanto que a classe dos não-electivos, menos coberta pela literatura (Samudra et al. 2016), agrupa pacientes para os quais uma cirurgia é inesperada e exige ao hospital a capacidade de resposta para encaixar a cirurgia num curto prazo (Cardoen et al. 2010a).

Dentro da classe dos electivos podem ainda ser considerados dois tipos de pacientes, os ambulatoriais e os internados/internos, visto que estas sub-classes podem influenciar o tipo de processo pré cirúrgico. Os pacientes de ambulatório têm que dar entrada no hospital, podendo incorrer em atrasos ou faltas de comparência, ao contrário dos internados que necessitam de transporte por parte de enfermeiros para o bloco ou sala de anestesia. Os pacientes ambulatoriais tipicamente dão entrada e saída do hospital no espaço de um dia.

No que diz respeito à classe dos não-electivos, os pacientes podem ainda ser associados a um rótulo de prioridade, urgente ou emergente, com base na necessidade de resposta por parte do hospital à chegada do paciente (ou seja, o tempo de espera até ao início da cirurgia). A cirurgia de pacientes emergentes (emergências) tem de ser realizada o mais rapidamente possível (até 2 horas (Guerriero & Guido 2011)), enquanto que pacientes urgentes (urgências) referem-se a pacientes que estão suficientemente estáveis para que a sua cirurgia possa ser, se necessário, adiada por um curto período (Cardoen et al. 2010b).

De modo a perceber como se caracteriza o tipo de afluência aos serviços de cirurgia, se necessário, os pacientes podem ainda ser agrupados de acordo com a análise ABC, capaz de dividir os respectivos em 3 classes de categorias de afluência (Guerriero & Guido 2011), o que para os propósitos deste trabalho não vai ser necessário considerar.

Staff/pessoal: todo o pessoal envolvido no trabalho operacional relativo aos blocos operatórios tais como cirurgiões, técnicos, assistentes e auxiliares de cirurgia, enfermeiros e médicos anestesistas. Os cirurgiões são os médicos responsáveis pelas cirurgias, lideram toda a equipa de intervenção cirúrgica, e exercem também grande parte do poder de decisão dos processos cirúrgicos. Os técnicos do bloco estão encarregues da parte mais técnica ligada às intervenções cirúrgicas, como por exemplo sistemas e aparelhos electrónicos que auxiliam as respectivas intervenções. Os assistentes, como o nome indica, fornecem a assistência que os cirurgiões possam necessitar durante a cirurgia, como por exemplo facilitar o acesso a determinadas ferramentas. Os auxiliares de cirurgia estão encarregues de preparar o bloco antes e depois das intervenções cirúrgicas. Os enfermeiros são responsáveis pela monitorização e prestação de cuidados a pacientes. Por ultimo, os médicos anestesistas são responsáveis pelo processo de anestesia pré e pós operatório (Glouberman & Mintzberg 2001, Wiegmann et al. 2007, Cardoen et al. 2010a).

Gestores: este grupo é constituído por todos aqueles que são responsáveis pelas decisões tomadas em relação aos blocos operatórios, tais como os gestores administrativos ou gestores de

operações (Guerriero & Guido 2011). Os gestores exercem controlo essencialmente sobre recursos e sobre a forma como estes são distribuídos.

Investigadores: Para além da investigação na área da medicina, outros investigadores também podem ser integrados neste grupo e desta forma serem considerados *stakeholders*, na medida em que, apesar de serem considerados externos ao hospital, muitas vezes são envolvidos através da própria investigação e, os seus comportamentos também podem ter alguma influência na performance do sistema (Hämäläinen 2015), especialmente porque são muitas vezes responsáveis pelo desenvolvimento e implementação de novas soluções nos processos hospitalares. Neste grupo estão incluídos os considerados *practioners* da investigação, tais como programadores/modeladores, analistas, facilitadores, consultores ou todos aqueles que participam nos processos *OR* e cujo seu papel e identidade importam na perspectiva do *BOR* (Franco & Hämäläinen 2016).

Comunidade: A comunidade é constituída por todos os indivíduos da sociedade envolvente. Os seus interesses são defendidos pelo governo eleito e pelo sistema jurídico, assim como por grupos consultivos de vários tipos. A comunidade exerce influência no sistema de uma forma indirecta e externa ao hospital, como por exemplo através de pressão social (exercida essencialmente pelos meios de comunicação social ou por manifestações públicas), ou despedimentos, de justa causa, de directores de topo por parte de autoridades como o ministério da saúde (Glouberman & Mintzberg 2001).

Especialmente nos países onde o sistema de saúde se baseia no princípio da cobertura universal e financiado pela tributação geral, os decisores políticos, que representam a comunidade, são encorajados a estabelecer objectivos específicos em termos de tempo máximo antes do tratamento e a controlar a taxa de cumprimento das datas marcadas para cirurgias (Cappanera et al. 2016). O acesso adequado aos cuidados de saúde é um dos principais eixos estratégicos considerados no Plano Nacional de Saúde Português (PNS). A orientação estratégica do PNS procura assegurar o melhor desempenho e adequação dos cuidados, maximizando ao mesmo tempo a utilização de recursos, qualidade, equidade e acesso (Marques & Captivo 2017).

Esta proposta de divisão de *stakeholders* em diferentes grupos passa também por assumir que em cada um desses grupos existem características semelhantes entre os respectivos membros, não só na forma de actuação no sistema, como também no que diz à partilha de interesses comuns entre os mesmos. Assim, a próxima secção apresenta uma breve descrição dos interesses representativos dos grupos seleccionados, bem como a ocorrência de conflitos de interesses entre os respectivos grupos.

2.2.2 Conflitos de interesses dos *stakeholders*

Muitas vezes as relações de interacção existentes entre os grupos de *stakeholders* podem ser complexas, dado os interesses divergentes que possam surgir. Os objectivos dos *stakeholders* podem ser complementares, caso otimizar um objectivo implique a optimização de outro, ou podem ser conflituosos (Rachuba & Werners 2014). Conciliar os diferentes objectivos relacionados com redução de custos, aumentos de performance, típicos do departamento administrativo da unidade

hospitalar, e ainda garantir a satisfação dos interesses dos restantes *stakeholders* apresenta-se como uma tarefa árdua.

Assim sendo, é razoável considerar que este tipo de problemas tem uma natureza multi-objectivo. A sua resolução requer a consideração dos *stakeholders* supra-mencionados, tais como gestores de topo, pessoal do bloco operatório (cirurgiões, anestesistas, enfermeiros), gestores de cama e pacientes, cujas prioridades são frequentemente conflituosas. Os gestores de topo dos hospitais, por exemplo, tendem a concentrar-se em maximizar o número de cirurgias programadas, aumentar os níveis de utilização de recursos e obter baixos custos. A programação de um elevado número de cirurgias permite, de facto, aumentar as receitas hospitalares e reduzir o tempo médio de espera dos pacientes. A maximização das cirurgias programadas, contudo, pode levar a picos na utilização diária de blocos operatórios e camas, bem como a necessidade de recorrer a horas extraordinárias. Isto entra em conflito com os interesses do pessoal do bloco operatório e dos gestores de camas. O pessoal do bloco espera que a carga de trabalho seja equilibrada ao longo das sessões para evitar trabalho suplementar e o risco associado a sessões excessivamente ocupadas. Da mesma forma, os gestores de camas estão interessados em evitar picos na utilização das camas, uma vez que a sobrelotação pode causar riscos, interrupções de horários e a recolocação de pacientes já hospitalizados. Os pacientes, por sua vez, querem minimizar o tempo de espera para serem tratados, o que apoia a existência de objectivos específicos em termos de tempo máximo, como já referido anteriormente, impostos pela comunidade ao hospital. Ainda assim, o cumprimento das datas de vencimento dos pacientes, contudo, pode reduzir o número de casos que é possível agendar, para um dado período de tempo, e desta forma criar problemas em termos de alocação de tempo e recursos a blocos operatórios e de equilíbrio de camas (Cappanera et al. 2016, Rachuba & Werners 2014, Samudra et al. 2016). É importante notar que dentro do mesmo grupo pode ocorrer também conflitos de interesses (conflitos internos). Por exemplo, os pacientes podem ter preferências conflituosas no que diz respeito ao momento e ao cirurgião responsável pela sua cirurgia ou o pessoal do bloco pode discordar na atribuição de turnos ou ter preferências de equipa de trabalho (Cardoen et al. 2010b, Samudra et al. 2016), o que complica ainda mais o problema.

Tentar conciliar os diferentes objectivos dos intervenientes, de uma forma ponderada, promovendo soluções com bons resultados distribuídos de forma equilibrada, com bons níveis de aceitação e satisfação geral, tem sido um enorme desafio no contexto do bloco operatório. Para simplificar esta análise, a tabela 1, em anexo na secção A, apresenta os cinco grupos supra mencionados, de acordo com os seus objectivos ligados aos seus interesses, bem como alguns *KPIs* que podem medir os níveis de desempenho relativos a esses objectivos.

Tentar conciliar os diferentes objectivos dos intervenientes, de uma forma ponderada, promovendo soluções com bons resultados distribuídos de forma equilibrada, com bons níveis de aceitação e satisfação geral, tem sido um enorme desafio no contexto do bloco operatório. Para além dos interesses dos *stakeholders*, existem outros aspectos comportamentais que podem interferir no processo de decisão e desta forma afectar desempenho do sistema. A próxima secção destina-se a destacar alguns desses aspectos comportamentais.

2.3 Outros aspectos Comportamentais

Para além dos interesses e motivações dos *stakeholders*, outros comportamentos podem ser analisados, visto que estes podem afectar o desempenho do sistema, podendo contribuir ou comprometer o alcance dos objectivos individuais de cada grupo de *stakeholders*. Existem aspectos comportamentais específicos do sistema em causa, bem como aspectos mais gerais, comuns a todos os sistemas envolvendo pessoas. Segue-se assim uma breve descrição de ambos.

Aspectos comportamentais específicos: Apesar do crescente contributo de trabalhos de investigação ter permitido o desenvolvimento de modelos que visam abordar problemas, no contexto do bloco operatório (Cardoen et al. 2010b), a modelação e implementação destes modelos que visam auxiliar os decisores no processo de tomada de decisões, apresenta inúmeros desafios. Isto acontece não só pela complexidade dos próprios modelos, como também pelos objectivos conflituosos dos intervenientes e ainda pela gestão das expectativas em relação aos resultados, que podem não ser os ambicionados face ao eventual investimento de tempo e recursos em investigação (Cardoen et al. 2010b). A gestão/administração hospitalar, por exemplo, apresenta-se muitas vezes relutante em mudar os procedimentos ou estimular mais investimentos na investigação quando a implementação dos algoritmos e procedimentos não é directamente acompanhada por ganhos financeiros significativos a curto prazo ou uma redução significativa dos custos operacionais (Cardoen et al. 2010a).

Também é de notar que, para além das dificuldades que possam surgir devido a limitações humanas, como capacidade cognitiva limitada face à complexidade do sistema, um gestor pode apresentar ainda um certo nível de resistência à mudança na implementação de uma eventual solução proposta pelos modelos de optimização, devido à dificuldade em compreender a mesma solução no contexto do problema e ao receio de incorrer em piores resultados (Giannoccaro 2013).

Por outro lado, os investigadores muitas vezes não estão enquadrados o suficiente no seio da complexidade da gestão de blocos, para abordar correctamente determinados problemas e, portanto, falta algum tipo de consciência do poder das técnicas de gestão de operações para captar este tipo de visão integrada (Cardoen et al. 2010b).

Aspectos comportamentais gerais: É bastante comum nos estudos de investigação operacional supor-se que o decisor seja completamente racional e informado. A verdade é que as pessoas com essa responsabilidade de decisão perante sistemas dinâmicos e complexos apresentam limitações típicas da sua capacidade humana (Simon 1979). Tal como Gino & Pisano (2008) sugerem, podem ser evidenciados comportamentos típicos humanos, que podem influenciar a performance de qualquer sistema envolvendo pessoas, tendo em conta que os seus interesses e motivações pessoais bem como os atributos comportamentais dos envolvidos no processo de decisões que afectam acentuadamente a respectiva tomada de decisão (Mantel et al. 2006), entre os quais:

- **Evitar informação adicional:** A tendência das pessoas para evitar informação que possa complicar os cenários hipotéticos e desta forma gerar desconforto mental.
- **Selectividade de informação:** A tendência das pessoas para procurar informação consistente com os seus pontos de vista ou hipóteses.

- **Correlação ilusória:** A tendência das pessoas para acreditarem que duas variáveis possam estar correlacionadas quando o mesmo não acontece.
- **Procrastinação:** Tendência a adiar acções ou tarefas para um momento posterior.
- **Conservadorismo:** a dificuldade das pessoas em actualizar as suas opiniões ou crenças mesmo quando recebem novas informações.
- **Excesso de confiança:** pode ocorrer quando um individuo se sente bastante confiante em relação aos seus comportamentos devido a sucessos passados ou a bons resultados, agindo de uma forma menos cautelosa.
- **Resistência à mudança:** relaciona-se com a dificuldade de um decisor em mudar ou mesmo de considerar novas alternativas devido principalmente ao receio de obter piores resultados, ou seja, traduz o nível de aversão ao risco do decisor em causa (Giannoccaro 2013).
- **Capacidade cognitiva:** relaciona-se com a habilidade de um decisor de elaborar cenários de resultados credíveis para uma dada configuração de elementos de decisão e ainda comparar diferentes configurações, incluindo a capacidade de detectar aquelas que correspondem à melhor escolha (Giannoccaro 2013).

2.4 Conclusão do capítulo

Com este capítulo podemos concluir que a dinâmica da gestão do bloco é complexa principalmente devido aos diversos tipos de decisão com que um gestor se pode deparar. Os resultados dessas decisões podem não agradar de igual forma a todos os envolvidos no processo, gerando alguma controvérsia, o que torna este processo ainda mais complicado dada a influência exercida por todas as partes. Também no que diz respeito à forma como os agentes humanos actuam no sistema, pode concluir-se também que o comportamento dos respectivos pode ter impacto no sistema e, por isso, é relevante ser analisado. Assim, dois tipos de problemas comportamentais principais podem ser destacados como relevantes neste contexto. Um primeiro tipo de problema, já reconhecido por diversos trabalhos como relevante, relativo a conflitos de interesses entre *stakeholders* é destacado, assim como um segundo tipo de problema, relativo a outros aspectos comportamentais que possam ter influência no sistema e que, embora muito pouco aprofundados pelos investigadores no contexto hospitalar, pode ter interesse na medida em que constitui uma nova vertente na área do comportamento com potencial na óptica da investigação. Assim, analisar a maneira como estes comportamentos influenciam e são influenciados pelo sistema tem interesse, não só pela relação com a componente comportamental mas também pelo potencial de explorar melhorias de desempenho do próprio sistema. Para facilitar a complexidade da análise das múltiplas interações entre todos os agentes do sistema e o respectivo desempenho global, existem algumas abordagens suportadas pela base teórica destacada na revisão de literatura (capítulo 3).

3 Revisão de literatura

Este capítulo começa com a introdução do conceito de *BOR* (secção 3.1), destacando a importância desta nova corrente de investigação e explorando o potencial da inclusão da componente comportamental humana na formulação de modelos, como forma de contribuição para a melhoria de desempenho do sistema em causa (secção 3.1.1 e secção 3.1.2). Para este trabalho, o principal foco de incisão comportamental foi relativo ao problema, destacado na secção 2.2, relativo a conflitos de interesses das diferentes partes envolvidas no sistema em causa. Por essa razão, na secção 3.2 são destacadas algumas técnicas presentes na literatura, nomeadamente relativas à formulação de modelos multi-objectivo (secção 3.2.1), para lidar com problemas de conflitos de interesses entre *stakeholders* aplicados a blocos operatórios.

Apesar do foco do trabalho, no que diz à componente comportamental, ter sido principalmente direccionado a conflitos de interesses entre os envolvidos no processo cirúrgico, tendo em conta a importância desta componente, foi destacada alguma literatura referente a diferentes formas de inclusão de aspectos comportamentais em modelos, no contexto de sistemas complexos (secção 3.3). Devido à limitação de suporte teórico envolvendo *BOR* no contexto do bloco operatório, alguns trabalhos destacados na secção 3.3 são relativos a outros sistemas que não o bloco operatório, nomeadamente trabalhos aplicados à disciplina de *SCM* (Gestão de Cadeias de Abastecimento), mas cujo conhecimento pode ser adaptado ao contexto dos problemas de gestão de blocos operatórios, visto que correspondem a sistemas complexos envolvendo pessoas. Ainda assim, na secção 3.4 são destacados alguns trabalhos aplicados especificamente ao contexto de blocos operatórios e cujas ideias serviram de base para a elaboração de ambos os modelos desenvolvidos tendo em conta os objectivos deste trabalho, descritos mais adiante na secção 7. O capítulo finaliza com uma breve conclusão (secção 3.5).

3.1 De *OR* a *BOR*, a inclusão da componente comportamental

Em muitas outras disciplinas, a atenção ao estudo de questões comportamentais torna-se proeminente quando o seu núcleo teórico atinge a maturidade. Isto tem acontecido em áreas como economia, finanças, contabilidade, gestão estratégica, gestão de operações e outras áreas (Franco & Hämäläinen 2016). Desta forma, à semelhança das disciplinas supra referidas, com o desenvolvimento da investigação operacional (*OR*), surge a necessidade de incorporar uma componente comportamental, surgindo assim o termo *BOR* (do inglês *Behavioural operational research*).

Tal como referido na introdução (secção 1.1), inúmeros trabalhos de investigação têm sido desenvolvidos e aplicados no contexto do bloco operatório, de forma crescente nos últimos anos (Cardoen et al. 2010b), e assim alguns procedimentos têm sido adoptados de modo a lidar com problemas típicos do sistema cirúrgico. Acontece que, mesmo que a implementação de tais procedimentos, sugeridos pela solução dos modelos propostos pelos investigadores, possa ser assumida, os autores dificilmente fornecem detalhes sobre o processo de implementação, o que pode dificultar bastante na identificação das causas que levaram ao fracasso ou das razões que levaram ao sucesso da respectiva implementação prática (Cardoen et al. 2010b). Por conseguinte, o fornecimento de informações adicionais sobre os factores comportamentais, que coincidem com a implementação propriamente dita, pode ser relevante para a comunidade de investigação (Cardoen et al. 2010b).

Assim, algumas críticas têm sido apontadas à tendência da investigação operacional em focar-se demasiado em aspectos mais matemáticos da formulação de modelos, deixando de lado os próprios indivíduos envolvidos nos processos (Hämäläinen et al. 2013). Perante tais insuficiências por parte da investigação operacional (*OR*), não é de admirar que a própria evolução da disciplina tenha ocorrido no sentido de desenvolvimento de uma nova vertente de investigação, que complementa a investigação operacional com uma componente comportamental, e assim surge o conceito de *BOR*.

3.1.1 Aplicabilidade do *BOR*

Behavioural operational research (BOR), ou em português investigação operacional e comportamental, visa acrescentar à investigação operacional a componente do comportamento humano, isto é, tenta incorporar nos modelos de optimização parâmetros representativos do comportamento humano e/ou aplicar medidas a nível de solução que visem interferir com certos comportamentos.

Assim, duas correntes principais de trabalho dentro do *BOR* podem ser identificadas. A primeira corrente, com mais história na disciplina de investigação operacional (*OR*), concentra-se na utilização de técnicas típicas de investigação operacional para modelar o comportamento humano em cenários complexos (Franco & Hämäläinen 2016). Por exemplo, existe uma longa tradição de modelação do comportamento humano na análise de decisões e *System Dynamics* (Franco & Hämäläinen 2016).

Assim sendo, pode-se considerar que o *BOR* pode ser aplicado de uma forma passiva, quando apenas são tidos em conta os comportamentos humanos nos modelos sem que haja uma intenção de os alterar. Por exemplo, Giannoccaro (2013) testam o impacto de determinados aspectos comportamentais (nível de resistência à mudança e capacidade cognitiva) de um decisor hipotético, na performance de um dado sistema. Importante notar que modelar o comportamento humano como entidades passivas, que são previsíveis ou dentro de uma gama de variações, é diferente de modelar pessoas reais porque o seu comportamento depende de intuições inconscientes, enviesamentos, sentimentos e traços difíceis de identificar (Greasley & Owen 2016).

A segunda corrente investiga como o comportamento afecta ou é afectado por processos apoiados pelos modelos *OR* em contextos individuais, de grupo e organizacionais. Embora ainda relativamente pouco estudada, esta corrente está a receber uma atenção crescente tanto de académicos como de profissionais de investigação operacional, particularmente na Europa (por exemplo, Franco & Hämäläinen (2016) e Hämäläinen et al. (2013)). Pode-se considerar assim esta corrente como uma forma activa de *BOR*, quando são aplicadas medidas cujo intuito é promover alterações em determinados comportamentos humanos. Por exemplo, Hämäläinen et al. (2013) elaboraram um estudo que sugere que a forma como é transmitida a informação aos trabalhadores pode ter influência no nível de compreensão acerca da evolução de um sistema pelos respectivos, o que por sua vez pode afectar as decisões tomadas, neste caso a nível operacional, e que por fim, pode ter impacto no desempenho do próprio sistema.

Apesar das diferenças, as duas correntes partilham o objectivo comum de conceber e implementar intervenções apoiadas pela investigação operacional para melhorar os sistemas e operações organizacionais (Franco & Hämäläinen 2016). No fundo, quer seja de uma forma activa ou passiva, a aplicabilidade prática do *BOR* consiste principalmente em considerar os aspectos comportamentais humanos nos modelos, para poder assim explorar o potencial que existe na melhoria

do desempenho dos sistemas que envolvem pessoas. Isto porque a componente humana pode ser considerada crítica no funcionamento da maioria dos sistemas, influenciando a forma como o sistema se desenvolve bem como afectando a sua performance (Gino & Pisano 2008).

O *BOR* apresenta um enorme potencial que pode ser explorado também na optimização do sistema cirúrgico. É, no entanto, preciso perceber de que forma se pode aproveitar e enquadrar no contexto de blocos operatórios.

3.1.2 Enquadramento do *BOR* no contexto do bloco operatório

Existem várias maneiras de aplicar esta nova componente comportamental no contexto do sistema em causa, dependendo do problema que se pretenda solucionar. Ao nível da componente referente ao comportamento humano foram destacados dois problemas principais no capítulo 2, um relativo aos conflitos de interesses entre diferentes grupos de *stakeholders* e outro relativo a comportamentos verificados na literatura que podem ter influência na performance do respectivo sistema. Assim sendo, é preciso perceber como se pode abordar este tipo de problemas, de forma a poder incluir características comportamentais, não só como condicionantes do modelo (de forma passiva) mas também como potenciais factores de desenvolvimento (de forma activa).

O *BOR* pode ser decomposto em três áreas de investigação: comportamento nos modelos, comportamento com modelos, e comportamento para além dos modelos (Kunc et al. 2020). Desta forma, é interessante avaliar como se pode enquadrar cada uma destas áreas no contexto hospitalar.

Comportamento nos modelos A primeira área avalia a representação do comportamento nos modelos propostos pela investigação operacional. O comportamento humano pode ser incluído em modelos de muitas formas diferentes, dependendo dos pressupostos dos investigadores. Por exemplo, pode ser assumido que os decisores são completamente racionais ou apenas parcialmente racionais. Greasley & Owen (2016), estruturam a inclusão do comportamento nos modelos como externa ou interna. Abordagens que incluem o comportamento de forma externa correspondem a métodos que simplificam os modelos eliminando o comportamento do modelo, podendo desprezar os aspectos comportamentais ou inclui-los de forma externa (por exemplo deixando o decisor interagir com um simulador). Abordagens que incluem o comportamento humano de forma interna, podem representá-lo como um fluxo (onde se assume que as pessoas se comportam da mesma forma, fluindo ao longo do sistema), como entidades (onde são vistas de forma singular, obedecendo a regras particulares de procedimento, tal como um máquina ou recurso material), através de uma tarefa (ou seja modela a acção de resposta a uma sequência de tarefas, associada a uma performance) e finalmente, de uma forma individual (modelando o comportamento com base em características individuais bem como interações com terceiros). A figura 25, em anexo (secção A), apresenta uma estrutura sugerida por Greasley & Owen (2016), que facilita a compreensão dos diferentes métodos de inclusão comportamental.

Algumas questões desta área de investigação no âmbito de sistemas relacionados com os cuidados de saúde, destacadas por Kunc et al. (2020), são as seguintes:

1. Como são retratados os pacientes nos modelos?

2. As técnicas usadas determinam uma representação adequada do paciente no sistema?
3. Que tipo de comportamento é assumido representativo do trabalho do pessoal?

Comportamento com modelos

Esta área está relacionada com o modo de utilização de modelos pelos decisores que, muitas vezes, podem não utilizar o modelo como o modelador esperava. Assim, o foco está na forma como as pessoas utilizam modelos para a tomada de decisões, principalmente no tipo de informação que utilizam e a forma como a processam. Devido à tendência de evitar informação adicional (descrita na secção 2.3), os decisores não utilizam necessariamente toda a informação disponível e preferem aplicar computações o mais simples possível. Algumas questões de investigação desta área de *BOR* nos cuidados de saúde, propostas por Kunc et al. (2020), são:

1. Como é que uma organização de cuidados de saúde/utilizador utiliza modelos?
2. Qual é o papel de modelos para alcançar o sucesso na alocação de pacientes?
3. Em que circunstâncias os decisores recorrem ao modelo?
4. Como é que os médicos complementam a sua heurística (ou os seus métodos usuais) com os conhecimentos transmitidos pelo modelo?

Comportamento para além dos modelos

Por último, a área de comportamento para além dos modelos, tal como o nome indica, preocupa-se com o impacto no comportamento para além da utilização de modelos. Isto porque os modelos são mais do que meras técnicas matemáticas ou de estruturação de problemas. São criados para ter impacto para além dos resultados que sugerem, são também instrumentos de pensamento e formas de melhor compreender um determinado sistema real (ou parte dele) (Kunc et al. 2020).

Muitas vezes os modelos podem mesmo ser considerados como uma representação externa e explícita de parte da realidade, sendo uma ferramenta útil a que as pessoas podem recorrer para melhor compreender, gerir e controlar essa parte da realidade. Desta forma há uma necessidade de fazer modelos através de um processo de discussão e acordo sobre a concepção e utilização do modelo sustentado pelo contexto social. Assim, os métodos de investigação operacional têm também uma natureza social (Kunc et al. 2020).

O comportamento para além dos modelos é a área que visa compreender o impacto dos modelos da perspectiva da natureza social supra-mencionada. A maioria dos modelos não prescreve acção directa, porque são apenas um guia e a acção é uma actividade colectiva que visa a melhoria ao nível do sistema. Portanto, o comportamento para além dos modelos pretende avaliar o nível de inclinação para agir e modificar o ambiente no esforço de resolução de problemas, resultante da utilização de modelos. Quando o modelo é utilizado para representar um problema com um grupo de decisores, então o comportamento para além do modelo observado é eficácia colectiva. A eficácia colectiva pode ser associada ao processo de interpretação e integração na aprendizagem organizacional. De uma perspectiva de aprendizagem organizacional, o modelo pode ajudar a institucionalizar rotinas, regras ou procedimentos (Crossan et al. 1999). Algumas questões de investigação desta área de *BOR* em cuidados de saúde, propostas por Kunc et al. (2020), são:

1. Como o comportamento é alterado num hospital após a implementação de um sistema de agendamento?
2. Como o pessoal melhora a sua eficácia colectiva ao recorrer às indicações propostas pelo modelo?

Desta forma, as questões sugeridas por Kunc et al. (2020) podem servir de guia para o desenvolvimento de modelos *BOR* para abordar sistemas relativos a hospitais, tal como o bloco operatório, de acordo com as áreas de investigação comportamental que visem abranger. Assim, um modelo que seja bem sucedido nas três áreas destacadas, ou seja, com uma boa inclusão de aspectos comportamentais no modelo, favorecendo uma correta utilização por parte dos utilizadores e, com um impacto positivo na forma de actuação no sistema real, por parte dos elementos do sistema que utilizam o modelo, pode ser considerado como um modelo completo à luz do trabalho desenvolvido por Kunc et al. (2020). Assim, de uma forma resumida, os modelos querem-se eficazes (na representação e obtenção de soluções para um dado sistema), *user friendly* (simpáticos para o utilizador) e activos (no sistema real, promovendo boas acções dos elementos do sistema real, com impacto positivo), o que nem sempre é fácil no contexto de sistemas reais complexos.

Para esta revisão de literatura, foram destacadas essencialmente técnicas relacionadas com a inclusão de comportamentos nos modelos (descritas nas seguintes secções), ou seja, incidindo um maior foco sobre a área de comportamento nos modelos.

3.2 Técnicas para lidar com conflitos de interesses

De modo a incluir possíveis divergências entre diferentes *stakeholders* nos cuidados de saúde e especialmente nos hospitais, alguns autores propõem modelos de análise e suporte para o planeamento e a tomada de decisões baseados em vários critérios, representativos dos interesses que podem ser afectados pelas decisões tomadas (Kou & Wu 2014, Morton 2014, Diaby et al. 2013). Da mesma forma, no que diz respeito ao bloco operatório, modelos que incorporem múltiplos critérios podem ser uma mais valia, dado que permitem lidar com o problema de conflitos de interesses referido na secção 2.2. Assim, a natureza complexa do bloco, envolvendo diferentes *stakeholders* que apresentam diferentes objectivos perante os resultados do sistema de programação cirúrgica, tem encorajado os investigadores a desenvolver modelos multi-objectivo para a obtenção de novas soluções para resolver problemas neste contexto, especialmente problemas de agendamento de cirurgias (Cappanera et al. 2016, Banditori et al. 2013, Rachuba & Werners 2014).

Tal como referido no capítulo 2, ter em conta múltiplos objectivos na optimização de um modelo pode ser complexo a nível de modelação e pode acarretar um esforço computacional elevado, especialmente no contexto do bloco operatório que se apresenta como um sistema complexo envolvendo vários níveis de decisão.

Outro aspecto a salientar é a forma como se faz a ponderação entre os critérios correspondentes aos objectivos no processo de optimização. Em modelos de apoio à decisão é frequente o recurso à atribuição de pesos a diferentes atributos considerados relevantes na perspectiva de um decisor (por exemplo, Weber & Borcherding 1993), mas quando se trata de conflitos de interesses entre *stakeholders*, a atribuição de pesos pode ser mais controversa, visto que podem existir

diversas perspectivas tal como descrito na secção 2.2.

Desta forma, a secção 3.2.1 apresenta algumas técnicas, presentes na literatura, que visam simplificar a complexidade característica de modelos multi-objectivo, bem como uma forma de ponderar diferentes objectivos na optimização dos modelos.

3.2.1 Modelos de optimização multi-objectivo

Os modelos multi-objectivo, como o próprio nome indica, têm em conta diferentes critérios, relativos à tomada de decisão, que são directamente incluídos nas funções de optimização dos modelos. De modo a lidar com a complexidade característica da formulação de modelos multi-objectivo, referida no capítulo 2, destacam-se alguns procedimentos na literatura, relativa a blocos operatórios, tais como: usar um ou mais critérios como restrições, reduzir o horizonte temporal de planeamento ou ponderar o tipo de decisões *versus* número de objectivos (Cappanera et al. 2016).

Usar um ou mais critérios como restrição: Este tipo de abordagem permite reduzir o número de objectivos a otimizar o que pode simplificar significativamente o problema. Os critérios são representativos de interesses dos *stakeholders* que podem ser conflituosos ou complementares (Rachuba & Werners 2014). Passar alguns dos critérios para restrições, ao invés de objectivos, tem maior potencial quando os critérios representam interesses conflituosos, que é exactamente um dos problemas destacados no capítulo 2.

Dois critérios são considerados conflituosos quando se apresentam negativamente correlacionados no que diz respeito ao desempenho individual de cada um, ou seja, quando melhorar o desempenho de um está directamente associado a perdas de desempenho do outro. Por outro lado, critérios complementares são aqueles que apresentam uma correlação positiva entre os respectivos níveis de desempenho, ou seja melhorar o desempenho de um, está associado a melhorias de desempenho do outro. Por esta razão é que aplicar um critério como restrição de outro, que represente um objectivo, apenas tem interesse caso estes sejam conflituosos, pois assim o critério restritivo garante um determinado nível de satisfação individual enquanto o critério objectivo é optimizado pelo algoritmo de busca de solução.

De modo a determinar o nível aceitável de satisfação individual de cada critério tratado como restrição, uma forma possível seria reunir com os representantes de cada grupo de *stakeholders*, visando alcançar um possível entendimento consensual entre os intervenientes. Tal como sugerido por Meskens et al. (2013), que relata a discussão com o pessoal do bloco operatório acerca da importância das restrições. Foram discutidas restrições não só de carácter material como também de carácter comportamental, inclusive preferências dos cirurgiões, apesar da maioria das restrições não tenham chegado a ser incluídas nos modelos desenvolvidos.

Reduzir o horizonte temporal de planeamento: Reduzir o horizonte temporal de planeamento limita o tipo de decisões que podem ser tomadas, na medida em que decisões associadas a horizontes temporais superiores ao horizonte definido não são consideradas nas variáveis de decisão dos modelos. Horizontes temporais mais curtos estão também associados a menores níveis de

incerteza, devido ao facto de se trabalhar com dados mais apurados, actuais e com menos incerteza associada às previsões efectuadas. Assim sendo, os modelos tornam-se mais simples, o que permite uma folga maior para consideração de objectivos múltiplos.

Ozkarahan (2000), por exemplo, elabora um modelo cuja abordagem envolve a classificação de prioridade dos pedidos de cirurgia para um determinado dia (horizonte temporal reduzido) com base em restrições de blocos, utilização de salas, preferências dos cirurgiões e capacidades de cuidados intensivos e visando otimizar objectivos conflituosos relacionados com a melhor utilização de recursos, diminuição de horas extraordinárias e o aumento dos níveis de satisfação do pessoal e dos pacientes.

Ponderar o tipo de decisões versus número de objectivos: Neste tipo de abordagem algumas decisões são consideradas como previamente definidas, desenvolvendo-se assim um modelo focado em problemas mais específicos (normalmente relativos apenas a um nível de decisão) e desta forma com menor número de decisões a ter em conta. A simplificação do modelo do lado das decisões torna a complexidade relativa à optimização dos multi-objectivos mais suportável a nível de esforço computacional.

Cappanera et al. (2016), por exemplo, visando otimizar 4 objectivos diferentes, nomeadamente (i) taxa de cumprimento da data de vencimento do paciente, (ii) utilização do bloco, (iii) utilização de cama e (iv) número de cirurgias programadas, assume que os casos cirúrgicos na lista de espera do hospital já se encontram organizados em grupos cirúrgicos, ou seja, em grupos homogéneos de casos caracterizados pela mesma especialidade, por um tempo cirúrgico esperado semelhante e duração esperada da estadia do paciente também semelhante.

Após aplicação de tais técnicas de simplificação cuidada dos modelos, sem que estes percam credibilidade, e estando definidos os objectivos a otimizar, é preciso compreender como pode ser feita a ponderação desses critérios pelo modelo no processo de optimização. Isto com o intuito de garantir que a solução final proposta pelo modelo é realmente favorável de um modo geral, atendendo de uma forma equitativa aos diferentes objectivos. Rachuba & Werners (2014) sugere um procedimento que consiste na minimização de distâncias normalizadas.

Minimização de distâncias normalizadas: Ter em conta diferentes objectivos na optimização implica desenvolver métodos capazes de ponderar entre diferentes critérios. Ponderar entre diferentes critérios, implica garantir que o modelo procede de forma razoável na selecção de soluções viáveis, em que muitas vezes pode implicar prejudicar um ou mais objectivos em prol de melhorias em outros, cuja relação perda *versus* benefício assim o justifique. Este tipo de ponderação nem sempre é fácil de definir, não só pelas divergências relativas a cada grupo de *stakeholders*, como também pela relatividade inerente à comparação entre *KPIs* diferentes. Dois *KPIs* distintos, para além de serem relativos a diferentes performances, podem nem sequer se encontrar nas mesmas unidades de medida (Rachuba & Werners 2014).

Por exemplo, Rachuba & Werners (2014) propõe um método que consiste em otimizar o *MSS* tendo em conta três objectivos diferentes: minimizar o tempo de espera do paciente (em dias),

minimizar as horas extra do pessoal do bloco (em horas) e minimizar o número de cancelamentos de cirurgias (número de cirurgias canceladas). A fim de lidar com a ponderação entre critérios diferentes, medidos por *KPIs* em unidades diferentes, é sugerido um método que consiste em:

1. **Optimização individual:** Optimizar o modelo para cada objectivo de forma individual, obtendo o melhor cenário possível (cenário optimista) para cada um dos objectivos, registando os respectivos *KPIs* como medidas de referência.
2. **Criação de distancias normalizadas:** gerar variáveis auxiliares de medida com o propósito de representar a distância normalizada entre o desempenho de uma dada solução relativa a cada objectivo optimizado individualmente. Esta normalização pode ser calculada através de uma proporção entre os níveis de um dado *KPI* atingido e o nível relativo ao cenário optimista para cada objectivo (também pode incluir o cenário pessimista). Assim, uma distancia normalizada assume valores iguais ou superiores a 0, sendo que 0 significa que o cenário optimista para um dado objectivo foi alcançado. Estas distancias normalizadas também podem ser convertidas numa variável de satisfação/aceitação, variando entre 0 e 1, de forma inversa à distância, sendo que 0 corresponde ao limite de aceitabilidade de uma solução por parte de um *stakeholder* (não aceita soluções que traduzam piores resultados que um dado cenário) e 1 corresponde ao óptimo individual (cenário optimista).
3. **Minimizar as distâncias normalizadas:** por fim, a solução considerada como óptima é aquela que minimiza a soma total das distancias normalizadas relativas a todos os óptimos individuais. Caso as distâncias tenham sido convertidas em variáveis de nível de satisfação/aceitação, então o modelo deve maximizar o respectivo nível de aceitação total dos intervenientes.

Normalmente não existe uma solução que simultaneamente optimize todas as funções objectivo. Em particular, nenhuma solução será plenamente aceite por todas as partes interessadas. Assim, o objectivo deste método é encontrar um calendário que seja aceitável, pelo menos até um certo grau, para cada uma das partes envolvidas (Rachuba & Werners 2014).

Para além dos conflitos de interesses, outros comportamentos devem ser tidos em conta na dinâmica do sistema em causa, tal como destacado na secção 2.3. Apesar de não haver muitos trabalhos que incluam aspectos comportamentais e as suas implicações e interacções no sistema cirúrgico, é possível extrair alguns dos avanços que têm acontecido em outras áreas que não os hospitais, envolvendo outros sistemas complexos, como por exemplo trabalhos aplicados a áreas envolvendo gestão de cadeias de abastecimento (Giannoccaro 2013). Assim, a próxima secção visa introduzir alguns desses avanços, incluindo alguns tipos de modelos que têm sido desenvolvidos com o propósito de abordar sistemas complexos, com base teórica principalmente na *Complexity Science (CS)*.

3.3 Incorporação de aspectos comportamentais em modelos

Esta secção destina-se a destacar alguns trabalhos que exploram técnicas de incorporação de alguns comportamentos em modelos, no contexto de sistemas complexos. Alguns autores, tais como Giannoccaro (2013), Pathak et al. (2007), Lansing (2003) e Chan (2001) defendem

que a CS, que estuda sistemas complexos, é uma disciplina que fornece uma base teórica para a formulação de metodologias úteis para abordar sistemas de natureza complexa, tal como os sistemas de saúde modernos (Roure et al. 2015).

A principal vantagem da aplicação de uma ciência baseada na complexidade é que as metodologias residem na possibilidade de compreender como os aspectos comportamentais podem afectar o funcionamento e a evolução dos sistemas operacionais, permitindo o seu desenvolvimento espontâneo, tendo em conta as características do sistema e os devidos factores comportamentais dos indivíduos envolvidos. Tais metodologias permitem também ajudar a superar a dificuldade de prever e compreender quais as estratégias aplicadas a nível dos indivíduos que podem conduzir a um comportamento colectivo mais adequado de acordo com os propósitos definidos (relacionado com a área de comportamento para além dos modelos, referida por Kunc et al. (2020)). Além disso, em comparação com os métodos experimentais, são menos dispendiosos e mais eficazes do que experiências práticas (Loch & Wu 2007).

A aplicação das metodologias propostas pela CS a sistemas reais, passa por assumir que estes se podem fazer representar por *Complex adaptive Systems* (CAS). Um CAS é essencialmente uma classe especial de sistemas complexos que vai-se recompondo estruturalmente ao longo do tempo de forma coerente, adaptando-se e emergindo sem qualquer entidade singular a gerir ou controlar deliberadamente (Holland 2002). Adaptação, auto-organização e co-evolução são as principais características dos CAS (Giannoccaro 2013).

Segundo alguns autores (Giannoccaro 2013, Choi et al. 2001, por exemplo), os sistemas operacionais reais tais como processos, fábricas, empresas e cadeias de abastecimento, ou neste caso, os sistemas de saúde modernos (Roure et al. 2015), podem ser representados como CAS, devido ao facto de nesses sistemas haver uma série de múltiplos condutores independentes bem como agentes humanos que tomam decisões utilizando as suas próprias heurísticas e esquemas, auto-organizando-se e interagindo uns com os outros e co-envolvendo-se com o respectivo ambiente dinâmico em que estão inseridos (Choi et al. 2001). Assim sendo, o comportamento humano pode ser visto como condutor central de um CAS que represente um sistema operacional real (Giannoccaro 2013). No caso dos blocos operatórios é de destacar a existência de diferentes intervenientes humanos no sistema, que são independentes e heterogéneos e que tomam as suas decisões utilizando heurísticas e esquemas pessoais tal como descrito por Choi et al. (2001).

Assim, as metodologias baseadas na CS permitem o desenvolvimento de modelos que permitem incluir factores comportamentais. Estas metodologias são adequadas para modelar não só as características dos indivíduos, tais como as suas capacidades pessoais, atitudes e limitações cognitivas, mas também os factores que afectam as interações sociais e a caracterização de grupos e populações, que são novas questões comportamentais que podem ser incluídas nos respectivos modelos (Loch & Wu 2007). Davis et al. (2007) destaca 5 abordagens diferentes no que diz respeito ao desenvolvimento de *CAS-based models*, entre os quais *System dynamics* (SD), *Genetic Algorithm* (GA), *Cellular Automata* (CA), *Stochastic Processes* (SP) e *Adaptive Landscape* (AL). Seguem-se alguns exemplos específicos de utilização de cada um desses modelos, permitindo a inclusão de aspectos comportamentais.

Rudolph & Repenning (2002) recorreram a abordagem SD para compreender de que forma pequenas perturbações, em processos dentro de organizações, por vezes desencadeiam catástrofes súbitas no respectivo sistema. Um outro exemplo é a aplicação da abordagem SD a um

contexto hospitalar, por Brailsford et al. (2004), onde foi desenvolvido um mapa conceptual do sistema de cuidados de saúde electivos e de emergência, mostrando os potenciais percursos dos pacientes como um fluxo através do sistema. Os resultados da simulação permitiram, entre outras coisas, detectar os pontos críticos do sistema (*bottlenecks*), conceder previsões futuras relativas à capacidade de atingir os objectivos impostos pelo governo, relativos à satisfação da crescente procura de cuidados médicos, e ainda aumentar o nível de compreensão da dinâmica do sistema por parte dos utilizadores (gestores hospitalares) (Brailsford et al. 2004).

Por exemplo, Zott (2002) utilizou uma abordagem de *GA* para modelar o comportamento de negociação de um negociador com informação privada. Os genes eram as regras de negociação do negociador, que definiam quando oferecer um contrato e quando aceitar ou rejeitar a oferta de outro. Entre outros aspectos, o estudo esclareceu os efeitos de informação completa e incompleta na produção de resultados ineficientes (isto é, não otimizados), tais como atrasos e falta de acordo. Os algoritmos genéticos são particularmente aplicáveis para descrever como agentes heterogéneos (organizações, por exemplo) aprendem soluções melhoradas (por exemplo, melhor forma organizacional, melhor estratégia) através da experimentação. Como tal, esta abordagem é consistente com alguns aspectos importantes da aprendizagem humana, tais como acção baseada na experiência, importância da experiência recente, síntese criativa de ideias, e ocorrência de erros (Zott 2002).

Lomi & Larsen (1996) utilizaram modelos *CA* para estudar a teoria da dependência da densidade e da tensão entre a concorrência e os processos de legislação. As organizações foram agrupadas por zonas umas em relação às outras numa grelha bidimensional. As organizações possuíam regras de petição (afectando apenas as da vizinhança) e de legislação (afectando todas as organizações). Os autores observaram então como as interacções competitivas e legislativas entre organizações (i.e., interacções de micro-nível) afectaram a densidade populacional, as taxas de fundação, e as taxas de fracasso (i.e., padrões de macro-nível) ao longo do tempo.

Carroll & Harrison (1998) apresentam um bom exemplo de aplicação de uma abordagem *SP* no contexto do estudo comportamental relativo a organizações. Estes autores desenvolveram várias lógicas teóricas subjacentes para a proposta, já existente, de que a heterogeneidade da posse, numa organização, está relacionada com a heterogeneidade da cultura. Os seus esforços representam uma tentativa de desenvolver um modelo formal de um processo que liga as distribuições de duração de serviço (*LOS*) à heterogeneidade cultural nas organizações e nas equipas de gestão de topo. Utilizaram um modelo de simulação computacional para examinar a plausibilidade da suposição comum, mas questionável, sobre a relação entre a heterogeneidade no *LOS* (relativa à posse) e a heterogeneidade na cultura. O modelo sugeriu que a relação de posse-cultura é geralmente positiva, tal como geralmente assumido pela investigação demográfica organizacional, mas que a força desta ligação varia consoante o contexto. Ainda assim, as simulações verificaram a ligação posse-cultura para uma vasta gama de condições (Carroll & Harrison 1998).

Um bom exemplo de utilização da abordagem *AL* é dado por Giannoccaro (2013), que recorrendo à formulação de um modelo *NK fitness Landscape*, estudou alguns factores comportamentais como a capacidade cognitiva e a resistência à mudança de um hipotético decisor (neste exemplo um gestor de uma cadeia de abastecimento). A análise de simulação de Giannoccaro (2013) permitiu mostrar que o desempenho da cadeia de abastecimento varia com o nível de capacidade cognitiva do decisor e a sua resistência à mudança. Em particular, o desempenho da

cadeia de abastecimento aumenta à medida que o nível de a capacidade cognitiva melhora para qualquer uma das três estruturas da cadeia de abastecimento consideradas. Além disso, os resultados mostraram que a capacidade cognitiva do decisor torna-se mais importante, em termos do seu impacto no desempenho, conforme a complexidade da cadeia de abastecimento aumenta. Um outro resultado do estudo sugeriu que o aumento da resistência à mudança diminui o desempenho da cadeia de abastecimento, apesar de não ter tanto impacto no desempenho global como a capacidade cognitiva (Giannoccaro 2013).

No que diz respeito a trabalhos desenvolvidos com foco na incorporação da componente comportamental, não existe uma literatura muito extensa, ainda assim, é possível aproveitar algum conteúdo no sentido de que, mesmo que o foco principal não seja a incorporação de aspectos comportamentais, muitas vezes verificam a inclusão de aspectos comportamentais nas suas metodologias. Desta forma seguem-se alguns exemplos de trabalhos desenvolvidos e aplicados no contexto de blocos operatórios, cujas ideias foram aproveitadas no desenvolvimento deste trabalho, nomeadamente na elaboração dos modelos descritos mais adiante na secção 7.

3.4 Exemplos de trabalhos aplicados ao contexto do sistema cirúrgico

Roure et al. (2015) propõe uma metodologia para dimensionar uma nova área de serviço de cirurgia para pacientes ambulatoriais de um hospital, através de uma análise de desempenho utilizando *Discrete-Event Simulation* (DES). Isto permitiu o teste e análise de múltiplos cenários sem incorrer em custos operacionais nem riscos associados a possíveis falhas no sistema real, com o objectivo de obter o número óptimo de pacientes que podem ser levados diariamente para cirurgia no serviço, sem provocar atrasos relativos à hora de encerramento da respectiva área cirúrgica, bem como os recursos associados (número de camas, macas e recursos humanos envolvidos), necessárias para otimizar o fluxo de pacientes. Desta forma, alguns resultados experimentais de simulação foram obtidos, primeiramente para a área de cirurgia ambulatória operando até à data e, numa segunda fase, para a nova área projectada, tendo se obtido melhores níveis de desempenhos para a nova área projectada. Finalmente, foi também realizada uma análise de risco para detectar passos sensíveis no novo percurso do paciente após a extensão do serviço, de modo a ajudar os decisores com a implementação processual envolvendo a área de cirurgia ambulatória, como por exemplo a sugestão de implementação de um sistema de comunicação electrónico central para evitar perdas de informação que possam ocorrer na comunicação por telefone (Roure et al. 2015).

Banditori et al. (2013) apresenta uma abordagem que combina um modelo de optimização e simulação com o propósito de obter uma solução de agendamento cirúrgico optimizada e robusta, com o objectivo de rentabilizar o fluxo de pacientes no sistema cirúrgico, mais concretamente na área de cirurgia ambulatória. Através da abordagem optimização-simulação, foi possível optimizar uma solução de agendamento bem como exercer uma análise de robustez da solução tendo em conta a aleatoriedade inerente à duração de realização de cirurgias bem como ao tempo de estadia de um paciente (*LOS*). O trabalho desenvolvido por Banditori et al. (2013) sugeriu que, através do planeamento de agendamentos de cirurgias por grupos, em vez de casos individuais, e da combinação de optimização e simulação, é possível obter soluções de agendamento optimizadas, robustas e fáceis de implementar.

Fügener et al. (2017) inclui aspectos comportamentais, nomeadamente o facto de as pessoas não serem completamente racionais, de uma perspectiva económica, nas suas decisões, e analisou a forma como os cirurgiões estimam as durações de cirurgias e de que forma este comportamento pode influenciar os resultados do sistema. Um dos aspectos destacados, nas estimativas de durações cirúrgicas, é a ancora da média, onde os decisores apresentam uma tendência em fazer estimativas e previsões de acordo com a média relativa a registos passados, o que muitas vezes resulta num enviesamento sistemático em relação ao planeamento óptimo, neste caso de durações de cirurgias. Assim algumas hipóteses de enviesamento foram testadas e confirmados pelos resultados experimentais, nomeadamente: A hipótese de os cirurgiões planearem consistentemente durações cirúrgicas demasiado longas (ou demasiado curtas) nos casos em que a duração óptima p^* é inferior (ou superior) à duração média μ de uma cirurgia; A hipótese de os cirurgiões evitarem a sobre-utilização em vez da subutilização e, como consequência, as durações planeadas são tendenciosas para cima; A hipótese de os cirurgiões confrontados com a duração da cirurgia de planeamento mostrarem uma mudança mais forte em direcção à média e darem tendencialmente mais importância aos custos de utilização excessiva de recursos do que os decisores em estudos de inventário *newsvendor* comparáveis (Fügener et al. 2017).

Denton et al. (2007) desenvolveram um modelo estocástico de optimização do agendamento cirúrgico diário, que teve em conta a incerteza na duração de cirurgias, incluída de uma forma estocástica. Testaram algumas heurísticas de obtenção de agendamentos cirúrgicos, entre as quais algumas regras de sequenciação de cirurgias baseadas nas diferentes durações esperadas de acordo com o tipo de cirurgia. Uma das conclusões deste trabalho foi que o desempenho do processo de agendamento está relacionado com a qualidade de planeamento de durações cirúrgicas (previsões), bem como com o tipo de regras de sequenciação que se adopta, nomeadamente, os resultados obtidos indicaram que a prática comum de agendar casos mais longos e mais complexos mais cedo na programação diária pode ter um impacto negativo nas medidas de desempenho de blocos operatórios, tais como utilização de recursos e custos de horas extraordinárias.

Tancrez et al. (2009) utiliza um modelo matemático e de simulação de modo a ter em conta a disrupção no processo operacional de cirurgias electivas, causada devido à estocasticidade das durações cirúrgicas bem como à aleatoriedade da chegada de pacientes urgentes no serviço (também incluída no modelo de forma estocástica). O principal objectivo do trabalho foi desenvolver um método, um pouco mais racional, relativamente à decisão da proporção de área de serviço cirúrgico alocada a atender pacientes urgentes, que tipicamente é feita com base na experiência dos cirurgiões ou de forma aferida, tendo em conta padrões gerais (*benchmarking*). À semelhança de Tancrez et al. (2009), Wiegmann et al. (2007) têm em conta eventos disruptivos no seu trabalho, embora com um foco mais específico na execução cirúrgica em si e não tanto na afectação do processo de forma global. Isto porque o seu principal objectivo foi estudar a relação entre disrupções no fluxo cirúrgico e erros cometidos em intervenções cirúrgicas (neste caso, cardiovasculares) que podem comprometer o bem estar do paciente. Em particular Wiegmann et al. (2007) considerou mais aspectos disruptivos que Tancrez et al. (2009), entre os quais, falhas de comunicação/trabalho de equipa, problemas técnicos de equipamentos, interrupções externas, distrações relacionadas com questões de ensino e problemas no fornecimento de materiais cirúrgicos. Os resultados obtidos por Wiegmann et al. (2007) sugeriram que os erros cirúrgicos aumentam significativamente com o aumento do fluxo disruptivo, sendo que o principal evento

disruptivo, com afectação em erros de operação, foi atribuído a falhas de comunicação/trabalho de equipa.

3.5 Conclusão do capítulo

Tendo em conta os problemas comportamentais destacados no capítulo 2 inerentes ao processo cirúrgico, foi introduzido o conceito *BOR* e a sua aplicabilidade ao contexto do sistema em causa e a forma como se pode abordar este tipo de problemas comportamentais mencionados. Seguidamente, alguns exemplos relativos à formulação de modelos e aplicações práticas em contextos variados foram destacados de forma a reunir algumas ferramentas e metodologias para abordar problemas comportamentais. Finalmente foram dados exemplos específicos de aplicação de alguns trabalhos ao contexto do bloco, que constituíram a principal base de partida para a formulação dos modelos descritos na secção 7.

Posto isto, concluí-se que foi reunido material útil para o desenvolvimento dos modelos com base no caso de estudo real (descrito no capítulo 5), envolvendo os problemas tradicionalmente mais abordados pela investigação (expressos no capítulo 2), neste caso com foco de incisão sobre o agendamento de cirurgias, bem como abrangendo alguns problemas complementares e com menos história na literatura, relativos ao envolvimento dos intervenientes humanos no sistema e a sua afectação tendo em conta os seus comportamentos, nomeadamente no que diz respeito a conflitos de interesses entre as partes envolvidas no sistema.

4 Metodologia de trabalho

De acordo com o problema descrito no capítulo 2 e o suporte material destacado no capítulo 3, esta secção apresenta uma proposta de trabalho de investigação a ser aplicado num caso de estudo real.

A estrutura metodológica projectada para o desenvolvimento da dissertação divide-se em 5 etapas principais: Enquadramento, Recolha e tratamento de dados, Desenvolvimento, teste e validação de modelos, Análise e comparação de soluções, conclusões finais, recomendações e proposta de trabalho futuro.

1. **Enquadramento:** Nesta etapa deve ser efectuado um enquadramento do trabalho teórico, com uma proposta de aplicação prática no contexto real do sistema cirúrgico. Desta forma, este enquadramento divide-se em duas fases principais: enquadramento com a definição do problema e enquadramento com a revisão de literatura. Uma terceira fase foi incluída de modo a delinear as fronteiras da parte do sistema cirúrgico à qual o foco do trabalho deve incidir, com base no enquadramento feito nas fases anteriores.
2. **Recolha e tratamento de dados:** Esta etapa tem como principal objectivo mostrar como foram obtidos os parâmetros, utilizados na etapa seguinte de desenvolvimento do modelo, com base em dados reais fornecidos pelo HESE. É também através desta etapa que é obtida uma semana representativa da solução do hospital.
3. **Desenvolvimento, teste e validação de modelos:** Nesta etapa são descritas as especificações de dois modelos desenvolvidos para abordar o problema definido relativo ao sistema considerado na etapa de enquadramento, utilizando os parâmetros obtidos na etapa de recolha e tratamento de dados. Assim são apresentados os principais detalhes relativos à modelação de um modelo de optimização e outro de simulação, bem como o respectivo teste e validação de ambos.
4. **Análise e comparação de soluções:** Nesta etapa são analisadas e comparadas duas soluções, uma considerada como representativa do HESE e outra obtida pelo modelo de optimização, ambas relativas a agendamentos semanais. Esta análise e comparação é efectuada com base nos resultados obtidos pelo modelo de simulação desenvolvido para ambas as soluções. Esta etapa divide-se em duas fases principais, uma para condições normais de funcionamento (regime estacionário) e outra para condições anormais (regime variável), tendo em conta a ocorrência de eventos disruptivos, que possam desestabilizar o processo relativo à parte do sistema cirúrgico considerado.
5. **Conclusões finais, recomendações e trabalho futuro:** Para além da análise dos resultados quantitativos obtidos pelo modelo, abrangida na etapa anterior, é importante fazer uma apreciação qualitativa do trabalho, destacando os seus pontos fortes e pontos fracos, e ainda, algumas recomendações de melhoria bem como uma proposta de trabalho futuro.

5 Caso de estudo: Hospital de Évora

No presente capítulo, vai ser introduzido um caso de estudo relativo a um sistema cirúrgico em contexto real, para o qual alguns dos problemas destacados no capítulo 2 vão ser abordados com base em alguns dos métodos destacados no capítulo 3. Assim, o capítulo começa por uma breve introdução do caso de estudo e da metodologia proposta para abordar o respectivo problema (secção 5.1), passando de seguida ao enquadramento com o trabalho desenvolvido nos capítulos anteriores, principalmente com o capítulo 2 (secção 5.2.1) e com o capítulo 3 (secção 5.2.2). Por último, são definidas as fronteiras relativas à parte do sistema cirúrgico sobre o qual este trabalho visa incidir (secção 5.2.3), de acordo com o problema abordado bem como com a literatura reunida e com os objectivos ambicionados.

5.1 Introdução

O novo plano nacional de saúde (PNS 2021-2030) tem como foco principal a Construção do Desenvolvimento Sustentável, destacando 10 recomendações entre as quais: A sua implementação através da participação e das ações “de todos para todos”; A valorização da informação, da comunicação, da ciência, do conhecimento e da inovação; A construção de um “Pacto Social para a Década”, centrado na saúde sustentável e na redução das iniquidades em saúde (<https://www.sns.gov.pt/noticias/2022/04/08/plano-nacional-de-saude-2021-2030-2/>).

Tendo estas directrizes em mente, este trabalho visa promover a sustentabilidade seguindo as recomendações mencionadas e aplicando a um caso de estudo real. Assim este trabalho visa promover a comunicação, a ciência, o conhecimento e a inovação nas soluções optimizadas e sustentáveis, reduzindo ainda as desigualdades ao favorecer a inclusão de diferentes perspectivas dos *stakeholders* diretamente envolvidos no processo.

O HESE (Hospital Espírito Santo de Évora) é um dos principais hospitais públicos do país, que anualmente assiste cuidados médicos a uma percentagem considerável da população, principalmente do Alentejo. Dentro daquilo que é o panorama nacional, o HESE não é excepção, sendo que as longas listas de espera por cirurgia são um dos principais problemas detectados (<http://tempos.min-saude.pt/#/instituiacao/233>, 28/04/2022). Estas listas são caracterizadas não só pela sua dimensão em tamanho (número de utentes em espera) como também pela considerável longa duração, relativa ao tempo de espera médio, desde que é dada entrada de um paciente na lista até à data em que a cirurgia é efectivamente realizada.

Algumas decisões podem ser consideradas críticas neste processo. No decorrer desta dissertação apenas serão consideradas decisões de nível operacional, de modo a simplificar o contexto do problema com a redução do horizonte temporal de acção para apenas uma semana, tal como sugerido na revisão de literatura onde diversas técnicas de simplificação de modelos multi-objectivo foram destacadas (secção 3.2.1), bem como para facilitar a sua possível implementação prática, ou seja, uma implementação que não exija alterações mais revolucionárias abalando a estrutura pré-existente, como é o caso de, por exemplo, alterações de nível estratégico.

Assim, dentro daquilo que são as decisões de nível operacional, foi seleccionada e analisada a decisão relativa ao agendamento cirúrgico, identificada como um dos pontos críticos no processo cirúrgico na literatura, neste caso referente à área cirúrgica atribuída a cirurgias a pacientes electivos (com marcação prévia). O principal objectivo do trabalho é desenvolver um método de

optimização do agendamento semanal de cirurgias, de uma forma comunicativa, facilitando a sua compreensão no contexto do sistema em causa.

Para este efeito, e como sugerido anteriormente na metodologia de investigação, um modelo de optimização e outro de simulação foram desenvolvidos com base em informações gerais destacadas na revisão de literatura (capítulo 3) bem como informações específicas, relativas ao próprio hospital. O modelo de optimização tem o propósito de apoiar a decisão do gestor do bloco, na atribuição de tempos a especialidades cirúrgicas, com o objectivo de maximizar o número de cirurgias possíveis de agendar. O modelo de simulação visa representar apenas a parte do sistema cirúrgico relativa ao próprio dia de operação do serviço de cirurgia, desde que um paciente dá entrada no serviço até ser encaminhado para o recobro, de acordo com as fronteiras estipuladas (explicado mais adiante na secção 5.2.3), de modo a poder ser simulada a aplicação prática de um determinado agendamento semanal considerado pelo decisor.

5.2 Enquadramento

Esta secção serve para enquadrar o trabalho teórico desenvolvido nos capítulos anteriores (principalmente capítulo 2 e capítulo 3) com o trabalho prático desenvolvido e aplicado ao caso de estudo introduzido no presente capítulo. Assim, a secção 5.2.1 destaca quais os principais problemas evidenciados no capítulo 2 que foram abordados no contexto do caso de estudo real. A secção 5.2.2 apresenta o principal suporte teórico, reunido na revisão de literatura (capítulo 3), que serviu de base no desenvolvimeno do trabalho aplicado ao respectivo caso de estudo.

5.2.1 Enquadramento com a definição do problema

Tendo em conta os problemas destacados no capítulo 2, no contexto do sistema cirúrgico, foi abordado principalmente o problema relativo ao processo de agendamento cirúrgico, tendo em conta um outro problema, identificado no capítulo 2, referente às diferentes perspectivas das partes envolvidas que resultam em conflitos de interesses. Segue-se uma breve descrição da forma como foram abordados os respectivos problemas no contexto do trabalho aplicado ao caso de estudo real.

Agendamento cirúrgico: No contexto dos inúmeros problemas destacados no capítulo 2, foi seleccionado o problema relativo a decisões referentes ao agendamento de cirurgias para um dado *MSS* (secção 2.1), ou seja, auxiliar a decisão relativa ao agendamento de cirurgias de acordo com as características da lista de espera, nomeadamente tamanho, tipo de cirurgia e prioridade do paciente, bem como tendo em conta aspectos de dimensionamento, tais como a disponibilidade de recursos alocados à unidade de cirurgia do hospital (salas cirúrgicas, anestesistas, cirurgiões, enfermeiros, etc.).

Depois da elaboração de um *MSS* é preciso não só seleccionar os pacientes a agendar a cirurgia como ordenar as respectivas cirurgias (obtendo a sequência diária do processo), mas primeiramente devem ser estimadas as durações das respectivas cirurgias pois só dessa forma é possível lidar com as restrições de tempo que limitam cada dia de operação. Este último aspecto vai também ser incluído visto que o impacto destas estimativas pode ser relevante na eficiência do processo operacional (Fügener et al. 2017). Estimativas muito acima da duração real podem

levar a reduções de marcações cirúrgicas, afectando o número de cirurgias executadas diariamente (comprometendo os objectivos dos gestores), que por sua vez leva a dificuldades no que diz respeito à redução de filas de espera bem como aumentos no tempo médio de espera por cirurgia. Por outro lado, estimativas muito abaixo da duração real das cirurgias podem provocar picos de utilização de recursos elevados (contrapondo os interesses do pessoal envolvido), devido ao eventual número de agendamentos diário de cirurgias ligeiramente acima daquilo que a unidade cirúrgica é capaz de atender, tendo em conta as suas limitações de recursos e de tempo, podendo incorrer não só em excessivo recurso a horas extraordinárias como também ao eventual cancelamento de cirurgias (originando insatisfação da procura do serviço de saúde em questão, contrapondo os objectivos dos pacientes).

Assim, é relevante ter em conta as estimativas de duração de cirurgias no modelo de optimização do agendamento cirúrgico, bem como ter em conta os diferentes objectivos, representados por *KPIs*, no teste de soluções no modelo de simulação, de forma a ter em conta as perspectivas dos diferentes *stakeholders* envolvidos no processo, atendendo assim a outro dos problemas destacados na secção 2.2, relativo a conflitos de interesses.

Desta forma, o trabalho a desenvolver pretende-se que seja composto em duas fases, uma relacionada com a obtenção de uma nova solução de agendamento (modelo de optimização) e outra relativa a comparação da respectiva solução com uma solução considerada neste trabalho como representativa do processo de agendamento em vigor no hospital (modelo de simulação), para iguais condições de funcionamento.

Diferentes perspectivas: De modo a incluir diferentes perspectivas nos modelos, foi tido em conta três partes principais que intervêm directamente neste sistema, nomeadamente pacientes, gestores hospitalares e pessoal do bloco. De seguida foram definidos 3 objectivos principais, considerados como representativos dos interesses de cada uma das partes, nomeadamente maximização da eficiência, maximização do número total de cirurgias e minimização da carga laboral (principalmente picos de utilização e horas extraordinárias), respectivamente.

Quanto maior for o número de cirurgias marcadas para uma sala, maior a probabilidade de ocorrência de engarrafamentos e atrasos na execução de cirurgias. Isto leva a uma maior propensão relativa à ocorrência de cancelamentos e conseqüentemente a uma taxa de eficiência mais baixa. Por outro lado, caso se pretenda diminuir a taxa de cancelamento (ou aumentar a taxa de eficiência do agendamento), muitas vezes ocorre o aumento do recurso a horas extra. Isto sugere uma relação conflituosa entre os objectivos representativos dos interesses das partes, tal como referido na secção 2.2.2.

A maximização de eficiência foi introduzida, como objectivo representativo dos pacientes, para ter em conta a insatisfação provocada pelos cancelamentos de cirurgias, que pode ter implicações sérias do ponto de vista do paciente (Banditori et al. 2013).

Muitas vezes, a gestão hospitalar, ao tentar maximizar o número total de cirurgias efectuadas, programa agendadas muito intensas, que por sua vez pode levar a dificuldades no seu cumprimento, levando a aumentos na taxa de cancelamentos. O número de cirurgias efectuadas por tais agendamentos intensos até pode ser maior, o que indirectamente pode também ser do interesse do paciente, dado que se mais cirurgias são realizadas, maior é a redução das listas de espera e desta forma o tempo de espera indirecto (fora do hospital, (Fügener et al. 2017))

desce. Por outro lado, o tempo de espera directo (no hospital, (Fügner et al. 2017)) aumenta, à semelhança do que acontece com a taxa de cancelamento de cirurgias, prejudicando a qualidade do serviço e ainda podendo causar transtorno ao paciente (Banditori et al. 2013).

A maximização do número total de cirurgias representa os interesses da gestão hospitalar de forma directa, tal como descrito na secção 2.2.2, bem como os interesses do paciente de forma indirecta, pelos motivos supra mencionados, podendo assim ser associado a mais do que um grupo de *stakeholders*. Ainda assim, o objectivo de maximizar cirurgias foi associado apenas à gestão hospitalar como forma de simplificação, dado que o paciente já se encontra representado por um outro objectivo, bem como devido ao facto de este poder se encontrar negativamente correlacionado com maximização da eficiência, tal como supra-descrito, o que sugere um eventual conflito com o objectivo de maximizar a eficiência, considerado como principal objectivo de interesse dos pacientes pelos motivos supra-mencionados.

O objectivo de minimização da carga laboral, que representa os interesses do pessoal do bloco tal como descrito na secção 2.2.2, foi passado para o lado das restrições do modelo, com base no que foi discutido na secção 3.2.1 da revisão de literatura, como forma de simplificação do problema. Assim definiu-se os turnos de trabalho como fixos não permitindo a simulação de cirurgias em regime de horas extra, a não ser no caso de no fim do turno de trabalho ainda haver uma intervenção cirúrgica a decorrer, onde neste caso a intervenção terá de ser concluída.

5.2.2 Enquadramento com a revisão de literatura

De acordo com o ponto de vista de Franco & Hämäläinen (2016), descrito na secção 3.1.1, a elaboração do modelo de simulação implicou a inclusão do comportamento de forma passiva (primeira vertente), no sentido de que muitos aspectos comportamentais foram incluídos no modelo de forma a representarem o comportamento real dos intervenientes humanos do sistema. Assim, considerando os *stakeholders*, seleccionados na secção anterior, como intervenientes directos no sistema, os comportamentos incluídos no modelo, de forma passiva, foram principalmente os comportamentos que envolvem pacientes e recursos humanos. Por exemplo, o trajecto dos pacientes ao longo do processo de cirurgia ou a forma como os recursos humanos operam no sistema, foram modelados de modo a representarem comportamentos reais na simulação, sem qualquer intenção de promover mudanças nos mesmos.

Para além da forma passiva, a nível de componente activa (segunda vertente proposta por Franco & Hämäläinen (2016)) deve ser destacado o facto de o modelo de simulação desenvolvido permitir a possibilidade de interacção do decisor com o modelo, facilitando uma melhor compreensão e leitura do sistema por parte do utilizador, o que de certa forma pode ser visto como um potencial de contribuição activa no desempenho da decisão. Assim, a componente activa está principalmente envolvida com a outra parte envolvida directamente no sistema, o gestor do bloco, um dos principais responsável pelo planeamento cirúrgico e pela tomada de decisão.

Ainda no que diz respeito a *BOR*, também se pode relacionar o modelo desenvolvido com cada uma das três áreas principais propostas por Kunc et al. (2020), *BOR* no modelo, *BOR* com o modelo e *BOR* para além de modelos, descritas na secção 3.1.2:

BOR no modelo Das três áreas propostas por Kunc et al. (2020), *BOR* no modelo apresenta-se como a área mais abrangida pelos modelos desenvolvidos neste trabalho. Isto porque não tendo havido uma interacção directa com os colaboradores do HESE, a principal forma de ter em conta as respectivas áreas é baseada na forma como os aspectos comportamentais são incluídos no modelo.

O comportamento do decisor foi modelado de forma externa, ou seja, através da possibilidade de interacção com o simulador, em que as suas alternativas de decisões são um *input* no modelo de simulação. Os pacientes foram modelados de forma interna, como um *work item* que flui ao longo do sistema. Todos os recursos humanos (enfermeiros, anestesistas ou cirurgiões) foram também modelados de forma interna mas, ao contrário dos pacientes, estes foram modelados como entidades que obedecem a regras específicas no sistema onde operam.

BOR com o modelo Para além da possibilidade de interacção directa do decisor com o modelo de simulação desenvolvido, a própria elaboração do modelo inclui algumas especificações relativa ao processo de cirurgia no HESE. Desta forma obtém-se um modelo personalizado e adaptado à ideia e perspectiva do sistema por parte do utilizador, o que pode não só potenciar a sua aprovação, como mais tarde facilitar a sua compreensão por parte do respectivo utilizador no caso de ocorrer envolvimento directo com o utilizador. A sua utilização é orientada para que um decisor possa testar diferentes alternativas de decisão para cenários parecidos ou variados, através da simulação, e assim poder comparar as suas opções, analisar resultados e tirar as suas conclusões.

BOR para além de modelos Esta área não se enquadra no trabalho realizado dado que não houve a possibilidade de proceder a uma observação pós implementação do modelo.

No que diz respeito aos interesses dos *stakeholders* considerados neste trabalho, foram também utilizadas algumas formas de simplificação de modelos multi-objectivo, cujos objectivos representam tais interesses, expressas na revisão de literatura (na secção 3.2.1) entre as quais: Utilização de um ou mais critérios como restrição; Redução do horizonte temporal de planeamento; Ponderação do tipo de decisões VS número de objectivos. Segue-se uma breve descrição da forma como estas técnicas abordadas na revisão de literatura foram aplicadas ao desenvolvimento deste trabalho.

Usar um ou mais critérios como restrição Tal como referido na secção 5.2.1, um dos critérios relativos aos objectivos considerados foi transferido para o lado das condições no modelo. Assim, o objectivo de minimizar as horas extraordinárias e picos de utilização, representando um interesse do pessoal do bloco, sendo conflituoso com os restantes objectivos, foi transferido para o lado das condições, deixando de ser um objectivo e desta forma, simplificando o modelo, tal como previamente explicado na secção 3.2.1. Este critério foi representado no modelo através da taxa de utilização de recursos, isto porque quanto maior a taxa de utilização maior a carga laboral sobre o pessoal do bloco e ainda, maior a probabilidade de se incorrer em horas extra.

Esta simplificação consistiu essencialmente em não permitir a possibilidade de trabalho em regime extraordinário no modelo, ou seja, o processo cirúrgico operacional deve decorrer apenas durante os tempos de bloco operatório definidos de acordo com o *MSS* previamente desenvolvido. Assim, caso não se trabalhe em regime extraordinário, o valor de horas extra semanais esperado é zero, ou seja, o melhor cenário possível é alcançado, pelo menos no que diz respeito a trabalho em regime extraordinário, de acordo com os interesses do pessoal do bloco, correspondendo à situação óptima do ponto de vista do respectivo grupo de *stakeholders*. Este cenário óptimo apenas não deve ocorrer para situações específicas em que, no caso de um turno chegar ao fim com cirurgias em blocos ainda a decorrer. Ou seja, o recurso a horas extra deve ocorrer apenas quando é inevitável, não sendo usado para redução de filas de espera.

Reduzir o horizonte temporal de planeamento A decisão de agendamento cirúrgico foi ajustada com um horizonte temporal de uma semana. Desta forma, o nível de planeamento foi limitado a decisões de nível operacional, simplificando o problema na medida em que foi assumido um planeamento tático e estratégico como fixo, de acordo com a actual organização estrutural do hospital.

Também no que diz respeito à análise de resultados, torna-se mais simples trabalhar com horizontes temporais mais curtos, visto que os resultados e as próprias condições de funcionamento estão sujeitos a menos incerteza do que caso se trabalhe com horizontes temporais mais alargados.

Ponderar o tipo de decisões VS número de objectivos De modo a simplificar o modelo, apenas uma decisão foi considerada neste trabalho. Esta decisão é relativa ao agendamento semanal de cirurgias, ou seja, envolve principalmente atribuição de tempos semanais de salas a especialidades cirúrgicas. Também é necessário estimar as durações cirúrgicas para cada especialidade, de modo a ter em conta também um número de cirurgias de cada especialidade que é possível agendar num tempo, sem comprometer o processo, e assim obter uma sequenciação diária.

Assim, a variação desta decisão de agendamento vai permitir analisar o impacto nos resultados tendo em conta os objectivos considerados. Isto permite simplificar o problema na medida em que, mantendo uma abordagem multi-critério, varia-se apenas um tipo de decisão, neste caso relativa ao agendamento semanal de cirurgias de pacientes electivos.

Desta forma, tendo em conta as referidas técnicas de simplificação de modelos multi-objectivo, foi desenvolvido um modelo de optimização e outro de simulação, com base nas ideias de alguns trabalhos aplicados ao contexto do sistema cirúrgico, realçados na secção 3.4. Segue-se um breve enquadramento, relacionando os trabalhos salientados na revisão de literatura com os modelos desenvolvidos neste trabalho, apresentados mais adiante na secção 7, principalmente expondo as principais semelhanças e diferenças entre os trabalhos expressos na literatura e a abordagem deste trabalho, especialmente a nível dos modelos desenvolvidos.

Trabalhos aplicados ao contexto do sistema cirúrgico À semelhança do trabalho desenvolvido por Roure et al. (2015), um modelo de simulação foi modelado e utilizado de forma a testar

e analisar soluções com o objectivo de melhorar o fluxo de pacientes (ou maximizar o número de cirurgias e minimizar ineficiências no processo) ao longo do processo cirúrgico operacional, beneficiando das vantagens do recurso à simulação vs experimentação real. Ao contrário de Roure et al. (2015), o trabalho desenvolvido nesta dissertação analisou e comparou soluções de agendamento diferentes (otimizada vs não otimizada) para cenários idênticos, tendo-se variado os cenários apenas no que diz respeito à ocorrência de disrupção no sistema causada por chegada de eventos desestabilizadores, para um nível de recursos sempre constante (ao contrário de Roure et al. (2015)). Este trabalho tem o objectivo de melhorar a área cirúrgica em vigor servindo pacientes electivos (ambulatoriais ou internos), enquanto que Roure et al. (2015) visou dimensionar uma nova área de cirurgia destacada especificamente para pacientes do tipo ambatório. Outra diferença ocorrida entre os dois trabalhos residiu no tipo de interacção com os colaboradores do hospital, em que Roure et al. (2015) apresentou uma interacção mais directa, o que permitiu uma maior proximidade e nível de conhecimento do sistema em causa, permitindo a elaboração de uma análise de risco personalizada para a implementação da solução proposta no contexto do processo operacional em causa, ao contrário deste trabalho, que em compensação apresenta uma análise de sensibilidade, em relação a variações no nível de disrupção do sistema, para ambas as soluções testadas e analisadas.

Tal como no modelo desenvolvido por Banditori et al. (2013), foi utilizada uma abordagem de optimização-simulação em relação a agendamentos cirúrgicos relativos a cirurgias de pacientes electivos, cujo planeamento cirúrgico foi efectuado por grupos cirúrgicos em vez de casos individuais, assumindo que cirurgias do mesmo grupo apresentam durações esperadas de operação semelhantes, bem como durações de estadia (*LOS*) que não foram consideradas neste trabalho. Banditori et al. (2013) definiu os grupos de acordo com o tipo de recursos necessário para a elaboração das respectivas cirurgias, à semelhança do que foi feito neste trabalho em que o tipo de cirurgia foi agrupado de acordo com a especialidade cirúrgica (envolvendo, por exemplo, salas próprias e equipas de cirurgia especializadas para o efeito). Tal como Banditori et al. (2013), foi incluída uma análise relativa ao impacto da variação do nível de disrupção do sistema, a principal diferença entre a abordagem de Banditori et al. (2013) e este trabalho, reside principalmente no tipo de origem da disrupção causada, visto que Banditori et al. (2013) analisa o impacto de variações a nível da duração cirúrgica e de estadia do paciente (*LOS*) enquanto que este trabalho propõe uma análise de sensibilidade em relação à ocorrência de eventos desestabilizadores (de forma externa à cirurgia). O objectivo de Banditori et al. (2013) com esta análise é avaliar a robustez da solução optimizada, enquanto o objectivo da análise de sensibilidade deste trabalho é comparar a variação dos níveis de desempenho entre a solução optimizada e a solução representativa do hospital (não optimizada pelo modelo) em função da variação do nível de disrupção do sistema.

Fügener et al. (2017) analisou o impacto (neste caso negativo) de alguns aspectos comportamentais no resultado do sistema, nomeadamente no que diz respeito ao planeamento de durações cirúrgicas por parte de cirurgiões. Tendo isto em conta e de modo a evitar este tipo de ineficiências provocadas pelo facto de os decisores não serem puramente racionais, tal como sugerido por Simon (1979), no que diz respeito ao planeamento de durações cirúrgicas, foi adoptada uma abordagem estocástica com base em registos históricos de tempos de cirurgias de modo a simular as respectivas durações e assim o número de cirurgias planeadas para um dado tempo de uma

sala foi planeado para um nível de confiança na ordem dos 95%, tal como descrito mais à frente na secção 6.1.

Denton et al. (2007) comparou níveis de desempenho de agendas optimizadas com agendas não optimizadas, incluindo a incerteza de durações cirúrgicas de forma estocástica tal como foi feito neste trabalho, tendo por base dados reais acerca de durações e resultados de desempenho. A principal diferença entre ambas as abordagens foi não ter sido incluído neste trabalho o impacto de diferentes regras de sequenciação nem ter sido desenvolvida uma análise de sensibilidade relativa a custos. Também a nível de horizonte temporal o foco deste trabalho foi uma semana ao invés de apenas um dia e ainda tendo em conta várias salas cirúrgicas na decisão de agendamento (contemplando uma das recomendações propostas por Denton et al. (2007)).

À semelhança do trabalho desenvolvido por Tancrez et al. (2009), neste trabalho a disrupção do fluxo de pacientes, ao longo do processo cirúrgico, foi incluída de forma estocástica, tendo como principais causas a incerteza associada a durações cirúrgicas, bem como a aleatoriedade de chegada de eventos disruptivos. No caso do trabalho desenvolvido por Tancrez et al. (2009), a chegada de eventos disruptivos diz respeito apenas à chegada de pacientes urgentes, enquanto que neste trabalho representa tudo aquilo que não foi directamente incluído no modelo e que pode causar disrupção no processo, tal como os vários aspectos destacados por Wiegmann et al. (2007) (como por exemplo, falhas técnicas em equipamentos), abrangendo assim um pouco mais aspectos disruptivos que Tancrez et al. (2009). A principal diferença reside no facto de a variação do nível disruptivo (variação da taxa diária de eventos disruptivos), ter sido usada na análise de sensibilidade das soluções testadas neste trabalho, analisando o impacto nos resultados dos *KPIs* considerados e comparando-os entre diferentes soluções de agendamento (nível operacional), ao contrário do trabalho desenvolvido por Tancrez et al. (2009) que teve em conta a disrupção de modo a auxiliar na decisão de nível tático-estratégico, relativa a proporção de serviço alocado a urgências, que neste trabalho foi considerada como previamente tomada.

5.2.3 Definição de fronteiras do sistema

Dada a dificuldade em gerir sistemas complexos, é uma prática comum definir fronteiras, de modo a isolar uma área que restrinja a complexidade do sistema tendo em conta um problema específico que se vise abordar, simplificando os modelos desenvolvidos. Ainda assim, é importante notar que, mesmo quando o foco do problema é mais específico, deve ter-se sempre em conta a interacção desse mesmo foco com o resto do sistema (Dexter et al. 2005).

De modo a estruturar o sistema cirúrgico e as respectivas partes do sistema que se pretende abordar mais a fundo com este trabalho, a figura 1 representa o esboço do *LCD* relativo ao sistema cirúrgico de forma geral, desde que qualquer tipo de paciente dá entrada até dar saída do sistema. Existem essencialmente duas formas de dar entrada no sistema de acordo com o tipo de paciente cirúrgico, electivo ou urgente. As entradas de pacientes electivos estão representadas pelo primeiro losango com a letra “E” e a entrada de pacientes urgentes é representada pelo segundo losango, de letra “U”, um pouco mais adiante no sistema representado na figura 1. Isto acontece porque os pacientes urgentes dão entrada de forma inesperada no sistema, no próprio dia da cirurgia, não necessitando de consultas prévias nem passar por processos de agendamento característicos do considerado como “pré-sistema” para os efeitos deste trabalho.

O *LCD* do sistema cirúrgico geral foi obtido com base em algumas informações facultadas pela

direcção de serviço de Cirurgia Geral do HESE, aliado a alguns trabalhos existentes na literatura acerca de blocos operatórios, tais como Guerriero & Guido (2011) e Roure et al. (2015). A delineação das fronteiras do sistema que este trabalho visa abordar foi obtida de acordo com o propósito do modelo de simulação, desenvolvido de modo a representar o processo operacional do sistema cirúrgico (ou seja, o dia-a-dia da prestação do serviço de cirurgia aos utentes), tendo como foco o nível operacional, tal como acima mencionado. Assim, foi considerado como pós-sistema qualquer processo que ocorra após os pacientes darem saída da respectiva unidade de cirurgia, quer corresponda a alta médica ou reencaminhamento para outras áreas hospitalares.

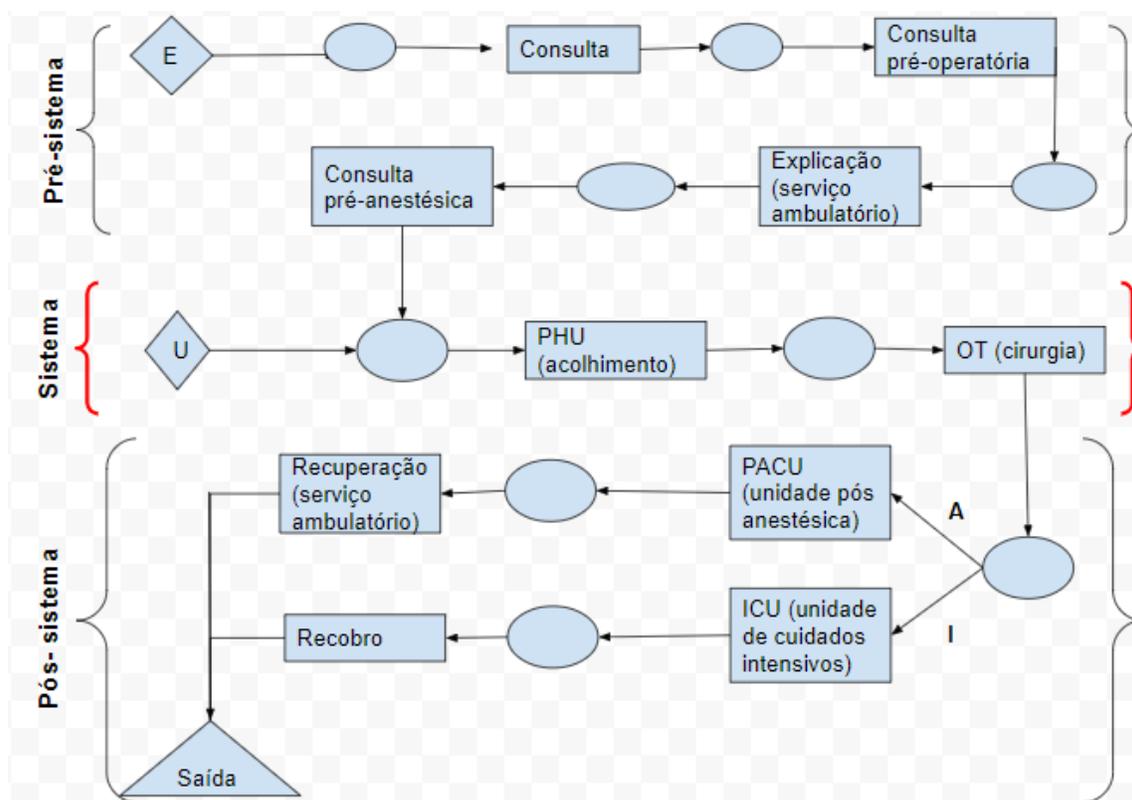


Figura 1: LCD do Sistema cirúrgico de forma geral e delineação das fronteiras do sistema considerado (Guerriero & Guido 2011, Roure et al. 2015).

Como se pode observar na figura 1, o trajeto de um paciente (electivo) no sistema cirúrgico começa com a identificação da necessidade de intervenção cirúrgica através de uma consulta. Seguidamente são recolhidos os dados do doente, explicado o plano cirúrgico e pergunta-se ao doente se concorda com a cirurgia. Se concordar, é inscrito na “Lista de Inscritos para Cirurgia”. É entregue uma folha para consentimento informado (específica da patologia) para assinar e trazer na consulta pré-operatória, que acontece na semana anterior à cirurgia. Nesta consulta, o doente é visto por um dos internos do serviço, é prescrita a medicação pré-operatória e recomendados os cuidados a ter antes da cirurgia. Depois da consulta, vai ao serviço do ambulatorio, e uma enfermeira explica a tricotomia, pergunta se tem consciência da cirurgia que vai fazer, explica a dieta que deve adoptar, entre outras indicações. Depois desta fase o paciente vai para casa, onde aguarda pelo dia da respectiva cirurgia.

O director de serviço recebe a lista de espera geral do serviço e por médico todas as semanas.

Cada médico gere o seu tempo operatório, adequando-o ao tipo de cirurgias. Quando os pacientes são seleccionados, verifica-se se foram realizados exames complementares e se está marcada a consulta pré- anestésica. Se não houver consulta, tenta-se contactar directamente a anestesia para marcar. Assim se conclui aquilo que, para propósitos deste trabalho, foi considerado como pré-sistema.

No dia da cirurgia, os pacientes entram pelo serviço às 7h30 (“PHU (acolhimento)”), também conhecido como acolhimento, onde são preparados para a cirurgia. Os pacientes urgentes (representados pela letra “U”, na figura 1) apenas dão entrada no sistema nesta fase, podendo dar entrada no serviço a qualquer hora. Depois de preparados para a cirurgias (após passar pelo acolhimento), os pacientes seguem para o bloco operatório, onde se dá a intervenção cirúrgica (representado como “OT(cirurgia)” na figura 1). Depois da cirurgia, conforme o tipo de paciente de acordo com a sua duração de permanência na respectiva área hospitalar, ambulatório(“A”) ou interno (“I”), o paciente segue para a unidade de pós anestesia ou para os cuidados intensivos (caminho “A” ou “I” respectivamente na figura 1) (Guerrero & Guido 2011, Roure et al. 2015). Após a cirurgia o paciente segue para o recobro. No caso de um paciente ambulatório, o recobro está representado como “Recuperação (serviço ambulatório)”, no caso de um paciente interno representa-se como “Recobro”, na figura 1. Uma vez concluídas as referidas actividades, o paciente dá saída do sistema cirúrgico (representado pelo triângulo “Saída” na figura 1).

O modelo desenvolvido com este trabalho tem em conta apenas o processo cirúrgico operacional, delineado pela zona considerada como sistema (a vermelho na figura 1) e de acordo com o trajecto e características de cirurgias de pacientes electivos (que podem ser ambulatórios ou interno, “A” ou “I” respectivamente na figura 1), não considerando directamente a inclusão de pacientes urgentes (“U”).

6 Recolha e tratamento de dados

Este trabalho foi feito com em base dados fornecidos pelo HESE, nomeadamente no que diz respeito a agendamentos semanais de cirurgias e registos de tempos reais de duração cirúrgicas, de acordo com a área cirúrgica atribuída a cirurgias de pacientes electivos. Para além dos dados relativos à execução prática do processo de operação cirúrgica, também foram facultados dados relativos ao total de tempos atribuídos e tempos cancelados relativos às respectivas especialidades abrangidas pela área cirúrgica considerada. Os respectivos registos remontam aos meses de Novembro e Dezembro de 2018, num contexto pré-pandémico.

No contexto da área cirúrgica considerada, foram identificadas cinco salas de cirurgia (sala 1, sala 2, sala 4, sala 5 e BOMI), disponíveis para execução de treze especialidades cirúrgicas identificadas ao serviço de pacientes electivos. Dois tempos de funcionamento foram identificados para estas salas, tempo da manhã (8:00-14:00) e tempo da tarde (14:00-20:00). As especialidades identificadas em registos fornecidos pelo hospital relativos à respectiva área cirúrgica foram: oftalmologia, cirurgia geral, ginecologia obstetrícia, otorrinolaringologia (ORL), urologia, cirurgia plástica, ortopedia, pediatria (PED), estomatologia, neurocirurgia, cirurgia vascular, cirurgia mária e gastrocirurgia.

Assim sendo, no que resta deste capítulo, vão ser utilizados como índices principais j , i e t , como representativos de salas, especialidades e tempos, respectivamente. Desta forma os dados foram recolhidos, seleccionados, organizados e trabalhados de modo a obter os parâmetros utilizados no modelo, dependentes dos respectivos índices. A secção seguinte descreve detalhadamente como foram obtidos tais parâmetros com base nos dados adquiridos.

6.1 Obtenção de parâmetros

Em primeiro lugar, e de modo a facilitar a obtenção dos parâmetros utilizados em ambos os modelos de optimização e simulação descritos mais adiante, os dados fornecidos relativamente a durações reais de cirurgias foram agrupados e organizados de acordo com a especialidade i a que correspondem.

Média (u_i) e desvio padrão (s_i) de duração cirúrgica por especialidade: Seguidamente foram obtidas as médias (u_i) e desvios padrão (s_i), em minutos, relativos a cada uma das amostras de registos de durações cirúrgicas, para cada especialidade i , tal como a figura 2 sugere. Os respectivos parâmetros u_i e s_i foram usados principalmente como parâmetros relativos à distribuição probabilística Normal Logarítmica ($DurCir_i$) (Fügener et al. 2017, Gul et al. 2011), adoptada para simular tempos de duração de cirurgias para cada especialidade no modelo de simulação, explicada mais adiante na secção 7.3.2.

Como se pode verificar na figura 2, os dados relativos aos registos de tempos de entrada na sala (“ES”) e de saída da sala (“SS”), neste caso para a especialidade de oftalmologia, foram agrupados numa folha em *Excel* e a sua duração foi obtida, através da diferença entre a coluna relativa aos tempos “SS” e a coluna de tempos “ES”, estando os resultados da duração real expressos na coluna “duração” expressa na tabela da figura 2. Seguidamente a média e desvio padrão da amostra, u e s respectivamente, foram obtidos, tal como mostrado na figura 2.

Procedimento Cirúrgico	ES	SS	Duração	Duração (min)		Horas	Minutos
Facoemulsificação e aspiração de catarata + Inserção protese intraocular cristalino sucedendo a extração	8:26	12:45	4:19	259,00	Média (u)	1:14	74,53
Facoemulsificação e aspiração de catarata + Inserção protese intraocular cristalino sucedendo a extração	8:31	12:34	4:03	243,00	Desv.pad (s)		62,07079
Facoemulsificação e aspiração de catarata + Inserção protese intraocular cristalino sucedendo a extração	8:26	12:24	3:58	238,00			
Facoemulsificação e aspiração de catarata + Inserção protese intraocular cristalino sucedendo a extração	8:30	12:20	3:50	230,00			
Facoemulsificação e aspiração de catarata + Inserção protese intraocular cristalino sucedendo a extração	8:26	12:13	3:47	227,00			
Facoemulsificação e aspiração de catarata + Inserção protese intraocular cristalino sucedendo a extração	8:25	12:08	3:43	223,00			
Facoemulsificação e aspiração de catarata + Inserção protese intraocular cristalino sucedendo a extração	9:35	13:04	3:29	209,00			
Excisão pterígio/chalazio	9:26	12:41	3:15	195,00			
Facoemulsificação e aspiração de catarata + Inserção protese intraocular cristalino sucedendo a extração	8:20	11:33	3:13	193,00			
Operações no vítreo + Injeção ou infusão de substância quimo-terapêutica do cancro	9:46	12:45	2:59	179,00			

Figura 2: Os 10 primeiros elementos de uma amostra de 113 dados, relativa aos registos de tempos de duração cirúrgica da especialidade de oftalmologia, e os respectivos parâmetros calculados de média e desvio padrão, u e s respectivamente.

O mesmo foi efectuado para todas as outras especialidades com excepção de estomatologia, neurocirurgia, cirurgia vascular, cirurgia mamária e gastrocirurgia que, por serem cirurgias que ocorrem com frequência inferior a uma vez por semana, as respectivas amostras não eram de todo significativas para estimar parâmetros com credibilidade necessária para se fazerem representar posteriormente nos modelos desenvolvidos. Desta forma, de modo a incluir na mesma estas especialidades nos modelos, as respectivas foram todas agrupadas como “outras especialidades”, de modo a ter mais dados amostrais para estimar parâmetros, bem como uma ocorrência semanal de pelo menos uma vez por semana para este grupo de especialidades.

Número de cirurgias esperadas por tempo para cada especialidade (D_i): Após terem sido obtidos os parâmetros relativos às médias e desvios padrão das durações de cada especialidade, estes foram organizados numa tabela, expressa na figura 3, com o intuito de estimar uma duração de tempo que seja suficiente para cobrir 95% dos casos de durações reais com base no ajuste da amostra de tempos verificados a uma curva de distribuição Normal Logarítmica, cuja estimativa para cada especialidade i se encontra expressa na coluna “Duração LnNorm 95%” da respectiva tabela. Assim, tendo em conta que cada tempo de funcionamento de uma sala cirúrgica dura 6 horas (secção 6), obteve-se também um número esperado de cirurgias por tempo para cada especialidade, expresso na coluna “Nºcir/tempo 95%conf.LnNor”, tendo-se de seguida arredondado às unidades os respectivos valores obtidos para cada especialidade (coluna “Ajuste (D(i))”, obtendo-se os valores do parâmetro D_i .

Assim, através dos parâmetros u_i e s_i , calculados de modo a serem incluídos principalmente no modelo de simulação, foi possível obter o parâmetro D_i , que corresponde à estimativa de número de cirurgias esperadas por tempo para cada especialidade (i), utilizado no modelo de optimização, descrito mais adiante na secção 7.2.

Especialidade	Dur. média (u(i))	Desv.pad (s(i))	Duração LnNorm 95%	Nºcir/tempo 95%conf.LnNor	Ajuste (D(i))
Oftalmologia	75	62	220	1,636363636	2
Cirurgia Geral	126	78	288	1,25	1
Gin / Obs	84	38	164	2,195121951	2
ORL	63	21	108	3,333333333	3
Urologia	92	46	176	2,045454545	2
Cir. Plástica	79	34	165	2,181818182	2
Ortopedia	127	45	222	1,621621622	2
PED	53	32	123	2,926829268	3
Outros	109	66	250	1,44	1

Figura 3: Obtenção do parâmetro de número de cirurgias por tempo (6 horas) para cada especialidade (D_i), assumindo uma distribuição Normal Logarítmica de média u_i e desvio padrão s_i como representativa da aleatoriedade inerente à duração real de cada especialidade cirúrgica (i).

Nível mínimo de serviço semanal para cada especialidade ($Nmin_i$): A obtenção deste parâmetro surge da necessidade de obrigação de satisfazer todas as especialidades incluídas nos modelos de uma forma justa e equilibrada, sendo incluído como um limite inferior para a distribuição semanal de tempos. A inclusão deste parâmetro ($Nmin_i$) serve principalmente para garantir que o modelo de optimização, descrito mais adiante, possa propor soluções tendo em conta um serviço mínimo admissível para cada especialidade (i), para que não haja especialidades prejudicadas com a distribuição de tempos semanais.

Como não foram fornecidas quaisquer informações directas relativas a regras específicas de distribuições de tempos mínimos para cada especialidade, definidas pelo hospital, o nível mínimo de serviço semanal para cada especialidade ($Nmin_i$), foi calculado com base nos dados fornecidos relativos a tempos atribuídos a cada especialidade verificados para o mês de Novembro de 2018, tal como a figura 4 mostra. Assim, assumiu-se que eventuais regras estão implícitas numa decisão real de atribuição de tempos aplicada para o respectivo mês pelo próprio hospital.

Como se pode verificar na figura, através da distribuição de tempos para cada especialidade (coluna “Tempos atribuídos (mês)”), e sabendo que um mês corresponde a quatro semanas de operação, as médias semanais foram calculadas na coluna “Tempos atribuídos/semana” e, de seguida, foram arredondadas às unidades, obtendo-se os valores correspondentes ao parâmetro $Nmin_i$ (coluna “Tempos semanais ajustados ($Nmin(i)$)”).

É importante notar que, para além de garantir uma distribuição equitativa de tempos entre especialidades, é necessário também garantir que um parâmetro como o $Nmin_i$, que visa representar um limite inferior para a tal distribuição semanal de tempos pelas especialidade, seja possível de ser alcançado num contexto de funcionamento normal do processo operacional correspondente, ou seja ajustado à dimensão do sistema em causa. Assim, tendo em conta que este parâmetro é baseado em registos reais de tempos atribuídos pelo hospital, é razoável assumir que, de acordo com decisões tomadas pela gestão de blocos, o hospital considera este limite mínimo ($Nmin_i$),

nov/18			
Especialidade	Tempos atribuídos (mês)	Tempos atribuídos/semana	Tempos semanais ajustados $N_{min}(i)$
Oftalmologia	25	6,25	6
Cirurgia Geral	48	12	12
Gin / Obs	17	4,25	4
ORL	8	2	2
Urologia	8	2	2
Cir. Plástica	6	1,5	2
Ortopedia	21	5,25	5
PED	4	1	1
Outros	3	0,75	1

Figura 4: Obtenção do parâmetro de nível mínimo de serviço semanal para cada especialidade (N_{min_i}), com base na distribuição de tempos real relativa ao mês de Novembro de 2018.

como justo, equilibrado e possível de ser atingido. Ainda assim, este parâmetro poderia fazer parte de uma decisão do hospital em função, por exemplo, do tamanho ou do tempo espera médio relativo a listas de espera, de acordo com cada especialidade cirúrgica, no caso de implementação do modelo no sistema real.

Capacidade máxima semanal de tempos em cada sala ($C_{max_{j,t}}$): Este parâmetro foi obtido directamente através da observação dos registos de agendamentos reais. Tendo em conta que cada uma das salas da área cirúrgica considerada do respectivo hospital dispõe de dois tempos diários (tempo da manhã e tempo da tarde) que podem ser atribuídos às especialidades, respeitando algumas normas e especificações do processo, então, no máximo cada sala pode operar cerca de 5 tempos da manhã e 5 tempos da tarde em cada semana operacional, tal como se pode verificar na figura 7 mais à frente na secção 7.2.3.

Este parâmetro foi directamente incluído na modelação de ambos os modelos de optimização e simulação, descritos mais à frente.

Eficiência das salas (E_{f_j}): Este parâmetro foi obtido através da contagem do total de tempos atribuídos e cancelados para cada sala, verificado pela observação de registos da execução de cirurgias de acordo com os agendamentos semanais referentes ao mês de Novembro de 2018, fornecidos pelo hospital. Assim, os resultados da contagem do total de tempos atribuídos e cancelados para cada sala foram organizados por salas (j), tal como a figura 5 sugere.

Sabendo os resultados do total de tempos marcados e tempos cancelados por especialidade, é possível obter o número de tempos que efectivamente foram utilizados para a realização de cirurgias de cada especialidade, através da diferença entre ambos. O rácio entre o valor obtido e o total de tempos marcados permite obter a taxa de eficiência, expressa na coluna “% Eficienc” da tabela da figura 5 abaixo.

Mês de Novembro de 2018				
Salas	Tempos marcados	Tempos cancelados	% Eficienc	% Cancel
Sala 1	36	5	86%	14%
Sala 2	36	2	94%	6%
Sala 4	24	6	75%	25%
Sala 5	24	0	100%	0%
BOMI	16	5	69%	31%
Total	136	18	87%	13%
Sala 3	4	1	75%	25%

Figura 5: Obtenção do parâmetro relativo à eficiência das salas (Ef_i) consideradas no modelo, de acordo com os registos de distribuição de tempos, agendamentos e cancelamentos reais, verificados para as semanas do mês de Novembro de 2018, fornecidos pelo HESE.

Como se pode observar na figura 5, tanto a taxa de eficiência (coluna “% Eficienc”) como a taxa de cancelamento (coluna “% Cancel”) foram obtidas, sendo que a primeira corresponde ao parâmetro Ef_i incluído directamente no modelo de simulação, descrito mais adiante. Importante notar que a “Sala 3”, avermelhada na figura 5, não foi incluída em nenhum dos modelos.

Taxa de utilização de blocos (U_j): Este parâmetro, apesar de não ter sido incluído directamente em nenhum dos modelos, foi obtido para propósitos da verificação do modelo de simulação, expressa mais adiante na secção 7.3.6.

A taxa de utilização de blocos U_j foi estimada com base no rácio entre o total de tempos de duração de cirurgias em cada sala (j) e o tempo disponível por sala (240 horas mensais) referente, neste caso, ao mês de Novembro de 2018. É importante notar que os tempos cancelados não foram considerados como úteis no cálculo de valores referentes à utilização de recursos, visto que não foram utilizados directamente na área considerada no modelo, o que pode sugerir que, de uma perspectiva do hospital, estes valores se encontrem subestimados caso os recursos tenham sido alocados a outras áreas do hospital que não a considerada no modelo.

A figura 6 mostra como foram obtidos os valores referentes ao parâmetro de taxa de utilização de salas para cada sala (j), através dos registos de tempos de duração de cirurgias efectuadas, fornecidos pelo HESE. Estas durações foram somadas para cada sala ao longo de cada semana do respectivo mês, tal como a tabela da figura 6 sugere.

Assim sendo, fica implícita a suposição de que, no fim de cada cirurgia efectuada, qualquer uma das salas consideradas se encontra apta para a realização de uma nova cirurgia sem ser necessário o consumo de mais tempo de bloco para preparação da sala, devido ao facto de não terem sido facultadas quaisquer informações acerca de actividades do género. Isto sugere, mais uma vez, que os valores obtidos para este parâmetro se encontram subestimados face ao contexto real de operação mas, ainda assim, este parâmetro pode ser relevante para a verificação do modelo de simulação ou comparação de soluções simuladas, dado que a taxa de utilização foi considerada representativa de um dos objectivos associado a intervenientes directos do sistema

Semanas (Nov.)	Durações semanais uteis em Novembro 2018 (Horas)				
	Sala 1	Sala 2	Sala 4	Sala 5	Sala BOMI
5 a 9	29:35:00	32:18:00	22:41:00	21:58:00	4:31:00
12 a 16	39:21:00	28:31:00	17:51:00	22:03:00	15:27:00
19 a 23	22:39:00	33:52:00	15:56:00	20:29:00	13:07:00
26 a 30	32:40:00	35:01:00	18:08:00	22:24:00	4:56:00
Total	124:15:00	129:42:00	74:36:00	86:54:00	38:01:00
% Util	51,77%	54,04%	31,08%	36,21%	15,84%

Figura 6: Obtenção da taxa de utilização de blocos de acordo com os dados fornecidos pelo HESE.

como é o caso do pessoal do bloco.

7 Desenvolvimento de modelos

Nesta secção é descrito como foi desenvolvido cada um dos modelos elaborados para abordar o problema de agendamento de cirurgias relativo à área cirúrgica electiva do HESE. Assim, esta secção divide-se essencialmente em duas partes relativas a dois modelos, um de optimização e outro de simulação. Na primeira parte relativa à optimização (secção 7.2), é descrito a formulação de um modelo de optimização cujo propósito é extrair uma solução optimizada de agendamento. Na segunda parte, relativa ao modelo de simulação (secção 7.3), é descrito de uma forma detalhada toda a estrutura e forma de funcionamento do modelo de simulação que visa representar o processo cirúrgico operacional real do HESE, para se poder proceder à comparação do desempenho da solução proposta pelo modelo de optimização com uma solução representativa do agendamento real de acordo com os registos facultados pelo hospital, através da simulação de ambas. Algumas suposições foram feitas na elaboração de ambos os modelos, destacadas na secção seguinte (secção 7.1).

7.1 Suposições gerais

Na elaboração de ambos os modelos, foram assumidas algumas premissas de funcionamento do processo, entre as quais:

1. Assume-se um contexto de operação pré Covid-19, ou seja, quaisquer alterações no paradigma resultantes da pandemia não são consideradas para efeitos do trabalho. Mais concretamente, o trabalho foi feito principalmente com base em registos, fornecidos pelo HESE, remontantes ao final de 2018.
2. Assume-se que o Hospital funciona 24 horas por dia, sete dias por semana. As salas cirúrgicas “Sala 1”, “Sala 2”, “Sala 4”, “Sala 5” e “BOMI” foram alocadas exclusivamente a pacientes electivos, funcionam de acordo com 2 tempos de igual duração (tempo da manhã das 8:00-14:00 H e tempo da tarde das 14:00-20:00 H) de segunda a sexta-feira e, por norma, sem hipótese de recurso a tempo extra, a não ser que no instante final de tempo útil diário (às 20 horas) ainda haja cirurgias a decorrer, que nesse caso devem ser concluídas.
3. De acordo com as informações fornecidas pelo HESE, foi assumida uma abordagem de *Block Scheduling* no desenvolvimento do MSS, ou seja, que são atribuídos tempos a especialidades cirúrgicas numa determinada sala para um dado período (tipicamente semanal ou mensal) (Banditori et al. 2013, Denton et al. 2007).
4. As compatibilidades entre salas de cirurgia e diferentes tipos de especialidades foram assumidas com base na observação dos dados fornecidos acerca do planeamento operativo referentes a Novembro e Dezembro de 2018. Isto quer dizer que, caso uma especialidade não seja verificada no registo de ocorrência de uma determinada sala, então assume-se essa especialidade como incompatível com a respectiva sala. Esta suposição surge de modo a garantir que o modelo de optimização não sugere soluções que impliquem a atribuição de tempos de salas a especialidades sem que as respectivas salas estejam preparadas para o efeito (por exemplo, a nível de equipamento técnico). Da mesma forma esta suposição ga-

rante que o modelo de simulação não incorre no mesmo erro, impedindo que haja execução de especialidades cirúrgicas em salas inapropriadas para o efeito.

5. Assume-se que as durações das cirurgias podem ser representadas por uma distribuição probabilística Normal Logarítmica (Gul et al. 2011, Fügener et al. 2017), de média u_i e desvio padrão s_i , de acordo com os registos de durações facultados pelo Hospital relativos a cada especialidade i .
6. Assumiu-se também que todas as cirurgias com média de ocorrência inferior a uma vez por semana (Estomatologia, Cirurgia mamária, Gastrocirurgia e Neurocirurgia), podem ser agrupadas e representadas nos modelos como “outras cirurgias”, e que, à semelhança de todas as especialidades incluídas nos modelos, também este grupo pode ser associado a uma distribuição Normal Logarítmica no que diz respeito à duração da respectiva cirurgia. Isto facilita no sentido de que, em grupo, a amostra de dados facultada referente a estas cirurgias, torna-se consideravelmente mais significativa, bem como o facto de a frequência média semanal de ocorrência de uma “outra cirurgia” aumentar ao ponto de fazer sentido este grupo ser considerado para a simulação de uma semana operacional (ao contrário de qualquer uma das especialidades pertencentes a este grupo, cuja média semanal de ocorrência se aproxima de zero).
7. Assume-se que a duração de transporte de pacientes é zero, pois não foram disponibilizados dados nem informações referentes ao processo de transporte.
8. Assume-se que não ocorrem atrasos nem faltas de comparência de pacientes, ou seja a chegada de pacientes é fixa e pontual. Também não se considera a hipótese de morte de pacientes durante o processo cirúrgico.
9. Assume-se que todos os *end points* do sistema são infinitamente abertos, ou seja, incapazes de provocar bloqueios no processo. Assim, qualquer paciente tem sempre lugar no recobro, e uma vez no recobro considera-se fora do sistema considerado na análise de desempenho (até à saída da sala de operação). Desta forma, o *end point* “recobro” permite sempre a saída do sistema qualquer que seja o fluxo de *work items*. Esta suposição justifica-se dado que o que se passa a jusante das fronteiras da parte do sistema cirúrgico consideradas extrapola o foco do trabalho, não sendo relevante na análise do processo representado pelo modelo de simulação.

7.2 Modelo de optimização

De modo a incluir neste trabalho uma solução optimizada, um modelo matemático representativo do problema de agendamento foi formulado e, recorrendo ao *Solver* (uma ferramenta disponibilizada pelo *Excel*), que através de um método de busca *MILP* (*Mixed Integer Linear Programming*) permitiu a obtenção de uma solução óptima para a distribuição dos tempos de cada sala a cada especialidade, para um horizonte temporal de uma semana de operação.

Com base na informação disponibilizada pelo hospital e nas suposições mencionadas na secção anterior, de modo a ter uma base sólida e coerente de enquadramento do modelo com o sistema real considerado, foi feita uma formulação matemática, descrita na secção seguinte.

7.2.1 Formulação do modelo

A formulação matemática do modelo de otimização encontra-se descrita abaixo, seguida de uma descrição detalhada do seu enquadramento com o contexto do problema de modo a facilitar a sua compreensão.

Índices:

- Salas alocadas a pacientes electivos (j): Sala 1 (j_1); Sala 2 (j_2); Sala 4 (j_3); Sala 5 (j_4) e BOMI (j_5).
- Especialidades (i) disponibilizadas pelo serviço cirúrgico do Hospital: Oftalmologia (i_1), cirurgia geral (i_2), ginecologia (i_3), cirurgia ORL (i_4), urologia (i_5), cirurgia plástica (i_6), ortopedia (i_7), cirurgia PED (i_8) e outras cirurgias (i_9).
- A organização dos tempos de funcionamento das respectivas salas do hospital (t): Tempo da manhã (8:00-14:00 H) (t_1) e Tempo da tarde (14:00-20:00 H) (t_2).

Parâmetros:

- Número de cirurgias esperadas por tempo para cada especialidade: D_i .
- Capacidade máxima semanal de tempos por sala: $C_{max_{j,t}}$.
- Nível mínimo de serviço por especialidade: N_{min_i} .

Variáveis:

- Número de tempos atribuídos para cada especialidade em cada sala a cada tempo: $X_{i,j,t}$.

Condições:

- X_{ijt} é inteiro não negativo 1

$$X_{ijt} \in Z \wedge X_{ijt} \geq 0 \quad (1)$$

- Compatibilidade entre salas e especialidades 2

$$X_{ijt} = 0, \quad \forall ijt : (i = i_1 \wedge j \neq j_4) \quad (2a)$$

$$X_{ijt} = 0, \quad \forall ijt : (i \in \{i_2, i_6\} \wedge j \in \{j_4, j_5\}) \quad (2b)$$

$$X_{ijt} = 0, \quad \forall ijt : (i = i_3 \wedge j \neq j_5) \quad (2c)$$

$$X_{ijt} = 0, \quad \forall ijt : (i = i_4 \wedge j \in \{j_3, j_4, j_5\}) \quad (2d)$$

$$X_{ijt} = 0, \quad \forall ijt : (i \in \{i_5, i_8\} \wedge j \neq j_2) \quad (2e)$$

$$X_{ijt} = 0, \quad \forall ijt : (i = i_7 \wedge j \neq j_3) \quad (2f)$$

$$X_{ijt} = 0, \quad \forall ijt : (i = i_9 \wedge j = j_5) \quad (2g)$$

- Limitação de tempos em salas 3

$$\sum_i X_{ijt} \leq Cmax_{jt}, \forall j, t \quad (3)$$

- Satisfação do nível mínimo de tempos semanais para cada especialidade 4

$$\sum_j \sum_t X_{ijt} \geq Nmin_i, \forall i \quad (4)$$

Funções auxiliares:

- Número total de tempos atribuídos por semana pela solução encontrada 5

$$Tot.Tempos = \sum_i \sum_j \sum_t X_{ijt} \quad (5)$$

- Número total de cirurgias projectadas por semana pela solução encontra 6

$$Tot.Cir = \sum_i \sum_j \sum_t D_i \cdot X_{ijt} \quad (6)$$

Função Objectivo:

- Maximização do número de cirurgias projectadas por semana 6

$$Max\{Tot.Cir\}(6)$$

7.2.2 Descrição da formulação

Índices: Tendo em conta o contexto do problema, foram definidos 3 índices, i , j e t , referentes respectivamente a especialidades, salas e tempos diários relativos aos turnos da manhã e da tarde.

Parâmetros: De modo a aplicar o modelo ao caso real do HESE, alguns parâmetros foram obtidos através do tratamento de dados fornecidos pelo Hospital, tal como descrito no capítulo 6, para que as condições de funcionamento do modelo pudessem ser respeitadas para o respectivo caso de estudo. Assim, parâmetros como o número de cirurgias esperadas por tempo para cada especialidade " D_i ", a capacidade máxima semanal de tempos por sala " $Cmax_{j,t}$ " e o nível mínimo de serviço por especialidade " $Nmin_i$ ", foram incluídos no modelo.

Variáveis Um conjunto de variáveis de decisão surge como *output* do modelo sob a forma de um vetor (X_{ijt}), representando a quantidade de cada tipo de tempo que deve ser atribuída a cada especialidade em cada sala para uma semana de operação. Os valores obtidos pelo *Solver* constituem a solução sugerida pelo modelo de modo a alcançar o objectivo pretendido, neste caso, maximizar o número de cirurgias. Ou seja, os resultados obtidos para X_{ijt} representam uma hipótese de distribuição dos tempos semanais para cada especialidade em cada sala, que permite agendar o número máximo de cirurgias numa semana, respeitando todas as condições impostas no modelo.

Condições A condição 1 serve para garantir que a variável $X_{i,j,t}$ é inteira e não negativa, ou seja, que não podem ser atribuídos tempos negativos nem partes de tempo a especialidades. Dito de outra forma, um tempo de uma sala ou é atribuído por inteiro a uma especialidade ou não é de todo atribuído. Assim, a condição 1 garante que $X_{i,j,t}$ é um número inteiro e que não apresenta valores negativos.

A condição 2, composta por um conjunto de 7 restrições, serve para ter em conta questões de compatibilidade entre salas e especialidades. Isto porque foi verificado, através da observação dos dados fornecidos pelo hospital, que algumas salas apenas tinham registos de cirurgias efectuadas/projectadas para um certo tipo de especialidades. Desta forma pôs-se a hipótese de, por exemplo, por questões de equipamento técnico algumas salas não poderem atender a algumas especialidades cirúrgicas e assim, de modo a incluir este tipo de questões, foi assumido que se uma especialidade não consta em nenhum registo que tenha sido efectuada/projectada numa dada sala, então o respectivo valor $X_{i,j,t}$ tem de ser nulo pois não pode ser atribuído nenhum tempo dessa sala para a respectiva especialidade. Assim sendo, a restrição 2a garante que a especialidade de “Oftalmologia” (i_1) só pode ocorrer na “Sala 5” (j_4). A restrição 2b garante que tanto para a especialidade de “Cirurgia Geral” (i_2) como para a “Cirurgia Plástica” (i_6), não podem ser atribuídos tempos na “Sala 5” (j_4) nem na sala “BOMI” (j_5). A restrição 2c garante que a especialidade de “Ginecologia Obstetrícia” (i_3) apenas pode ocorrer na sala “BOMI” (j_5). A restrição 2d garante que a especialidade “ORL” (i_4) apenas pode ocorrer na “Sala 1” (j_1) ou na “Sala 2” (j_2). A restrição 2e garante que as especialidades de “Urologia” (i_5) e de “Pediatria” (i_8) apenas podem ocorrer na “Sala 2” (j_2). A restrição 2f garante que a especialidade de “Ortopedia” (i_7) apenas pode ocorrer na “Sala 4” (j_3). Por último, a restrição 2g serve para garantir que o conjunto de especialidades “Outras especialidades” (i_9), incluindo estomatologia, neurocirurgia, cirurgia vascular, cirurgia mamária e gastrocirurgia, não pode ocorrer na sala “BOMI” (j_5).

O terceiro conjunto de condições 3, considerada no modelo, serve para ter em conta as limitações de tempo de operação semanal para cada sala. Assim, sendo que uma dada sala tem cerca de 5 tempos da manhã e 5 tempos da tarde disponíveis por semana (1 por dia ao longo de 5 dias úteis), a soma dos tempos atribuídos a cada especialidade para essa mesma sala ($X_{i,j,t}$) não pode ser superior a essa limitação referente a cada tempo, ou seja, não pode ir além dos 5 tempos por semana ($Cmax_{j,t}$).

A condição 4 serve para garantir o nível de serviço mínimo referente a cada especialidade. Ou seja, para cada especialidade, a soma do número de tempos atribuídos ao longo de todas as salas tem de ser pelo menos igual ao nível mínimo estipulado pelo hospital (neste caso, como já foi referido, este nível foi estabelecido com base nos registos relativos a um dado mês de operação). Isto serve para evitar que algumas especialidades sejam penalizadas pelo modelo na distribuição dos tempos semanais só pelo facto de não contribuírem tanto para o objectivo do modelo como outras. Esta condição promove assim uma distribuição de tempos um pouco mais equitativa entre as diferentes especialidades.

Funções auxiliares

Por fim as funções criadas em 5 e 6, servem para auxiliar o modelo não só no seu funcionamento bem como na sua verificação e monitorização. Em 5 apresenta-se a função “Tot.Tempos”, que devolve a soma total de todos os tempos atribuídos a todas as especialidades para todas as

	Distribuição semanal de tempos atribuídos $X(i,j,t)$										Total de tempos atribuídos	Número de cirurgias executadas	Nmin(i)	D(i)	
	Sala 1 (j1)		Sala2 (j2)		Sala 4 (j3)		Sala 5 (j4)		BOMI (j5)						
	t1 (8:00-14:00)	t2 (14:00-20:00)	t1 (8:00-14:00)	t2 (14:00-20:00)	t1 (8:00-14:00)	t2 (14:00-20:00)	t1 (8:00-14:00)	t2 (14:00-20:00)	t1 (8:00-14:00)	t2 (14:00-20:00)					
Oftalmologia (i1)								5	4			9	18	6	2
Cirurgia Geral (i2)	5	2	0	0	0	0	5					12	12	12	1
Gin / Obs (i3)										5	5	10	20	4	2
ORL (i4)	0	3	0	0								3	9	2	3
Urologia (i5)			0	2								2	4	2	2
Cir. Plástica (i6)	0	0	0	2	0	0						2	4	2	2
Ortopedia (i7)					5	0						5	10	5	2
PED (i8)			5	1								6	18	1	3
Outros (i9)	0	0	0	0	0	0	0	1				1	1	1	1
Total	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Total	96		
Cmax(j,t)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50			

Figura 7: Distribuição semanal de tempos por especialidade obtida pelo modelo de optimização.

salas em função da variável de decisão $X_{i,j,t}$, ou seja, permite verificar se o modelo atribuiu todos os tempos disponíveis para a área cirúrgica considerada.

Por último a função “Tot.Cir”, apresentada em 6, devolve a soma do número cirurgias esperadas de todos os tempo atribuídos a todas as especialidades para todas as salas, em função de D_i e $X_{i,j,t}$, correspondendo ao número total de cirurgias esperadas para uma semana de operação. Esta função corresponde à função objectivo do modelo a qual deve ser maximizada pelo *Solver*.

Importante realçar que, para uma dimensão fixa da respectiva área cirúrgica, o valor devolvido pela função “Tot.Cir” varia proporcionalmente em função do parâmetro D_i , ou seja, variando o numero de cirurgias esperadas para cada especialidade por tempo, o número total de cirurgias esperadas semanalmente também varia no mesmo sentido. Desta forma, tendo em conta o método utilizado para estimar o parâmetro D_i , caso se reduza o nível de confiança na estimativa de D_i , obtém-se um aumento no valor devolvido pela função objectivo “Tot.Cir”, o que não acontece para a função “Tot.Tempos”, pois os tempos atribuídos na forma mais eficiente, são os mesmos quer se projecte mais ou menos cirurgias por tempos, não dependendo de D_i .

7.2.3 Teste e verificação de resultados do modelo

Após terem sido inseridos os parâmetros relativos aos caso de estudo do HESE, incluídas as condições e definida a função objectivo do modelo no *Solver* do *Excel*, foram obtidos resultados expressos na figura 7. O *Solver* dispõe de 3 motores de busca diferentes, *LP Simplex*, *GRG Não Linear* e *Evolutionary*. O motor de busca seleccionado foi o *LP Simplex*, não só pela relação linear entre a variável de decisão com as restrições e com a função objectivo considerada, mas principalmente por ter apresentado a melhor solução em menos tempo de busca em comparação com os outros métodos referidos, tal como a figura 26 em anexo (secção A) sugere. Assim, a solução final foi obtida em apenas 0.062 segundos, num computador equipado com um processador com 6 GB de RAM.

Como se pode ver na figura 7, foi devolvido pelo *Solver* uma solução para a atribuição dos tempos a cada especialidade para cada sala, correspondendo à variável $X_{i,j,t}$, cujos valores são apresentados nas células a azul claro, sendo que as células rosadas correspondem a valores de

$X_{i,j,t}$ obrigatoriamente nulos pela imposição das restrições agrupadas pela condição 2 do modelo, relativa à compatibilidade entre salas e especialidades.

Como se pode verificar na figura 7, a penúltima linha da tabela apresenta os mesmo valores que a última linha relativa ao parâmetro $Cmax_{j,t}$. Sendo que as células da penúltima linha apresentam os valores da soma de todos os termos de cada coluna vertical imediatamente acima, ou seja, o total de tempos atribuídos por sala para cada tempo, então, a solução devolvida utiliza todos os tempos disponíveis das salas da respectiva área cirúrgica considerada, respeitando as restrições impostas pela condição 3.

A coluna apresentada na figura 7 com o nome de “Total de tempos atribuídos”, corresponde ao total de tempos atribuídos pela solução do modelo ($X_{i,j,t}$) para cada especialidade, para uma semana de operação. Comparando os resultados desta coluna com os resultados da coluna relativa ao parâmetro “ $Nmin_i$ ”, é possível verificar que ao longo de cada linha da coluna “Total de tempos atribuídos”, os respectivos valores observados são sempre iguais ou superiores ao valores definidos para linha equivalente na coluna relativa ao parâmetro “ $Nmin_i$ ”, isto sugere que a condição 4, imposta pelo modelo, foi respeitada. Assim sendo, conclui-se que foi obtida uma solução considerada como admissível, tendo em conta as condições incluídas no modelo.

As células marcadas a verde ao longo da coluna “Total de tempos atribuídos”, correspondem às especialidades para as quais o total de tempos atribuídos semanalmente pela solução do modelo foi superior ao nível mínimo definido pelo parâmetro “ $Nmin_i$ ”. As respectivas especialidades “favorecidas” na atribuição semanal dos tempos pela solução do modelo, correspondem aos casos em que o respectivo valor definido para o parâmetro “ D_i ” é mais elevado, ou seja, o Solver favoreceu as especialidades cujo valor esperado de cirurgias por tempo é superior. Isto faz sentido no contexto do propósito do modelo cujo objectivo é maximizar o número total de cirurgias agendadas semanalmente relativa à área cirúrgica considerada. Assim, por exemplo, caso sobrem tempos por atribuir numa dada sala após o nível mínimo de serviço estar garantido (condição 4 satisfeita), esses mesmos tempos serão atribuídos à especialidade que permitir o maior número de cirurgias esperadas por tempo e que possa ser realizada nessa sala, respeitando o conjunto de restrições impostas pela condições 2 do modelo.

7.2.4 Aplicação prática dos resultados

Tendo em conta a solução obtida pelo modelo para a distribuição semanal de tempos de salas para cada especialidade, expressa pelos valores obtidos para a variável $X_{i,j,t}$, apresentada na figura 7, segue-se um exemplo prático de aplicação da respectiva solução.

Existem algumas alternativas de agendamento baseadas na solução do modelo. Desta forma, o exemplo apresentado na figura 8, representa uma hipótese de agendamento de cirurgias para uma semana de operação, tendo em conta a solução devolvida pelo modelo para a distribuição de tempos para cada especialidade.

Por exemplo, para o caso da “Sala 5” (j_4), os resultados do modelo sugeriram a atribuição de 5 tempos da manhã e 4 tempos da tarde para a especialidade de oftalmologia (i_1) e 1 tempo da tarde para atribuir a outras cirurgias (i_9). As 5 manhãs da “Sala 5” atribuídas à especialidade de oftalmologia não deixam outra alternativa que não seja reservar todas as manhãs de segunda a sexta-feira para a especialidade de oftalmologia. No que diz respeito ao agendamento dos tempos da tarde da “Sala 5”, existem 5 hipóteses diferentes, que são respectivamente, marcar outras

DIA	Tempo (t)	Sala 1 (j1)		Sala 2 (j2)		Sala 4 (j3)		Sala 5 (j4)		BOMI (j5)	
		Espec. (i)	D(i)	Espec. (i)	D(i)	Espec. (i)	D(i)	Espec. (i)	D(i)	Espec. (i)	D(i)
Segunda	08:00 14:00 (t1)	Cir. Geral (i2)	1	PED (i8)	3	Ortop (i7)	2	Oftalm (i1)	2	Ginec (i3)	2
	14:00 20:00 (t2)	Cir. Geral (i2)	1	PED (i8)	3	Cir. Geral (i2)	1	Oftalm (i1)	2	Ginec (i3)	2
Terça	08:00 14:00 (t1)	Cir. Geral (i2)	1	PED (i8)	3	Ortop (i7)	2	Oftalm (i1)	2	Ginec (i3)	2
	14:00 20:00 (t2)	Cir. Geral (i2)	1	Urol (i5)	2	Cir. Geral (i2)	1	Oftalm (i1)	2	Ginec (i3)	2
Quarta	08:00 14:00 (t1)	Cir. Geral (i2)	1	PED (i8)	3	Ortop (i7)	2	Oftalm (i1)	2	Ginec (i3)	2
	14:00 20:00 (t2)	ORL (i4)	3	Urol (i5)	2	Cir. Geral (i2)	1	Oftalm (i1)	2	Ginec (i3)	2
Quinta	08:00 14:00 (t1)	Cir. Geral (i2)	1	PED (i8)	3	Ortop (i7)	2	Oftalm (i1)	2	Ginec (i3)	2
	14:00 20:00 (t2)	ORL (i4)	3	Cir. Plast (i6)	2	Cir. Geral (i2)	1	Oftalm (i1)	2	Ginec (i3)	2
Sexta	08:00 14:00 (t1)	Cir. Geral (i2)	1	PED (i8)	3	Ortop (i7)	2	Oftalm (i1)	2	Ginec (i3)	2
	14:00 20:00 (t2)	ORL (i4)	3	Cir. Plast (i6)	2	Cir. Geral (i2)	1	Outros (i9)	1	Ginec (i3)	2

Figura 8: Sugestão de agendamento semanal de cirurgias electivas, tendo em conta a solução do modelo de optimização.

cirurgias para segunda, terça, quarta, quinta ou sexta-feira. Assim, a solução obtida pelo modelo apresenta uma certa flexibilidade à aplicação prática do agendamento de cirurgias semanal, podendo ser ajustada a eventuais preferências dos intervenientes no respectivo processo de decisão, ou a outro tipo de especificações não consideradas nos modelos.

O exemplo hipotético de agendamento expresso na figura 8, vai servir de *input* no modelo de simulação, mais a frente descrito, para que se possa comparar os níveis de desempenho da solução proposta pelo *Solver* com uma solução de agendamento que, de acordo com os registos, pode representar uma solução aplicada pelo hospital.

7.3 Modelo de simulação

O modelo de simulação foi desenvolvido recorrendo a um software de simulação, conhecido como *Simul8* (<https://www.simul8.com/software/>), à literatura destacada e aos dados adquiridos através da colaboração com o HESE. Infelizmente não foi possível reunir com os colaboradores de forma a desenvolver o modelo de uma maneira interactiva, com maior potencial de contribuição de parte a parte para um modelo ainda mais personalizado e ajustado ao sistema em causa. Ainda assim, foi desenvolvido um modelo que pretende simular uma semana operativa na unidade de cirurgia do respectivo hospital, cujo principal intuito é servir como ferramenta de teste, de análise e de comparação de diferentes soluções de agendamento.

O *Simul8* contém inúmeras ferramentas que permitem a criação de *starting points*, ou seja, pontos que simulam a entrada de *work items* no sistema, neste caso, a chegada de pacientes. Assim, nove *starting points* foram criados para simular a chegada dos nove tipos de cirurgia identificados nos dados relativos a pacientes electivos, fornecidos pelo hospital. É precisamente nos *starting points* que será introduzido, como *input*, o respectivo agendamento a ser testado, visto que a chegada de pacientes (*work items*) é dependente do respectivo agendamento cirúrgico.

O programa permite também a criação de uma gama muito variada de *activities*, capazes de simular as diferentes actividades inerentes aos processos do sistema, de acordo com as caracte-

terísticas dessas mesmas actividades (por exemplo: inclusão de distribuições probabilísticas de tempos de duração de actividades e associação a recursos necessários ao decorrer da actividade, captando e dispensando o recurso, respectivamente, no início e no fim da actividade).

Os recursos necessários à realização de cada uma das actividades envolvidas no processo podem ser criados tendo em conta as suas características de utilização, desde a sua quantidade disponível, à criação de turnos de trabalhos, até mesmo a regras de priorização de actividades a realizar.

Antes de cada actividade podem ser geradas filas de espera, onde os *work items* aguardam a sua vez de serem processados enquanto os recursos utilizados pela respectiva actividade estão ocupados. Assim, de modo a incluir de forma construtiva no sistema essas filas, o programa dispõe de funcionalidades que permitem não só a criação de *queues* (filas), como também o registo de dados importantes acerca dessas filas (por exemplo: tempos de espera e tamanhos médios da fila). O programa permite ainda ter em conta questões de capacidade máxima, ou perecibilidade de *work items* em fila de espera.

No fim do percurso de um dado *work item* é uma prática comum a criação de um *end point*, onde desta forma o programa permite a simulação da saída do sistema. Assim, são registados os dados de saída e assume-se que, a partir daí, o trajecto do respectivo *work item* deixa de ser relevante para o foco do trabalho relativo ao sistema que se pretende considerar.

A figura 9 apresenta de forma visual, o aspecto do diagrama estrutural da modelação final do simulador do sistema considerado. É também possível identificar os *starting points*, *activities*, *sub-activities*, *queues*, *end points* e recursos envolvidos da modelação, bem como a sua sequenciação processual.

Como se pode observar, sobre a esquerda na figura 9, nove *starting points* foram criados, correspondendo à chegada de pacientes com marcação prévia (pacientes *elective*) de acordo com as nove especialidades consideradas no modelo. Após a sua chegada, os pacientes seguem para a *queue* “Sala de espera”, onde devem aguardar pela *activity* “PHU (acolhimento)”.

De seguida, após serem preparados para a cirurgia, na *activity* “PHU (acolhimento)” os pacientes devem ser encaminhados para as respectivas áreas cirúrgicas, de acordo com a sua especialidade. Como alguns tipos de especialidade partilham rotas semelhantes, no sentido de que a execução do respectivo tipo de cirurgias é compatível com as mesmas salas, como é o caso por exemplo de pediatria e urologia, cuja execução ocorre apenas na sala 2 para ambas as especialidades, algumas *queues* foram agrupadas de modo a simplificar o aspecto visual do modelo, tal como a *queue* “Espera PED e Urol” na figura 9 sugere. O mesmo ocorreu para a especialidade de cirurgia geral e plástica, formando apenas uma *queue* “Espera Geral e Plast”. Por esta razão é que apenas surgem sete *queues* antes das actividades relativas a cada sala, que representa a cirurgia numa dada sala, ao invés das nove *queues* que seria de esperar tendo em conta as nove especialidades consideradas. A desagregação dos respectivos *work items* é garantida através da utilização do rótulos que vão distingui-los ao longo do processo (explicado mais adiante na presente secção).

Assim que cada uma das *activities* “Salas”, representativas da realização de cirurgias, estiver disponível, os *work items* (pacientes) presentes nas referidas *queues* de espera por cirurgia, devem seguir para as respectivas *activities*. Por exemplo, *work items* na *queue* “BOMI” devem seguir para a *activity* “BOMI”, que neste caso representa a realização de uma cirurgia de gineco-

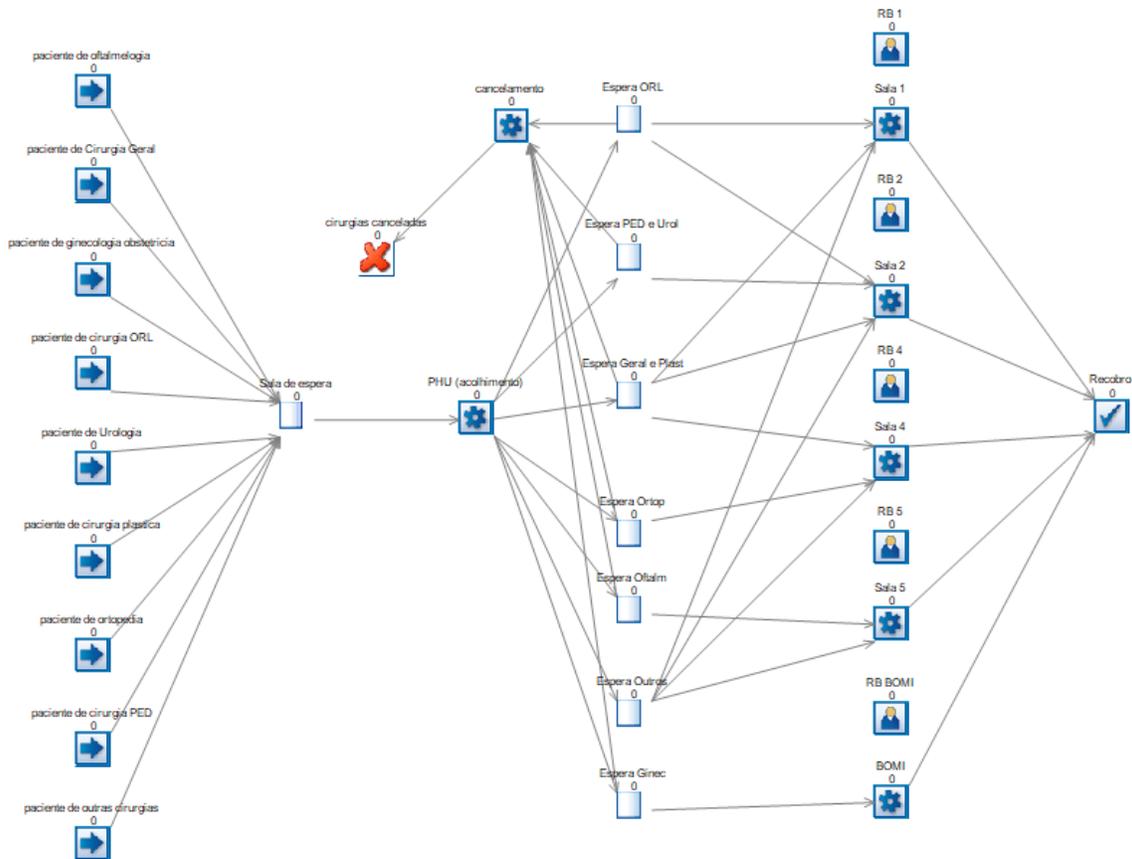


Figura 9: Diagrama final da modelação do sistema considerado em *Simul8 (student version)*

logia obstetrícia apenas. Algumas salas, por serem compatíveis com a execução de mais de um tipo de cirurgias, podem representar a elaboração de cirurgias de várias especialidades, como é o caso da *activity* “Sala 5”, que opera tanto cirurgias de oftalmologia como cirurgias de especialidade “outras cirurgias” considerada no modelo.

Caso um *work item* presente em qualquer uma das *queues* precedentes às *activities*, que representam a execução de cirurgias no modelo, demore mais do que o tempo considerado admissível por espera de cirurgia (6 horas na *queue*), então, o seu destino passa a ser o *end point* “cirurgias canceladas” representado por uma cruz avermelhada na figura 9.

Após executada a cirurgia no modelo de simulação, o *work item* (paciente) segue para o *end point* “Recobro” que simula a saída do sistema considerado.

Segue-se uma descrição mais detalhada acerca dos aspectos de modelação mais relevantes em cada *starting point*, *activity*, *sub-activity*, *queue*, *resource* e *end point*.

7.3.1 Starting points

Os *starting points* servem para modelar o fluxo de entrada de *work items* no sistema. Os *work items*, representam as entidades que vão ser processadas ao longo do sistema, através das acções executadas nas actividades pertencentes ao seu respectivo caminho a prosseguir. Neste caso os *work items* representam os pacientes para os quais a intervenção cirúrgica foi previamente

agendada para um dia da semana em que o processo vai ser simulado pelo modelo.

Desta forma foram criados nove *starting points* de forma a modelar diferentes tipos de pacientes de acordo com a especialidade cirúrgica a que devem ser submetidos. Para este modelo, e de acordo com os dados fornecidos pelo hospital, foram consideradas no modelo as especialidades de oftalmologia, cirurgia geral, ginecologia obstetrícia, otorrinolaringologia (ORL), urologia, cirurgia plástica, ortopedia, pediatria (PED) e outras cirurgias (incluindo estomatologia, neurocirurgia, cirurgia vascular, cirurgia mamária e gastrocirurgia).

Assim foram modelados os nove *starting points* apresentados na figura 9, sobre a esquerda: “paciente de oftalmologia”, “paciente de Cirurgia Geral”, “paciente de ginecologia obstetrícia”, “paciente de cirurgia ORL”, “paciente de Urologia”, “paciente de cirurgia plástica”, “paciente de ortopedia”, “paciente de cirurgia PED” e “paciente de outras cirurgias”, respectivamente de cima para baixo na figura.

A chegada de um *work item* por um determinado *starting point* vai determinar as características do processo do respectivo *work item* no modelo, nomeadamente no que diz respeito ao seu percurso e duração em algumas das *activities*, visto que, por exemplo, a duração de uma cirurgia e a compatibilidade de execução em salas podem variar em função da especialidade cirúrgica.

Assim, estas diferenças são garantidas principalmente através da atribuição de rótulos nos respectivos *starting points*, que permitem a diferenciação de *work items* com diferentes origens de chegada ao longo do processo simulado pelo modelo. Desta forma, três rótulos foram introduzidos em cada *starting point*, nomeadamente “DurCir”, “Rota” e “tipo de cirurgia”, tal como a figura 27, em anexo (secção A), sugere.

“DurCir” corresponde a um rótulo escrito que serve para, mais à frente no processo, se poder identificar qual a distribuição relativa à duração cirúrgica que deve ser usada na simulação de uma cirurgia relativa a cada especialidade. Assim, por exemplo, para o primeiro *starting point* (“paciente de oftalmologia”), ao rótulo “DurCir” foi atribuído o valor de “DurOftalm”, que corresponde ao nome dado a uma distribuição de duração probabilística LogNormal, criada no modelo de acordo com os parâmetros média e desvio padrão calculados com base na amostra de dados relativos à especialidade de oftalmologia, tal como descrito na secção 6.1. O mesmo se fez para os restantes *starting points* em relação a este rótulo, apenas mudando o seu valor de acordo com a distribuição de duração correspondente à respectiva especialidade de cada *starting point*.

“Rota” corresponde ao rótulo numérico criado para, após a *activity* “PHU (acolhimento)”, um *work item* poder ser encaminhado para uma sala compatível para a realização de cirurgia simulada pelo modelo. Assim, por exemplo, para o primeiro *starting point* (“paciente de oftalmologia”), ao rótulo “Rota” foi atribuído o valor numérico “5”, de modo a que após a *activity* “PHU (acolhimento)” este siga o trajecto número 5, a contar de cima para baixo, no sentido da *queue* “Espera Oftalm” que, tal como a figura 9 sugere, apenas pode seguir para a *activity* “sala 5”.

O rótulo “tipo de cirurgia”, também numérico, serve para se poder desagregar os resultados finais da simulação de acordo com o tipo de especialidade cirúrgica, caso seja pretendido. Desta forma foram atribuídos valores de 1 a 9 de acordo com o *starting point* de origem. Assim, o primeiro a contar de cima (“paciente de oftalmologia”) corresponde ao número 1 e o último (“paciente de outras cirurgias”) corresponde ao número 9, respectivamente.

Por fim, tal como anteriormente mencionado, os *starting points* servem também para simular a chegada dos pacientes, assim sendo é nos *starting points* que é introduzido como input o agen-

damento cirúrgico para a semana que se pretenda simular. Através da ferramenta “*Day Planner*”, disponibilizada pelo *Simul8*, é possível incluir um plano de agendamento para um determinado horizonte temporal pretendido. Na figura 28, em anexo na secção A, é apresentado um exemplo de inclusão de parâmetros de agendamento no modelo, referente ao primeiro *starting point* (“paciente de oftalmologia”), através da ferramenta *Day Planner*. Como se pode verificar na figura 28, foram incluídos cinco dias úteis, correspondendo a uma semana de operação (de segunda a sexta-feira), e a chegada prevista de pacientes de oftalmologia em função da hora do dia, de acordo com as cirurgias projectadas para cada turno (manhã e tarde) de funcionamento das salas. Esta chegada foi ajustada a uma distribuição fixa, tendo por base as suposições mencionadas do modelo. O mesmo foi realizado para os restantes *starting points* incluídos no modelo.

7.3.2 *Activities*

As actividades, como o próprio nome indica, servem para representar as actividades reais do sistema no modelo, de uma forma pouco especificada, ou seja apenas interessa para os efeitos do trabalho a contabilização do tempo que os *work items* permanecem nas actividades (que pode ser ajustado a uma curva de distribuição probabilística de acordo com registos históricos), os recursos envolvidos e as regras de entrada (*routing in*) e saída (*routing out*) das mesmas. Por exemplo, na actividade “sala 1”, que representa a cirurgia na sala 1 (descrita mais adiante), não será simulada a cirurgia em si, na medida em que não se pretende observar a realização prática da cirurgia mas sim os resultados globais do sistema considerado, ou seja, numa perspectiva macroscópica ou geral da respectiva unidade cirúrgica.

Seguem-se descrições mais detalhadas relativamente à modelação de cada uma das actividades consideradas no modelo.

PHU (acolhimento): Qualquer um dos percursos relativos a cada tipo de *work item* tem como primeira actividade o serviço de preparação para a cirurgia (*PHU*(acolhimento)). Por não terem sido fornecidos dados específicos em relação a esta unidade, a duração foi considerada como sendo fixa e de uma hora. Foi considerado também que esta *activity* não seria critica no processo, pois o foco do trabalho é a optimização da gestão de salas de cirurgia, e desta forma não foram associados recursos humanos ou materiais cuja escassez possa limitar a realização desta actividade. Ainda assim optou-se por incluir esta *activity* no modelo de modo a ser fiel ao processo cirúrgico real e, para que caso seja relevante para o desenvolvimento de trabalhos futuros, se possam incluir durações ajustadas e recursos associados de forma credível.

Esta *activity* também tem uma utilidade prática no modelo, visto que permite definir as rotas apropriadas de cada *work item* através de uma ferramenta “*routing out*”, própria de *activities*, disponibilizada pelo *Simul8*, de acordo com os valores atribuídos ao rótulo “Rota” em cada *starting point* dos respectivos *work items*, tal como anteriormente referido. A figura 10 mostra como foi definida a atribuição de rotas no modelo. Assim um *work item* deve seguir o caminho cujo valor corresponde ao valor atribuído ao rótulo “Rota”.

“Sala 1”, “Sala 2”, “Sala 4”, “Sala 5” e “BOMI”: Seguem-se as actividades que representam as intervenções cirúrgicas nas respectivas salas de operação cirúrgica, por onde cada paciente



Figura 10: Definição da atribuição de rotas, nas propriedades da *activity* “PHU (acolhimento)”, de acordo com o valor numérico do rótulo “Rota”, relativo a cada *work item*.

(representado por *work items*) terá de passar para poder ser elaborada a cirurgia marcada, simulada pelo modelo.

A estas *activities* foram associados os “RB” (Recursos do Bloco), representando todos recursos necessários à execução de cirurgias em cada uma das respectivas salas (incluindo a própria sala) tal como explicado mais adiante nesta secção.

Os tempos de duração das intervenções cirúrgicas foram ajustados a distribuições Normais Logarítmicas (LogNorm), variando a respectiva média u_i e desvio padrão s_i de acordo com o tipo de intervenção cirúrgica (i) de que o paciente é alvo, distinguidos pela atribuição de valores escritos ao rótulo “DurCir” (expressos na figura 27 em anexo). A figura 11 mostra a distribuição associada a qualquer *work item* cujo valor escrito do rótulo “DurCir” é “DurOftalm”, ou seja, oriundo do starting point “paciente de oftalmologia” (tal como a figura 27 sugere). Desta forma, qualquer *work item* cujo valor escrito do rótulo “DurCir” seja “DurOftalm” vai ter uma duração ajustada à distribuição expressa na figura 11, para qualquer uma das salas que entre (desde a “Sala 1” à “BOMI”) pois as distribuições em cada uma das respectivas *activities* foram atribuídas de acordo com o rótulo “DurCir”.

Distribuições idênticas à distribuição representada na figura 11 foram criadas no modelo, de modo a representar as durações dos restantes tipos de cirurgias de acordo com a especialidade. Estas distribuições adoptadas permitem ter em conta a incerteza associada às durações cirúrgicas, que podem afectar de forma directa o processo, no sentido em que a ocorrência de atrasos de cirurgias pode levar ao cancelamento de cirurgias em espera (no caso de intervenções cirúrgicas que levem mais tempo do que o previsto).

Através destas *activities* também é possível simular, de forma estocástica, os cancelamentos de tempos associados aos recursos materiais ou humanos (por exemplo falhas de equipamentos ou ausência de pessoal), através da inclusão do parâmetro de eficiência das salas Ef_j . A figura 12 mostra a inclusão deste parâmetro na *activity* “Sala 1”.

Como se pode observar na figura 12, para além do parâmetro referente à eficiência, que vai determinar a taxa de ocorrência de bloqueios na actividade (simulando tempos cancelados), também é necessário incluir um parâmetro relativo à duração desse bloqueio. Como a ideia destes bloqueios é simular cancelamentos de tempos, derivados de causas externas que impliquem indisponibilidade destas “salas” para atender às cirurgias em espera, o tempo médio de ausência foi considerado 6 horas (ou 360 minutos) pois corresponde à duração de um tempo inteiro.

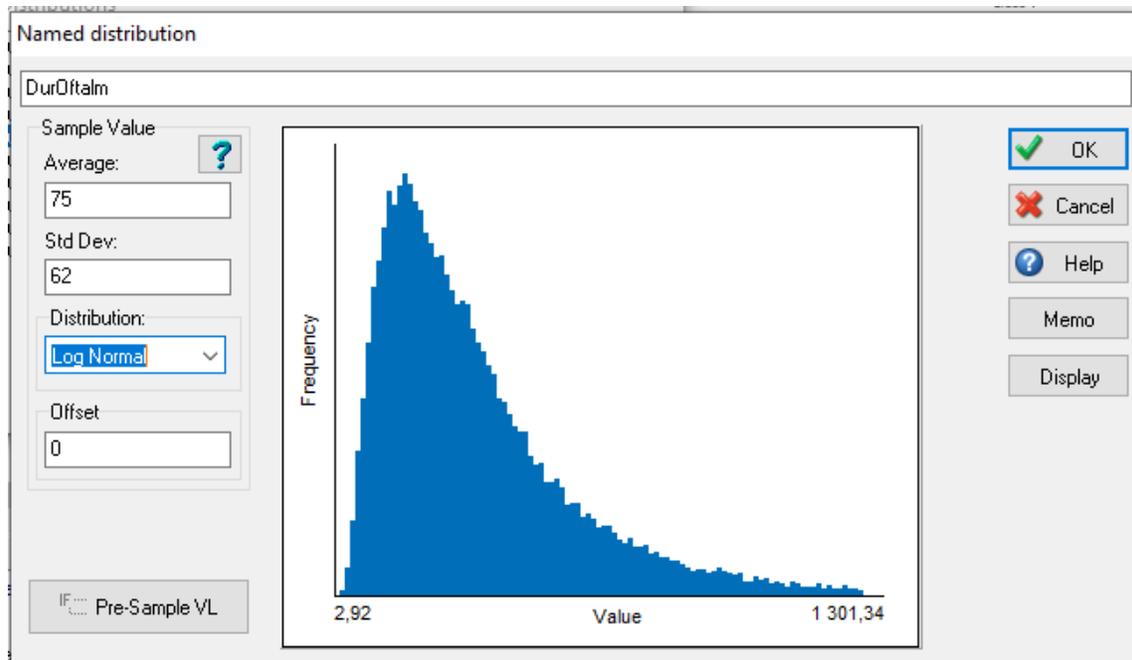


Figura 11: Distribuição Normal Logarítmica criada para representar estocasticamente a duração de cirurgias de oftalmologia de acordo com os parâmetros média e desvio padrão obtidos com base nos dados fornecidos pelo hospital.

Sub-activities

As *sub-activities*, são actividades fictícias criadas para auxiliar o correto funcionamento do modelo ao simular partes do sistema que apresentem maior complexidade e que, por essa razão, sejam difíceis de modelar apenas recorrendo a comandos dentro das *activities*, *queues* ou *end points* incluídos no sistema. Assim, a criação de *sub-activities* justifica-se pela maior aproximação do comportamento do modelo ao comportamento do sistema real, de acordo com as suas regras de funcionamento.

Ao contrário das actividades, as *sub-activities* não consomem tempo nem utilizam recursos, apenas provocam acções que mudam a forma de funcionamento do modelo para que este se torne mais credível e capaz de representar o sistema real, ou seja, para compensar tudo aquilo que as restantes entidades modeladas não conseguiram atender para os propósitos da simulação.

“Cancelamento” Assim, foi incluída a modelação de uma *sub-activity* (“cancelamento”) no modelo, de modo a simular o cancelamento de cirurgias no sistema. Esta *sub-activity* serve apenas para encaminhar os *work items* presentes nas *queues* que precedem qualquer uma das *activities* que simulam operações cirúrgicas no modelo (as salas), e que expiraram o tempo máximo de espera por cirurgia na simulação (neste caso 6 horas de espera), reencaminhando estes *work items* para o *end point* “cirurgias canceladas”, representado por uma cruz avermelhada na figura 9.

É importante notar que, apesar de não parecer ser a prática mais certa cancelar um paciente após este ter passado pelo acolhimento no serviço, representado pela *activity* “PHU (acolhimento)”

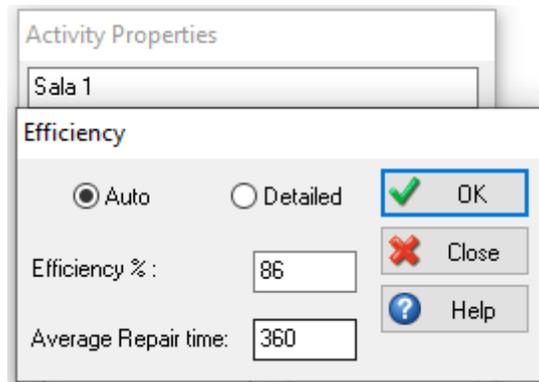


Figura 12: Inclusão de um parâmetro de eficiência para a *activity* “Sala 1”, bem como um parâmetro de tempo médio de bloqueio “*average repair time*”, no modelo de simulação.

no modelo, para efeitos de resultados da simulação é indiferente um *work item* ser cancelado antes ou depois da referida *activity*.

7.3.3 Queues

A criação de *queues* permite a representação de eventuais filas de espera de *work items* que se podem acumular antes das actividades quando estas se encontram saturadas por outros *work items*, ou por outras questões como a falta de recursos disponíveis que são requeridos para que estas actividades possam ser executadas. Através das *queues* também é possível extrair registos relativos aos *work items* que podem ser úteis na análise de resultados do sistema (como por exemplo, tamanhos e tempos de espera nas filas). Eventualmente, no decorrer de uma simulação, através da observação de *queues* podem ser identificados potenciais *bottlenecks* (pontos críticos) num processo, que normalmente correspondem a pontos onde ocorre uma maior acumulação de *work items* em espera por uma dada *activity*, envolvendo recursos que provavelmente correspondem a elevadas taxas de utilização nos resultados, ou seja, sobre-utilizados.

Também é possível através dos comandos fornecidos pelo programa incluir limitações relativas às capacidades desta filas, perecibilidade de *work items* (limitações de tempo de espera) e ainda ter em conta regras de priorização de *work items* nestas mesma filas (por exemplo, *FIFO*, *SPT*, *LWR* ou até mesmo prioridades de acordo com rótulos).

Assim sendo, seguem-se as descrições de todas as *queues* consideradas ao longo do processo:

“Sala de espera”: Esta *Queue* corresponde à primeira fila de espera existente no processo, encontrando-se localizada imediatamente antes da *activity* “*PHU* (acolhimento)” expressa na figura 9.

Todos os *starting points* incluídos no modelo estão ligados a esta *queue*, o que significa que qualquer *work item*, independentemente da sua origem, terá de passar por esta *queue*. Aqui poderiam ser aplicadas regras de priorização de pacientes conforme o grau de urgência ou o tipo de especialidade, mas como apenas foi considerado o paciente electivo e não foram indicadas

quaisquer normas de priorização envolvendo especialidades, então para efeitos do trabalho foi considerado um sistema *FIFO* em que os *work items* são sequenciados por ordem de chegada.

Esta *queue* tem uma particularidade que não reflecte de forma precisa a situação real de um processo cirúrgico. Como a *activity* “*PHU* (acolhimento)” foi incluída como sendo uma actividade à qual não são associados recursos escassos, tal como mencionado na secção 7.3.2, então vai ter sempre lugar para receber qualquer *work item* que chegue à respectiva *queue*. Isto quer dizer que, para este modelo, quer o tempo médio de espera de um *work item* quer o tamanho médio da fila têm sempre valor zero na simulação. Desta forma, a espera neste modelo apenas vai estar associada à performance do funcionamento das *activities* “salas” em função de um dado agendamento planeado, representada pelas *queues* a seguir descritas.

Não foram considerados quaisquer parâmetros limitadores para esta *queue*, nem de capacidade máxima nem de tempo máximo de espera.

“Espera ORL”, “Espera PED e Urol”, “Espera Geral e Plast”, “Espera Ortop”, “Espera Oftalm”, “Espera Outros” e “Espera Ginec”: Depois de passar pela actividade “*PHU* (acolhimento)”, o *work item* espera provisoriamente pela sua vez a ser processado nas *activities* “salas” a jusante no processo, que devem ser executadas dentro do intervalo de tempo mais curto possível (*ASAP- as soon as possible*). Foi estipulado, para estas *queues*, uma espera máxima de 6 horas, em que caso um *work item* exceda o respectivo limite de tempo, deve sair do sistema sem que este tenha passado pelas *activities* que simulam a execução de cirurgias, ou seja, simulando-se um cancelamento. Esta duração máxima de 6 horas foi atribuída de forma arbitrária de modo a garantir que um paciente não espera mais que a duração do tempo para o qual estava marcado (6 horas) por questões de coerência com o planeamento. Não foi considerada qualquer condição relativa à capacidade máxima de *work items* em espera para esta *queue*, pois não foram dadas nenhuma indicação de capacidade máxima e, desta forma, considerou-se que se uma agenda é validada e incluída como input é porque está garantido espaço suficiente para acolher os respectivos pacientes marcados segundo a respectiva agenda.

À semelhança da *queue* “sala de espera”, as regras de prioridade nestas *queues* são de acordo com um sistema *FIFO*, não tendo sido consideradas quaisquer níveis de prioridade entre especialidades diferentes.

7.3.4 Resources

Os recursos podem ser criados no modelo de acordo com a sua quantidade existente no sistema e regras de utilização. Por exemplo, alguns recursos podem ter de obedecer a horários de funcionamento, como é o caso de recursos humanos, que podem ser incluídos no modelo tendo em conta os seus turnos de trabalho. Os recursos podem aparecer no sistema como ocupados ou disponíveis, dependendo se estão ou não, respectivamente, a ser utilizados numa determinada actividade.

A modelação dos recursos tem inúmeras vantagens. Para além da sua inclusão permitir uma melhor representação do sistema real, também é possível extrair alguns dados fornecidos pelo painel de controlo de gestão do programa (*high level analytics panel*), relativos por exemplo ao cálculo dos níveis de utilização de cada recurso considerado, que pode facilitar a detecção de

recursos críticos/escassos no processo. Podem ainda ser incluídos parâmetros relativos a custos referentes à utilização de cada recurso incluído no modelo.

Seguem-se as descrições relativas aos recursos considerados como relevantes para o sistema em causa.

“RB 1”, “RB 2”, “RB 4”, “RB 5” e “RB BOMI”: Este recursos estão associados às *activities* “salas” e representam o conjunto de todos os recursos necessários à realização de cirurgias em cada *activity* “sala”. Por exemplo, o “RB 1” foi atribuído à *activity* “sala 1” e assim sucessivamente. Desta forma, caso qualquer um destes “RB” esteja disponível para a realização de uma cirurgia numa dada sala, quer dizer que existe uma sala devidamente equipada com material e equipamento técnico apropriado para a realização da respectiva cirurgia e que existem recursos humanos capazes de atender ao serviço requerido para que se possa efectuar a intervenção cirúrgica (enfermeiros, assistentes de cirurgia, médicos cirurgião e médico anestesista).

Para cada “RB” foi definido no modelo um turno das 8:00 às 20:00, com uma unidade de quantidade disponível, que representa a união do tempo da manhã (8:00-14:00) com o tempo da tarde (14:00-20:00) para cada uma das salas consideradas no modelo. Estes recursos também foram modelados de modo a serem obrigados a finalizar qualquer actividade que possam estar a realizar, evitando que, caso chegue o fim do turno, haja interrupção da simulação de uma cirurgia.

7.3.5 End Points

Os *end points* (ou pontos de saída) servem para representar a saída de *work items* do sistema considerado, permitindo a extracção de alguns dados, após a simulação, como o número total de *work items* que saíram do sistema pelo respectivo *end point* (*work completed*), bem como o respectivo tempo médio, mínimo e máximo de permanência no sistema.

Foram considerados dois pontos de saída no modelo (“Cirurgias canceladas” e “Recobro”, tal como mostra a figura 9), tendo em conta as fronteiras estabelecidas para o sistema considerado. A forma como o sistema foi simulado não permite que os *work items* permaneçam no processo no final de cada dia operacional (tendo em conta o tempo máximo de espera por cirurgia incluído nas filas (*queues*), bem como a obrigação imposta aos recursos de finalizar qualquer actividade iniciada (cirurgias)), obrigando a dar saída por um dos respectivos pontos de saída mencionados. Assim sendo, sabendo o número de saídas por um *end point* é possível obter o número de saídas pelo outro, subtraindo ao somatório das entradas de *work items* em todos os *starting points*.

Seguem-se as descrições dos respectivos *end points* incluídos no modelo.

“Cirurgias canceladas”: Este *end point*, representado por uma cruz avermelhada na figura 9, serve essencialmente para se poder representar a saída de *work items* cujo tempo de espera pela realização da simulação cirúrgica tenha ultrapassado o tempo máximo admitido no modelo, tal como referido na secção 7.3.3.

“Recobro”: Através deste *end point* é possível representar a saída do sistema de todos os *work items* para os quais a simulação cirúrgica foi realizada, ou seja, todos os pacientes para os quais o processo cirúrgico foi completamente executado, passando por todas as etapas do processo e que se possa considerar como serviço concluído e bem sucedido são contabilizados neste *end point* como *work completed*. É deste *end point* que são extraídos os resultados mais importantes na análise deste trabalho, por exemplo, o número de cirurgias executadas.

7.3.6 Teste e validação do modelo

O teste e validação do modelo foi feito essencialmente em duas etapas diferentes, sendo que a primeira consistiu em verificar se os requisitos práticos do sistema definido estavam a ser cumpridos de acordo com o esperado. Desta forma foi efectuada uma verificação minuciosa em que o comportamento dos *work items* no modelo foi analisado de forma a perceber se, por exemplo, aspectos relativos a rotas e a tempos de duração em actividades se encontravam de acordo com o esperado.

Assim, esta primeira etapa de verificação foi executada avançando a simulação evento a evento, ou seja, o tempo do relógio do simulador foi avançando em intervalos de tempo correspondentes a ocorrência de eventos que alteravam o estado do sistema (por exemplo, chegada de um *work item*, fim de uma actividade, ou saída do sistema através de um *end point*). O *Simul8* permite executar este tipo de verificação através de um botão de *step simulation*, que faz justamente o avanço na simulação de evento em evento.

Após a verificação, meramente visual através da observação da disposição do diagrama modelado no *Simul8*, da correta inclusão e sequenciação de *starting points* (chegadas de pacientes de acordo com a respectiva especialidade cirúrgica), *queues* (filas), *Activities* (cirurgias de acordo com as salas) e *end points* (pontos de saída do sistema), procedeu-se à verificação do comportamento relativo ao fluxo de *work items* na simulação. Nesta fase foram verificados aspectos, tais como, se a chegada relativa a cada tipo de paciente estava bem representada (de acordo com a hora de chegada e quantidade principalmente), se o percurso de cada tipo de paciente no sistema modelado era coerente com o sistema real e se as durações relativas a cada tipo de paciente em cada actividade eram coerentes com as distribuições probabilísticas atribuídas a cada tipo de cirurgia.

A segunda etapa consistiu em observar os resultados obtidos após a simulação de uma semana representativa das semanas do mês de Novembro de 2018 (cujo agendamento de cirurgias está representado na figura 14 sob forma de tabela) e, seguidamente, compará-los com os registos históricos, fornecidos pelo Hospital, de resultados verificados para o respectivo mês. Para que a simulação tenha mais significado, primeiro procedeu-se ao cálculo do número de *runs* (ensaios) da respectiva experiência de simulação (*Trial*), a seguir explicada.

Trial Setup

O *warm-up time* de simulação foi considerado nulo, visto que no início de cada dia operacional não existem pacientes em cirurgia, tal como assumido por Roure et al. (2015), pelo menos para a área cirúrgica considerada, destinada a pacientes electivos. O período de simulação foi ajustado a uma semana, de acordo com o horizonte temporal de decisão definido, relativo ao agendamento semanal. O *Simul8* dispõe de uma ferramenta própria, de nome *Trial Calculator*, para estimar o

número mínimo de *runs* para um *Trial* (ou número de ensaios experimentais) de acordo com um *KPI* considerado, como um determinado nível de precisão para um intervalo de confiança definido. Assim, foi considerado como *KPI* principal o número total de cirurgias executadas (“Recobro *number completed*”), com nível de precisão de 5% para um intervalo de confiança de 95%, tal como a figura 29, em anexo (secção A), sugere.

Após executar a operação definida na figura 29, a ferramenta *Trial Calculator* calcula o número mínimo de *runs* num *trial* para que o valor médio dos resultados experimentais, do *KPI* considerado, converja para valores contidos num intervalo de confiança de acordo com a precisão definida, tal como a figura 30, em anexo (secção A) sugere. A figura 13 apresenta o valor obtido para o número de *runs* tendo em conta o número total de cirurgias efectuadas.

KPI	Recommended Runs
(Recommended runs for 5% precision)	
Recobro: Number Completed	10

Figura 13: Número mínimo de *runs* obtidos pelo *Simul8 Trial calculator*.

Assim, a simulação foi feita com base no valor obtido (10 *runs* por *trial*), pois um aumento do número de *runs* não acrescentaria muito mais significado aos resultados da simulação, visto que a partir de 10 *runs* o nível de precisão de 5% está alcançado para o intervalo de confiança pretendido. Assim, o aumento de tempo de duração da simulação associado a aumentar o número de *runs* além das 10, não justifica a melhoria na precisão dos resultados experimentais obtidos para o respectivo *KPI* considerado.

Simulação e resultados

Após a verificação dos requisitos práticos do modelo e do cálculo do número mínimo de *runs* para garantir um certo nível de significado nos resultados, foram reunidas as condições para se proceder à simulação de uma semana representativa das semanas do mês de Novembro de 2018.

Assim, a agenda expressa na figura 14, abaixo descrita, foi introduzida como *input* no modelo de simulação, através da ferramenta *Day Planner*, existente no *Simul8*, que permite agendar a chegada de *work items* (neste caso pacientes) de acordo com a quantidade, dia e hora de chegada em cada *starting point*. Como se pode observar na tabela da figura 14, os tempos de cada sala foram atribuídos às respectivas especialidades consideradas no modelo, bem como o número de cirurgias para cada especialidade planeadas para cada tempo (através do valor expresso entre parênteses). É importante destacar que a especialidade de Estomatologia, com 3 cirurgias marcadas para sexta-feira, no tempo da manhã, corresponde a “outras cirurgias” no modelo de simulação (pelos motivos previamente mencionados na secção 6.1).

De seguida procedeu-se à simulação de uma semana de operação e obteve-se os resultados para o número de cirurgias executadas, bem como para o número de cirurgias canceladas, tendo em conta o objectivo principal do modelo.

Validação de resultados

Após ter sido feita a simulação (*Trial* de 10 *runs*) para uma semana representativa das semanas do mês de Novembro de 2018 (figura 14), foram observados os resultados, principalmente no que

DIA	Tempo	Sala 1	Sala 2	Sala 4	Sala 5	BOMI
		Espec.	Espec.	Espec.	Espec.	Espec.
Segunda	08:00-14:00	Cir. Geral (1)	Urolog (3)	Ortop. (3)	Oftalm. (4)	Gin/Obs (3)
	14:00-20:00	Cir. Geral (1)	Cir. Geral (2)			
Terça	08:00-14:00	Cir. Geral (2)	Cir. Geral (2)	Ortop. (1)	Oftalm. (2)	Gin/Obs (3)
	14:00-20:00	Cir. Geral (3)	Cir. Plást (3)		Oftalm. (4)	
Quarta	08:00-14:00	Cir. Plast (3)	Cir. Ped (4)	Ortop. (4)	Oftalm. (4)	
	14:00-20:00	Cir. Geral (3)	ORL (4)			Gin/Obs (3)
Quinta	08:00-14:00	Cir. Geral (3)	Cir. Geral (3)	Ortop. (2)	Oftalm. (2)	
	14:00-20:00	ORL (3)	Urolog (4)			
Sexta	08:00-14:00	Cir. Geral (1)	Estomat. (3)	Ortop. (2)	Oftalm. (3)	Gin/Obs (3)
	14:00-20:00					

Figura 14: Agendamento de cirurgias para uma semana representativa das semanas relativas ao mês de Novembro de 2018.

diz respeito às taxas de realização (eficiência) e cancelamento de cirurgias, e comparados com dados fornecidos pelo Hospital relativos ao mês de Novembro de 2018, tal como a figura 15 sugere.

Mês de Novembro de 2018					Semana de simulação e resultados			
Salas	Tempos marcados	Tempos cancelados	% Eficienc	% Cancel	Cirurgias marcadas	Cirurgias efectuadas	% Eficienc	% Cancel
Sala 1	36	5	86%	14%	20	17	85%	15%
Sala 2	36	2	94%	6%	28	27	96%	4%
Sala 4	24	6	75%	25%	12	10	83%	17%
Sala 5	24	0	100%	0%	19	18	95%	5%
BOMI	16	5	69%	31%	12	9	75%	25%
Total	136	18	87%	13%	91	81	89%	11%
Sala 3	4	1	75%	25%				

Figura 15: Comparação da taxas de eficiência de cirurgias verídicas, do mês de Novembro de 2018, com as taxas obtidas de acordo com os resultados da simulação da semana representativa desse mês.

Como a estocasticidade de cancelamentos de tempos por falta de recursos foi directamente associada às salas, a tabela expressa na figura 15 apresenta a comparação as taxas de cancelamentos, para cada sala, calculadas para os dados relativos ao mês de Novembro de 2018 e para os resultados da simulação de uma semana representativa desse mês, respectivamente.

Como se pode verificar na figura 15, os resultados obtidos, para a semana simulada, parecem aproximar-se dos resultados que efectivamente ocorreram nas semanas desse mês, tanto para cada sala individualmente como para os resultados globais da área cirúrgica considerada (penúl-

tima linha da tabela relativa ao total). É importante realçar que, por exemplo a sala 5, apesar de ter uma eficiência esperada de 100% , a eficiência simulada apenas foi de 95%, ou seja, 5% de taxa de cancelamentos de cirurgias. Isto pode ser explicado pelo facto de os cancelamentos poderem ocorrer não só por falta de recursos mas também por estarem associados à estocasticidade relativa à duração das cirurgias, que pode provocar atrasos caso algumas cirurgias demorem mais tempo, podendo levar a cancelamentos das seguintes cirurgias, caso o tempo de espera por cirurgia ultrapasse o tempo máximo estipulado.

A última linha, avermelhada na tabela da figura 15, é relativa à sala 3, que pelos motivos expressos na secção 7.1 não foi considerada na simulação.

Também no que diz respeito à taxa de utilização de recursos, foram obtidos e comparados os resultados da semana representativa do mês de Novembro de 2018 com os valores do parâmetro calculado com base nos dados reais fornecidos pelo hospital relativos a esse mês (u_i). A figura 16, abaixo, mostra a respectiva comparação.

Comparação de taxas de utilização (Simulação vs realidade)						
Salas	Sala 1	Sala 2	Sala 4	Sala 5	Sala BOMI	Geral
Nov.2018 (dados)	51,8%	54,0%	31,1%	36,2%	15,8%	37,8%
Semana simulação	52,4%	77,1%	35,1%	39,9%	19,8%	44,9%

Figura 16: Verificação dos valores obtidos para a taxa de utilização de blocos u_i resultantes da simulação de uma semana representativa da solução de agendamento de cirurgias do Hospital, para o mês de Novembro de 2018.

Como se pode observar na figura 16, os resultados obtidos pela simulação de uma semana representativa, expressos na linha “Semana simulação” da tabela da figura, estão todos ligeiramente acima no que diz respeito à taxa de utilização obtida para cada sala. Isto pode ser explicado, possivelmente, pelo facto de o número de dados das amostras de tempos de cirurgias não ser significativo, ou pela curva de ajuste não representar perfeitamente os tempos reais de duração de cirurgias, podendo por exemplo favorecer mais os atrasos relativos à média (o que é típico numa distribuição normal logarítmica, tal como a utilizada no modelo). Ainda assim os valores parecem ser compatíveis com a realidade, no sentido de que a maioria das salas apresentou valores relativamente próximos aos obtidos para o mês de Novembro e a ordem sequencial de taxas de utilização para cada sala foi verificada, ou seja, a “Sala 2” obteve o valor mais alto, seguida da “Sala 1”, “Sala 5”, “Sala 4” e por último, a sala “BOMI” com valores de utilização mais baixos, tal como esperado. A última coluna expressa na tabela da figura 16 (“Geral”), corresponde ao valor médio das taxas de utilização referente às cinco salas consideradas, cujos valores foram obtidos quer para o mês de Novembro de 2018 quer para a semana simulada, representativa desse mês, para que desta forma se possa comparar e verificar a taxa de utilização de uma forma geral para a área considerada pelo modelo.

8 Análise e comparação de resultados: solução real vs solução otimizada

Esta secção foi dividida essencialmente em duas fases de análise e comparação de resultados. Na primeira fase foram analisados e comparados os resultados relativos à solução real do hospital (baseada nos registos fornecidos relativos ao referido mês de Novembro de 2018) e a solução proposta pelo *Solver* expressa na secção 8.1, para as condições de simulação aplicadas na verificação do modelo de simulação, ou seja, baseadas nos registos de mês de Novembro de 2018 em relação à eficiência das salas (representando todos os recursos envolvidos nas cirurgias). Na segunda fase (secção 8.2), as condições consideradas para a primeira fase foram desprezadas e um disruptor foi incluído na simulação de modo a simular a chegada de eventos aleatórios que possam causar perturbações no sistema (secção 8.2.1), nomeadamente no que diz respeito à disponibilidade das salas de cirurgia. Desta forma, fez-se variar o grau de eventos perturbadores de modo a analisar a sensibilidade dos resultados de ambas as soluções supra-mencionadas. Finalmente procedeu-se à comparação do impacto nos resultados globais de ambas as soluções (total de cirurgias efectuadas, eficiência e taxa de utilização), relativo à variação dos eventos perturbadores (secção 8.2.2).

8.1 Análise e comparação de soluções em condições de funcionamento habituais

Para efeitos de análise e comparação de resultados entre ambas as soluções, foram tidos em conta como *KPIs* principais: o número total de cirurgias, a eficiência do respectivo agendamento (proporção de cirurgias efectuadas face ao número de cirurgias agendadas) e ainda a taxa de utilização. Apesar da taxa de utilização ter sido passado para o lado das condições, de modo a simplificar o modelo, tal como referido na secção 5.2.2, os seus níveis de desempenho foram também comparados entre as diferentes soluções de agendamento analisadas.

Desta forma, ambas as soluções foram simuladas, para as mesmas condições de funcionamento, e os resultados foram obtidos para cada uma das respectivas soluções. A figura 17 apresenta os resultados obtidos para cada sala bem como para o desempenho global relativamente a cada uma das soluções.

Como se pode verificar através da observação dos resultados da simulação de cada uma das soluções de agendamento, expressos na figura 17, a solução proposta pelo *solver* apresenta maiores taxas de eficiência para a sala 1, sala 4, sala 5 e BOMI.

Para a sala 1, a solução proposta pelo *solver* apresenta uma maior taxa de eficiência, o que era de esperar, dado que o número de cirurgias marcadas foi menor. O número de cirurgias efectuadas também foi menor que o número de cirurgias efectuadas para a solução do hospital.

Para a sala 2, ambas as soluções apresentam uma taxa de eficiência de 96%, mas como a solução do hospital apresentava um número de cirurgias marcadas superior e, desta forma, conseguindo um maior número de cirurgias efectuadas, implica que a solução do hospital apresentou melhor desempenho para esta sala.

Para a sala 4, a solução proposta pelo *solver* apresenta uma taxa de eficiência ligeiramente inferior, mas em contrapartida apresentou um número de cirurgias efectuadas consideravelmente

Semana de simulação e resultados					Semana Solver simulada			
Salas	Cirurgias marcadas	Cirurgias efectuadas	% Eficienc	% Cancel	Cirurgias marcadas	Cirurgias efectuad	% Eficiencia	% Cancela
Sala 1	20	17	85%	15%	16	15	94%	6%
Sala 2	28	27	96%	4%	26	25	96%	4%
Sala 4	12	10	83%	17%	15	12	80%	20%
Sala 5	19	18	95%	5%	19	19	100%	0%
BOMI	12	9	75%	25%	20	17	85%	15%
Total	91	81	89%	11%	96	88	92%	8%

Figura 17: Comparação dos resultados de simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo *solver*, em relação à taxa de eficiência e número de cirurgias efetuadas para cada sala.

superior, dado que também agendou mais cirurgias para a respectiva sala.

Para a sala 5, a solução do *solver* apresentou uma taxa de eficiência superior à do hospital, para o mesmo número de cirurgias marcadas, o que levou a um maior número de cirurgias efectuadas por parte da solução do *solver*. Isto implica um melhor desempenho por parte da solução do *solver* para esta sala.

Por último, para a sala BOMI, à semelhança da sala 5, a solução proposta pelo *solver* apresenta maior número de cirurgias marcadas e maior taxa de eficiência, implicando um melhor desempenho face à solução do hospital.

Analisando o sistema de uma forma global, ou seja, pela observação dos valores expressos na ultima linha da tabela da figura 17, é possível verificar que a solução proposta pelo *solver* obteve resultados mais favoráveis em comparação com a solução representativa do hospital. Isto porque, para um maior número de cirurgias marcadas (no total), a solução do *solver* apresentou maior eficiência do que a solução do hospital, ou seja permitiu maior número de cirurgias efectuadas (objectivo principal da gestão do bloco) com menor taxa de cancelamento/maior taxa de eficiência (objectivo do paciente).

Nota: Em situações em que os resultados de desempenho de uma solução não são dominantes em relação aos resultados de uma outra solução, como é o caso dos resultados relativos à “sala 1” e “sala 4”, em que uma solução apresenta melhor desempenho para um determinado *KPI* e pior noutro, algumas ideias expressas na revisão de literatura (secção 3.2.1) poderiam ser aproveitadas. Por exemplo, no caso dos resultados obtidos para a “sala 4”, expressos na tabela da figura 17, a simulação da solução do *solver* apresenta melhor desempenho para o total de cirurgias efectuadas (12 cirurgias vs 10), já no que diz respeito à eficiência da respectiva sala, a simulação da solução do hospital apresenta melhor desempenho (83% vs 80%). Assim, normalizando as distâncias, obtém-se que a solução do *solver* é 20% melhor $((12-10)/10)$ no que diz respeito ao total de cirurgias executadas na “sala 4” e a solução do hospital é apenas 3.75% melhor $((83-80)/80)$ no que diz respeito à eficiência da respectiva sala. Estes resultados sugerem que, no caso de se assumir o mesmo peso para cada um dos respectivos objectivos analisados, então a

solução do *solver* parece ser também mais vantajosa no que diz respeito aos resultados obtidos para a “sala 4”. É importante notar, mais uma vez, que estes dois objectivos não são completamente específicos de cada uma das partes e que, por exemplo, os próprios pacientes podem ter também um interesse indirecto de maximizar o número de cirurgias efectuadas, pois isso pode implicar a diminuição do tempo de espera indirecto (tempo em lista de espera por cirurgia) (Fügener et al. 2017)), o que neste caso poderia potenciar ainda mais a solução do *solver* face à do hospital.

No que diz que respeito ao objectivo considerado como representativo do interesse do pessoal do bloco, de minimizar a taxa de utilização, apesar de ter sido incluído no modelo como restrição, os seus resultados também podem ser analisados e as diferentes soluções podem ser comparadas. A figura 18, abaixo, expressa os resultados para a taxa de utilização (u_i) de ambas as soluções analisadas.

Comparação de taxas de utilização (Simulação vs realidade)						
Salas	Sala 1	Sala 2	Sala 4	Sala 5	Sala BOMI	Geral
Semana simulação	52,4%	77,1%	35,1%	39,9%	19,8%	44,9%
Semana solver	40,9%	46,1%	46,0%	42,0%	39,1%	42,8%

Figura 18: Comparação de valores obtidos para taxas de utilização resultantes da simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo *solver*.

Como se pode observar na tabela da figura 18, a solução proposta pelo *solver* apenas apresenta melhores resultados para a “sala 1” e “sala 2”, mas ainda assim o desempenho geral, que representa a média de utilização das respectivas salas (coluna “Geral” da tabela), sugere que a solução do *solver* apresenta melhor desempenho para o respectivo *KPI* (taxa média de utilização mais baixa).

Pode parecer estranho que a solução proposta pelo *solver* apresente melhor desempenho no que diz respeito à eficiência e ao número total de cirurgias efectuadas e, ainda assim apresente taxas de utilização mais baixas. Por outras palavras, melhor eficiência, mais cirurgias efectuadas e menos utilização de recursos/carga de trabalho útil exigido aos trabalhadores. Isto pode ser explicado pelo facto de o *solver* do *Excel* ter favorecido cirurgias de menos duração de modo a maximizar o total de cirurgias efectuadas, mediante as restrições impostas pelo modelo de optimização, tal como explicado anteriormente (secção 7.2.2).

8.2 Análise e comparação de soluções em regime de funcionamento variável

Nesta fase de análise e comparação de resultados entre soluções, a situação considerada como normal no que diz respeito à disponibilidade dos recursos para a área electiva considerada, baseada principalmente no parâmetro de eficiência das salas (Ef_j) associadas aos recursos “RB” no modelo, foi ignorada e substituída por um disruptor com o intuito de simular a chegada de eventos desestabilizadores do sistema, capazes de afectar a disponibilidade de recursos fundamentais para as intervenções cirúrgicas, neste caso os “RB”. Desta forma obteve-se um novo diagrama de simulação, que abrange a inclusão de um disruptor, tal como mostra a figura 31 em

anexo. Assim, na próxima secção, segue-se uma descrição dos detalhes relativos à modelação do disruptor.

8.2.1 Modelação do disruptor

De modo a incluir o fenómeno de disrupção na simulação, causada principalmente por acontecimentos incertos inerentes ao contexto real do sistema, que não foram incluídos directamente nos modelos e que podem provocar disrupção no processo operacional (como por exemplo a chegada de pacientes urgentes (Tancrez et al. 2009) ou falhas técnicas em equipamentos (Wiegmann et al. 2007)), foi modelado um conjunto composto por um *starting point*, uma *sub-activity (rooting)*, cinco *activities*, e um *end point* de forma sequencial, tal como a figura 19 sugere.

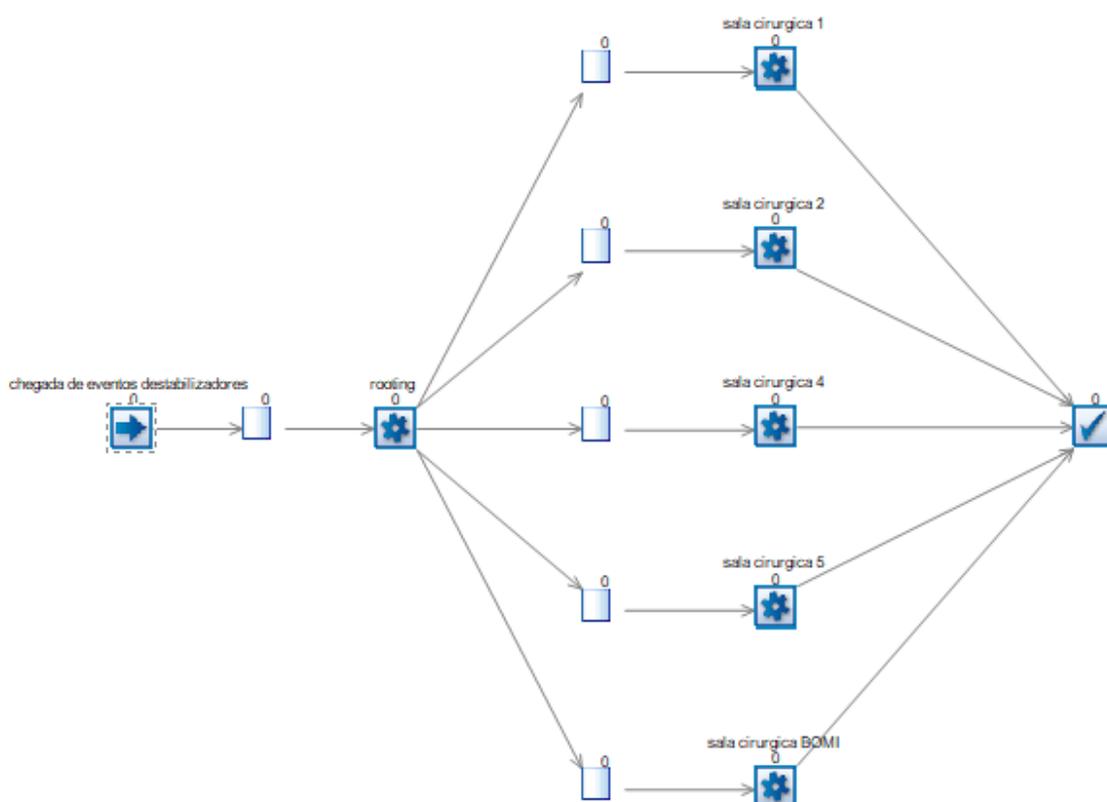


Figura 19: Simulador de disrupção incluído no modelo.

O *starting point*, “chegada de eventos desestabilizadores”, representado acima na figura 19, foi criado com o intuito de simular a chegada aleatória de eventos desestabilizadores do sistema, de acordo com um processo de chegada baseado numa distribuição de *Poisson* (Tancrez et al. 2009).

Após a chegada de um evento desestabilizador, este segue para uma *sub-activity* (“*rooting*”), cujo o propósito é encaminhar o evento para qualquer uma das *activities*, modeladas a jusante, de acordo com uma probabilidade baseada nas proporções relativas a cancelamentos de cada uma das salas, tal como a figura 20 sugere.

Rotas disruptivas		
Salas	% Cancela	% Rota disruptiva
Sala 1	0,138889	18%
Sala 2	0,055556	7%
Sala 4	0,25	33%
Sala 5	0	0%
BOMI	0,3125	41%
Total	0,756944	100%

Figura 20: Cálculo da probabilidade de rota de um evento disruptivo de acordo com a proporção de taxas de cancelamento.

Assim, a probabilidade de um evento desestabilizador envolver uma dada sala é proporcional às taxas de cancelamento verificadas para cada uma das salas consideradas, de acordo com os registos fornecidos pelo hospital relativos ao mês de Novembro de 2018. Ou seja, quanto maior a taxa de cancelamento verificada para o referido mês, maior a probabilidade da chegada de um evento desestabilizador envolver essa mesma sala.

As cinco *activities* apresentadas na figura 19 (“salas cirurgicas”), imediatamente após a *sub-activity* “*rooting*”, são representativas de tudo o que possa provocar a ausência de recursos relativos ao funcionamento de cada uma das “Salas” incluídas no modelo. Tal como explicado na secção 7.3.2, as actividades “Sala 1”, “Sala 2”, “Sala 4”, “Sala 5” e “BOMI” (expressas na figura 9), representam intervenções cirurgicas para pacientes electivos, envolvendo os respectivos recursos “RB”. Por sua vez, com a inclusão do disruptor, estes recursos (“RB”) vão ser partilhados com as actividades “salas cirurgicas”, que representam qualquer actividade que possa surgir no serviço, com perioridade face às actividades “salas”.

Assim, por exemplo, caso o evento desestabilizador tenha seguido a rota de entrada para a *activity* “sala cirurgica 1”, apresentada na figura 19, o recurso “RB 1” vai ser alocado a esta *activity*, impedindo a *activity* “Sala 1” de realizar uma cirurgia em simultâneo. É importante realçar que o recurso “RB 1” foi modelado de modo a dar prioridade à *activity* “sala cirurgica 1” face à *activity* “sala 1”, assim caso o recurso “RB 1” se encontre disponível e surja um *work item* na *queue* pré-“sala 1” e outro na *queue* pré-“sala cirurgica 1”, então o recurso “RB 1” é alocado à *activity* “sala cirurgica 1” durante 6 horas. A duração de 6 horas foi considerada fixa e baseou-se na duração de um tempo, de modo a que um evento desestabilizador possa provocar um cancelamento de um tempo inteiro. O mesmo se aplica para as restantes *activities* associadas aos restantes “RB” considerados no modelo.

O *end point* apresentado na figura 19 serve apenas para permitir a saída dos respectivos eventos desestabilizadores do sistema e assim escoá-los no decorrer da simulação.

8.2.2 Análise e comparação de resultados de soluções

Após o simulador de disrupção ser incluído na simulação do sistema, procedeu-se a uma análise de sensibilidade relativa à variação do nível de disrupção no sistema e o respectivo impacto nos resultados de ambas as soluções de agendamento consideradas (solução representativa do

hospital vs solução proposta pelo *solver*).

Assim, a atribuição de níveis foi associada ao valor médio diário de chegada de eventos desestabilizadores, introduzido como input do *starting point* “chegada de eventos desestabilizadores” na simulação. Desta forma o nível 0 corresponde a uma chegada fixa de 0 eventos desestabilizadores (situação utópica), o nível 1 corresponde a uma taxa média de chegada de 1 evento desestabilizador de acordo com uma distribuição de *Poisson* e assim sucessivamente para os restantes níveis.

Impacto nos resultados de eficiência e total de cirurgias efectuadas

A figura 32, em anexo (secção A), apresenta os resultados relativos ao número total de cirurgias efectuadas, bem como os resultados relativos à eficiência global (para toda a área cirúrgica considerada) para cada uma das soluções, variando os níveis de disrupção (do nível 0 ao nível 16).

Como se pode observar na tabela apresentada na figura 32, à medida que se aumenta o nível de disrupção, os resultados relativos ao número total de cirurgias efectuadas bem como à eficiência global reduzem, ou seja, pioram tendo em conta os objectivos das partes envolvidas, para ambas as soluções analisadas. Isto faz sentido no contexto da simulação, sugerindo que quanto mais eventos desestabilizadores ocorrem no sistema, piores os resultados do mesmo.

Passando à comparação do desempenho de ambas as soluções consideradas, em função da variação do nível de disrupção, o gráfico expresso na figura 21, sugere um melhor desempenho da solução proposta pelo *solver* face à solução representativa do hospital no que diz respeito aos resultados obtidos para o número total de cirurgias efectuadas.

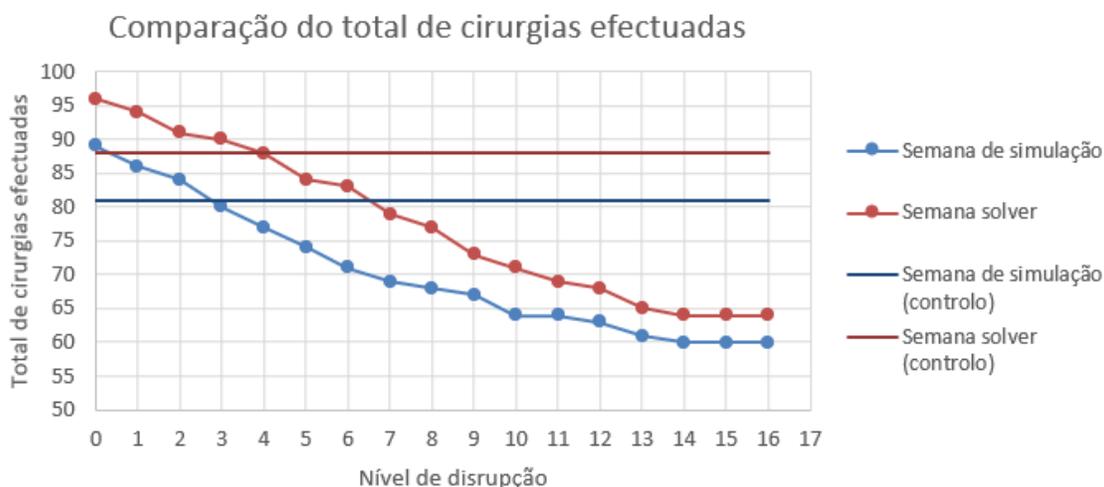


Figura 21: Comparação dos resultados de simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo *solver*, para o número total de cirurgias efectuadas, variando o nível de disrupção.

Como se pode verificar na figura 21, os valores dos resultados obtidos para a solução do *solver* são sempre superiores para qualquer um dos níveis considerados, no que diz respeito a número total de cirurgias executadas. Ou seja, para as condições consideradas no modelo de simulação (que não passa de uma mera representação do sistema real), a solução proposta pelo *solver* parece ser mais vantajosa tendo em conta o objectivo de maximizar o número total de cirurgias.

Da mesma forma, também no que diz respeito à comparação de resultados obtidos para a eficiência de ambas as soluções, variando o nível de disrupção, o gráfico expresso na figura 22 sugere um melhor desempenho para a solução proposta pelo *solver*.

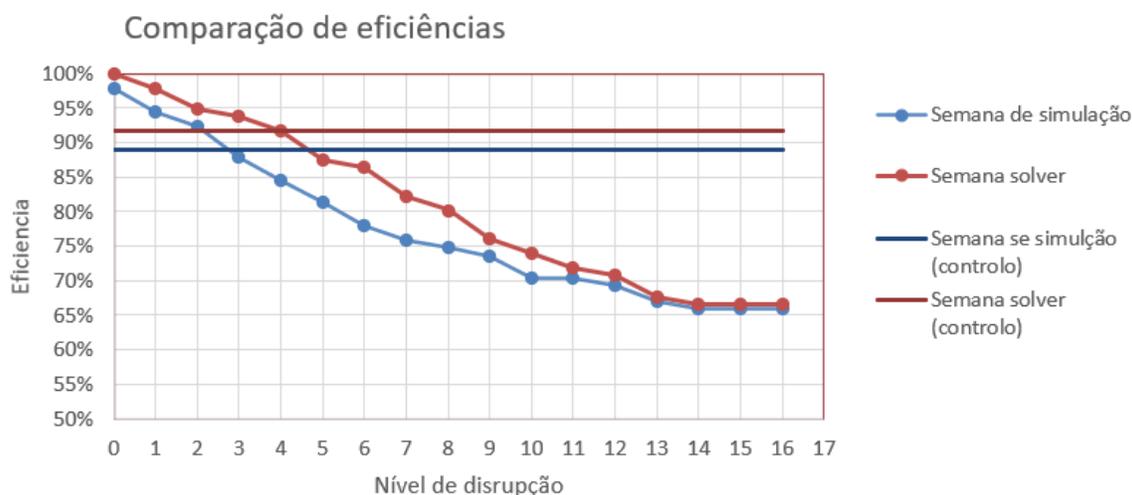


Figura 22: Comparação dos resultados de eficiência da simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo *solver*, variando o nível de disrupção.

As linhas de controlo, representadas pelas rectas horizontais em ambos os gráfico, expressos na figura 21 e figura 22, correspondem aos resultados do total de cirurgias (figura 21) e eficiência (figura 22) para condições habituais de funcionamento (referidas na secção 8.1), sendo relativas respectivamente à solução representativa do hospital (linha azul) e à solução proposta pelo *solver* (linha vermelha).

Para ambos os gráficos, o “*break even point*” para a solução representativa do hospital foi perto do nível 3 de disrupção. Quer isto dizer que, a solução representativa do hospital apresentou piores resultados, quer de número total de cirurgias quer de eficiência, a partir do nível 3 de disrupção em comparação com o regime de condições normais de funcionamento do hospital, bem como melhores resultados para níveis disruptivos inferiores a 3.

No que diz respeito aos resultados da solução proposta pelo *solver*, o “*break even point*” coincidiu com o nível 4 de disrupção, para ambos os gráficos, ou seja, a solução proposta pelo *solver* apresenta melhores resultados relativos ao total de cirurgias efectuadas, bem como relativos à eficiência, para níveis de disrupção inferiores a 4 e, apresenta piores resultados para níveis disruptivos superiores a 4, em comparação com o regime de condições normais de funcionamento.

Tendo em conta que, relativamente aos “*break even points*”, das respectivas soluções, a solução do *solver* apresentou um nível de disrupção superior, então, é razoável afirmar que a solução proposta pelo *solver*, para além de aparentar melhores resultados, também aparenta ser mais robusta no que diz respeito ao nível de disrupção, em termos de comparação entre condições de funcionamento em regime variável com regime estacionário (condições habituais de funcionamento).

Análise de sensibilidade da taxa de utilização

Apesar do objectivo de minimizar a intensidade de carga laboral do pessoal do bloco ter sido transferido para o lado das restrições em ambos os modelos de optimização e de simulação, não deixa de ser relevante analisar e comparar os resultados de simulação das diferentes soluções consideradas, do hospital e do *solver*, para o respectivo *KPI* (taxa de utilização).

Assim sendo, procedeu-se à análise e comparação dos resultados das respectivas soluções, variando o nível de disrupção (regime variável), à semelhança do que foi feito anteriormente para o total de cirurgias efectuadas e para a eficiência global das salas.

Para efeitos da análise foram consideradas duas taxas de utilização diferentes, uma relativa à utilização de recursos na área considerada pelo modelo (taxa de utilização electiva), correspondente à taxa de utilização previamente analisada em regime estacionário (secção 8.1), e outra relativa à utilização de recursos fora da área considerada pelo modelo (taxa de utilização fictícia). Esta última taxa de utilização (fictícia), foi incluída na análise de modo a ter em conta a contabilização da carga laboral fora da área considerada (durante momentos de disrupção do processo planeado), supondo que a ocorrência de eventos desestabilizadores no sistema implica alocação de recursos para actividades fora do planeado (não electivas), de acordo com a modelação do disruptor, descrita anteriormente.

Da perspectiva do pessoal do bloco, tem interesse analisar o resultado da soma de ambas as taxas mencionadas (taxa de utilização total), já que o seu objectivo seria reduzir a carga laboral total (quer seja ela planeada ou não), surgindo a necessidade de incluir esta terceira taxa na análise e comparação das respectivas soluções consideradas.

A figura 23 apresenta o gráfico que inclui os resultados das diferentes taxas de utilização, variando o nível de disrupção, para cada uma das soluções consideradas, com base nos valores obtidos na coluna “Geral” (que corresponde aos valores médios calculados para as 5 salas consideradas) de cada uma das tabelas expressas nas figuras 33, 35 e 37, respectivamente em anexo (Secção A), referentes aos resultados de simulação das diferentes taxas de utilização para cada solução.

Tal como se pode verificar pela observação do gráfico da figura 23, apesar de relativamente próximas, a curva referente aos resultados da taxa de utilização total para a solução do hospital (“semana simulação”, a azul escuro no gráfico), encontra-se ligeiramente a cima da curva relativa à solução proposta pelo *solver* (“semana solver”, a vermelho vivo no gráfico), para qualquer nível de disrupção. Estes resultados de simulação sugerem que, uma vez mais, também para o regime variável a solução proposta pelo *solver* parece ser mais vantajosa da perspectiva do pessoal do bloco, pelos menos tendo em conta as condições do sistema consideradas no modelo de simulação.

As restantes curvas expressas no gráfico da figura 23, referem aos resultados de simulação obtidos para as taxas de utilização electiva e fictícia para cada uma das soluções analisadas, em função do nível de disrupção. Através da soma das respectivas taxas foi obtida a taxa de utilização total, tal como previamente mencionado. Assim sendo, por exemplo, para cada nível de disrupção, a soma da ordenada da curva “Semana simulação (taxa fictícia)”, a azul claro no gráfico, com a ordenada da curva “semana simulação (taxa electiva)”, a azul no gráfico, dá o valor da ordenada da curva “Semana simulação (taxa total)”, a azul escuro no gráfico. O mesmo acontece para as curvas das respectivas taxas referente à solução proposta pelo *solver* (“Semana solver”).

Comparação de taxas de utilização

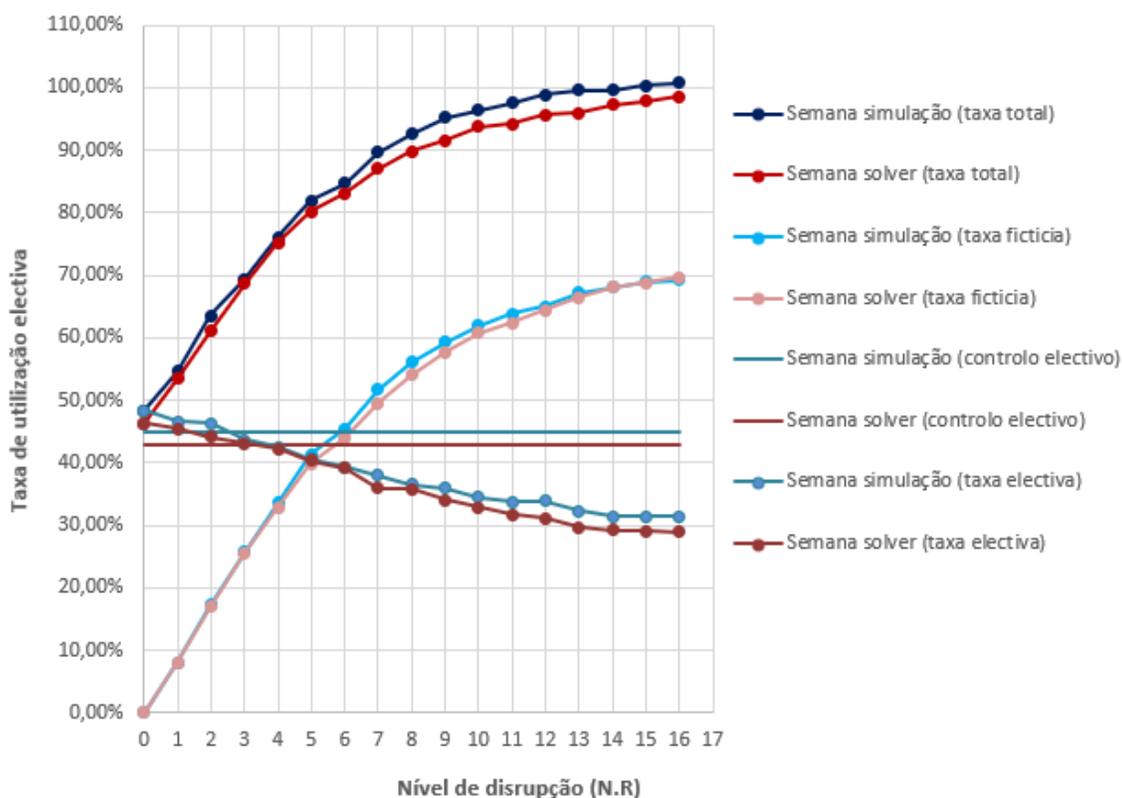


Figura 23: Gráfico de comparação de taxas de utilização de blocos (em percentagem), para a simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo *solver*, variando o nível de disrupção.

Avaliando cada uma das curvas individualmente, faz sentido que, por exemplo, a curva de taxa de utilização fictícia seja nula na origem e crescente com o aumento do nível de disrupção para ambas as soluções consideradas na análise. Isto porque, quanto menor a ocorrência de eventos disruptivos no sistema, menor a necessidade de alocação de recursos para actividades fora do planeado, sendo mesmo nula caso se verifique um nível nulo de disrupção.

Analogamente, faz sentido que no nível zero de disrupção se verifique o valor máximo da taxa de utilização electiva, para ambas as soluções, e que esta seja decrescente com o aumento do respectivo nível disruptivo, pois para a ocorrência de zero eventos disruptivos os recursos estão apenas alocados ao processo electivo e com o aumento do nível de disrupção outras prioridades podem suceder. Ainda assim, esta tendência decrescente é menos acentuada do que a tendência crescente verificada para a taxa de utilização fictícia, para ambas as soluções. Isto leva a que a taxa de utilização total seja crescente com o aumento do nível disruptivo, o que também era de esperar, dado que o aumento de ocorrência de eventos disruptivos implicam trabalho extra para os intervenientes do sistema.

As linhas horizontais expressas no gráfico da figura 23, são referentes ao valor da taxa de utilização electiva, obtida em condições de regime estacionário, resultantes da simulação da solução do hospital e da solução proposta pelo *solver*, (“Semana simulação (controlo electivo)” e “Semana solver (controlo electivo)” respectivamente).

A intercepção de cada uma destas linhas de controlo, referentes ao regime estacionário, com a respectiva curva referente à taxa de utilização electiva, em regime variável, corresponde ao “break even point” para o qual uma solução, em regime estacionário, apresenta os mesmos resultados que a mesma solução em regime variável. Assim, para a solução do hospital, o “break even point” ocorreu para um nível disruptivo perto do nível 3, de acordo com a intercepção da curva “Semana simulação (taxa electiva)” com a linha “Semana simulação (controlo electivo)”. No caso da solução do *sol/ver*, esta intercepção ocorreu para um nível disruptivo perto de 4, o que sugere que, mais uma vez, a solução do *sol/ver* apresenta maior robustez no que diz respeito a possíveis variações disruptivas, tendo em conta o critério de carga laboral.

9 Conclusões, recomendações finais e trabalho futuro

Esta secção visa salientar algumas conclusões a tirar após o desenvolvimento deste trabalho. Assim, é apresentado um balanço que incide sobre os principais pontos fortes e pontos fracos do trabalho, principalmente no que diz respeito aos modelos desenvolvidos. São apresentadas também algumas sugestões de melhoria e de implementação de soluções, bem como uma proposta de trabalho futuro.

Pontos fortes

1. O modelo de optimização desenvolvido permitiu a obtenção de uma solução de agendamento semanal cuja simulação apresentou melhores resultados de desempenho, no que diz respeito aos *KPI*'s considerados. Isto sugere que, pelo menos no que diz respeito ao sistema representativo de parte um sistema complexo real, considerando apenas alguns intervenientes e alguns objectivos, obteve-se uma melhor solução face à solução representativa como a solução real do hospital.
2. O modelo de simulação pareceu verificar os resultados do sistema real, o que sugere que pode ser representativo da parte do sistema real abordada. Para além disso, permite testar e analisar diferentes soluções de agendamento semanal através da possibilidade de interacção com um hipotético decisor, o que pode promover um melhor entendimento e compreensão de soluções e respectivos impactos no sistema. Pode ainda promover uma melhor aceitação por parte dos envolvidos no que diz respeito a implementação de novas soluções.
3. O facto de permitir testar e analisar diferentes soluções de agendamento sem ter de se incorrer em testes de experimentação prática, evita incorrer em custos desnecessários ou riscos associados a possíveis ineficiências causadas no sistema, provocadas pela testagem das respectivas soluções.

Pontos fracos

1. O modelo apresenta algumas limitações inerentes à sua simplificação, nomeadamente a nível das suposições e considerações de fronteiras dos sistema (não representa todo o sistema real no seu contexto complexo). Os intervenientes incluídos e os respectivos objectivos considerados nos modelos também são escassos face ao contexto real.
2. O desenvolvimento dos modelos teria beneficiado de uma modelação mais interactiva com colaboradores envolvidos no sistema abordado pelo caso de estudo, no que diz respeito ao propósito do trabalho de recorrer a simulação como forma de tornar os modelos de optimização mais comunicativos, aumentar o entendimento e compreensão das soluções e suas implicações nos resultados do sistema em causa. A maior interacção teria também favorecido a etapa de validação, bem como promovido uma maior aceitação dos modelos por parte dos colaboradores, aumentando a probabilidade de implementação de uma nova metodologia de agendamento com sucesso no sistema real.
3. As amostras de dados, utilizadas como base de obtenção de parâmetros para os modelos, apresentaram fraca qualidade. Principalmente no que diz respeito a algumas inconsistências

detectadas no processo de selecção de dados, bem como a nível do tamanho de algumas amostras, como por exemplo, as amostras relativas a tempos de duração cirúrgica de especialidades, consideravelmente reduzidas, o que pode ter afectado a obtenção de parâmetros com qualidade incluídos no modelo, podendo provocar alguns enviesamentos face à realidade.

Recomendações

1. Mais diversidade na recolha de dados, nomeadamente no que diz respeito a outras etapas do processo cirúrgico para além das cirurgias, por exemplo relativo à distribuição de chegada de pacientes (incluindo atrasos e faltas e comparência), durações de actividades como o “acolhimento”, entre outros. Uma recolha mais alargada também é muito importante de modo a aumentar a significância das respectivas amostras de dados. A recolha também deve ser mais rigorosa e cuidada, de modo a evitar a ocorrência de erros e inconsistências nos registos de informação.
2. Modelação interactiva com os envolvidos no sistema. Um maior envolvimento com os intervenientes do sistema permite uma maior compreensão do sistema (de parte a parte), promove uma maior aceitação por parte dos utilizadores, permite desenvolver um modelo mais ajustado ao sistema real, que inclui mais aspectos e detalhes do sistema, bem como facilita a compreensão das implicações e detalhes de implementação de novas soluções. Também promove a ocorrência de sugestões para lidar com passos críticos na implementação, mitigando alguns riscos associados ao processo.

Trabalho futuro

Como trabalho futuro seria interessante analisar e comparar o impacto nos resultados de simulação de diferentes regras de priorização a nível do modelo de optimização, como por exemplo *LPT vs SPT*, tendo em conta as diferentes formas de atribuição de tempos de salas a especialidades cirúrgicas, sabendo que existem várias soluções possíveis de acordo com a formulação matemática do modelo de optimização desenvolvido, tal como referido na secção 7.2.4, e assim explorar o potencial de novas formas de melhoria do processo de agendamento. Também seria interessante incluir a área reservada a cirurgias urgentes nos modelos, visto que a chegada de pacientes urgentes pode ter grande impacto no processo operacional diário, apesar de ser menos abordado na literatura.

Referências

- Banditori, C., Cappanera, P. & Visintin, F. (2013), 'A combined optimization–simulation approach to the master surgical scheduling problem', *IMA Journal of Management Mathematics* **24**(2), 155–187.
- Brailsford, S. C., Lattimer, V. A., Tarnaras, P. & Turnbull, J. (2004), 'Emergency and on-demand health care: modelling a large complex system', *Journal of the Operational Research Society* **55**(1), 34–42.
- Cappanera, P., Visintin, F. & Banditori, C. (2016), 'Addressing conflicting stakeholders' priorities in surgical scheduling by goal programming. flex serv manuf j'.
- Cardoen, B., Demeulemeester, E. & Beliën, J. (2010a), 'Operating room planning and scheduling: A classification scheme', *International journal of health management and information* **1**(1), 71–83.
- Cardoen, B., Demeulemeester, E. & Beliën, J. (2010b), 'Operating room planning and scheduling: A literature review', *European journal of operational research* **201**(3), 921–932.
- Carroll, G. R. & Harrison, J. R. (1998), 'Organizational demography and culture: Insights from a formal model and simulation', *Administrative Science Quarterly* pp. 637–667.
- Chan, S. (2001), Complex adaptive systems, in 'ESD. 83 research seminar in engineering systems', Vol. 31, pp. 1–19.
- Choi, T. Y., Dooley, K. J. & Rungtusanatham, M. (2001), 'Supply networks and complex adaptive systems: control versus emergence', *Journal of operations management* **19**(3), 351–366.
- Crossan, M. M., Lane, H. W. & White, R. E. (1999), 'An organizational learning framework: From intuition to institution', *Academy of management review* **24**(3), 522–537.
- Davis, J. P., Eisenhardt, K. M. & Bingham, C. B. (2007), 'Developing theory through simulation methods', *Academy of Management Review* **32**(2), 480–499.
- Denton, B., Viapiano, J. & Vogl, A. (2007), 'Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty', *Health care management science* **10**(1), 13–24.
- Dexter, F., Epstein, R. H., Marcon, E. & De Matta, R. (2005), 'Strategies to reduce delays in admission into a postanesthesia care unit from operating rooms', *Journal of PeriAnesthesia Nursing* **20**(2), 92–102.
- Diaby, V., Campbell, K. & Goeree, R. (2013), 'Multi-criteria decision analysis (mcda) in health care: a bibliometric analysis', *Operations Research for Health Care* **2**(1-2), 20–24.
- Franco, L. A. & Hämäläinen, R. P. (2016), Engaging with behavioral operational research: On methods, actors and praxis, in 'Behavioral Operational Research', Springer, pp. 3–25.
- Fügener, A., Schiffels, S. & Kolisch, R. (2017), 'Overutilization and underutilization of operating rooms-insights from behavioral health care operations management', *Health care management science* **20**(1), 115–128.

- Giannoccaro, I. (2013), Supply chain integration: A behavioral study using nk simulation, in 'Behavioral Issues in Operations Management', Springer, pp. 109–123.
- Gino, F. & Pisano, G. (2008), 'Toward a theory of behavioral operations', *Manufacturing & Service Operations Management* **10**(4), 676–691.
- Glouberman, S. & Mintzberg, H. (2001), 'Managing the care of health and the cure of disease—part i: Differentiation', *Health care management review* **26**(1), 56–69.
- Greasley, A. & Owen, C. (2016), Behavior in models: A framework for representing human behavior, in 'Behavioral Operational Research', Springer, pp. 47–63.
- Guerriero, F. & Guido, R. (2011), 'Operational research in the management of the operating theatre: a survey', *Health care management science* **14**(1), 89–114.
- Gul, S., Denton, B. T., Fowler, J. W. & Huschka, T. (2011), 'Bi-criteria scheduling of surgical services for an outpatient procedure center', *Production and Operations management* **20**(3), 406–417.
- Hämäläinen, R. P. (2015), 'Behavioural issues in environmental modelling—the missing perspective', *Environmental Modelling & Software* **73**, 244–253.
- Hämäläinen, R. P., Luoma, J. & Saarinen, E. (2013), 'On the importance of behavioral operational research: The case of understanding and communicating about dynamic systems', *European Journal of Operational Research* **228**(3), 623–634.
- Holland, J. H. (2002), Complex adaptive systems and spontaneous emergence, in 'Complexity and industrial clusters', Springer, pp. 25–34.
- Kou, G. & Wu, W. (2014), 'Multi-criteria decision analysis for emergency medical service assessment', *Annals of Operations Research* **223**(1), 239–254.
- Kunc, M., Harper, P. & Katsikopoulos, K. (2020), 'A review of implementation of behavioural aspects in the application of or in healthcare', *Journal of the Operational Research Society* **71**(7), 1055–1072.
- Lansing, J. S. (2003), 'Complex adaptive systems', *Annual review of anthropology* **32**(1), 183–204.
- Loch, C. H. & Wu, Y. (2007), *Behavioral operations management*, Now Publishers Inc.
- Lomi, A. & Larsen, E. R. (1996), 'Interacting locally and evolving globally: A computational approach to the dynamics of organizational populations', *Academy of Management Journal* **39**(5), 1287–1321.
- Mantel, S. P., Tatikonda, M. V. & Liao, Y. (2006), 'A behavioral study of supply manager decision-making: Factors influencing make versus buy evaluation', *Journal of operations management* **24**(6), 822–838.
- Marques, I. & Captivo, M. E. (2017), 'Different stakeholders' perspectives for a surgical case assignment problem: Deterministic and robust approaches', *European Journal of Operational Research* **261**(1), 260–278.

- Meskens, N., Duvivier, D. & Hanset, A. (2013), 'Multi-objective operating room scheduling considering desiderata of the surgical team', *Decision Support Systems* **55**(2), 650–659.
- Morton, A. (2014), 'Aversion to health inequalities in healthcare prioritisation: A multicriteria optimisation perspective', *Journal of health economics* **36**, 164–173.
- Ozkarahan, I. (2000), 'Allocation of surgeries to operating rooms by goal programming', *Journal of Medical Systems* **24**(6), 339–378.
- Pathak, S. D., Day, J. M., Nair, A., Sawaya, W. J. & Kristal, M. M. (2007), 'Complexity and adaptivity in supply networks: Building supply network theory using a complex adaptive systems perspective', *Decision sciences* **38**(4), 547–580.
- Rachuba, S. & Werners, B. (2014), 'A robust approach for scheduling in hospitals using multiple objectives', *Journal of the Operational Research Society* **65**(4), 546–556.
- Roure, M., Halley, Q. & Augusto, V. (2015), Modelling and simulation of an outpatient surgery unit, in '2015 Winter Simulation Conference (WSC)', IEEE, pp. 1525–1536.
- Rudolph, J. W. & Repenning, N. P. (2002), 'Disaster dynamics: Understanding the role of quantity in organizational collapse', *Administrative science quarterly* **47**(1), 1–30.
- Sakellarides, C., Castelo-Branco, L., Barbosa, P. & Azevedo, H. (2014), 'The impact of the financial crisis on the health system and health in portugal', *Copenhagen: World Health Organization* .
- Samudra, M., Van Riet, C., Demeulemeester, E., Cardoen, B., Vansteenkiste, N. & Rademakers, F. E. (2016), 'Scheduling operating rooms: achievements, challenges and pitfalls', *Journal of scheduling* **19**(5), 493–525.
- Sieber, T. & Leibundgut, D. (2002), 'Operating room management and strategies in switzerland: results of a survey', *European Journal of Anaesthesiology| EJA* **19**(6), 415–423.
- Simon, H. A. (1979), 'Rational decision making in business organizations', *The American economic review* **69**(4), 493–513.
- Tancrez, J.-S., Roland, B., Cordier, J.-P. & Riane, F. (2009), How stochasticity and emergencies disrupt the surgical schedule, in 'Intelligent patient management', Springer, pp. 221–239.
- VanBerkel, P. T. & Blake, J. T. (2007), 'A comprehensive simulation for wait time reduction and capacity planning applied in general surgery', *Health care management Science* **10**(4), 373–385.
- Wachtel, R. E. & Dexter, F. (2008), 'Tactical increases in operating room block time for capacity planning should not be based on utilization', *Anesthesia & Analgesia* **106**(1), 215–226.
- Weber, M. & Borcherdig, K. (1993), 'Behavioral influences on weight judgments in multiattribute decision making', *European Journal of Operational Research* **67**(1), 1–12.
- Wiegmann, D. A., ElBardissi, A. W., Dearani, J. A., Daly, R. C. & Sundt III, T. M. (2007), 'Disruptions in surgical flow and their relationship to surgical errors: an exploratory investigation', *Surgery* **142**(5), 658–665.

Zott, C. (2002), 'When adaptation fails: An agent-based explanation of inefficient bargaining under private information', *Journal of Conflict Resolution* **46**(6), 727–753.

A Anexos

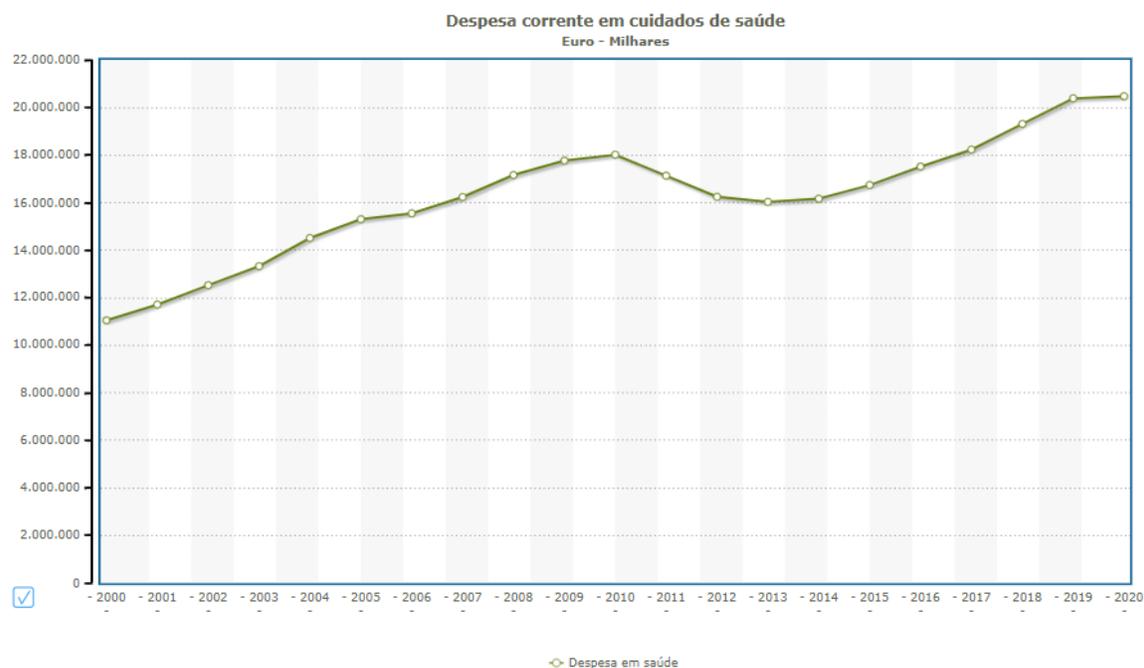


Figura 24: Despesa publica em saúde, em Portugal de 2000 a 2020, de acordo com a página web do site PORDATA (<https://www.pordata.pt/DB/Portugal/Ambiente+de+Consulta/Gr%C3%A1fico>), à data de 16/02/2022.

Stakeholders	Objectivos	KPI's
Pacientes	Tempo de espera reduzido serviço cumprido na data prevista	tempo médio de espera, taxa de cancelamentos de cirurgias
Staff/pessoal	Redução das horas extraordinárias, evitar alterações nos horários atribuídos, evitar cargas de trabalho excessivas durante os turnos	média de horas extra, taxa de utilização nº médio de picos de utilização duração média dos picos de utilização
Gestores	Aumentar o utilização de recursos, redução de custos ou aumentar o lucro, aumentar o rendimento,	taxa de utilização, custos, taxa de eficiência nº médio de cirurgias executadas
Investigadores	Desenvolver modelos úteis, simples e eficazes, obter melhores soluções, se possível a melhor	tempo de busca do modelo, qualidade de solução (bons níveis de desempenho)
Comunidade	Aumentar o desempenho, garantir equidade no acesso aos cuidados médicos, qualidade de serviço	taxa de eficiência, tempo de espera, taxa de cancelamentos de cirurgias,

Tabela 1: Principais *stakeholders*, agrupados em classes de acordo com os seus objectivos e *KPIs* correspondentes.

Method Name	Method Description	World View	Model Abstraction	Simulation Approach	Abstraction
Simplify	Eliminate human behaviour by simplification			None	Outside the Model
Externalise	Incorporate human behaviour outside of the model			None	
Flow	Model humans as flows	Continuous	Macro	Continuous Simulation	Inside the Model
Entity	Model human as a machine or material	Process	Meso	Discrete Event Simulation	
Task	Model human performance				
Individual	Model human behaviour	Object	Micro	Agent-Based Simulation	
				Discrete Event Simulation	

Figura 25: Métodos de modelação de comportamento humano, (Greasley & Owen 2016).

Microsoft Excel 16.0 Relatório de Resposta
Folha de Cálculo: [solver.xlsx]otimização semanal
Relatório Criado: 10/03/2022 16:58:12
Resultado: O Solver encontrou uma solução. Todas as restrições e condições de otimização foram satisfeitas.
Motor do Solver
Motor: LP Simplex
Tempo de Solução: 0,062 Segundos.
Iterações: 21 Subproblemas: 0

Microsoft Excel 16.0 Relatório de Resposta
Folha de Cálculo: [solver.xlsx]otimização semanal
Relatório Criado: 10/03/2022 16:49:13
Resultado: O Solver encontrou uma solução de número inteiro dentro da tolerância. Todas as Restrições foram satisfeitas.
Motor do Solver
Motor: GRG Não Linear
Tempo de Solução: 6,266 Segundos.
Iterações: 2 Subproblemas: 20

Microsoft Excel 16.0 Relatório de Resposta
Folha de Cálculo: [solver.xlsx]otimização semanal
Relatório Criado: 10/03/2022 17:20:22
Resultado: O Solver parou a pedido do utilizador.
Motor do Solver
Motor: Evolutionary
Tempo de Solução: 550,14 Segundos.
Iterações: 0 Subproblemas: 73904

Figura 26: Relatórios de resposta de acordo com os diferentes motores de busca disponibilizados pelo *solver* do *Excel*, *LP Simplex*, *GRG Não Linear* e *Evolutionary* respectivamente. O modelo foi corrido num computador equipado com um processador *Intel (R) Core (TM) i5* e 6 GB de *RAM*, utilizado para os 3 motores de busca testados.

Starting Point	Rótulo atribuído	Valor do rótulo
Paciente de oftalmologia	tipo de cirurgia	"1"
	DurCir	"DurOftalm"
	Rota	"5"
Paciente de cirurgia geral	tipo de cirurgia	"2"
	DurCir	"DurCirGeral"
	Rota	"3"
Paciente de ginecologia obstétrica	tipo de cirurgia	"3"
	DurCir	"DurGinec"
	Rota	"7"
Paciente de cirurgia ORL	tipo de cirurgia	"4"
	DurCir	"DurORL"
	Rota	"1"
Paciente de Urologia	tipo de cirurgia	"5"
	DurCir	"DurUrolog"
	Rota	"2"
Paciente de cirurgia plástica	tipo de cirurgia	"6"
	DurCir	"DurCirPlast"
	Rota	"3"
Paciente de ortopedia	tipo de cirurgia	"7"
	DurCir	"DurOrtop"
	Rota	"4"
Paciente de cirurgia PED	tipo de cirurgia	"8"
	DurCir	"DurPED"
	Rota	"2"
Paciente de outras cirurgias	tipo de cirurgia	"9"
	DurCir	"DurOutros"
	Rota	"6"

Figura 27: Atribuição de rótulos escritos e numéricos para cada *starting point* de acordo com os diferentes tipos de cirurgias, durações cirúrgicas ajustadas a distribuições probabilísticas criadas no modelo de simulação em *Simul8* cujo nome coincide com o valor escrito do respectivo rótulo atribuído (DurCir) e ainda tendo em conta as diferentes rotas consideradas no modelo (onde o valor numérico definido vai corresponder à rota de igual valor no modelo, à saída da actividade "PHU (acolhimento)").

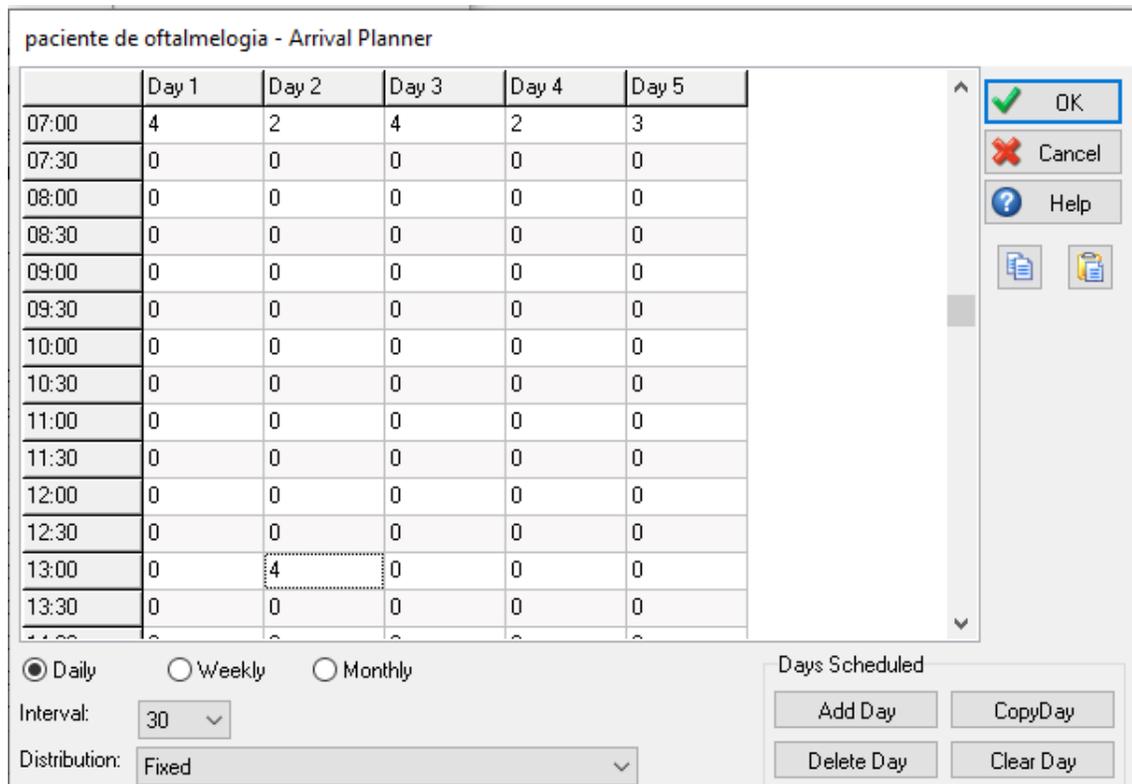


Figura 28: Introdução de parâmetros de agendamento para pacientes de oftalmologia, através da ferramenta *Day Planner* disponibilizada pelo *Simul8*.

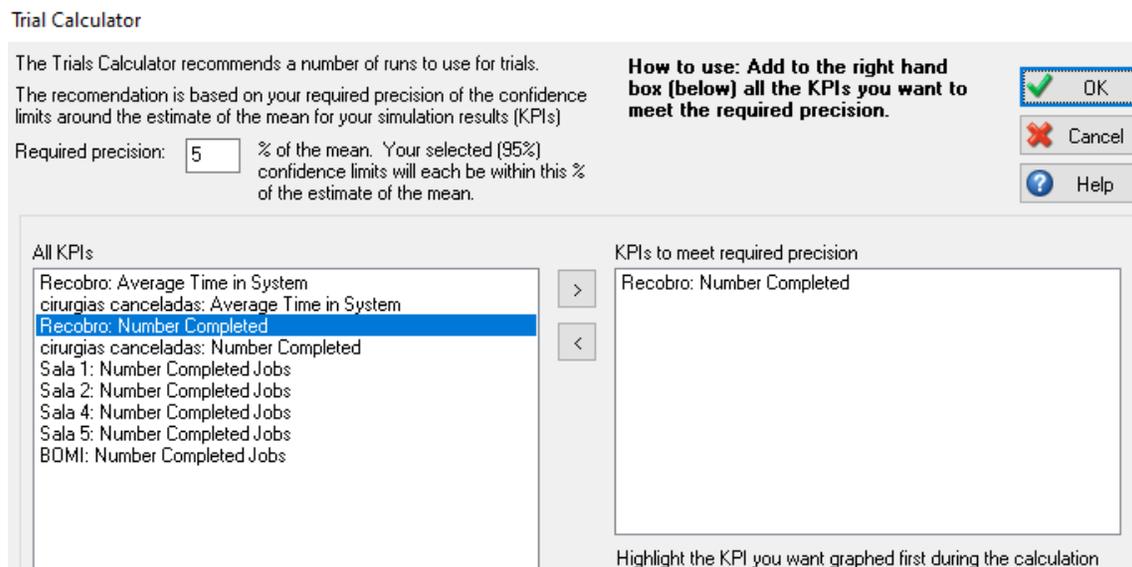


Figura 29: *Simul8 Trial Calculator*, com 5% de precisão, para um intervalo de confiança de 95%.



Figura 30: Convergência da média de resultados de cirurgias executadas (recobro completed), para um intervalo de confiança de 95%, com nível de precisão de 5%

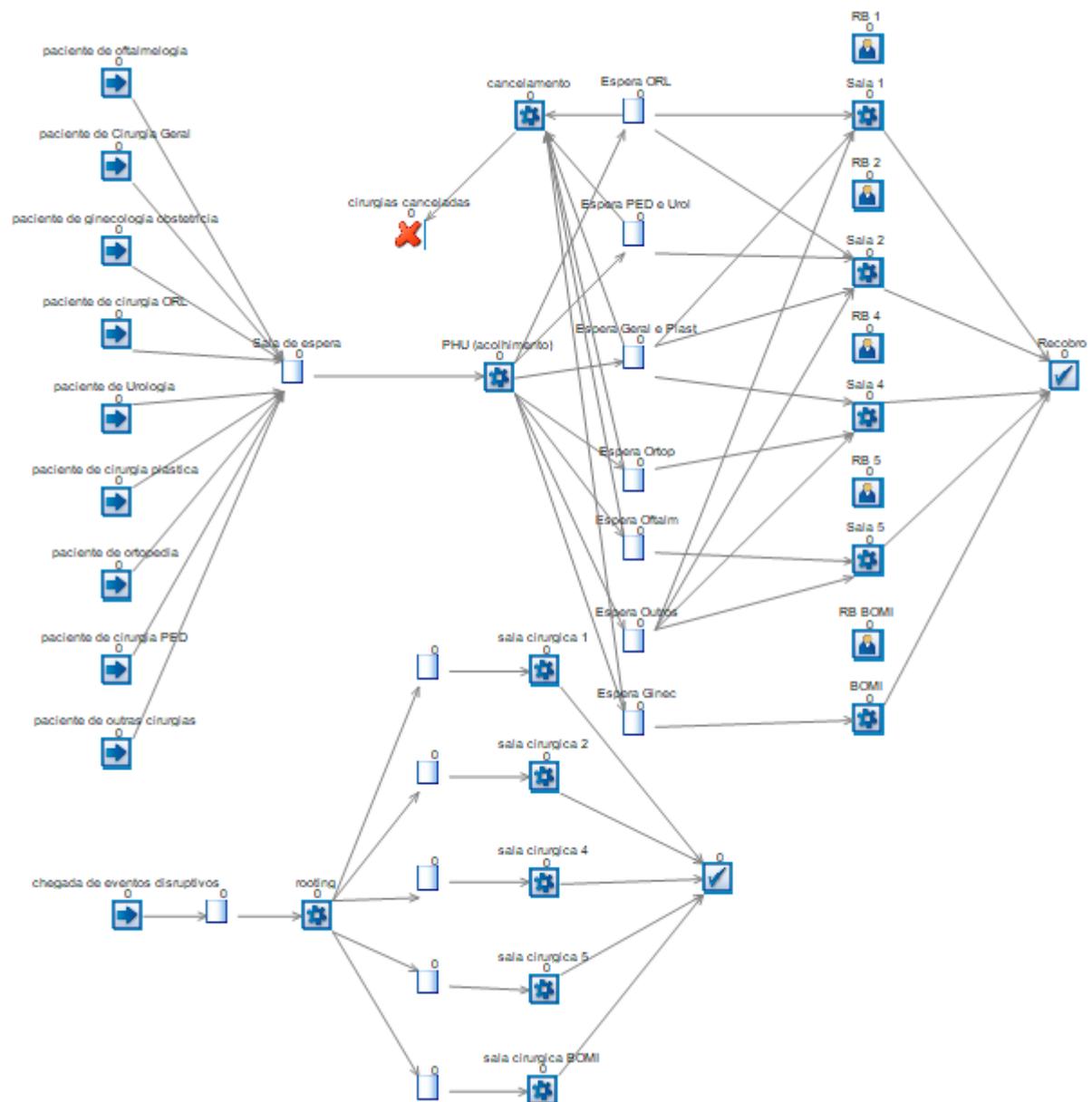


Figura 31: Diagrama final da modelação do sistema considerado em *Simul8 (student version)*, incluindo o diagrama referente ao disruptor (parte de baixo).

Nível de interrupção	Semana simulação		Semana solver	
	Cirurgias efectuadas	% Eficiência	Cirurgias efectuadas	% Eficiência
0	89	98%	96	100%
1	86	95%	94	98%
2	84	92%	91	95%
3	80	88%	90	94%
4	77	85%	88	92%
5	74	81%	84	88%
6	71	78%	83	86%
7	69	76%	79	82%
8	68	75%	77	80%
9	67	74%	73	76%
10	64	70%	71	74%
11	64	70%	69	72%
12	63	69%	68	71%
13	61	67%	65	68%
14	60	66%	64	67%
15	60	66%	64	67%
16	60	66%	64	67%

Figura 32: Comparação dos resultados de simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo *solver*, para o número total de cirurgias efectuadas e taxa de eficiência, em função da variação do nível de interrupção (N.D).

Taxas de utilização totais												
N.D	Semana simulação						Semana solver					
	RB 1	RB 2	RB 4	RB 5	RB B	Geral	RB 1	RB 2	RB 4	RB 5	RB B	Geral
0	56,20%	76,14%	42,13%	39,87%	27,48%	48,36%	40,37%	47,36%	56,47%	42,01%	45,53%	46,35%
1	59,25%	77,96%	52,49%	39,87%	43,60%	54,64%	47,20%	49,98%	65,75%	42,01%	62,40%	53,47%
2	72,70%	82,29%	67,35%	39,87%	55,88%	63,62%	60,32%	52,34%	77,43%	42,01%	73,32%	61,08%
3	76,84%	85,74%	74,49%	39,87%	69,82%	69,35%	70,15%	54,66%	87,69%	42,01%	88,62%	68,62%
4	82,15%	87,51%	86,19%	40,87%	83,96%	76,14%	79,12%	56,47%	97,28%	42,68%	100,28%	75,17%
5	89,42%	88,85%	95,81%	41,56%	93,92%	81,91%	84,05%	59,62%	103,43%	43,84%	110,19%	80,23%
6	89,01%	92,41%	99,58%	42,70%	99,88%	84,72%	84,78%	60,82%	109,31%	44,78%	116,00%	83,14%
7	96,63%	96,35%	104,24%	42,70%	108,38%	89,66%	90,98%	65,24%	111,46%	45,01%	122,81%	87,10%
8	100,23%	97,41%	111,66%	42,35%	111,73%	92,67%	96,19%	68,84%	113,97%	45,01%	125,34%	89,87%
9	105,43%	98,30%	113,99%	42,35%	116,25%	95,26%	97,27%	70,18%	116,66%	45,72%	128,48%	91,66%
10	108,03%	99,38%	114,34%	42,69%	117,73%	96,44%	103,20%	74,14%	117,29%	45,82%	128,34%	93,76%
11	109,61%	100,13%	116,22%	43,87%	117,73%	97,51%	100,58%	78,58%	117,43%	46,01%	128,34%	94,19%
12	111,33%	103,10%	116,22%	45,03%	118,73%	98,88%	102,55%	81,35%	117,43%	47,84%	129,09%	95,65%
13	113,91%	103,89%	117,22%	44,03%	118,73%	99,55%	101,20%	84,09%	117,16%	48,45%	129,34%	96,05%
14	113,49%	103,83%	117,22%	44,67%	118,73%	99,59%	104,18%	86,33%	117,86%	48,45%	129,34%	97,23%
15	116,13%	101,18%	117,22%	47,24%	119,73%	100,30%	104,98%	87,04%	117,86%	49,32%	130,34%	97,91%
16	118,99%	100,22%	117,22%	47,70%	119,73%	100,77%	106,81%	88,54%	117,86%	49,57%	130,34%	98,62%

Figura 33: Tabela de comparação de taxas de utilização total de blocos (em percentagem), para a simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo *solver*, variando o nível de disrupção (N.D).

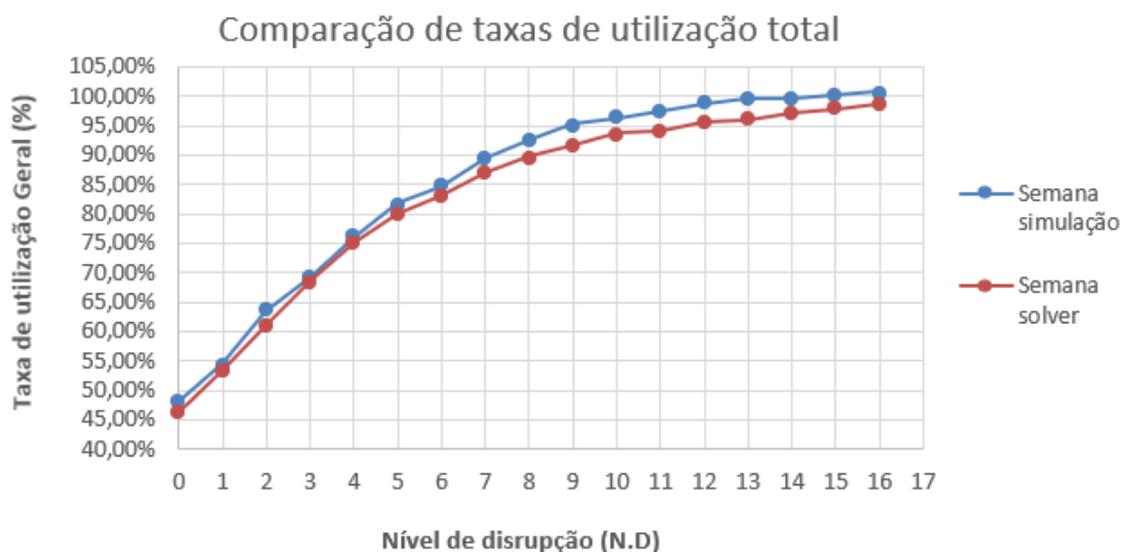


Figura 34: Gráfico de comparação de taxas de utilização total de blocos (em percentagem), para a simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo *solver*, variando o nível de disrupção (N.D).

Taxas de utilização electivas												
N.D	Semana de simulação						Semana solver					
	RB 1	RB 2	RB 4	RB 5	RB B	Geral	RB 1	RB 2	RB 4	RB 5	RB B	Geral
0	56,20%	76,14%	42,12%	39,86%	27,48%	48,36%	40,38%	47,36%	56,46%	42,00%	45,52%	46,34%
1	54,26%	74,96%	39,50%	39,86%	24,60%	46,64%	42,20%	46,98%	52,76%	42,00%	43,40%	45,47%
2	54,70%	76,30%	35,60%	39,86%	25,06%	46,30%	43,32%	46,34%	46,54%	42,00%	42,50%	44,14%
3	49,84%	76,74%	29,96%	39,86%	21,92%	43,66%	43,42%	45,66%	43,16%	42,00%	40,92%	43,03%
4	46,42%	76,50%	30,20%	39,86%	19,96%	42,59%	44,12%	45,46%	40,28%	41,68%	39,82%	42,27%
5	45,60%	74,84%	27,80%	39,56%	15,08%	40,58%	40,48%	45,62%	36,42%	41,84%	37,08%	40,29%
6	42,22%	76,64%	24,76%	39,70%	12,88%	39,24%	37,78%	45,06%	34,48%	41,78%	36,70%	39,16%
7	41,16%	74,34%	22,24%	39,70%	12,38%	37,96%	28,06%	43,46%	29,72%	42,00%	36,28%	35,90%
8	39,56%	71,64%	22,78%	39,34%	9,68%	36,60%	31,98%	43,24%	27,22%	42,00%	34,78%	35,84%
9	38,84%	70,30%	21,98%	38,36%	10,24%	35,94%	27,26%	41,32%	24,66%	41,72%	34,92%	33,98%
10	38,16%	65,74%	20,34%	38,70%	9,72%	34,53%	24,46%	41,30%	22,28%	41,82%	34,78%	32,93%
11	36,62%	63,18%	19,20%	39,86%	9,72%	33,72%	20,58%	40,98%	20,42%	42,00%	34,78%	31,75%
12	37,50%	64,10%	19,20%	39,02%	9,72%	33,91%	17,54%	41,35%	20,42%	41,84%	34,62%	31,15%
13	38,36%	57,20%	19,20%	37,02%	9,72%	32,30%	13,18%	38,68%	20,16%	41,44%	34,78%	29,65%
14	36,78%	53,82%	19,20%	37,66%	9,72%	31,44%	12,18%	37,62%	19,86%	41,44%	34,78%	29,18%
15	37,42%	51,18%	19,20%	39,50%	9,72%	31,40%	10,98%	38,08%	19,86%	41,60%	34,78%	29,06%
16	40,30%	48,46%	19,20%	39,70%	9,72%	31,48%	11,00%	37,78%	19,86%	41,56%	34,78%	29,00%

Figura 35: Tabela de comparação de taxas de utilização electiva de blocos (em percentagem), para a simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo *solver*, variando o nível de disrupção (N.D).

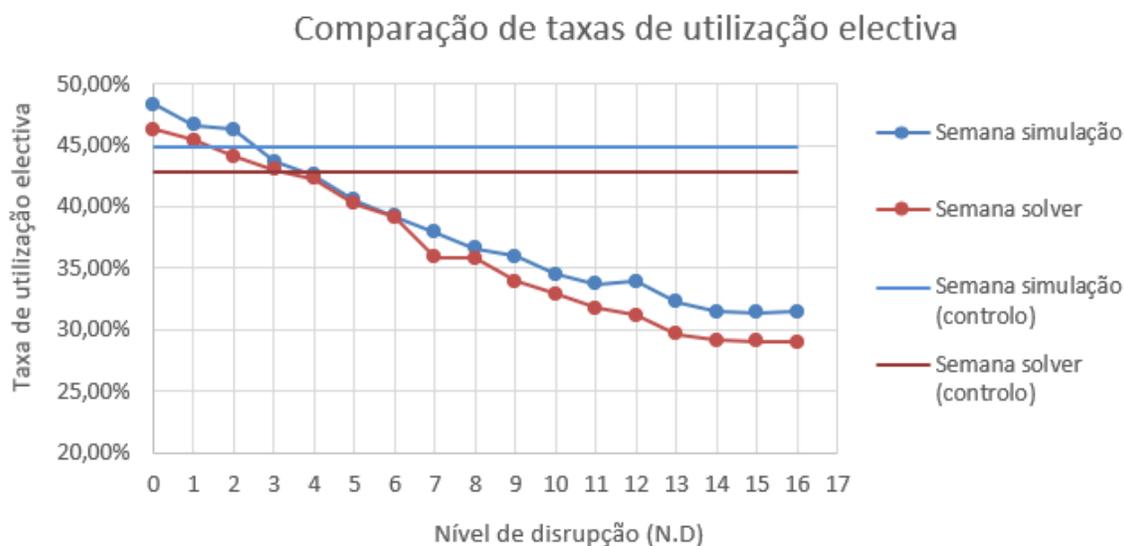


Figura 36: Gráfico de comparação de taxas de utilização electiva de blocos (em percentagem), para a simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo *solver*, variando o nível de disrupção (N.D).

Taxas de utilização fictícias												
N.D	Semana de simulação						Semana solver					
	RB 1	RB 2	RB 4	RB 5	RB B	Geral	RB 1	RB 2	RB 4	RB 5	RB B	Geral
0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1	5,00%	3,00%	13,00%	0,00%	19,00%	8,00%	5,00%	3,00%	13,00%	0,00%	19,00%	8,00%
2	18,00%	6,00%	31,75%	0,00%	30,82%	17,31%	17,00%	6,00%	30,89%	0,00%	30,82%	16,94%
3	27,00%	9,00%	44,54%	0,00%	47,89%	25,69%	26,73%	9,00%	44,54%	0,00%	47,70%	25,59%
4	35,73%	11,00%	56,00%	1,00%	64,00%	33,55%	35,00%	11,00%	57,00%	1,00%	60,47%	32,90%
5	43,83%	14,00%	68,00%	2,00%	78,85%	41,34%	43,57%	14,00%	67,00%	2,00%	73,11%	39,94%
6	46,78%	15,76%	74,82%	3,00%	87,01%	45,47%	47,00%	15,76%	74,82%	3,00%	79,31%	43,98%
7	55,48%	22,00%	82,01%	3,00%	96,01%	51,70%	54,86%	21,79%	81,74%	3,00%	86,53%	49,58%
8	60,67%	25,77%	88,88%	3,00%	102,01%	56,06%	64,21%	25,59%	86,75%	3,00%	90,56%	54,02%
9	66,60%	28,00%	92,01%	4,00%	106,01%	59,32%	70,00%	28,86%	92,01%	4,00%	93,56%	57,69%
10	69,87%	33,64%	94,01%	4,00%	108,01%	61,91%	78,74%	32,85%	95,01%	4,00%	93,56%	60,83%
11	72,99%	36,95%	97,01%	4,00%	108,01%	63,79%	80,01%	37,61%	97,01%	4,00%	93,56%	62,44%
12	73,83%	39,00%	97,01%	6,00%	109,01%	64,97%	85,01%	40,00%	97,01%	6,00%	94,46%	64,50%
13	75,55%	46,69%	98,01%	7,00%	109,01%	67,25%	88,01%	45,41%	97,01%	7,00%	94,56%	66,40%
14	76,71%	50,00%	98,01%	7,00%	109,01%	68,14%	92,01%	48,71%	98,01%	7,00%	94,56%	68,06%
15	78,71%	50,00%	98,01%	7,73%	110,01%	68,89%	94,01%	48,96%	98,01%	7,73%	95,56%	68,85%
16	78,69%	51,76%	98,01%	8,00%	110,01%	69,29%	95,81%	50,76%	98,01%	8,00%	95,56%	69,63%

Figura 37: Tabela de comparação de taxas de utilização fictícias de blocos (em percentagem), para a simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo *solver*, variando o nível de interrupção (N.D).

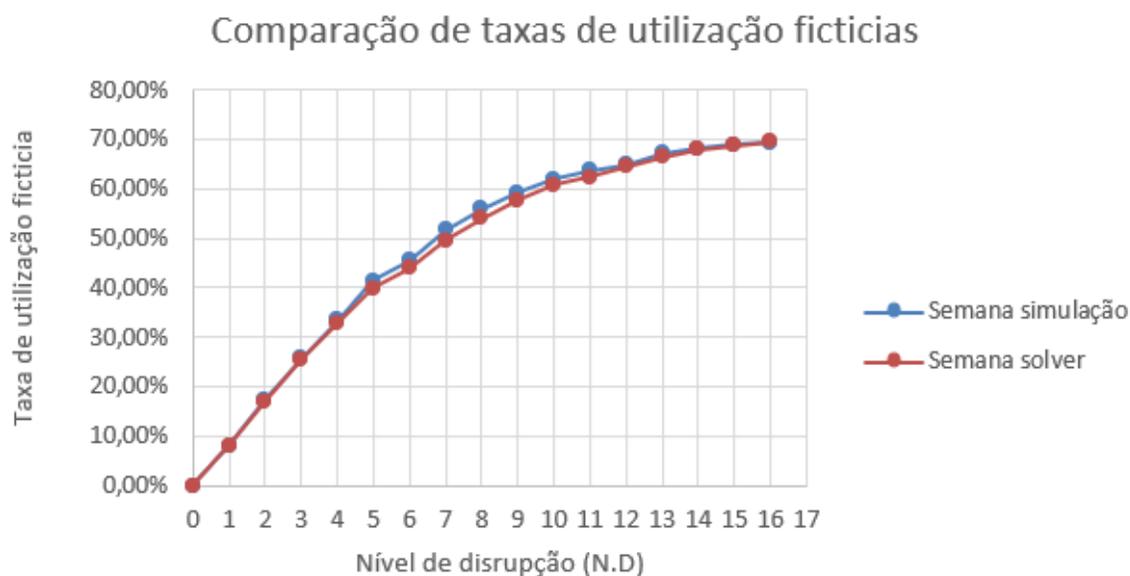


Figura 38: Gráfico de comparação de taxas de utilização fictícias de blocos (em percentagem), para a simulação da semana representativa da solução do hospital com a solução de agendamento proposta pelo *solver*, variando o nível de interrupção (N.D).