

Abordagem holística ao *Master Surgery Scheduling*

João Filipe Pinho Gomes

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Bernardo Sobrinho Simões de Almada Lobo



Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão

2015-06-23

Resumo

No presente clima de instabilidade económica e financeira, há uma pressão constante para aumentar a eficiência na gestão de recursos, tanto no domínio público como no privado. Os serviços de saúde não passam incólumes aos sucessivos cortes orçamentais ditados pela tomada de medidas cada vez mais drásticas de contenção da despesa. A eficiente gestão dos recursos é a única solução que garante o cumprimento das apertadas metas orçamentais e simultaneamente preserva a qualidade dos serviços prestados. O financiamento limitado afeta particularmente os cuidados de saúde terciários, cuja principal fonte de despesa e de receita é o bloco operatório. No entanto, esta estrutura de charneira dos centros hospitalares é intrinsecamente difícil de gerir de forma eficiente. Modernos sistemas de apoio à decisão aplicados noutras áreas surgem como ferramentas promissoras para auxiliar a gestão do *Master Surgery Schedule*, a estrutura basilar do bloco operatório.

Nesse sentido, pretendeu-se desenvolver um modelo de otimização-simulação, com capacidade para gerar e analisar autonomamente múltiplos cenários de *Master Surgery Schedule*, tendo em conta determinados indicadores de qualidade.

Inicialmente, foi criado o modelo de simulação, o qual foi validado com recurso a dados fornecidos por um hospital de referência. Subsequentemente, foi criado o modelo de otimização, com recurso a *constraint programming*. As diferentes alternativas de *Master Surgery Schedule* assim geradas foram depois simuladas pelo modelo de simulação. Utilizou-se *discrete event simulation* para avaliar a qualidade e robustez do *Master Surgery Schedule*. Os resultados da simulação do *Master Surgery Schedule* real e otimizado foram avaliados em função de determinados indicadores de qualidade.

Aplicando o *Master Surgery Schedule* em vigor no hospital de referência, o modelo de simulação demonstrou ser capaz de reproduzir a realidade com bastante precisão. Em particular, verificou-se elevado grau de coincidência com o que se verificou na realidade para a produção anual e diária na maioria das especialidades, quer na modalidade de cirurgia convencional, quer na de ambulatório. No entanto, o modelo obteve melhor desempenho no que concerne ao cumprimento do tempo de resposta máxima garantido em cirurgia convencional e, sobretudo, em cirurgia de ambulatório.

Das soluções encontradas pelo modelo de otimização, foram seleccionadas 17 para cirurgia convencional e 8 para cirurgia de ambulatório, por serem as que eram significativamente diferentes entre si. O modelo de simulação executou cada uma delas e foi escolhida aquela que apresentava a melhor combinação dos indicadores de qualidade considerados. Em comparação com os resultados da simulação do *Master Surgery Schedule* real, o *Master Surgery Schedule* otimizado conseguiu uma redução do número de doentes que excedem o tempo máximo de resposta garantido (10% e 50% em regime convencional e ambulatório, respetivamente), através da reorganização dos períodos temporais atribuídos a cada especialidade e não do incremento do total semanal de períodos temporais. Embora de forma menos marcada, o *Master Surgery Schedule* otimizado resultou na evolução mais homogénea da LIC das diversas especialidades.

Em conclusão, o presente trabalho demonstrou que modelos de simulação-otimização multiobjectivo conseguem reproduzir a realidade de forma fidedigna e têm potencial para melhorar a eficiência da gestão de recursos na área da Saúde. No entanto, há ainda um longo caminho a percorrer no sentido desenvolver modelos capazes de abarcar a complexidade associada ao bloco operatório e, de forma genérica, aos serviços de Saúde.

Holistic approach to Master Surgery Scheduling

Abstract

At a time of falling rolls and severe financial constraints as a result of central government policy and global economic instability, health care providers are faced with the need to rationalize service provision both in the public and private sector. The progressively tighter budgets act as a drive to foster health care managers to seek innovative alternatives to maximize efficiency gains without compromising the quality of the service provided. Tertiary care centers are particularly affected by financial cuts and are thus focusing their attention on the operating theatre, which is concurrently their main source of income and expenditure. However, the interwoven network of interactions established between the operating theatre and other units poses significant challenges to health care managers. Modern decision support systems, already widely used in other areas, are emerging as promising tools to aid developing the Master Surgery Schedule, which is the cornerstone of operating theatre management.

This project aimed to develop an optimization-simulation model capable of generating and analyzing autonomously several Master Surgery Schedules, taking into account a set of quality indicators.

Initially, a simulation model was developed and validated using data provided by the reference hospital. Afterwards, an optimization model was developed based on constraint programming. The different Master Surgery Schedules generated by the optimization model were introduced on the simulation model, which then simulated what would ensue if that schedule was used in reality. Discrete event simulation was used to assess the quality and accuracy of each Master Surgery Schedule. Finally, the simulated outcomes of both the actual and the optimized Master Surgery Schedule were compared according to pre-determined quality indicators.

The simulation model demonstrated to be able to reproduce the reality using the actual Master Surgery Schedule from the reference hospital. Indeed, there was a high degree of precision regarding annual and daily productivity for most specialties. However, the simulated outcomes were significantly better concerning compliance with maximum response time standards.

Amongst the solutions found by the optimization model, 17 and 8 solutions were selected for conventional and ambulatory surgery, respectively, for being significantly different from the remaining. After running them on the simulation model, one emerged as the best at balancing quality measures. In comparison with the actual Master Surgery Schedule, the optimized schedule significantly reduced the number of patients who wait longer than the established maximum response time (10% and 50% for conventional and ambulatory surgery, respectively). Furthermore, that was achieved by redistributing time blocks allocated to each specialty but without increasing the total number of time blocks per week. The optimized Master Surgery Schedule also led to a more uniform evolution of specialty-specific waiting lists.

In conclusion, the current project demonstrated that optimization-simulation models can accurately reproduce the reality in the health care setting and have the potential to improve efficient use of health care resources. However, further research is warranted in order to develop models with ability to thoroughly consider the inherent complexity of operating theatre management and health care management overall.

Agradecimentos

É com grande satisfação que agradeço a todos aqueles que contribuíram para o desenvolvimento do projeto.

Gostava de agradecer à Adjustt pela oportunidade que me ofereceu e pelos recursos que pôs à minha disposição e sem os quais o presente trabalho não seria possível. Gostava de agradecer em especial a cada membro da equipa, ao Steeve, ao Ricardo, à Ilda e ao Zé.

Queria agradecer ao Professor Almada-Lobo pela orientação dada ao longo de todo o projeto que me permitiu um elevado crescimento tanto ao nível pessoal como profissional.

Por fim queria agradecer à Eduarda por me apoiar sempre, à minha irmã Catarina pela ajuda na revisão da dissertação.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2	Objetivos do projeto	2
1.3	Estrutura da dissertação	2
2	Revisão de Literatura	4
2.1	Planeamento do Bloco Operatório	4
2.1.1	Nível estratégico	5
2.1.2	Nível Tático	5
2.1.3	Nível Operacional	6
2.2	Simulação	7
2.2.1	Tipos de simulação – Simulação em saúde.....	7
2.3	Otimização	9
2.3.1	Planeamento baseado em objetivo único ou em objetivos múltiplos	12
2.4	Métodos de Previsão – <i>Holt-Winters</i>	12
2.5	Considerações Gerais.....	13
3	A <i>urgência</i> de Planear o Bloco Cirúrgico em Portugal.....	14
3.1	Introdução	14
3.2	O SIGIC.....	14
3.3	O SIGIC – alguns indicadores.....	15
3.4	Conclusão	16
4	Desenvolvimento do Modelo de Otimização-Simulação.....	17
4.1	Descrição sumária	17
4.2	O ciclo otimização-simulação	17
4.3	Otimização – <i>Constraint Programming</i>	18
4.3.1	Notação	18
4.3.2	Restrições.....	19
4.3.3	Objetivos.....	23
4.4	Simulação – <i>Discrete event Simulation</i>	24
4.4.1	Notação	25
4.4.2	Processo.....	26
4.4.3	Eventos auxiliares.....	31
4.5	Entrada de Dados	33
4.5.1	Distribuições de probabilidades	33
4.5.2	Previsão da LIC	34
4.5.3	Distribuições discretas.....	35
5	Aplicação ao Caso de Estudo	36
5.1	Tratamento de dados do hospital Caso de estudo	36
5.1.1	Entrada de dados para o modelo de otimização.....	37
5.2	Validação do modelo.....	38
5.3	Criação de novo MSS – Otimização-Simulação.....	43
6	Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro	50
	Referências	52
ANEXO A:	Report de gestão	55
ANEXO B:	Resultados do Regime de Ambulatório	58

1 Introdução

Esta dissertação enquadra-se no âmbito da realização do Projeto de Dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), o qual foi realizado em parceria com a empresa *Adjustt powered by Glinnt*. O objetivo primordial consistiu no desenvolvimento de um modelo holístico de otimização da gestão tática do bloco cirúrgico.

No sentido de aferir a validade e aplicabilidade do modelo desenvolvido, o mesmo foi testado num caso de estudo real.

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

O sector da saúde ocupa atualmente um espaço de destaque na nossa sociedade, tanto em termos económicos, como sociais ou mesmo políticos. É também alvo frequente dos meios de comunicação social, uma vez que a saúde foi e sempre será um tópico sensível e capaz de gerar fortes emoções no público em geral.

No presente clima de instabilidade económica e financeira, há uma pressão constante no sentido de aumentar a eficiência na gestão de recursos, tanto do Estado (com o Sistema Nacional de Saúde), como dos serviços privados. Diminuindo assim a despesa pública e comprometendo o menos possível aquilo que são os direitos constitucionais. Os cuidados de saúde secundários, de forma particular, têm sido obrigados a procurar soluções mais eficientes de gestão hospitalar devido às restrições impostas por um financiamento cada vez mais limitado.

O bloco operatório constitui não só uma das principais fontes de receitas, como também o consumidor de uma significativa parcela do orçamento hospitalar, dada a multiplicidade de recursos envolvidos (Macario 2006). Daí que otimizar a sua eficiência assuma um papel fulcral para garantir a estabilidade e sustentabilidade do hospital e, ao mesmo, tempo assegurar a manutenção da qualidade do serviço prestado. No entanto, o planeamento do bloco operatório padece de inúmeras fragilidades. Por um lado, a incerteza, que caracteriza intrinsecamente os serviços de saúde, surge como um dos principais obstáculos ao seu planeamento eficaz. Entre as diversas fontes de incerteza, contam-se as emergências (Wullink et al. 2007), a duração das cirurgias (Strum et al. 2000) e a disponibilidade de recursos (McIntosh, Dexter, and Epstein 2006). Embora alguns desses fatores estejam por natureza fora do alcance da gestão hospitalar (como as urgências ou duração das cirurgias), as suas consequências negativas podem ser minimizadas com recurso a modernos sistemas de apoio à decisão.

Por outro lado, sendo a estrutura de charneira dos centros hospitalares, o bloco operatório influencia de forma muito significativa uma diversidade de serviços e departamentos com os quais direta ou indiretamente se associa (por exemplo, as enfermarias gerais, os cuidados intermédios e intensivos, os laboratórios, a farmácia, etc.). A intrincada rede de relações e dependências que assim se estabelece acarreta a necessidade de um planeamento cabal que tenha em consideração as necessidades e limitações de cada uma das partes envolvidas. Uma

visão holística é, portanto, crucial para abordar a problemática do planeamento tático das cirurgias, representado através do *Master Surgery Schedule* (MSS).

Em Portugal, a utilização de modelos de planeamento tático-estratégico na gestão do bloco cirúrgico é algo de inaudito, sendo que até mesmo no panorama internacional a sua adoção é limitada. As dificuldades inerentes ao planeamento em saúde que acima se descrevem serão provavelmente um dos principais entraves ao seu desenvolvimento e um elemento dissuasor à sua expansão de outros campos onde tem dado provas de sucesso, como por exemplo a indústria (Sreekanth and Datta 2011).

Nesse sentido, o projeto “Abordagem holística ao problema de otimização do *Master Surgery Schedule*” pretendeu desenvolver uma ferramenta inovadora que permitisse melhorar a eficiência do bloco operatório. Com recurso a sofisticados métodos de simulação e otimização foi criado um sistema que permitisse basear as decisões subjacentes ao MSS em evidência sólida decorrente de processos analíticos, quantitativos e objetivos. Em última instância, através da comparação de diversos cenários hipotéticos e posterior análise das suas repercussões no hospital foi possível tornar mais eficiente não só o todo como também cada uma das suas partes constituintes.

O projeto no qual se baseia a presente dissertação foi desenvolvido na *Adjustt powered by Glintt*, que é uma unidade de negócio pertencente à *Glintt Healthcare*. Atualmente, a empresa presta serviços de consultoria tático-estratégica em unidades de saúde.

1.2 Objetivos do projeto

O objetivo geral da presente dissertação consistiu em desenvolver um modelo de apoio à decisão, com capacidade para gerar e analisar autonomamente múltiplos cenários de MSS. Pretendeu-se que o modelo fosse não só inovador como também ajustado às idiossincrasias e necessidades do sistema de saúde português, nomeadamente no que aos serviços cirúrgicos diz respeito. Uma vez que o projeto foi levado a cabo em ambiente empresarial, houve uma intenção consciente de corresponder aos princípios vigentes na *Adjustt powered by Glintt*.

Os objetivos específicos foram os seguintes:

- Desenvolver um *framework* de análise tática da gestão do bloco operatório;
- Validar o modelo de simulação desenvolvido através da sua aplicação a um caso de estudo real;
- Comparar as diversas alternativas de MSS geradas pelo modelo de otimização com o MSS em vigor no caso de estudo real, em função de determinados indicadores de qualidade.

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação está estruturada em 6 capítulos e diversos anexos. No capítulo 2, é apresentado o Estado da Arte do planeamento do bloco operatório, explicando a abordagem considerada neste trabalho. Segue-se a Revisão de Literatura sobre métodos de simulação e otimização e, por fim, faz-se uma pequena abordagem a ferramentas de *forecasting*, especificamente ao algoritmo de *Holt-Winters*.

O capítulo 3 começa por apresentar uma revisão sobre o Sistema Integrado de Gestão para Inscritos em Cirurgia (SIGIC), após essa revisão é demonstrada a urgência da melhoria do planeamento do bloco operatório.

A forma como o projeto foi desenvolvido surge no quarto capítulo, apresentando-se a metodologia seguida para a construção do modelo de otimização, da simulação e também a forma como os dados foram processados e analisados.

No quinto capítulo inicialmente explicam-se as adaptações necessárias da metodologia ao estudo e apresentam-se os resultados alcançados.

Por fim, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões e ideias para trabalhos futuros na mesma área.

2 Revisão de Literatura

Inicialmente será feita uma introdução ao problema do planeamento do bloco operatório, discutindo-se diferentes estratégias e níveis de planeamento.

Em seguida, descrevem-se os princípios gerais subjacentes à metodologia na qual se baseou o presente trabalho, nomeadamente simulação, otimização e previsão. Quanto ao tema da simulação, são apresentados alguns dos tipos existentes e as características específicas da sua aplicação na área da saúde. Segue-se o tema da otimização, no qual se descrevem diferentes abordagens e ferramentas específicas da sua implementação em saúde. Por fim, apresenta-se o tema da previsão em saúde, dando-se particular enfoque ao algoritmo de previsão usado neste projeto.

Para concluir esta secção, tecem-se algumas considerações gerais, que visam proporcionar uma visão coerente da aplicação da evidência contemporânea ao desenvolvimento do modelo de otimização-simulação.

2.1 Planeamento do Bloco Operatório

A gestão de serviços de saúde tem vindo a afirmar-se como uma das pedras basilares de um sistema de saúde que se pretende sustentável e eficiente, quer a nível nacional, quer internacional. De facto, as ferramentas desenvolvidas ao longo do tempo noutras áreas da Gestão têm vindo a conquistando progressivamente a área da Saúde, uma vez que surgem como as alternativas mais promissoras para conciliar a maximização da produtividade, qualidade do serviço e satisfação dos doentes com a tão almejada minimização dos encargos financeiros.

Sendo sem dúvida uma estrutura central do hospital (Belien, Demeulemeester, and Cardoen 2006), particularmente no caso de centros de referência terciários, a importância estratégica do bloco operatório prende-se com o facto de ser simultaneamente a principal fonte de custos e de receitas hospitalares, de tal forma que o seu desempenho tem um impacto significativo no desempenho do hospital de forma global (Macario 2006). Por outro lado, a necessidade de uma gestão eficiente do bloco torna-se por demais evidente quando se consideram as estimativas referentes ao envelhecimento da população, cujo impacto no consumo de recursos cirúrgicos assume proporções preocupantes (Etzioni et al. 2003). Daí o especial interesse por parte da gestão hospitalar na sua otimização. O bom funcionamento de um bloco cirúrgico requer a articulação de diversos serviços clínicos e não-clínicos, bem como a utilização uma panóplia muito alargada de recursos físicos, humanos e financeiros. Consequentemente, o planeamento do bloco operatório tem necessariamente de ter em consideração uma vasta rede de interligações com serviços com os quais esse se relaciona direta ou indiretamente. A título de exemplo, pode referir-se as unidades pós-cirúrgicas, os recursos humanos, o banco de sangue, o laboratório de análises clínicas ou anatomia-patológica, os cuidados intensivos, o departamento de esterilização de equipamento, entre outros.

Ao mesmo tempo, Erdogan *et al.* (Erdogan et al. 2010) associa aos resultados dos procedimentos cirúrgicos inúmeras fontes de incerteza, entre as quais, a experiência da equipa cirúrgica, as características do próprio doente, a imprevisibilidade das urgências, e a indisponibilidade de equipamentos ou recursos humanos.

Além disso, a gestão do bloco operatório tem de ter em consideração as prioridades e preferências dos vários *stakeholders* envolvidos, as quais entram frequentemente em conflito. A título meramente exemplificativo, considere-se a disparidade entre a primazia concedida pelos gestores à maximização da utilização dos recursos mais dispendiosos e a crescente exigência dos doentes relativamente a tempo de espera e qualidade de serviço.

Devido a tal complexidade, não existe consenso na comunidade académica quanto à forma ideal de abordar o problema. Todavia, a metodologia atualmente mais aceite é porventura a descrita por May et al. (May et al. 2011), que subdivide o problema em três componentes, designadamente operacional, tático e estratégico. Estes relacionam-se entre si através de uma estrutura hierárquica descendente, em que a cada um dos níveis corresponde um período de decisão distinto, conforme ilustrado na Figura 1.



Figura 1 - Níveis estratégicos da gestão hospitalar

2.1.1 *Nível estratégico*

Ao nível de estratégico, são tomadas as decisões cimeiras às quais se subjugará toda a subsequente gestão do bloco operatório. Essas mesmas decisões incluem a definição clara do *case mix* de cirurgias a realizar, bem como o planeamento da capacidade de resposta à procura (May et al. 2011). Em termos de definição do *case mix*, há que ter em conta não só o *mix* como também o volume de doentes a tratar em cada serviço cirúrgico num determinado horizonte temporal. O *mix* de doentes baseia-se em esquemas de *clusters* que utilizam recursos similares, como o *American Diagnosis Related Groups* (DRG), a partir do qual foi criado o sistema utilizado em Portugal: “Grupo de Diagnósticos Homogéneos” (GDH). Este sistema serve de base para a gestão do financiamento aos hospitais, sendo que a produção medida em GDH é ajustada por um índice de *case mix* único contratado *a priori* (resultante da produção cirúrgica e da produção médica), atualizado à atividade realizada no ano anterior. Já no que concerne à capacidade de resposta à procura, o planeamento dos serviços de saúde é geralmente feito a longo prazo (12-60 meses), pelo que se torna premente assegurar que esse planeamento se coaduna com a estratégia global do hospital.

2.1.2 *Nível Tático*

O nível tático sucede-se imediatamente ao nível estratégico e procura rentabilizar ao máximo os recursos disponíveis, obedecendo aos requisitos ditados pelas decisões do foro estratégico.

Ao longo do tempo foram sendo desenvolvidas diferentes abordagens ao problema da alocação de recursos às especialidades. As mais comuns podem ser organizadas em três categorias: *block scheduling*, *open scheduling* e *modified-block scheduling*. A abordagem mais comum é *block scheduling*, que consiste em definir que cada dia está dividido em n *blocks* e a decisão a tomar é a especialidade a atribuir a um *block* e sala específicos. Do conjunto final de decisões, resulta o *Master Surgery Schedule* (MSS), de tipo análogo ao apresentado na Tabela .

Tabela 1 - Exemplo de MSS

	Segunda Manhã	Segunda Tarde	Terça manhã	Terça tarde ...
Sala 1 (urgência)	Especialidade A	-	Especialidade E	Especialidade D
Sala 2	Especialidade B	Especialidade B	Especialidade B	Especialidade B
Sala n	Especialidade C	Especialidade A	-	Especialidade C

Por norma, o MSS é definido como uma plano padrão que se repete com uma periodicidade variável e determinada pela extensão temporal desse mesmo padrão. Mannino et al. (Mannino, Nilssen, and Nordlander 2012) afirmam que desenvolver ou ajustar um MSS é um problema difícil devido à multiplicidade de objetivos a que é essencial atender. A literatura é prolífica em objetivos, podendo não obstante destacar-se o equilíbrio entre as listas de espera de diferentes especialidades, a estabilidade do MSS, a minimização de custos, a maximização de lucros, etc...

Com o desígnio de responder a um problema assaz complexo como a construção de MSS, diversos métodos têm sido experimentados incluindo desde programação inteira a heurísticas. Beliën et al. (Beliën, Demeulemeester, and Cardoen 2006) compara ambos os métodos tendo como objetivo único minimizar a falta de camas, concluindo que a heurística consegue gerar melhores soluções do que a programação inteira no mesmo tempo de processamento. Em contrapartida, Banditori et al. (Banditori, Cappanera, and Visintin) demonstraram que a programação inteira, em contraponto com simulação-otimização, tem um excelente desempenho a aumentar o *throughput ratio*, levando conseqüentemente à redução das listas de espera, sendo que o modelo gerado tinha a limitação de não avaliar a robustez do plano. Nesse sentido, o autor propõe que simulação-otimização é a solução de compromisso, isto é, simulação-otimização é a abordagem que melhor concilia a eficiência e a robustez do MSS.

2.1.3 *Nível Operacional*

Não obstante ao nível operacional serem tomadas as decisões mais elementares e de curto-prazo, é a esse nível que se materializa a incerteza originada nos níveis de planeamento anteriormente descritos. De forma a lidar com a incerteza do problema foram desenvolvidas duas estratégias diferentes, a saber:

Planeamento operacional offline

O planeamento *offline* consiste em determinar antecipadamente o agendamento e a sequência das cirurgias, reservando simultaneamente os recursos necessários à sua execução (equipamento, pessoal, etc.). Intervenções cirúrgicas prioritárias têm garantidos espaços próprios no plano, os quais lhes são atribuídos à medida que vão surgindo.

Planeamento operacional online

O planeamento *online* consiste em atribuir uma data a cada intervenção cirúrgica, sendo as demais variáveis apenas definidas no próprio dia (recursos, hora, etc.). Desta forma, a maior parte das decisões são tomadas numa base diária. É naturalmente ao nível operacional que a incerteza impossível de controlar nos níveis acima se materializa em cirurgias canceladas e reagendadas. No caso de cirurgias urgentes, estas são primeiramente atribuídas à equipa de urgência, sendo que caso não exista disponibilidade cabe ao coordenador do bloco inseri-las na agenda eletiva.

2.2 Simulação

Atualmente, a simulação por computador é uma das áreas mais populares na área da investigação operacional (Koehler, Snyder, and Ord 2001), sendo considerada o método mais fiável e científico para lidar com a estocacidade e complexidade que tipicamente caracterizam os problemas da gestão de serviços de saúde (Guerriero and Guido 2011). Porém, a utilização de simulação por computador na resolução desse mesmo tipo problemas na área da saúde é ainda muito limitada, ao contrário do que se verifica no campo da indústria e da defesa, por exemplo, (Ghani, Monfared, and Harrison 2015, Kroshl, Sarkani, and Mazzuchi 2015). Algumas das dificuldades na implementação dos sistemas de simulação em saúde prendem-se com o desconhecimento e desconfiança demonstrados pelos profissionais de saúde, que derivam sobretudo de a gestão em saúde ser ainda vista como requerendo uma certa flexibilidade e sensibilidade em consequência das matérias envolvidas. De forma a ultrapassar essas barreiras, é necessário promover uma relação próxima e de confiança com os profissionais de saúde, no sentido de validar os modelos e facilitar a aceitação de novas ferramentas de gestão, que poderão melhorar objetivamente a qualidade dos serviços prestados.

2.2.1 Tipos de simulação – Simulação em saúde

Vários métodos de simulação têm sido usados na construção de modelos hospitalares (Gunal 2012). Destacam-se três métodos: *Discrete Event Simulation* (DES), *System Dynamics* (SD) e *Agent Based Simulation* (ABS). As principais características, vantagens e desvantagens destes métodos são sumariadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Comparação entre os três tipos de simulação

Atributos	DES	SD	ABS
	Indivíduo (entidade)	Grupo (<i>cohort</i>)	Indivíduo (agente)
Aleatoriedade	Principalmente estocástico	Principalmente determinístico	Principalmente determinístico
Grelha temporal	Intervalos discretos	Intervalos temporais <i>stepped</i>	Intervalos temporais <i>stepped</i>
	Eventos ditam simulação	Taxas ditam simulação	Ambiente local e agentes ditam simulação
Filas de espera	Explícitas	Explícitas mas em níveis	Implícitas
Regras	Definidas em processos	Definidas em equações diferenciais	Definidas pelos agentes (autonomia)
	Processos definidos	são Taxas são definidas	Não há processos definidos

Discrete event simulation (DES)

DES, o método de inicial simulação no qual todos os outros se baseiam, é usado em sistemas em que as alterações acontecem de forma dinâmica, estocástica e em intervalos discretos. É uma metodologia particularmente eficaz na modulação de sistemas em que há uma estrutura em filas de espera, uma vez que se baseia em entidades que competem por determinados recursos e vão mudando de estado no seio de um sistema. As principais vantagens da aplicação desta metodologia na modelação de hospitais são a seguir elencadas:

- Flexibilidade de resposta a mudanças de escala e grau de detalhe de acordo com as necessidades;
- Ênfase no indivíduo doente em vez de em grupos de doentes;
- Possibilidade de modelar eventos estocásticos que afetam o hospital enquanto sistema (por exemplo, chegadas aleatórias às urgências, consultas, duração de internamento);
- Facilidade de reutilizar componentes modulares na construção do modelo;
- Facilidade de gerir sistemas complexos de filas de espera, com diferentes graus de prioridade e tempos de espera;
- Representação visual do fluxo de doentes, criando um interface mais apelativo e compreensível para o utilizador.

System Dynamics (SD)

SD é um método popular de modelação de sistemas contínuos, que se baseia num conjunto de equações diferenciais que capta alterações instantâneas num sistema dinâmico. Um sistema dinâmico típico pode ser caracterizado por interdependência, interação mútua, feedback de informação, não-linearidade e causalidade circular. SD é conhecido como um método de

pensamento estratégico uma vez que analisa os sistemas partindo do nível mais alto e progredindo de forma descendente até abarcar todo o sistema. Daí que SD considere grupos de doentes e não indivíduos isoladamente, tornando assim o modelo mais simples e menos detalhado.

Na área da saúde, a principal aplicação da modelação SD é na criação de estruturas que permitam avaliar estudos estratégicos, uma vez que os modelos SD são os mais adequados para estudar as complexas inter-relações e interações entre os diversos elementos dos sistemas hospitalares (Dangerfield and Roberts , Lane, Monefeldt, and Husemann 2003). O que os modelos assim gerados perdem em detalhe ganham em visão global e integradora, o que é especialmente importante para planeamento e decisão ao mais alto nível. Em suma, os modelos SD são indicados para resolução de problemas estratégicos, ao passo que os modelos DES estão vocacionados para problemas operacionais.

Agent Based Simulation (ABS)

ABS é um sistema de modelação para sistemas autónomos, adaptativos e dinâmicos que se baseia quer em raciocínio dedutivo quer indutivo. No cerne de um modelo ABS existem objetos autónomos e interativos chamados “agentes”. Embora sejam de certa forma semelhantes às entidades do modelo DES, os agentes são sociais, interagem entre si e vivem num ambiente que influencia as suas ações. De facto, os agentes são capazes de perceber o ambiente que os rodeia e responder de acordo com regras pré-definidas. Estas podem ser extremamente simples ou atingir graus de complexidade próximos do conceito de inteligência artificial.

A utilização do modelo ABS na modelação de hospitais permanece alvo de acesa controvérsia, sendo contudo expectável que, dadas as suas enormes potencialidades, venha a assumir uma posição de destaque. Para já, a sua aplicação restringe-se à modelação de epidemias (Laskowski et al. 2011). Em boa verdade, a metodologia ABS ainda não se expandiu significativamente além da esfera académica, uma vez que mesmo no campo da indústria a sua adoção permanece bastante limitada (Siebers et al. 2010).

2.3 Otimização

A gestão operacional do bloco operatório engloba duas fases: planeamento e agendamento das intervenções cirúrgicas (Magerlein and Martin 1978). Primeiro, o planeamento estabelece a data da cirurgia para cada doente, considerando a disponibilidade de sala e cirurgião. O agendamento diário determina a sequência de intervenções a ter lugar em cada sala e em cada dia, tendo em conta a disponibilidade de recursos materiais e humanos.

Vários sistemas de apoio à decisão têm sido desenvolvidos para auxiliar a gestão do bloco operatório. No entanto, as soluções encontradas são apenas parciais, uma vez que se cingem a certos aspetos no sentido de reduzir a complexidade do problema. Essa mesma complexidade resulta maioritariamente do elevado número de restrições impostas à gestão do bloco cirúrgico, nas quais se incluem aspetos tão diversos como a disponibilidade de pessoal (cirurgiões, anestesistas, enfermeiros, etc.), preferência do cirurgião, prioridade de determinados doentes, disponibilidade de equipamento e versatilidade das salas. Na prática, muitas dessas restrições não são tidas em consideração aquando do planeamento do bloco devido à dificuldade em encontrar uma solução que permita conciliar interesses conflitantes. Obviamente, quanto maior o número de restrições consideradas, mais completo e próximo da perfeição será o modelo, mas também mais complexo e difícil de resolver.

Nesse contexto, *constraint programming* (CP) surge como a ferramenta ideal promissora para auxiliar o planeamento do bloco operatório, no sentido de melhorar a funcionalidade e

eficiência assim como a satisfação do pessoal. De facto, o objetivo primordial de CP é resolver problemas cuja otimização requer múltiplas variáveis e restrições sistemáticas, combinando para isso técnicas provenientes do domínio da investigação operacional, inteligência artificial e diversas linguagens de programação (Apt 2003). Além disso, essa metodologia permite utilizar diferentes modos de funcionamento dentro da árvore de soluções possíveis. De forma sucinta, o modelo baseia-se na aplicação sequencial e sucessiva de restrições que progressivamente desenham uma árvore de decisão, na qual é possível navegar em sentido ascendente ou descendente, de forma a explorar todas as alternativas geradas a cada nível. Assim se conseguem obter soluções exequíveis quer através de um algoritmo de pesquisa mais genérica inicial, quer através de uma pesquisa mais sofisticada do tipo *branch-and-bound*. No entanto, estas pesquisas são frequentemente bastante demoradas.

Entrando em maior detalhe técnico, em CP cada problema é formulado como um *Constraint Satisfaction Problem (CSP)*. Esta representação consiste de forma simples numa sequência de variáveis associadas a um domínio e a um conjunto de restrições. Formalmente, um CSP é definido do seguinte modo $P = (X; D; C)$, sendo que:

- X corresponde a um número de variáveis $X = (x_1; x_2; \dots; x_n)$.
- D corresponde a um dado número de domínios $D = (d_1; d_2; \dots; d_n)$ tais que $x_i \in d_i$ e d_i é um conjunto de valores para $i = 1; \dots; n$.
- C corresponde a um determinado número de restrições $C = (c_1; c_2; \dots; c_m)$ e uma restrição c_j é definida como um conjunto do produto Cartesiano de domínios d_j
- Uma solução de um CSP consiste na atribuição $\{x_1 \rightarrow a_1; \dots; x_n \rightarrow a_n\}$ tal que $a_i \in d_i$ para $i=1$ até n e $(a_{j1}; \dots; a_{jn_j}) \in c_j$

Inicialmente é gerado um espaço com base nos domínios das variáveis, o qual é amplo e contém um número finito de soluções (Estado 0 da figura Figura 2). Esse espaço vai diminuindo progressivamente com base nas restrições previamente definidas (Estado 1 da Figura 2). Quando se atinge o ponto em que é impossível aplicar mais restrições, o modelo atribui um valor arbitrário a uma variável e volta a propagar as restrições de tal forma que o espaço de procura se vai tornando cada vez mais limitado. Esse processo é repetido sucessivamente, o que resulta na criação de uma árvore, na qual são evidentes as decisões que o modelo vai tomando sequencialmente (Figura 2). É de referir que a partir do momento que o modelo reconhece que uma determinada solução é inválida, esse ramo de decisão é imediatamente abortado. Por isso, o desempenho de um CSP será tanto melhor quanto mais precocemente for possível ao modelo distinguir os ramos inviáveis dos que vale a pena explorar, sendo que essa capacidade depende sobremaneira das restrições definidas à partida. Daí que a definição cuidadosa das restrições seja crucial para evitar que o modelo perca tempo a explorar soluções que se vêm a revelar infrutíferas em níveis de análise subsequentes.

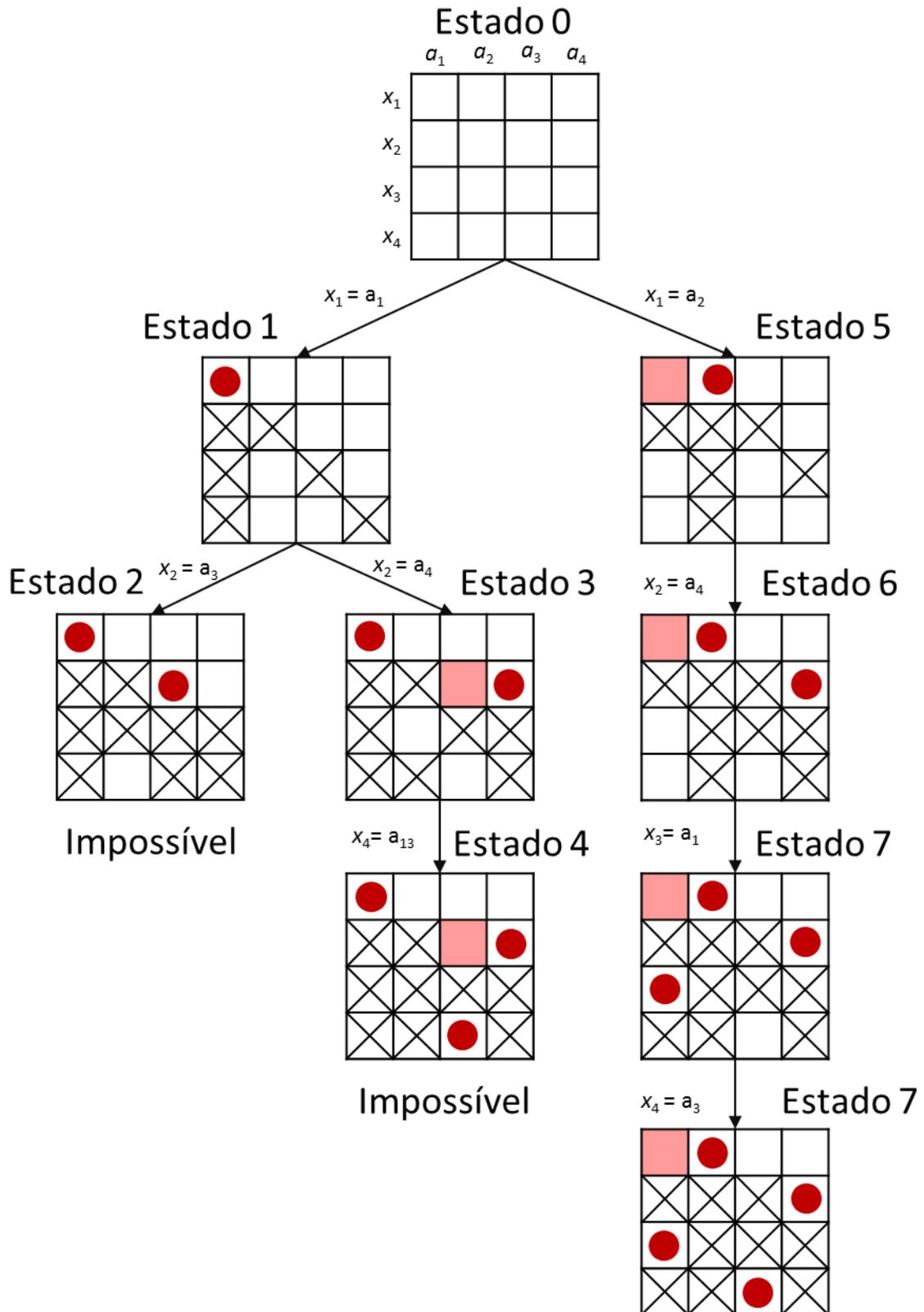


Figura 2 – Esquema de procura de novas soluções de CP, a matriz representa o espaço de soluções, sendo que cada linha é uma variável e as colunas representam o seu domínio. Células cortadas significam que não podem ter nenhum valor atribuído, células sombreadas representam as escolhas que CP tomou e os círculos representam valores atribuídos.

Embora globalmente idêntico, o planeamento do bloco operatório é influenciado em maior ou menor grau pelas circunstâncias e características específicas de cada hospital. Daí que os modelos modulares pareçam dar bons resultados pela flexibilidade com que módulos particulares podem ser adicionados ou removidos mantendo a estrutura charneira do modelo

primordial. Assim, utiliza-se o número mínimo de módulos e evita-se executar o modelo completo sistematicamente em todos os casos.

Apesar de haver uma estreita relação entre a duração e o custo das cirurgias, há outras variáveis a ter em consideração nessa díade (como por exemplo, o pagamento por número de casos que se verifica em certos hospitais). No planeamento do bloco operatório é, por isso, fulcral ter em conta a otimização do tempo e do custo simultaneamente.

2.3.1 Planeamento baseado em objetivo único ou em objetivos múltiplos

A gestão do bloco cirúrgico, à semelhança da maioria dos problemas do mundo real, é complexa. Os métodos de otimização e simulação permitem capturar as relações e interações que se estabelecem entre as várias entidades dos sistemas do mundo real, de forma a permitir replicá-los num modelo e em última instância otimizar o seu desempenho.

As principais limitações desses métodos advêm do facto de geralmente se cingirem a uma medida única de desempenho e exigirem computação avançada. Várias abordagens meta-heurísticas têm sido usadas no sentido de aumentar a eficiência dos modelos de simulação-otimização (Lin, Sir, and Pasupathy 2013).

Sendo um ambiente complexo, o bloco operatório requer a otimização de múltiplos e aparentemente inconciliáveis aspetos. No entanto, a simulação-otimização multiobjectivo é um processo moroso e complicado, o que tem limitado a sua utilização (Jian et al. 2012, Whittaker et al. 2009).

Neste trabalho, foi usado um método multiobjectivo pois sendo a gestão do bloco operatório tão complicada é impossível definir apenas um objetivo para avaliar a qualidade das soluções. Como forma de comparar soluções o modelo calcula a primeira linha da fronteira de *pareto* constituída pelas soluções consideradas ótimas. Uma solução é considerada ótima se não existe uma outra solução que seja melhor ou igual em todos os objetivos, e melhor em pelo menos um dos objetivos.

2.4 Métodos de Previsão - Holt-Winters

Um dos principais obstáculos ao desenvolvimento de estratégias de planeamento fidedignas do bloco operatório é a incerteza inerente aos serviços de saúde de forma geral e mais especificamente aos cuidados cirúrgicos. Ao contrário das metodologias determinísticas, as abordagens estocásticas tentam explicitamente incorporar essa mesma incerteza ou variabilidade. Os dois principais tipos de incerteza que têm sido estudados na literatura são a associada à chegada de utentes e à duração das cirurgias. No primeiro ponto incluem-se não só a chegada dos doentes à urgência ou a entrada para a lista de espera de cirurgias eletivas, como também o atraso na chegada dos cirurgiões no início da intervenção cirúrgica. Já o segundo aspeto refere-se aos desvios entre a duração real e estimada das atividades relacionadas com certa intervenção cirúrgica.

As matérias relacionadas com Saúde estão por natureza sujeitas a inúmeras influências diretas ou indiretas, dizendo-se, por isso, que se comportam de forma estocástica. Prever com acuidade eventos e necessidades de cuidados futuros no sentido de planear com antecedência a utilização eficiente de recursos torna-se deveras difícil. Situação análoga verifica-se na previsão de fenómenos climatéricos ou na produção de energias renováveis, de tal forma que os mesmos modelos estocásticos podem ser adaptados à previsão em Saúde de forma geral e à previsão da entrada de doentes para a lista de espera, no caso específico deste trabalho.

Harper (Harper 2002) apresenta um modelo detalhado de simulação da capacidade de um hospital através da análise de cenários. A participação de vários hospitais na fase de

desenvolvimento resultou numa estrutura genérica que permite incorporar incerteza ou tendência nos perfis de chegada de determinados grupos de doentes bem como a variabilidade da duração quer das cirurgias quer dos internamentos. Persson and Persson (Persson and Persson 2010) desenvolveram um modelo de simulação baseado em eventos discretos para estudar a forma como as políticas de atribuição de recursos afetavam o tempo de espera e utilização dos recursos da urgência, tendo em conta a incerteza na chegada dos doentes e a variabilidade da duração da cirurgia.

O modelo *Holt-Winters* (HW) aborda de uma forma pragmática o problema da modelação de séries temporais sazonais (Hanzak). A formulação básica do modelo HW foi introduzida em 1960 (Winters 1960) e ampliada posteriormente de modo a permitir incluir múltiplos padrões sazonais (Taylor 2003). Formulações aditivas ou multiplicativas podem ser usadas consoante as características do sistema a modelar (Hyndman et al. 2002, Hyndman 2008).

Além dos tipos de incerteza previamente mencionados, outros há que têm vindo a assumir uma posição de destaque, nomeadamente a incerteza associada aos recursos (por exemplo, a indisponibilidade de um determinado instrumento que causa atrasos ou cancelamentos de cirurgias).

Embora a incerteza associada à prestação de cuidados cirúrgicos seja inevitável, é atualmente possível minimizar o seu impacto negativo através de métodos de simulação, otimização e previsão que permitem lidar com a estocacidade e assim contribuir para o planeamento mais eficiente do bloco operatório.

2.5 Considerações Gerais

As diferentes metodologias descritas na revisão de literatura foram aplicadas em diferentes fases do desenvolvimento do presente trabalho.

Tendo em conta a complexidade do planeamento do bloco operatório e o seu impacto no desenvolvimento do MSS, optou-se por um modelo estocástico de otimização-simulação. Para o modelo de otimização, foi escolhido CP por ser uma abordagem com grande potencial para lidar com múltiplas restrições. No caso do modelo de simulação, deu-se primazia à abordagem DES, uma vez que esta lida bem com a estocacidade. Já para a previsão da entrada de doentes para a LIC foi utilizado o método de previsão *Holt-Winters*, visto que é um método simples e adequado para fenómenos com sazonalidade e tendência.

No capítulo 5, é explorada em maior detalhe a forma como os métodos de otimização-simulação foram aplicados ao caso de estudo.

3 A urgência de Planear o Bloco Cirúrgico em Portugal

3.1 Introdução

A existência de listas de espera é um dos pontos mais controversos de um sistema nacional de saúde e decorre necessariamente do desequilíbrio entre oferta e procura, isto é, da inadequação da prestação de serviços de saúde às necessidades da população. A questão das listas de espera assume particular importância no domínio cirúrgico, e a escassez de recursos é frequentemente justificção para a incapacidade de corresponder à crescente procura. Do ponto de vista económico, as listas de espera e o tempo de espera a elas associado funcionam como mecanismos de racionamento implícito. Embora se trate de um tópico sensível e mediático e, por isso, figura comum nos discursos políticos, o problema das listas de espera em cirurgia permanece largamente por resolver. Os recorrentes programas de recuperação de listas de espera conseguiram resultados positivos mas efémeros à custa de um consumo de recursos absolutamente insustentável a longo prazo. De facto, a atividade adicional produzira apenas ganhos transitórios e que rapidamente perderam significado à medida que a lista de espera se avolumava com o retomar do habitual funcionamento da instituição (Pita Barros 2013).

3.2 O SIGIC

O SIGIC – Sistema Integrado de Gestão para Inscritos em Cirurgia – foi lançado em 2004 com o objetivo de resolver o problema das listas de espera para intervenção cirúrgica. Até então não havia informação fidedigna relativamente aos tempos de espera e mesmo à dimensão das listas de espera, o que dificultava a definição de uma estratégia efetiva de resolução do problema. O SIGIC foi inovador por recorrer a um sistema de informação moderno e centralizado para alterar de forma estrutural e sustentável a resposta do Sistema Nacional de Saúde às listas de espera em cirurgia.

Os objetivos do SIGIC são definidos em termos de redução dos tempos de espera para cirurgia, o que por si só altera o foco de discussão pública sobre as listas de espera – já não se discute a dimensão das listas de espera, mas sim os tempos de espera.

Para alcançar os seus objetivos, o SIGIC teve de criar um sistema de informação auxiliar que é alimentado por todos os hospitais, o SIGLIC – Sistema Informático de Gestão da Lista de Inscritos para Cirurgia. A informação relativa à atividade cirúrgica programada e à realizada pelos serviços de urgência é então obrigatoriamente registada e transferida para o SIGLIC, que está centralizado na ACSS. O atual sistema de gestão de listas de espera estabelece a transferência de doentes prioritários em 4 meses e doentes não prioritários em 9 meses.

Além de regular toda a atividade cirúrgica programada, o SIGI abarca todas as etapas do processo de gestão do utente, desde a sua inscrição na lista de espera até à alta hospitalar, em que o processo é encerrado.

Assim, o SIGIC estabelece regras a serem obedecidas aquando do agendamento de intervenções cirúrgicas, com o intuito de assegurar a equidade dos critérios aplicados a todo e

qualquer doente. A primeira ordem de prioridade é da responsabilidade do médico especialista em função e depende da doença e problemas associados, da patologia de base, da gravidade, da autonomia do doente e da velocidade de progressão da doença. Consoante o resultado dessa mesma avaliação global, o doente vai ser classificado de acordo com o nível de risco e a urgência de intervenção cirúrgica que lhe é inerente. É daí que surge o conceito de tempo máximo de resposta garantida (TMRG), que define o período de tempo em que é expectável que o doente seja operado e que é variável dependendo do grau de prioridade cirúrgica (Tabela 3).

Tabela 3 – Níveis de prioridade clínicos do SIGIC e respetivos TMRG

Prioridade clínica	Grupo de patologia	TMRG (dias)
1	Geral	270
1	Oncológico	60
2	Geral	60
2	Oncológico	45
3	Geral ou Oncológico	15
4	Geral ou Oncológico	3

No caso de empate em termos de prioridade, é usado um critério de antiguidade, sendo conferida vantagem ao doente com tempo de espera efetivo superior.

Quando o hospital não tem capacidade de resposta dentro do horizonte temporal exigido pelo TMRG, é oferecido ao doente um vale cirurgia que lhe permitirá usufruir do serviço pelo qual aguardava numa outra instituição (pública ou privada), estando os custos cobertos pelo SNS.

Os dados disponíveis acerca do impacto imediato da introdução do SIGIC (2005-2006) apontam para o sucesso do SIGIC na redução dos tempos de espera, o que poderá estar associado a ganhos de eficiência. No entanto, é impossível distinguir com acuidade a contribuição de diferentes medidas de reestruturação dos cuidados de saúde que foram contemporâneas do SIGIC (por exemplo, a transformação em hospitais EPE) (Pita Barros 2013).

Por outro lado, uma análise mais detalhada desse mesmo período inicial revelou a ausência de quaisquer ganhos de eficiência em termos de custos e produtividade física do bloco operatório. Ora esses indicadores tornam-se cada vez mais prementes no presente contexto económico-financeiro, em que, como já mencionado, há uma crescente pressão para diminuir os custos associados ao sector da saúde e simultaneamente preservar a qualidade dos serviços prestados.

3.3 O SIGIC - alguns indicadores

A eficiência da gestão do bloco operatório torna-se por demais evidente quando se analisam os dados mais recentes do SIGIC. A entrada de novos doentes para a lista de inscritos para cirurgia tem aumentado continuamente desde que começou a monitorização sistemática, contabilizando-se acima de 319 mil entradas no primeiro semestre de 2012, o que representa um aumento de 1.8% e 41.5% face ao período homólogo e face ao primeiro semestre de 2006, respetivamente. Ao invés, a lista de inscritos para cirurgia, que representa o acumulado de episódios a aguardar cirurgia, tinha vindo a decrescer desde a instauração do SIGIC. No entanto, desde Dezembro de 2011 que essa tendência se inverteu registando-se então um aumento de 11.2% em relação ao ano anterior. No primeiro semestre de 2012 a lista continuava a ter mais inscritos do que no primeiro semestre de 2011, mas já tinha diminuído 3.3% face a 31 de Dezembro de 2011 (ACSS 2012).

O comportamento da mediana do tempo de espera para cirurgia assim como do número de episódios em lista de espera que ultrapassam os tempos máximos de resposta garantidos é idêntico ao da lista de inscritos para cirurgia, refletindo a incapacidade do sistema de responder eficazmente ao aumento da procura (ACSS 2012).

No final do primeiro semestre de 2012, 53% dos doentes estavam à espera há mais de 2 meses, o que traduzia um aumento de 2.5% relativamente ao período homólogo. Este indicador merece especial atenção visto que a gestão da lista de espera se torna mais eficiente quando o tempo de espera ultrapassa os três meses, com evidentes repercussões a nível da qualidade dos serviços prestados e dos respetivos custos (ACSS 2012).

As notícias veiculadas pelos meios de comunicação social consubstanciam a dimensão do problema. A título de exemplo, 266 doentes viram as suas cirurgias oncológicas serem canceladas por falta de camas muito recentemente (Borja Santos 2015). Multiplicam-se as vozes alertando para a falta de camas, de meios técnicos e de recursos humanos, em consequência da progressiva redução do financiamento e orçamento dos serviços de saúde.

3.4 Conclusão

Com um panorama preocupante como o acima descrito, será o cerne do problema verdadeiramente a falta de recursos e meios ou a inadequada gestão daqueles que estão disponíveis? É certamente uma questão geradora de controvérsia e de muito difícil senão mesmo impossível resposta. Provavelmente ambos os fatores contribuem de forma variável dependendo das circunstâncias de cada instituição, sendo deveras complexo avaliar a influência de cada um deles isoladamente. Além disso, os hospitais de forma geral e o bloco cirúrgico em particular são geridos e constituídos por pessoas, de modo que a subjetividade de cada indivíduo e as próprias relações interpessoais têm de ser tidas em consideração.

Mais importante que determinar a causa é sim descobrir soluções inovadoras para um problema que já se tem prolongado no tempo, apesar das inúmeras tentativas de resolução. É, por isso, urgente desenvolver ferramentas que permitam dotar o Sistema Nacional de Saúde de capacidade de resposta à crescente procura crescente de intervenções cirúrgicas. A melhor gestão do bloco operatório com recurso a modernos sistemas de simulação e otimização, que têm provas dadas no campo da indústria, é porventura uma solução inteligente para aumentar a eficiência e assim melhorar a prestação de cuidados cirúrgicos à população.

O MSS é a pedra basilar do bloco operatório, na medida em que nele se define a forma como decorrerá não só a atividade cirúrgica, como também o funcionamento de todas as unidades associadas (Litvak and Long 2000). Assim sendo, o MSS tem um impacto muito significativo na utilização de múltiplos recursos, tais como camas, pessoal, equipamento especializado, imagiologia, etc. A gestão eficiente dessa panóplia de recursos é fulcral para minimizar os custos e melhorar a qualidade e produtividade do bloco operatório tão em voga nos dias que correm.

No entanto, as opiniões divergem quanto à forma ideal de construir MSS, sendo a literatura prolífica em alternativas baseadas em diferentes tipos de prioridades (Belien, Demeulemeester, and Cardoen 2006, Agnetis et al. 2014, Guerriero and Guido 2011, Ozkarahan 2000, el-Darzi et al. 1998, Dexter, Macario, and O'Neill 2000). Os problemas de planeamento e agendamento de cirurgias são então um dos principais entraves à gestão eficiente do bloco operatório e, por acréscimo, de toda a estrutura hospitalar que dele depende. Daí que melhorar a eficiência da gestão do bloco cirúrgico passe necessariamente por otimizar o MSS que a ele preside, tendo sido essa a motivação conducente ao projeto que aqui se descreve.

4 Desenvolvimento do Modelo de Otimização-Simulação

4.1 Descrição sumária

Uma vez concluída a revisão da literatura (ver Capítulo 2) e identificados os objetivos do trabalho, procedeu-se à definição dos indicadores de qualidade destinados à avaliação do MSS. Esses foram determinados com base no parecer de diversos profissionais da área e nesse sentido foi desenvolvido um *framework* de análise que está apresentado no Anexo A. Em seguida, procedeu-se ao desenvolvimento do modelo de simulação-otimização, o qual abaixo se descreve em pormenor. O modelo de simulação foi depois validado usando o MSS em vigor no centro hospitalar de referência. Diferentes MSS foram geradas através do modelo de otimização, sendo o impacto na gestão do bloco operatório dos diferentes planos testados pelo modelo de simulação. Finalmente, procedeu-se à análise comparativa dos vários MSS hipotéticos e do MSS real a nível da eficiência, em termos latos, do bloco operatório, usando para isso os indicadores de qualidade definidos *a priori*.

4.2 O ciclo otimização-simulação

Inicialmente, é criado um conjunto de dados com instruções que o modelo de otimização terá necessariamente de cumprir em virtude das limitações e características de um determinado bloco operatório. Essas indicações de complexidade variável são depois interpretadas e convertidas em restrições pelo modelo de otimização. Através de um processo analítico, o modelo de otimização gera um MSS que obedece a todas as restrições previamente definidas. Ao mesmo tempo, são criadas a lista de inscritos para cirurgia (LIC) e a chegada de doentes urgentes. O MSS é depois executado pelo modelo de simulação, que o simula para uma população hipotética, criada aleatoriamente a partir das distribuições obtidas da análise dos dados reais do hospital em causa. Os resultados simulados da aplicação do MSS são analisados pelo modelo de otimização, o qual cria novas restrições que orientam o espaço de procura. Essas restrições são adicionadas às anteriormente consideradas e daí poderá resultar um novo MSS, o qual se espera que responda melhor do que o anterior em determinados parâmetros devido às novas restrições que foram adicionadas. No final de todas as replicações de cada MSS, o modelo de otimização avalia se é adequado continuar o ciclo e adicionar mais restrições ou dar o processo por terminado. Trata-se, portanto, de um ciclo de melhoria contínua da qualidade e eficiência, que radica num modelo de otimização-simulação autónomo e versátil, com capacidade de incorporar restrições específicas de um dado centro hospitalar. Na Figura 2 está apresentado um esquema do processo acima referido.

No final do ciclo é calculada a primeira linha da fronteira de *pareto* onde são dispostas as soluções não dominadas, isto é, para as quais não existe nenhuma outra solução que seja pelo menos igual em todos os objetivos e melhor nalgum deles.

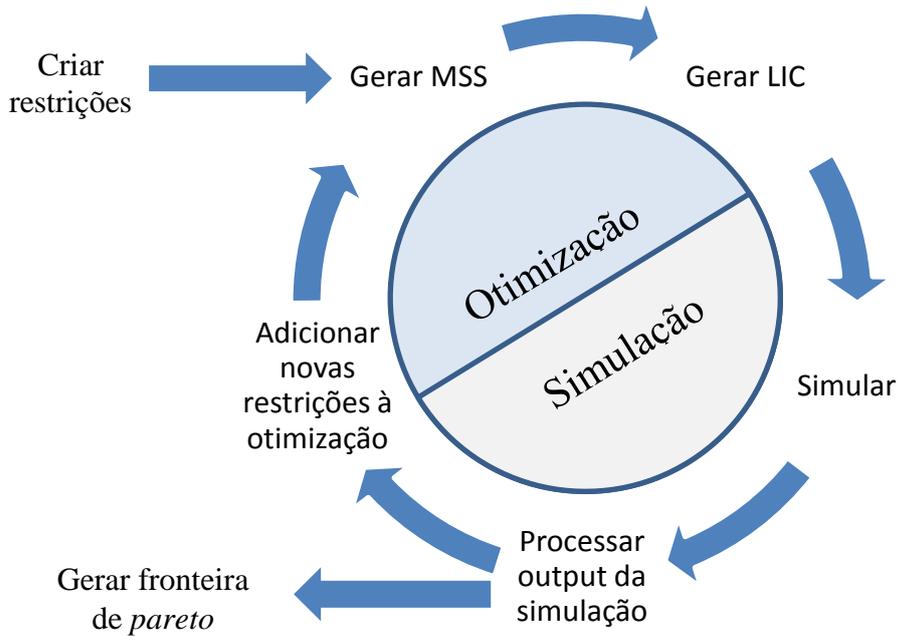


Figura 3 - Esquema de funcionamento do modelo de otimização-simulação

4.3 Otimização - *Constraint Programming*

O problema foi considerado em três níveis distintos, nos quais são aplicadas restrições de forma sequencial. Inicialmente, é decidido a nível estratégico a oferta semanal de cada especialidade. Em seguida, essa oferta semanal é dividida em dois períodos – manhã e tarde – obtendo-se no final um mapa semanal de ocupação do bloco por cada especialidade discriminado em unidades de tempo equivalentes a meio-dia. Por fim, resta atribuir espaço físico (isto é, salas) ao plano anteriormente gerado.

Para o desenvolvimento do modelo de otimização utilizou-se *Gecode*®, que consiste num *kit* de programação em C++ de *Constraint Programming* (CP), explicada na secção 2.3. Este *kit* foi incluído no *software Visual Studio C++*®.

Nos pontos seguintes serão abordados em detalhe alguns aspetos do modelo de otimização, designadamente a notação (parâmetros, índices e variáveis de decisão) em 4.3.1, as restrições em 4.3.2 e os objetivos em 4.3.3.

4.3.1 Notação

Conjuntos

R – Conjunto das salas disponíveis

S – Conjunto das especialidades

W – Semanas

D – Dias da semana ($d = 0 \Leftrightarrow$ segunda-feira, $d = 1 \Leftrightarrow$ terça-feira, ...)

B – Blocos temporais $\left\{ \begin{array}{l} \text{se bloco temporal} = \text{manhã} : j = 0 \\ \text{se bloco temporal} = \text{tarde} : j = 1 \end{array} \right.$

$no_Work_{s,d,b}$ – Se a especialidade s não pode trabalhar no bloco temporal b no dia d
 $\begin{cases} \text{Se não pode trabalhar} = 1 \\ \text{Se pode trabalhar} = 0 \end{cases}$

$Compatible_{s,r}$ – Compatibilidade da especialidade s com a sala r $\begin{cases} \text{compatível} = 1 \\ \text{não compatível} = 0 \end{cases}$

$Everyday_work_s$ – Indica se é obrigatório que a especialidade s tenha espaço de bloco operatório todos os dias

$Max_concurrent_blocks_s$ – Número máximo de salas em simultâneo que a especialidade s pode trabalhar.

Min_blocks_s – Número mínimo de salas de bloco que a especialidade s pode trabalhar por semana

Max_blocks_s – Número máximo de salas de bloco que a especialidade s pode trabalhar por semana

Considerem-se as seguintes variáveis de decisão principais:

$X_{r,b,d,w}$ - Especialidade que ocupa a sala r , no bloco temporal (Manhã/Tarde) b , no dia da semana d , da semana w .

$Y_{s,b,d,w}$ – Número de salas ocupadas pela especialidade s , no bloco temporal (Manhã/Tarde) b , no dia da semana d , da semana w .

$Z_{s,w}$ - Número de salas ocupadas pela especialidade s na semana w .

Variáveis de decisão auxiliares

$A_{w,s,d}$ – número de salas ocupadas pela especialidade s , no dia da semana d , da semana w .

4.3.2 Restrições

As restrições (1) a (4) definem o domínio das variáveis

$$X, Y, Z \geq 0 \quad (1)$$

$$X \leq N_especialidades \quad (2)$$

$$Y \leq Max_concurrent_blocks \quad (3)$$

$$Z \leq N_Rooms \quad (4)$$

Na Restrição (5) impõe-se que se a especialidade estiver definida como trabalhando todos os dias, o número de salas ocupado por essa especialidade por dia tem de ser superior a 0.

$$A_{s,d,w} > 0 : s \in Everyday_work, d \in D, w \in W \quad (5)$$

Máximos diários pelo número de salas

Na Restrição (6) é imposto um número máximo de salas que cada especialidade pode ocupar em cada dia e semana com base no plano de trabalho parametrizado de cada especialidade.

$$\sum_{d=0}^6 Y_{s,b,d,w} = A_{w,s,d}, s \in S, d \in D, b \in B : no_work_{s,d,b} = 0, w \in W \quad (6)$$

Restringir mínimo e máximo semanal natural da especialidade;

Nas Restrições (7) e (8) são definidos os valores máximos e mínimos de períodos temporais e salas que cada especialidade pode trabalhar numa semana.

$$Z_{s,w} \leq \text{Max}_{\text{blocks}_s}, \forall s \in S, w \in W \quad (7)$$

$$Z_{s,w} \geq \text{Min}_{\text{blocks}_s}, \forall s \in S, w \in W \quad (8)$$

Filtrar especialidades que não trabalham em determinado bloco temporal;

De acordo com a Restrição (9) se uma especialidade tem definido que em certo período temporal de um dado dia não trabalha então a quantidade de salas a ocupar nesse período é 0.

$$\text{No_Work}_{s,d,b} = 1 \Rightarrow Y_{s,b,d,w} = 0, \forall s \in S, d \in D, b \in B, w \in W \quad (9)$$

Restringir número de salas utilizadas em cada instante de cada especialidade

Na Restrição (10) impõe-se o limite máximo de utilização instantânea que cada especialidade pode ter com base nas parametrizações.

$$Y_{s,b,d,w} \leq \text{max_concurrent_blocks}, \forall s \in S, d \in D, b \in B, w \in W \quad (10)$$

Limitar especialidades possíveis em cada sala

A Restrição (11) difere das anteriores, dado que neste caso é aproveitada uma funcionalidade do *Gecode* que permite a definição de restrições de domínio. É então definida uma restrição onde se define para cada semana, dia, bloco temporal e sala quais são as especialidades possíveis.

$$Z_{w,d,b,r} \in \text{Compatible}_{s,r}: w \in W, d \in D, b \in B, r \in R \quad (11)$$

Restringir quantidade de blocos tendo por base as reuniões das salas possíveis para as combinações de especialidades;

Começa-se por apresentar um exemplo de teste para explicar esta restrição. Na Tabela 4 são apresentadas 6 especialidades que serão alocadas em 5 salas. Na tabela os asteriscos representam que aquela sala é compatível com a especialidade.

Tabela 4 - Exemplo de compatibilidade de especialidades com salas

	Sala 1	Sala 2	Sala 3	Sala 4	Sala 5
Especialidade 1	*	*			
Especialidade 2		*	*		
Especialidade 3				*	
Especialidade 4				*	*
Especialidade 5			*		
Especialidade 6				*	*

De seguida, e de forma iterativa, será explicado como se aplica a restrição (12) que pretende gerar grupos de especialidades que utilizam as mesmas salas e, com isso, restringir de forma muito fina o número de salas que essas especialidades podem utilizar. A restrição a aplicar será a equação 12.

Seja S1 um subconjunto de especialidades que têm alguma sala compatível em comum

Seja R1 um subconjunto de salas que contem as salas compatíveis com as especialidades S1

Seja N_R1 o número de salas do conjunto R1

$$\sum_{s=1}^S Y_{s,b,d,w} < N_{R1} : s \in S1, \forall d \in D, b \in B, w \in W \quad (12)$$

Começando pela especialidade 1 (Figura 4), como tem apenas duas salas compatíveis, a Restrição (12) define que o número de salas utilizadas simultaneamente pela especialidade 1 é inferior a 3.

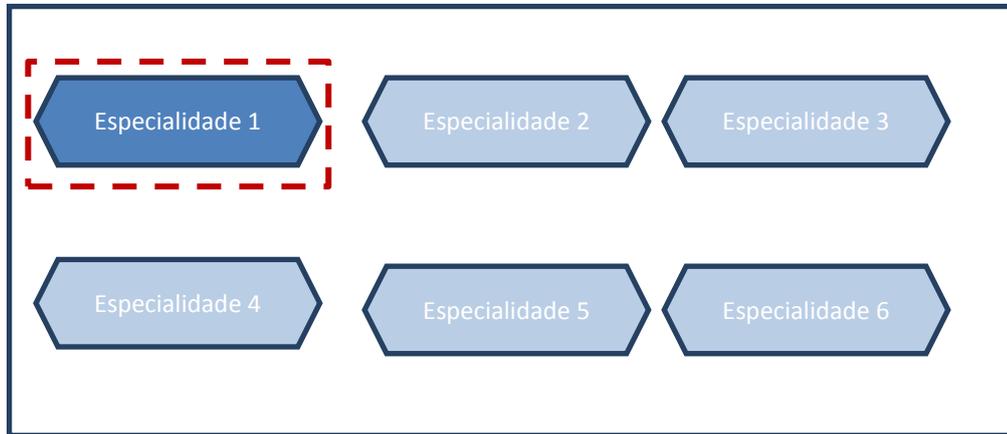


Figura 4 - 1º passo da 1ª iteração da restrição (12)

De seguida, de entre as salas compatíveis com a especialidade 1 (neste caso, sala 1 e 2), o modelo verifica quais as especialidades compatíveis com ambas as salas. Neste caso são as especialidades 1 e 2 (Figura 5). Para esse conjunto de especialidades o modelo vai definir que o número das salas utilizadas em simultâneo pelas especialidades 1 e 2 é inferior a 4 (salas 1, 2, 3 compatíveis com essas especialidades).

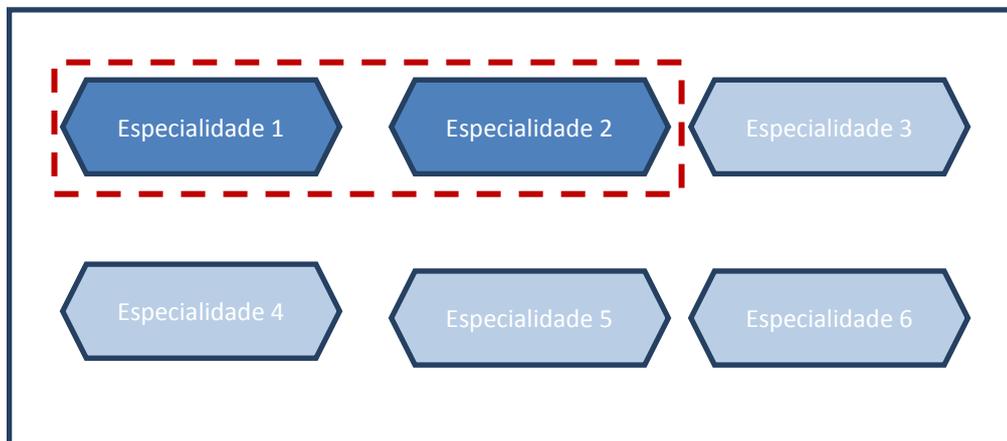


Figura 5 - 2º passo da 1ª iteração da restrição (12)

O processo de propagação das especialidades às salas é repetido e os novos subconjuntos são:

Especialidades: {1, 2, 5}

Salas: {1, 2, 3}

De novo é definida uma restrição onde o número das salas utilizadas simultaneamente pelas especialidades {1, 2, 5} (Figura 6) inferior 4.

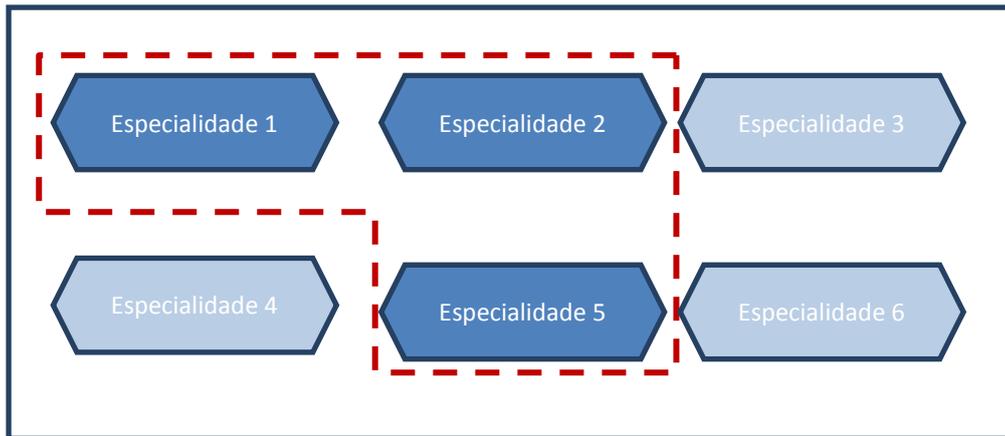


Figura 6 - 3º passo da 1ª iteração da restrição (12)

Ao tentar propagar-se mais uma vez as salas às especialidades, e não sendo acrescentada qualquer especialidade nova, dá-se por terminado este subconjunto, e recomeça-se o processo com a especialidade 2 (Figura 7).

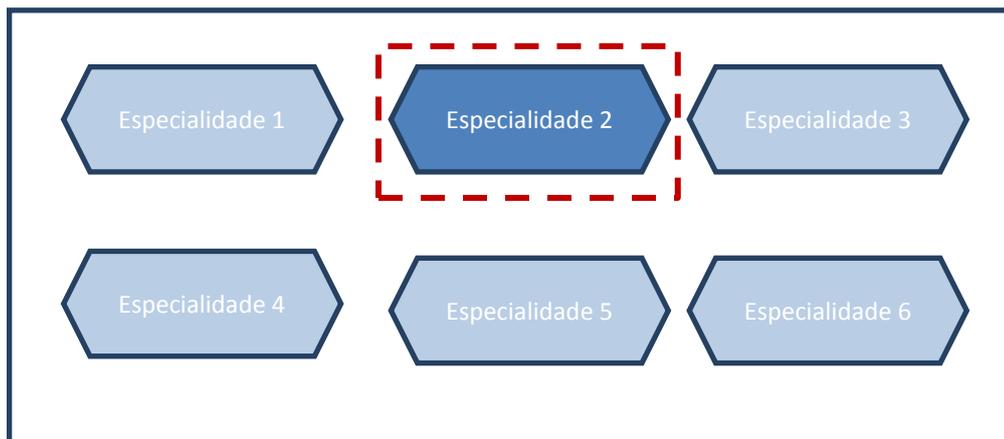


Figura 7 - 1º passo da 2ª iteração da restrição (12)

É aplicada a restrição de que o número de salas a serem utilizadas em simultâneo pela especialidade 2 é limitada a duas, e ao fazer a propagação chega-se a uma situação idêntica à do 2º passo da 1ª iteração. Daí que não se proceda à explicação desse processo.

Volta-se a recomeçar com nova especialidade, desta vez a 3, que só apresenta uma sala compatível (Figura 8).

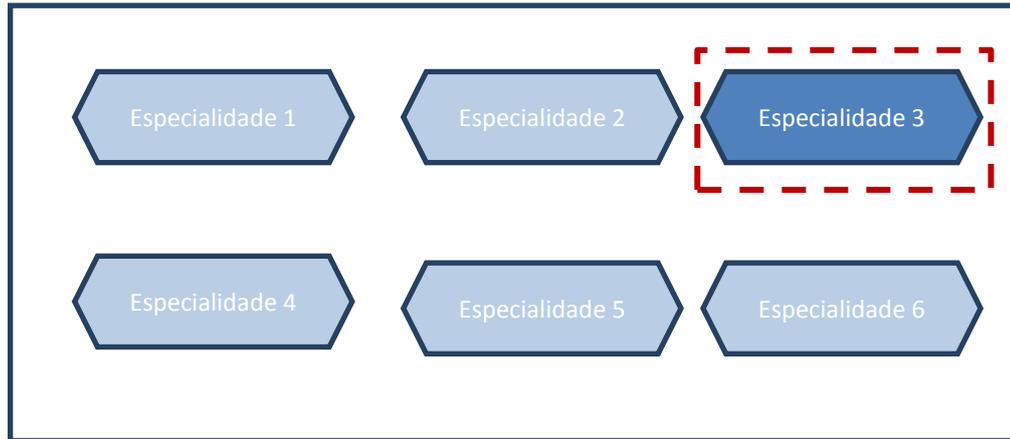


Figura 8 - 1º passo da 3ª iteração da restrição (12)

Ao propagar as salas para as especialidades chega-se a um novo subconjunto onde é definido que a especialidade {3,4, 6} só podem no máximo utilizar 2 salas de cada vez (Figura 9).

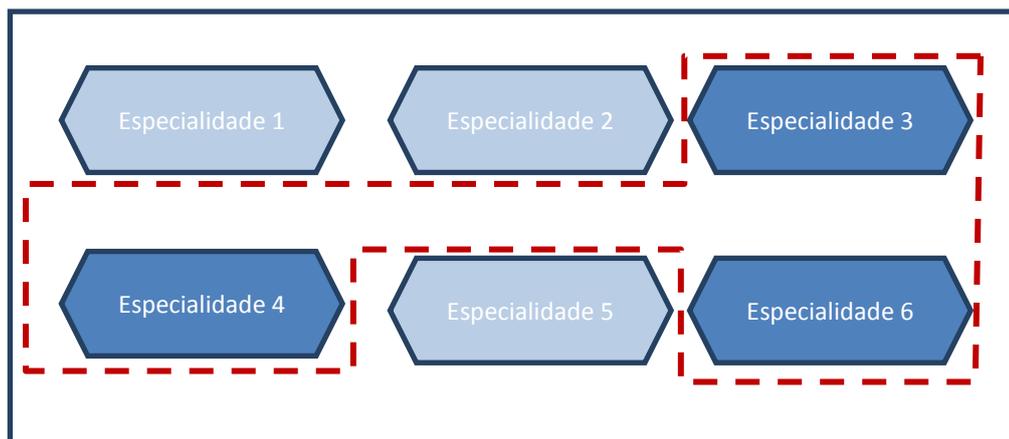


Figura 9 - 2º passo da 3ª iteração da restrição (12)

Número máximo de blocos inter-grupos;

Para cada especialidade é gerado um conjunto com as especialidades que podem utilizar as mesmas salas: $Specs_s$, que permitirão definir o número máximo de salas inter-grupos Restrição (13)).

Seja $Roomscompatible_s$, um subconjunto de salas compatíveis com cada especialidade

$$\sum_{s=0}^S Y_{s,b,d,w} \leq Roomscompatible : s \in Specs, b \in B, d \in D, w \in W \quad (13)$$

4.3.3 Objetivos

Na Tabela 5 explicitam-se os objetivos introduzidos no modelo e que serviram de base às restrições previamente descritas. Para cada objetivo explicita-se também a forma como ele será avaliado.

Tabela 5 - Objetivos e métricas utilizados pelo modelo de otimização

Objetivo	Métrica
Minimizar variabilidade na utilização dos recursos	Valor médio das variâncias do nº de doentes (por dia) em cada recurso
Maximizar cumprimento dos TMRG	Número total de utentes cujo tempo desde a entrada na LIC até ao dia da cirurgia excede o TMRG
Nivelar evolução das LIC entre especialidades	Variância da evolução das LIC das várias especialidades
Minimizar número total de salas diferentes utilizadas por cada especialidade	Número de salas diferentes utilizadas por cada especialidade

4.4 Simulação - *Discrete event Simulation*

O modelo pretende simular o fluxo de doentes no hospital, tendo em consideração os vários tipos de doentes que necessitam de utilizar o bloco operatório, exemplificados na Figura 9.

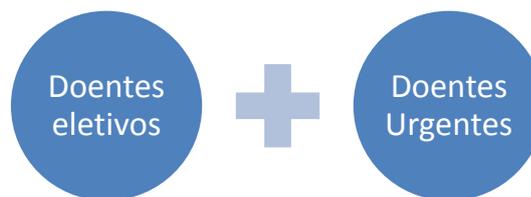


Figura 10 - Tipos de doentes incluídos no modelo

Os hospitais podem tratar esses doentes com dois tipos de produção diferentes previstos no SIGIC: produção base, realizada durante o horário normal do hospital; produção adicional, feita no período extra-horário.

Com o intuito de testar o modelo, foram consultados os registos referentes aos doentes que usufruíram de cuidados cirúrgicos no período compreendido entre 2011 e 2015. Da análise efetuada ao percurso de cada doente durante o internamento hospitalar foi possível desenhar o fluxograma representado na Figura 10. No hospital existem dois fluxos principais de doentes: doentes urgentes e doentes eletivos. Os primeiros entram no hospital pela urgência e após diagnóstico que leve à realização de uma cirurgia é definido se a cirurgia é emergente (realizada pela equipa de urgência no bloco do serviço de urgência) ou urgência diferida (realizada no bloco central pela equipa da respetiva especialidade). Caso seja emergente a cirurgia é realizada logo que possível e após a cirurgia o doente segue para uma das unidades pós-cirúrgicas: Unidade de cuidados intensivos (UCI), unidade de cuidados intermédios (UCIM) ou uma das enfermarias. Caso a cirurgia seja considerada uma urgência diferida, o doente é registado na LIC e a sua cirurgia é agendada tendo em conta o regime da cirurgia (Convencional ou ambulatório) e o MSS em vigor. Após a cirurgia o utente desloca-se para uma das unidades pós-cirúrgicas se for em regime convencional ou deixa o hospital caso seja em ambulatório.

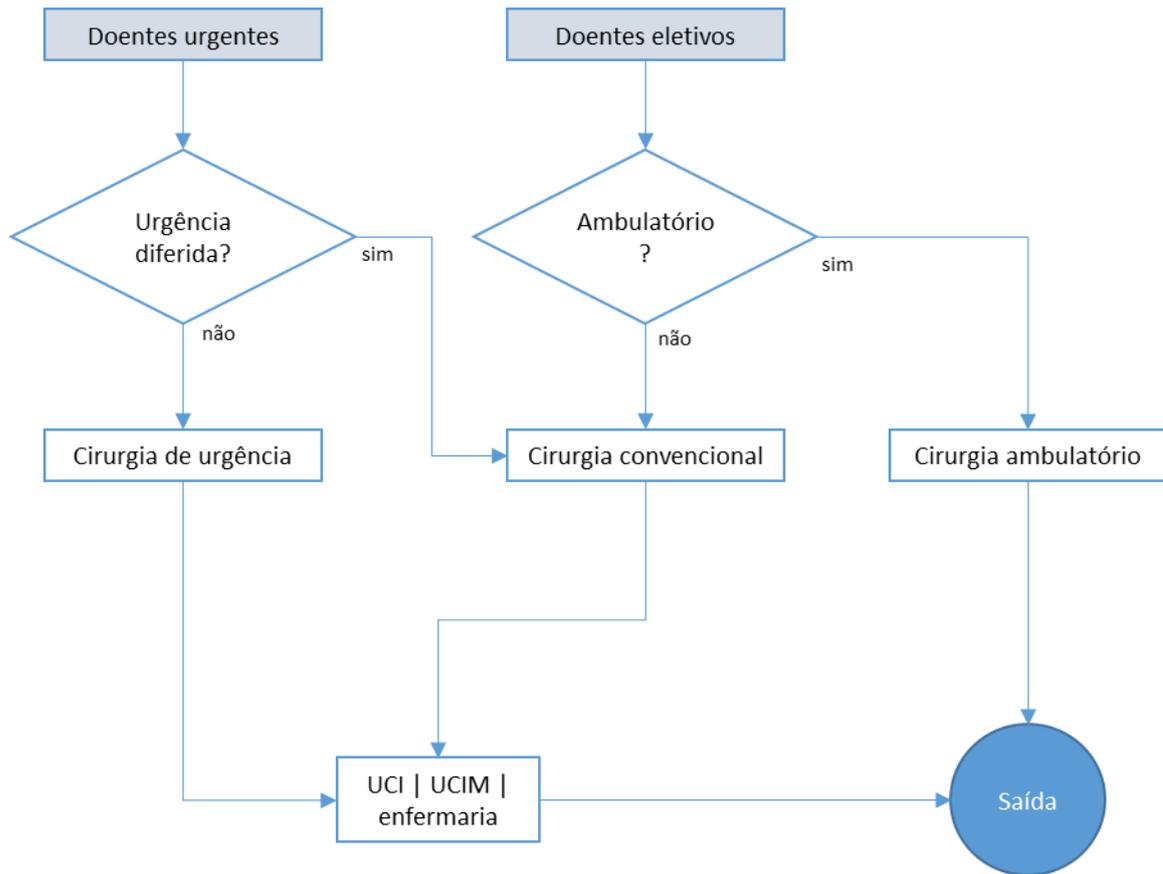


Figura 11 - Esquema geral do modelo de simulação

De modo a poder avaliar o desempenho dos MSS gerados pelo modelo de otimização foi desenvolvido um modelo de simulação utilizando o software *Arena*®, propriedade da *Rockwell*.

4.4.1 Notação

A nomenclatura usada no modelo foi a seguinte:

Entidades – representam os utentes, a cada entidade estão associados determinados atributos que acompanham essa entidade específica ao longo do percurso. Entidade do tipo 1 representa um paciente, entidade do tipo 2 é uma entidade auxiliar;

Recursos – representam os vários tipos de recursos que as entidades requerem nos processos

Processos – consistem em módulos nos quais as entidades sofrem algum tipo de operação, informação mais detalhada é apresentada na Tabela 6.

Filas de espera – são componentes onde as entidades esperam para progredirem para o próximo evento.

Nas próximas secções serão descritos com mais detalhe os recursos envolvidos (secção 4.4.2), os processos (secção 4.4.3), as regras principais que foi necessário definir (secção 4.4.4) e por fim alguns eventos auxiliares mais importantes (secção 4.4.5).

Recursos

O modelo considera diferentes tipos de recursos que são essenciais ao bom funcionamento do bloco operatório. Além daqueles acima mencionados na Tabela 7, são ainda tidos em conta recursos humanos, tais como os cirurgiões, os enfermeiros e os anestesistas.

A capacidade dos recursos é definida para cada semana do ano, com exceção dos casos elencados na Tabela 8.

A sala 0 é uma sala que não existe na realidade e é apenas considerada para a produção programada adicional.

As salas de bloco propriamente ditas têm capacidade unitária (apenas um utente em cada momento) e o seu horário de funcionamento é definido pelo utilizador.

Tabela 6 - Informação sobre alguns recursos

Recurso:	Descrição	Capacidade
sala 0	sala fictícia utilizada para produção adicional	Infinita
salas 1 a 20	salas de bloco de eletivos	-
salas de urgência	salas de urgência	-
Unidades pós-cirúrgicas		Variável
Recursos Humanos		Variável

4.4.2 Processo

Doentes eletivos

Após criação da entidade, esta é separada por regime de cirurgia: ambulatório ou convencional. Sendo que uma cirurgia é considerada de ambulatório caso o período de permanência do utente no hospital seja inferior a 24h, e todos os restantes casos consideram-se em regime convencional. Nesse momento, a entidade adquire características específicas de cada regime de cirurgia.

De seguida, as entidades ficam em espera num módulo *Hold*, enquanto aguardam o agendamento da respetiva cirurgia.

Uma vez marcada a cirurgia, as entidades recebem ordem para avançar do módulo *Hold* para o módulo *Delay*, no qual ficarão até ao dia anterior à cirurgia. Neste dia às 17h (por ser ao fim do dia e já estarem todos os utentes desse dia registados na LIC), as entidades passam para o módulo *Decide*, onde são divididas pelos períodos manhã e tarde, consoante o agendamento previamente definido. Em cada período existe um *Delay* que faz as entidades esperarem pela abertura do bloco (8h e 14h).

Tabela 7 - Módulos utilizados no modelo de simulação

Módulo	Descrição
Delay	Põe as entidades em espera por um período de tempo pré determinado.
Seize	Quando uma entidade chega a este módulo, são capturados recursos
Release	Liberta os recursos capturados anteriormente
Delay release	Antes de libertar os recursos põe a entidade em espera por um determinado período de tempo
Seize Delay Release	Captura recursos, coloca a entidade em espera e só no fim liberta esses recursos.
Decide	É um módulo de decisão de caminhos, a decisão tanto pode ser aleatória como pode ser dada por uma condição
Hold	Neste módulo a entidade pode ficar indefinidamente à espera, existindo diversos modos para definir as regras de libertar a entidade
Assign	Permite definir atributos das entidades

As entidades são posteriormente carregadas numa fila de espera (ordenada por um *ranking* definido aquando do agendamento) onde aguardam até que a sala fique livre. Quando tal acontece, a entidade bloqueia aquela sala e avança para o tronco comum do fluxograma, o qual posteriormente se descreve. Doravante, a cirurgia não será mais desmarcada.

Concluída a cirurgia, a entidade avança para as unidades pós-cirúrgicas, também uma parte comum abordada em Enfermarias – Tronco comum.

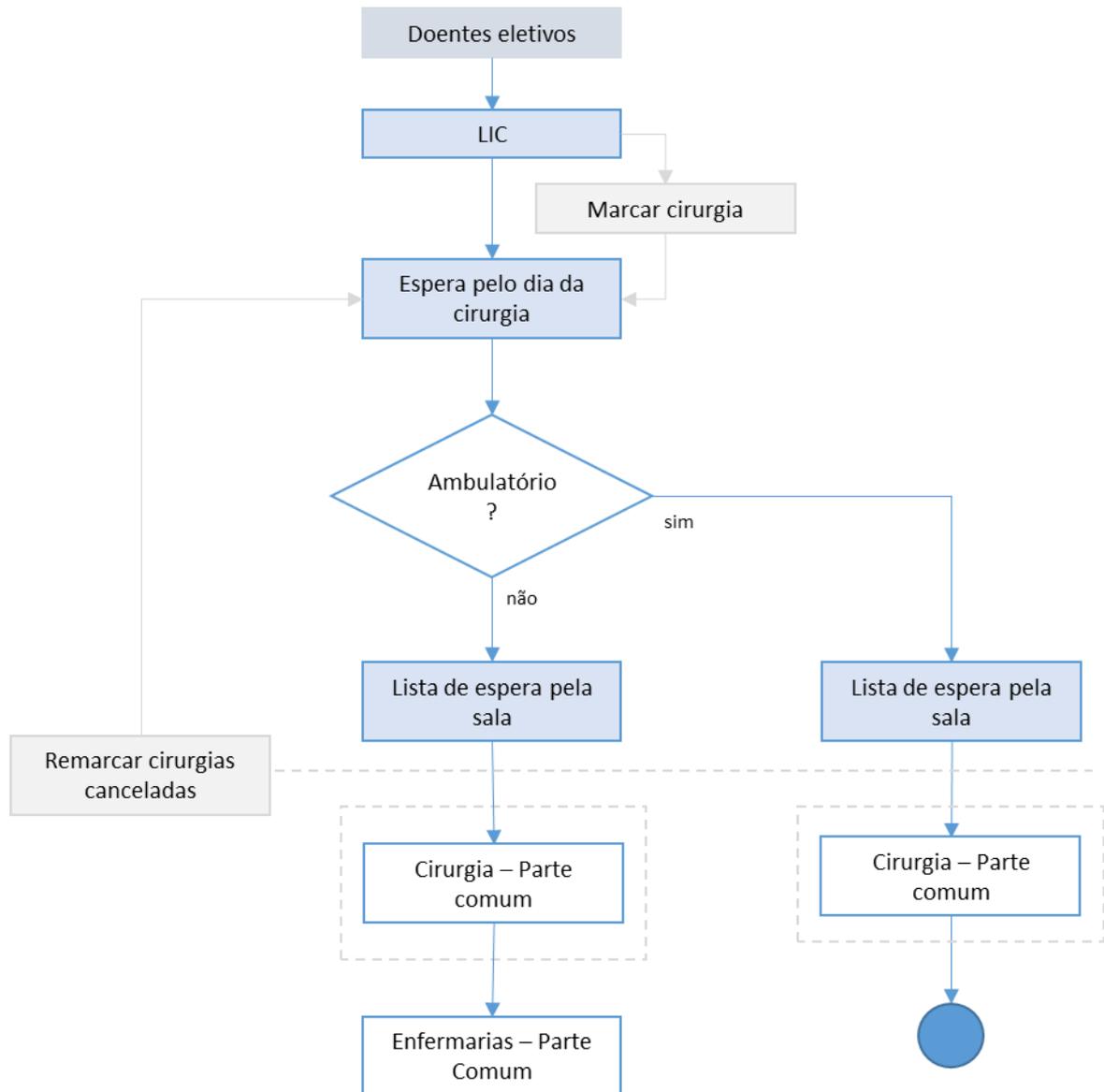


Figura 12 - Esquema relativo ao processo dos doentes eletivos

Doentes Urgentes

Assim que as entidades entram no sistema são segregadas em urgências e urgências diferidas. Esta distinção é crucial uma vez que as urgências são operadas no bloco de urgência logo que possível, ao passo que as urgências diferidas são direcionadas para o bloco de eletivos, ficando a aguardar pela primeira vaga de bloco disponível na especialidade correspondente.

Desse modo, as urgências diferidas acabam por entrar no percurso dos doentes eletivos, sobre os quais têm prioridade.

As urgências seguem diretamente para o tronco comum das cirurgias, utilizando recursos próprios, quer físicos quer humanos.

O percurso pós-cirúrgico é idêntico ao dos doentes eletivos e encontra-se descrito na secção seguinte.

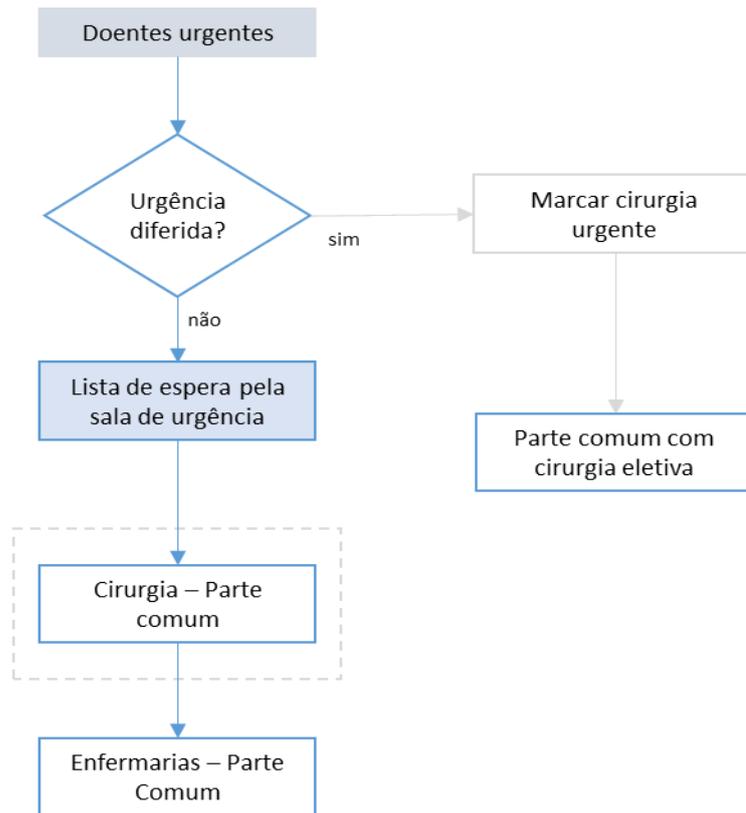


Figura 13 – Esquema relativo ao processo dos doentes urgentes

Cirurgia – Tronco comum

Estando a sala reservada para um determinado doente e assim estabelecido que a cirurgia se vai realizar, tem início o tronco comum que consiste em reservar uma cama de enfermaria e subsequentemente de recobro. De seguida, a entidade entra no módulo da cirurgia propriamente dita, no qual são alocados os recursos humanos necessários à execução da intervenção cirúrgica por um período de tempo correspondente à sua duração. Finda a cirurgia, o doente avança para o recobro, sendo que a sala apenas fica livre para a próxima entidade ao fim de 12 minutos.

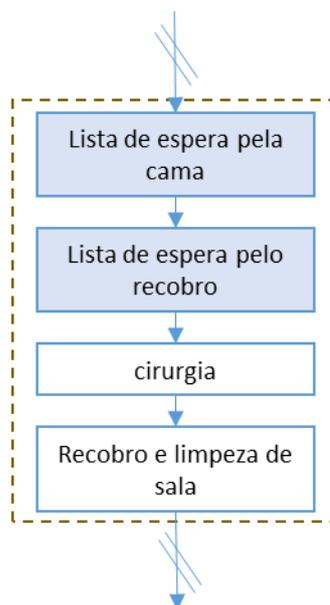


Figura 14 - Esquema relativo ao processo de preparação e realização de cirurgia

Enfermarias – Tronco comum

Uma vez terminada a cirurgia, as entidades seguem para a unidade de recobro. Dependendo de se tratar de cirurgia em regime convencional ou ambulatorio, as entidades seguirão para enfermarias ou terão alta hospitalar, respetivamente. O nível de cuidados da unidade de destino bem como a duração de internamento na mesma (Tabela 7) são atribuídos de forma estocástica.

Tabela 8 - Relação entre as várias unidades pós-cirúrgicas e o respetivo nível

Nível	Unidade
1	Unidade de cuidados intensivos Polivalente
	Unidade de cuidados intensivos Cardiorácica
	Unidade de cuidados intensivos Pediátricos
2	Unidade de cuidados intermédios Polivalente
	Unidade de cuidados intermédios Cardiorácica
	Unidade de cuidados intermédios Pediátricos
3	Enfermaria

A entidade segue então para o nível de cuidados que lhe foi atribuído *a priori*, onde aguarda no módulo *Delay* em função do tempo de internamento que também foi previamente definido. Quando a entidade completa esse evento, tem lugar o processo designado por *step-down*, entrando a entidade para a lista de espera referente à unidade de nível imediatamente inferior. Só quando a entidade é alocada a uma cama nesse mesmo nível, é que aquela em que se encontrava até então fica disponível. As camas são atribuídas por ordem ascendente dos critérios de prioridade seguintes: (1) transferência por *step-down*; (2) doentes eletivos e (3) doentes urgentes.

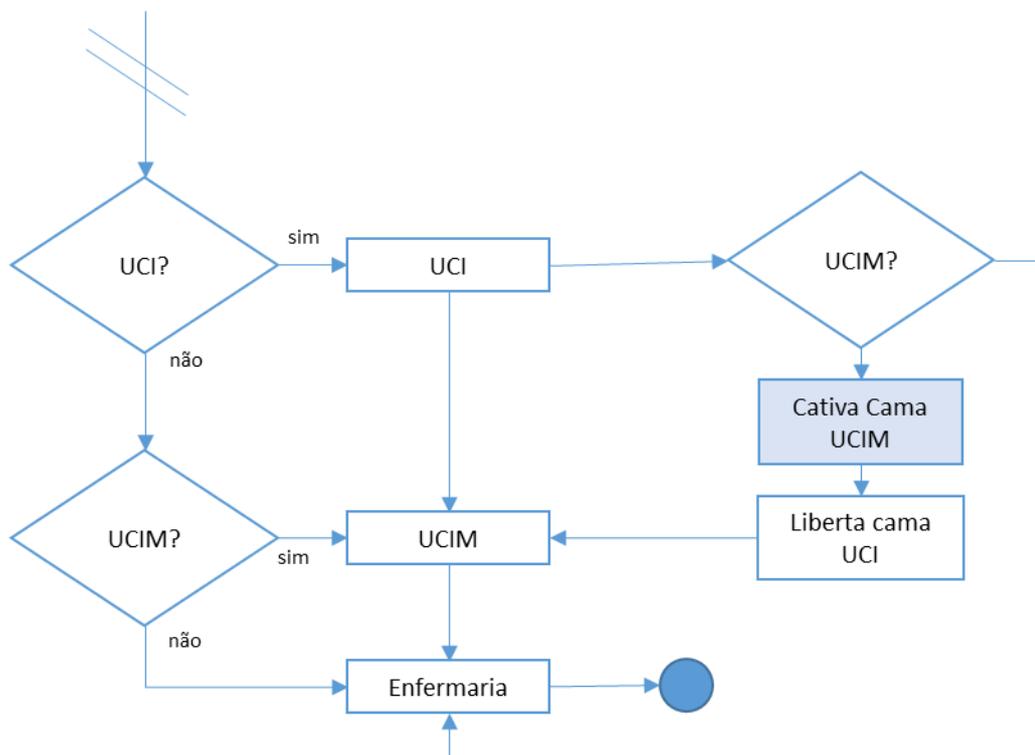


Figura 15 - Esquema relativo ao funcionamento das unidades pós-cirúrgicas

Produção adicional

A produção adicional é agendada após o agendamento semanal, seguindo as regras do SIGIC da mesma forma que o agendamento normal. Não são considerados recursos cirúrgicos para esse tipo de cirurgias e a cirurgia é realizada na sala 0 ao sábado, o que vai de encontro ao realizado pelos hospitais. Após a cirurgia prossegue exatamente como uma cirurgia normal.

Regras

Apresentam-se de seguida um conjunto de regras que nortearam o processo de agendamento:

- O agendamento semanal é efetuado às sextas feiras às 17h, e são agendadas cirurgias num horizonte de planeamento de 9 dias, a iniciar na segunda feira seguinte;
- O agendamento das cirurgias urgentes é feito com base na heurística *First Come First Served* (FCFS);
- O agendamento semanal obedece aos critérios do SIGIC (ver secção 3.2 – O SIGIC);
- Os doentes urgentes não vão ao bloco central;
- As urgências diferidas são operadas no bloco de eletivos; como têm prioridade, são agendadas no primeiro tempo cirúrgico disponível para a especialidade em causa;
- Os doentes de Cirurgia Cardiorácica, Pediátrica, Neurocirurgia e Urgência podem utilizar UCI e UCIM próprias;
- As cirurgias não podem começar depois da hora de fim do tempo de bloco que lhes foi atribuído (manhã até às 14h ou tarde até às 20h);
- A capacidade dos RH é definida como capacidade máxima instantânea;
- O tempo de limpeza fixo em 12 minutos;
- O gargalo (*bottleneck*) na UCI e UCIM é a disponibilidade de camas;
- A enfermaria por definição tem capacidade ilimitada (ausência de *bottlenecks*), uma vez que se arranjam camas de recurso;
- A atribuição de cama obedece aos seguintes critérios por ordem descendente de prioridade: (1) doentes urgentes, (2) doentes eletivos e (3) transferência em *step-down*;
- A produção Programada Adicional (PPA) está fora do alcance do MSS uma vez que utiliza recursos extraordinários, não interferindo desse modo com o planeamento da atividade habitual.

4.4.3 Eventos auxiliares

A existência de eventos auxiliares deve-se às características do *software* Arena. Embora tenham sido usadas preferencialmente ferramentas *standard*, com o intuito de tornar o modelo mais simples e fiável, em certos casos foram necessárias soluções diferentes.

Agendamento

O processo de agendamento começa com a criação de uma entidade do tipo 1 (auxiliar) que entra de seguida num módulo *Hold* até à sexta-feira seguinte. Nesse dia, a entidade avança e

entra num módulo *Delay* onde espera até às 17h, uma vez que só aí terá lugar o agendamento das entidades que se encontram na lista de espera para cirurgia.

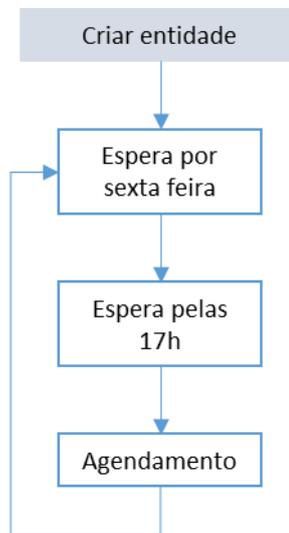


Figura 16 - Esquema relativo ao processo de agendamento

Em cada sexta-feira, são agendadas as cirurgias a ter lugar na semana que começa 9 dias depois, e não na segunda-feira imediatamente a seguir. Quer isto dizer, que há uma semana de intervalo entre a sexta-feira em que é feito o agendamento e a segunda-feira em que começam as cirurgias agendadas nesse dia (Figura 16). A semana de antecedência com que são agendadas as cirurgias é devido às regras do SIGIC, que estabelecem tempos mínimos para notificar os utentes da data da cirurgia. Esse agendamento respeita as regras do SIGIC que determinam que o primeiro critério é o menor TMRG, sendo de seguida a data de entrada na LIC mais antiga. O tempo de bloco de cada período (manhã ou tarde) é de 5h no total (deixando uma folga no tempo total, tal como é realizado na prática), sendo que a duração da intervenção cirúrgica propriamente dita é variável e estimada com base na distribuição dos tempos efetivos de cirurgias do mesmo tipo. As distribuições foram calculadas para os diferentes *clusters* de cada especialidade cirúrgica, a partir dos dados fornecidos por um centro hospitalar de referência.

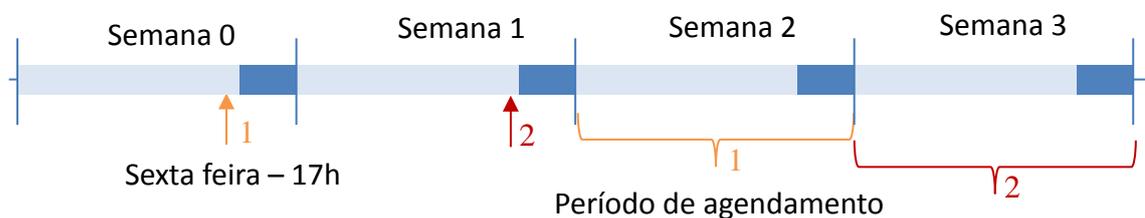


Figura 17 – Esquema explicativo do período de agendamento

Cancelamentos

Quando chega à hora de fecho do bloco e há cirurgias que continuam à espera de sala, o modelo procede ao cancelamento das mesmas, atribuindo-lhes uma nova data, mais breve possível. Naturalmente, essa data dependerá dos períodos de tempo semanais disponíveis para a especialidade em questão. Este tipo de agendamento tem prioridade face às cirurgias agendadas, sendo apenas preterido em relação a urgências diferidas que compitam pelo mesmo tempo e espaço cirúrgicos. Os cancelamentos e subsequentes reagendamentos têm lugar duas vezes por dia, nomeadamente às 14h e às 20h consoante as intervenções cirúrgicas estejam agendadas para os períodos da manhã ou da tarde, respetivamente.

Aquando do agendamento semanal das cirurgias o total da duração de cirurgias canceladas na semana anterior é deixado livre para permitir ao modelo recuperar dos atrasos.

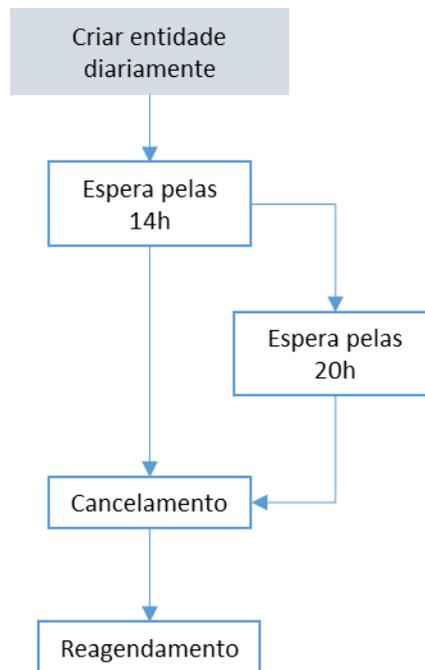


Figura 18 – Esquema de cancelamento e reagendamento

4.5 Entrada de Dados

4.5.1 Distribuições de probabilidades

O problema da estimação da duração das cirurgias tem sido muito estudado e a evidência mais aceite atualmente sugere que a duração se aproxima de uma distribuição *LogNormal* (Stepaniak et al. 2009). Analogamente, foi assumido que o mesmo comportamento se verificaria com a duração de internamento nos vários níveis das unidades pós-cirúrgicas.

Para a modelação das distribuições foi utilizado o *R project* que é um *software* comumente usado em computação estatística e gráfica.

As distribuições foram estimadas utilizando o método da máxima verosimilhança.

Como uma grande parte dos procedimentos cirúrgicos tem uma frequência residual, usar como unidade de decisão cada procedimento isoladamente não seria apropriado. Por isso, os procedimentos cirúrgicos foram agrupados, primeiro por especialidade e depois por duração da cirurgia, de acordo com as seguintes definições:

- Cirurgias curtas – cirurgias incluídas no 1º quartil das durações dessa especialidade;
- Cirurgias médias – cirurgias incluídas no 2º quartil das durações dessa especialidade;
- Cirurgias Longas – cirurgias incluídas nos 3º e 4º quartis das durações dessa especialidade.

Desse modo, foi possível aumentar o número de doentes em cada grupo e ao mesmo tempo isolar subespecialidades dentro das especialidades (por exemplo, em Cirurgia Geral, a duração das operações é significativamente diferente consoante se trate de cirurgia esófago-gástrica ou

colo-rectal). Na Figura 18 é apresentado o histograma de Cirurgia Geral – curta, onde é possível observar a dispersão dos dados.

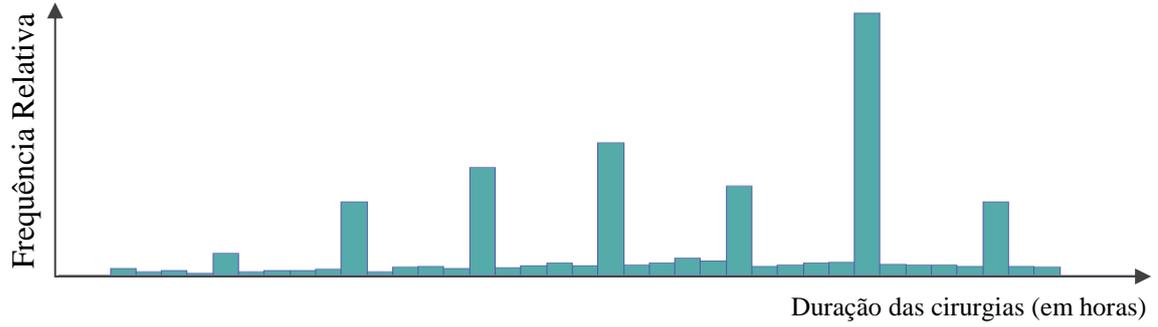


Figura 19 - Histograma de Cirurgia Geral – curta, as barras representam a frequência relativa de cada duração de cirurgia e os dados foram divididos em 40 intervalos.

4.5.2 Previsão da LIC

Para calcular a taxa de chegada de doentes por especialidade e subespecialidade é utilizado o método de previsão *Holt-Winters* multiplicativo.

Este método considera na sua previsão três fatores: tendência, sazonalidade e nível.

$$\hat{Z}_t(k) = (n_t + b_t * k) * f_{t+k-s} \quad (14) \quad (\text{Almada Lobo 2014})$$

Em que:

t – Instante temporal, correspondendo neste caso a um mês;

Z_t – Número de doentes que chegaram à LIC no instante temporal t ;

$\hat{Z}_t(k)$ – Previsão do número de doentes a chegar no instante $t+k$, sabendo os valores de Z_t no instante t ;

n_t – Estimativa do nível da série no instante t ;

b_t – Estimativa a tendência da série no instante t ;

k – Passo da previsão, número de instantes temporais de antecipação com que é feita a previsão;

s – período de sazonalidade (no caso em específico é anual por isso $s=12$)

f_{t+k-s} – Estimativa da sazonalidade da série no instante $t+k$

Para o cálculo das componentes são utilizadas as seguintes equações:

$$n_t = \alpha \cdot \frac{Z_t}{f_{t-s}} + (1 - \alpha) \cdot (n_{t-1} + b_{t-1}) \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (15)$$

$$b_t = \beta \cdot (n_t + n_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot b_{t-1} \quad 0 \leq \beta \leq 1 \quad (16)$$

$$f_{t+k-s} = \gamma \cdot \frac{Z_t}{n_t} + (1 - \gamma) \cdot f_{t-s} \quad 0 \leq \gamma \leq 1 \quad (17)$$

Todavia com as equações supracitadas (equações (15), (16) e (17)) não é possível arrancar com o método, sendo por isso necessário assumir algumas regras de inicialização:

$$n_s = Z^* = \frac{1}{s} \cdot \sum_{t=1}^s Z_t \quad (18)$$

$$b_s = 0 \quad (19)$$

$$f_j = \frac{Z_j}{Z^*} \quad (j = 1, \dots, s) \quad (20)$$

O método utiliza o primeiro período de sazonalidade (1º ano) para proceder ao seu arranque. De seguida aplica-se o método para um ou dois anos e são calculados os respetivos erros. Para o cálculo dos erros irá ser considerado o erro quadrático médio que será otimizado utilizando o *solver do excel*, permitindo assim chegar aos parâmetros ótimos de α, β, γ .

A previsão das chegadas à LIC por especialidade e subespecialidade será calculada com base nos parâmetros otimizados para os períodos anteriores.

4.5.3 Distribuições discretas

A utilização de métodos de previsão e a estimação de distribuições são adequadas quando os dados são contínuos. Nesse caso, estuda-se a probabilidade de cada evento acontecer. Em seguida, é apresentado na Tabela 9, a título de exemplo, o modo de estimar a prioridade dos doentes nas cirurgias de curta duração na especialidade de Cirurgia Cardiorácica.

Tabela 9 - Probabilidade de cada nível de prioridade para Cirurgia Cardiorácica curta

Cardiorácica – curta			
Urgência Diferida	Muito Prioritário	Prioritário	Normal
6,92%	26,24%	39,30%	27,53%

É então gerado um número pseudoaleatório entre 0 e 1. É depois verificado na escala (Figura 19) a que intervalo corresponde o número e assim se define a prioridade do doente de acordo com a probabilidade correta.

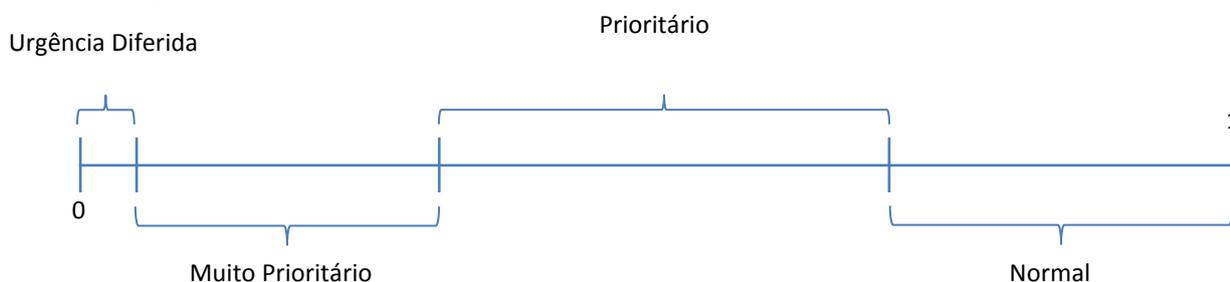


Figura 20 - Escala exemplificativa da estimação do nível de prioridade

5 Aplicação ao Caso de Estudo

5.1 Tratamento de dados do hospital Caso de estudo

De modo a analisar a eficácia do modelo de otimização a gerar os MSS e do modelo de simulação a simular e avaliar as soluções geradas, aplicou-se este modelo a um caso de estudo real de um hospital de referência do país. O MSS gerado será o do ano de 2014, que por ausência de dados não poderá ser diretamente comparado com o real. No entanto será comparada a produção cirúrgica e a evolução da LIC desse mesmo ano. Na Figura 20 são apresentadas as diversas variáveis incluídas no modelo, no entanto, algumas tiveram de ser excluídas da análise devido, mais uma vez, ao não fornecimento dos dados necessários por parte do hospital.

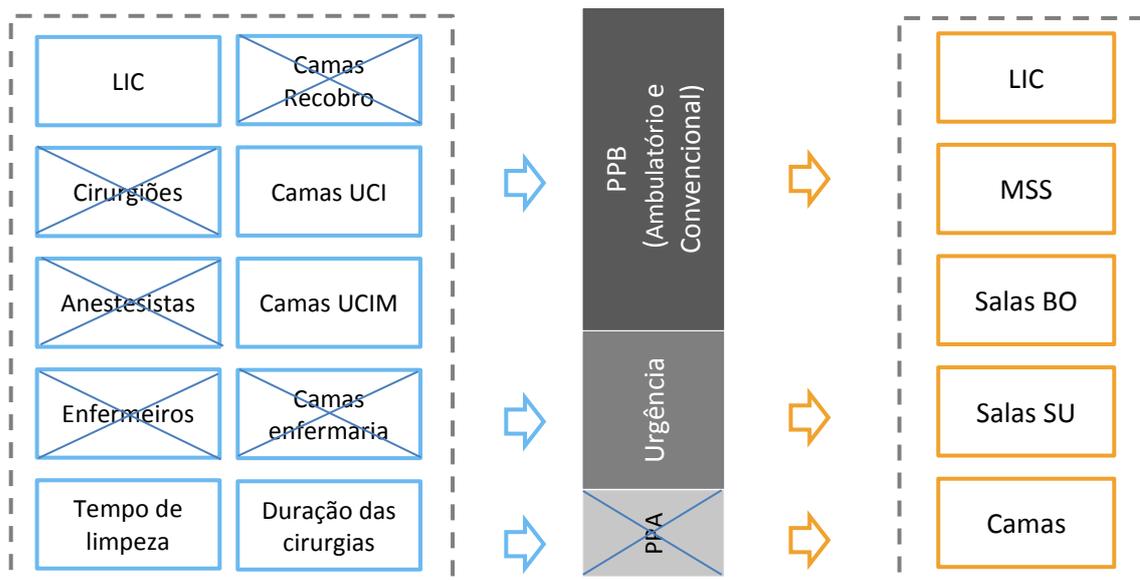


Figura 21 - Variáveis envolvidas no modelo (cruzadas: não são consideradas no caso de estudo)

Devido ao curto espaço de tempo existente para a realização da presente análise foi necessário dividir a análise entre especialidades de ambulatório e convencional. A geração de MSS com ambos os tipos de cirurgia é bastante exigente computacionalmente e requereria muitas horas de processamento. Dividir reduz substancialmente a complexidade, no entanto só foi possível separar assumindo o pressuposto de que ambulatório e convencional utilizam salas diferentes, o que com a análise da Figura 21 fica demonstrado que é praticamente o que acontece.

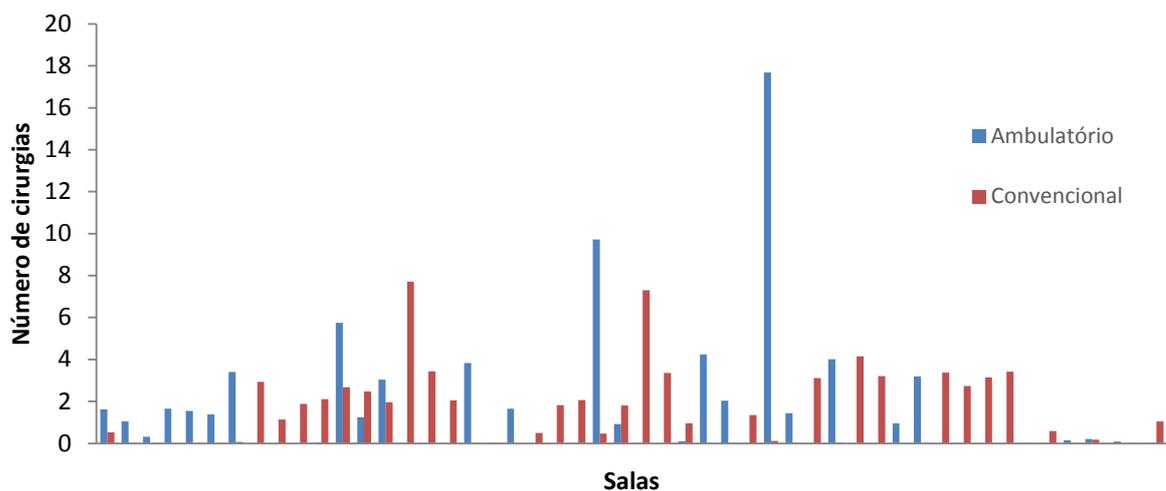


Figura 22 - Utilização absoluta das salas por convencional e ambulatório, as barras representam a quantidade de cirurgias na sala em específico

5.1.1 Entrada de dados para o modelo de otimização

Os dados de entrada do modelo de otimização são agrupados de acordo com o formato da Tabela 10.

Tabela 10 - Exemplo de tabela agrupadora de dados para o modelo de otimização

Especialidade	Todos os dias	Mínimo de oferta (em períodos temporais por semana)	Máximo de oferta (em períodos temporais por semana)	Máximo simultâneo (em períodos temporais por semana)	Dias que não trabalha	Salas compatíveis
Especialidade A	0	8	16	3	Sábado e Domingo	1, 2, 3, 4
Especialidade B	1	16	32	6	Sábado e Domingo	2, 4, 5
Especialidade C	0	6	12	2	Sábado e Domingo	1, 3, 5

A definição de quais especialidades que tinham de ter obrigatoriamente espaço de bloco operatório todos os dias, foi calculado com base na análise ao MSS de 2013. Se em 2013 a especialidade tivesse tempo de bloco todos os dias então foi definida como trabalhando todos os dias. No modelo foram contempladas todas as especialidades cirúrgicas do hospital.

A oferta em número de blocos temporais por semana é definida agrupando os dados da produção por dia da semana e sala. O valor mínimo é calculado através dos dias da semana (de cada sala) nos quais a especialidade tem um peso significativo, isto é, a taxa de utilização daquela sala naquele dia da semana é superior a 60%. O máximo corresponde ao dobro do mínimo, tendo-se verificado que o número de blocos semanais de cada especialidade no MSS se encontrava dentro do intervalo.

O máximo simultâneo foi definido como sendo exatamente o número máximo de blocos simultâneos utilizados por cada especialidade.

5.2 Validação do modelo

O modelo de simulação foi corrido três vezes com o MSS em vigor no hospital de referência, gerando assim três replicações semelhantes, mas não exatamente idênticas.

De modo a tornar a análise mais simples e clara, apenas serão mostrados os resultados da cirurgia em regime convencional, encontrando-se os resultados da cirurgia de ambulatório no anexo B. Pelo mesmo motivo, apenas serão apresentados indicadores de qualidade respeitantes à especialidade de Cirurgia Geral, dado ser esta considerada como a mais representativa.

Produção anual

A produção anual para as diferentes especialidades é apresentada na Figura 23. Oftalmologia e Urgência foram as especialidades em que se registou uma maior discrepância entre o valor de operações produzidas pelo modo de simulação e a realidade. Essa diferença poderá radicar no facto de as referidas especialidades não utilizarem o bloco central, cujo MSS foi o único fornecido pelo hospital de referência. Daí que o modelo de simulação tenha assumido que todas as especialidades utilizariam o mesmo bloco, estando assim sob a égide do mesmo MSS geral. Por outro lado, o MSS fornecido pelo hospital de referência não incluía a hora de início ou de fim da cirurgia, de tal forma que foi impossível estabelecer se a operação se realizava no período da manhã ou da tarde. Estas limitações do modelo traduzem-se numa margem de erro associada à estimação do MSS para especialidades que possuem blocos operatórios independentes, sendo por isso extensível a Cirurgia Cardiorácica, Obstetrícia, Cirurgia Pediátrica e Otorrinolaringologia. O erro percentual médio da produção de todas as especialidades foi de apenas 5% (positivos, o que significa um excesso de produção da parte do modelo), que se traduziu num erro percentual absoluto médio de 25%.

Os resultados relativos à cirurgia de ambulatório foram idênticos, consistindo o erro percentual médio em 9% negativos (o que significa que o modelo realizou menos cirurgias), e um erro percentual absoluto médio de 23%.

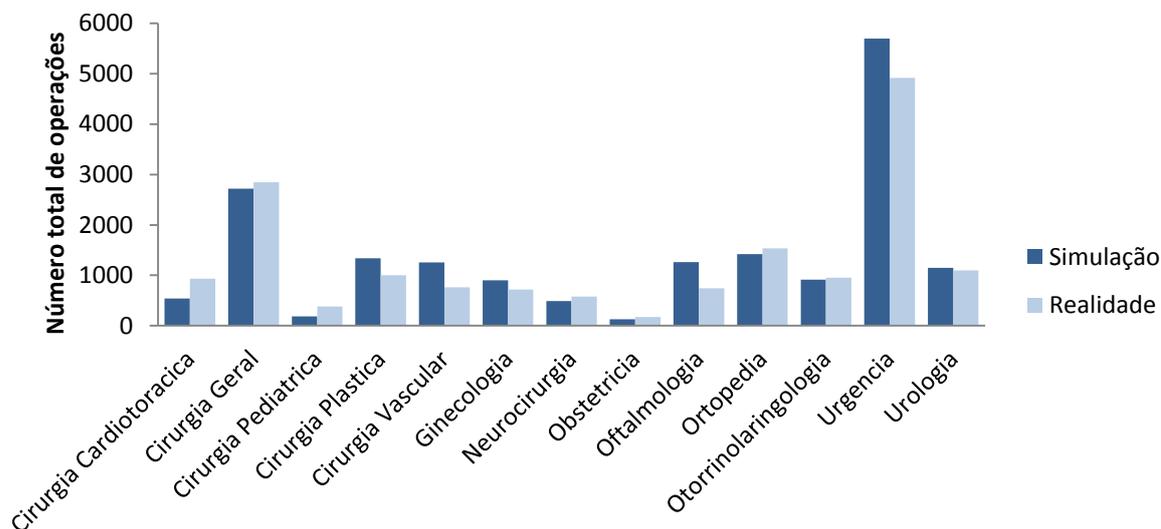


Figura 23 – Produção anual por especialidade em cirurgia convencional. As barras representam o número total de intervenções cirúrgicas realizadas na realidade (cinzento claro) e geradas pelo modelo de simulação (cinzento escuro). Os valores referentes ao modelo de simulação foram calculados pela média do total de operações obtidas em cada uma das três replicações. Os valores considerados como realidade foram fornecidos pelo hospital de referência.

Produção diária

As figuras 23 e 24 ilustram a produção diária para a especialidade de Cirurgia Geral, quer na realidade quer aplicando o modelo de simulação. Embora realize um número de operações muito semelhante ao longo de um ano, o modelo obtém picos de produção superiores, sendo assim mais reativo do que a realidade. Isso demonstra que existe algum *bottleneck* que não está a ser considerado, o qual poderá estar relacionado com o fator dos recursos humanos. Este é uma das principais limitações na gestão do bloco operatório e foi incluído com grande detalhe na conceção dos modelos. No entanto, devido à inexistência de dados sobre a equipa cirúrgica responsável por cada operação bem como de dados globais do hospital, não foi possível ter em conta este fator no modelo de simulação.

Cirurgia Geral – simulação

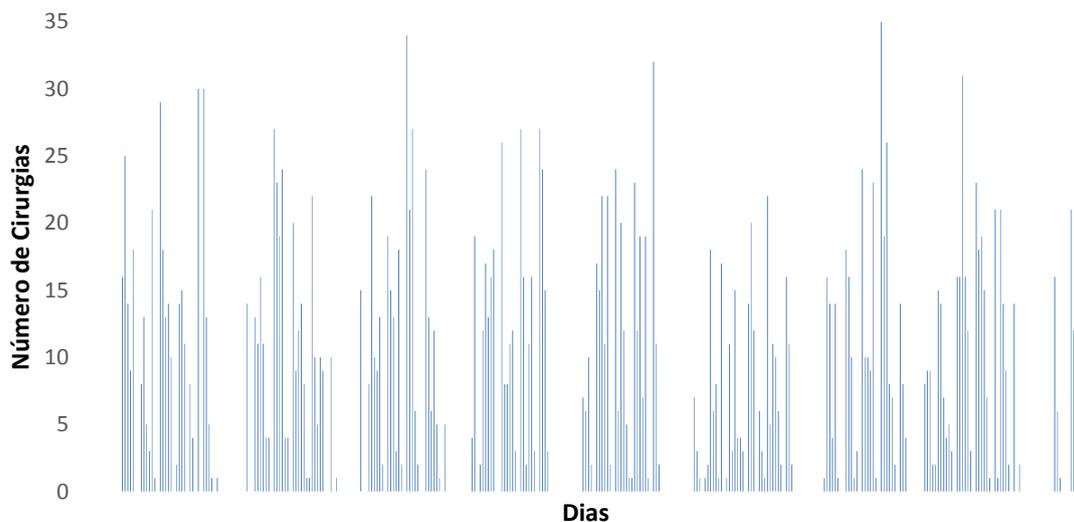


Figura 24 – Produção diária para a especialidade Cirurgia Geral em convencional simulada pelo modelo com aplicação do MSS real. As barras representam o número total de intervenções cirúrgicas realizadas em cada um dos dias do ano (eixo das abcissas). Os intervalos correspondem aos dias em que não houve cirurgias.

Cirurgia geral – realidade

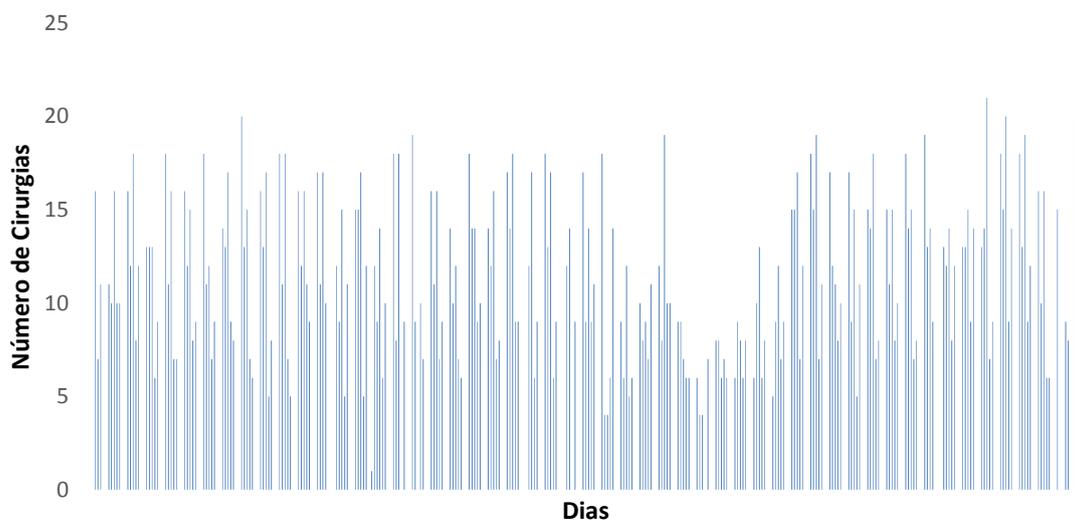


Figura 25 – Produção diária para a especialidade Cirurgia Geral em convencional verificada na realidade. As barras representam o número total de intervenções cirúrgicas realizadas em cada um dos dias do ano (eixo das abcissas). Os intervalos correspondem aos dias em que não houve cirurgias.

Evolução da LIC

Quanto à evolução da LIC, verificou-se que o rácio de entradas e saídas por semana apresentava uma variação bastante significativa, o que se deve a oscilações na procura e na oferta (Figura 27). Assim, ao longo do ano, há semanas onde a procura excede consideravelmente a oferta (picos positivos) e semanas em que, ao invés, a produção cirúrgica é superior à entrada de doentes para a LIC (picos negativos).

Além disso, comparando as séries das replicações da simulação com a realidade, verificou-se que em regime convencional os picos eram semelhantes, ao passo que em regime de ambulatório acontecia o oposto. As variações observadas deveram-se ao facto de o modelo ter em conta somente a sazonalidade da procura, embora na realidade quer a procura quer a oferta variem de forma sazonal. De fato, a sazonalidade da procura foi estimada através do método de previsão de amortecimento exponencial, mas a oferta foi considerada fixa ao longo do ano. Mais uma vez, tal limitação foi forçada pela não cedência de dados que permitissem estimar uma oferta variável ao longo do ano.

Cirurgia Geral - convencional

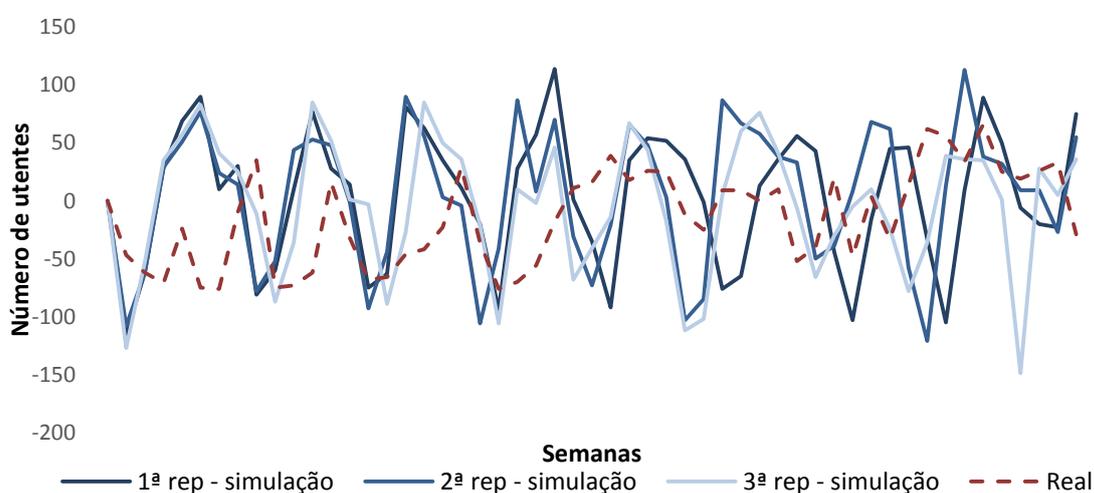


Figura 26 – Evolução semanal da LIC de Cirurgia Geral. As linhas representam a diferença entre o número de doentes que entraram para a LIC e que saíram da mesma em cada uma das semanas do ano. As entradas foram consideradas como o dia de inscrição na LIC e as saídas como o dia da operação. O gráfico compara os picos positivos e negativos simulados em cada uma das replicações do modelo com o que se verificou na realidade no hospital de referência. O cálculo do total semanal resultou do somatório das entradas e saídas ao final do dia de Domingo.

Cumprimento dos TMRG

No que ao TMRG diz respeito, encontraram-se diferenças significativas. Tanto no regime convencional como em ambulatório, o modelo reduziu o número médio de dias em que o TMRG foi excedido em comparação com o que aconteceu na realidade. A explicação mais provável prende-se com a forma como é feito o reagendamento das cirurgias. Enquanto na realidade, o cancelamento de uma cirurgia implica o reiniciar do processo de agendamento com regresso à lista de espera, no modelo, cada cirurgia cancelada é imediatamente remarcada para a data possível mais próxima. Relativamente ao número de utentes que ultrapassa o TMRG, o modelo obteve um número idêntico à realidade no regime convencional, mas obteve um número significativamente menor em regime de ambulatório. Esta diferença que afetou especificamente o regime de ambulatório poderá ter subjacente diferentes formas de agendamento seguidas pelo modelo e pela realidade. De facto, no modelo as cirurgias de ambulatório foram agendadas segundo as mesmas regras que as cirurgias em regime

convencional, o que porventura não se verificará na realidade. Por outro lado, essa discrepância poderá estar relacionada com a não inclusão no modelo da taxa de absentismo dos doentes, a qual demonstrou ser mais elevada no caso cirurgias mais simples e curtas como as que se realizam em regime de ambulatório (Aguirre-Córdova et al. 2003, Pascoal and Gatto 2006).

Tabela 11 – Desempenho do modelo de simulação do regime convencional relativamente ao TMRG em contraponto com os dados da realidade.

	Simulação	Realidade
Número de doentes que excede TMRG	2011	2185
Tempo médio excedido (dias)	16	78

Os valores do modelo de simulação foram calculados como a média das três replicações. Para a avaliação do TMRG, foi comparada a diferença entre a data da cirurgia e a da inscrição no LIC com os períodos definidos pelas normas do SIGIC para cirurgia não-oncológica.

Taxas de utilização das unidades pós-cirúrgicas

O modelo de simulação conseguiu uma utilização das unidades pós-cirúrgicas idêntica à realidade (Figura 29), com exceção das unidades de Neurocirurgia, Cirurgia Pediátrica, Cirurgia Cardiorácica e CI da Urgência. A explicação mais plausível é a de que para o cálculo da taxa de utilização das unidades pós-cirúrgicas apenas foram considerados doentes cirúrgicos, enquanto nos dados fornecidos pelo hospital de referência essa taxa também incluía doentes não cirúrgicos. Por exemplo, na unidade de Neurocirurgia são internados doentes com problemas neurológicos graves, quer médicos quer cirúrgicos, verificando-se uma situação análoga relativamente aos Cuidados Intensivos Pediátricos, Cardiorácicos e da Urgência. Uma vez que o modelo considera como *bottleneck* a disponibilidade de cama nas unidades pós-cirúrgicas, foi necessário perceber quais as camas que estavam atribuídas a doentes médicos e cirúrgicos em cada unidade.

Além disso, como o modelo obriga a analisar em pormenor a capacidade das unidades pós-cirúrgicas, tornou-se aparente a discrepância entre a lotação real e efetiva dessas unidades. Assim, a execução do modelo de simulação demonstrou que com o valor de lotação estipulado para a unidade de cuidados intermédios a taxa de cancelamentos inviabilizaria a concretização do modelo. A análise de outros dados hospitalares em colaboração com profissionais da área revelou que aquele valor não correspondia ao que acontecia na prática. Embora a unidade de cuidados intermédios tenha efetivamente aquela lotação, sempre que um doente cirúrgico precisava de uma cama nessa unidade era-lhe atribuída uma cama de enfermaria geral, sendo destacado um enfermeiro para prestar o mesmo nível de cuidados que teria nos cuidados intermédios. Além do impacto negativo na qualidade de cuidados prestados ao doente, há desvantagens para a gestão global do hospital, uma vez que se admite que a lotação dos cuidados intermédios é suficiente quando na verdade se recorre a camas de enfermaria geral para suprir a necessidade de camas cujo custo é significativamente mais elevado.

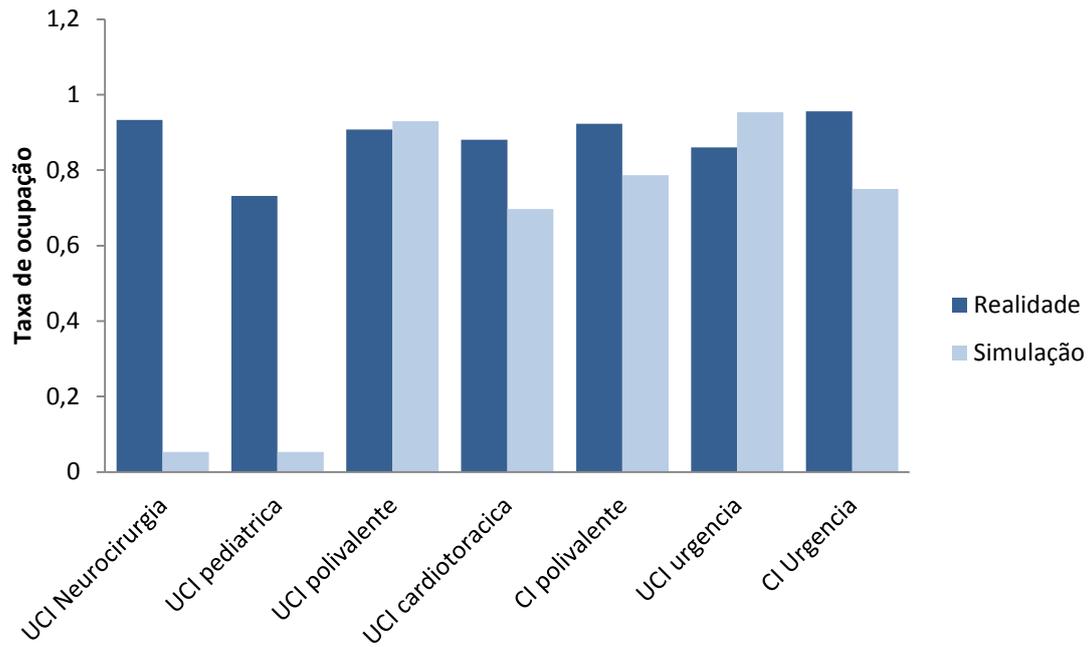


Figura 27 – Taxa de ocupação das unidades pós-cirúrgicas (regime convencional). As barras representam a razão entre o número de doentes que se encontram numa dada unidade e a lotação da mesma. Os valores da simulação foram calculados a partir da média das três replicações. Os valores considerados como realidade foram fornecidos pelo hospital de referência (azul escuro).

5.3 Criação de novo MSS - Otimização-Simulação

Fronteira de Pareto – convencional

O modelo de otimização gerou 1123 MSS para regime convencional, 65 dos quais foram posteriormente simulados, uma vez que se encontravam para além da distância estipulada como mínima em relação aos planos previamente testados. Com essas 65 soluções, o modelo gerou uma fronteira de *pareto* de primeira linha que continha 17 soluções. Destas últimas, foi selecionada a segunda solução para ser analisada mais detalhadamente, visto que era aquela que apresentava a melhor combinação de indicadores de qualidade (ver Figura 37). Ao mesmo tempo, o modelo de otimização foi executado durante 24h, demorando em média cerca de 5 minutos cada execução do modelo de simulação.

Quanto à cirurgia de ambulatório, o modelo de otimização gerou somente 8 soluções, das quais 6 foram escolhidas para serem introduzidas no modelo de simulação, em virtude de serem significativamente distintas entre si. Em seguida, foi gerada uma fronteira de *pareto* com 4 soluções, tendo sido por fim selecionada a terceira solução para ser analisada em maior pormenor, dado tratar-se daquela que apresentava o melhor compromisso de indicadores de qualidade. O modelo de otimização também foi executado durante 24h, sendo o tempo médio de execução da simulação de 3 minutos. Como a otimização do modelo de ambulatório gerou um número reduzido de possíveis soluções, foram necessariamente testadas menos soluções pelo modelo de simulação, o que poderá porventura explicar a menor qualidade das soluções encontradas. O reduzido número de soluções decorreu provavelmente da informação limitada que foi fornecida pelo hospital acerca as especialidades envolvidas em cirurgia de ambulatório, o que impediu a definição mais completa das restrições abordadas em detalhe na secção 5.1.1.

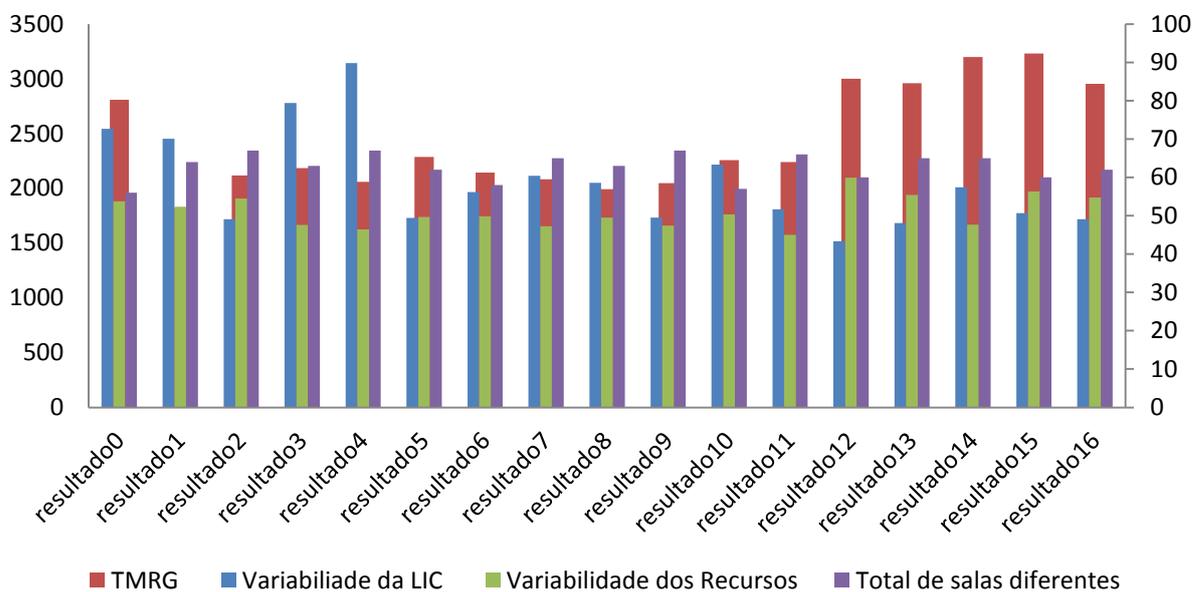


Figura 28 – Fronteira de Pareto da otimização para cirurgia convencional. Os diferentes resultados ao longo do eixo das abcissas representam as 17 soluções não dominadas geradas pelo modelo de otimização. As barras coloridas representam o desempenho de cada uma dessas soluções nos diversos indicadores de qualidade considerados na avaliação da eficiência do bloco operatório. O eixo das ordenadas à esquerda representa o número de doentes que ultrapassa o TMRG; o eixo das ordenadas à direita representa a variância da taxa de utilização dos recursos físicos e a variância da taxa de evolução da LIC; também no eixo da direita, se representa o número de salas diferentes usadas por cada especialidade cirúrgica. Para todos os indicadores foi usada a média das três replicações efetuadas pelo modelo de simulação.

MSS otimizado versus MSS real

Conforme ilustrado na Tabela 13, o modelo otimizado para cirurgia convencional ajustou os períodos temporais atribuídos a cada uma das diversas especialidades cirúrgicas tendo em conta a procura estimada, sendo de salientar que no cômputo geral se registou uma diminuição de 7 períodos temporais. É de referir que o MSS em vigor no hospital de referência não é apresentado em maior detalhe por questões de confidencialidade.

Do mesmo modo, o MSS otimizado para cirurgia de ambulatório recorreu aproximadamente ao mesmo número de períodos temporais que o MSS em vigor na realidade.

Tabela 12 – Comparação do número de períodos temporais usados por cada especialidade cirúrgica entre o MSS otimizado e o MSS real-simulado

Especialidade cirúrgica	Períodos temporais	
	MSS otimizado	MSS real-simulado
Cirurgia Geral	31	34
Cirurgia Pediátrica	1	2
Cirurgia Plástica	14	12
Cirurgia Vascular	8	11
Estomatologia	1	0
Ginecologia	9	9
Neurocirurgia	10	8
Obstetrícia	1	2
Oftalmologia	4	4
Ortopedia	17	20
Otorrinolaringologia	12	9
Urologia	8	10
Cirurgia Cardiotorácica	9	11
Total	125	132

Produção – anual

De forma global, o MSS otimizado para regime convencional permitiu uma produção anual semelhante à obtida pelo MSS em vigor na realidade. É de destacar que o MSS otimizado conseguiu aumentar a produção anual e simultaneamente diminuir o número total de períodos temporais utilizados.

Apesar dessa redução do número total de horas de bloco semanal, a evolução da LIC manteve-se idêntica à simulada com o MSS real. Uma razão possível é o foco particular do modelo na utilização mais eficiente das unidades pós-cirúrgicas, o que sugere que, na realidade, a capacidade do bloco operatório e a lotação dessas unidades não estavam em equilíbrio. Esta hipótese é reforçada pelo facto de o hospital em questão ter recentemente aumentado a capacidade de camas em algumas unidades.

A produção anual em regime de ambulatório foi também globalmente similar entre o MSS otimizado e o MSS real, com exceção da diminuição do número total de intervenções em Oftalmologia e o aumento do mesmo em Cirurgia Pediátrica. Do mesmo modo, a produção diária manteve-se estável com a aplicação do modelo de otimização.

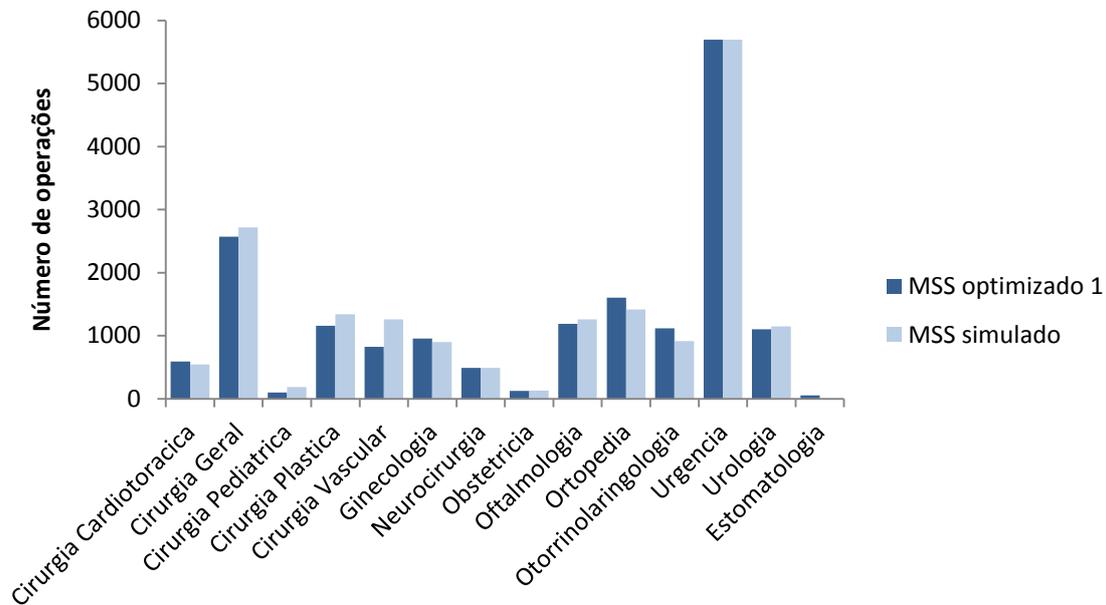


Figura 29 – Produção anual por especialidade em cirurgia convencional. As barras representam o número total de intervenções cirúrgicas realizadas pelo modelo de simulação usando o MSS real (cinzento claro) e o MSS otimizado (cinzento escuro). Os valores calculados correspondem à média do total de cirurgias obtidas em cada uma das três replicações efetuadas pelo modelo de simulação para ambos os MSS's.

Produção diária

A produção diária (Figura 40) foi idêntica com a simulação do MSS otimizado e do MSS real, quer em regime convencional, quer em ambulatório. Além disso, os picos de atividade mantiveram-se dentro da mesma magnitude, o que implica que o modelo de otimização obedeceu a critérios realistas no que concerne à quantidade de doentes que prevê ser possível operar por dia.

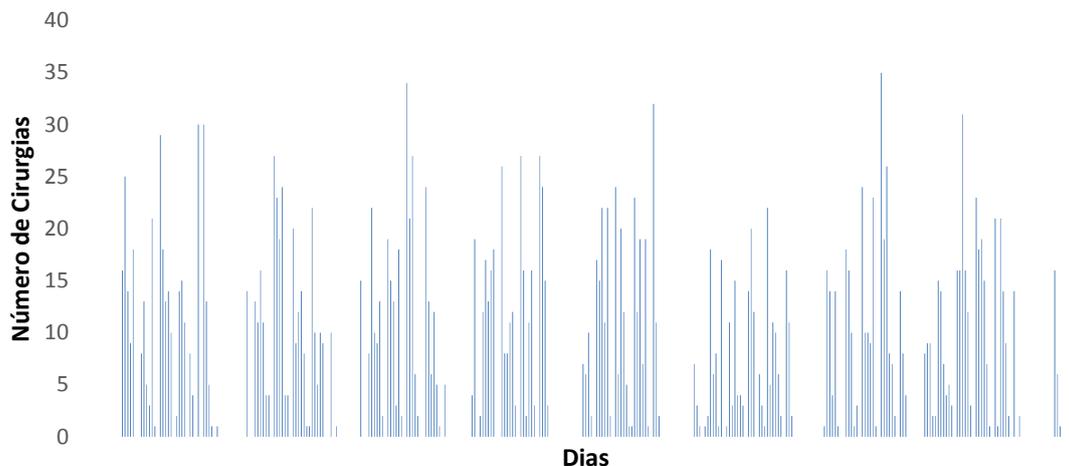
Cirurgia Geral – MSS otimizado

Figura 30 – Produção diária para a especialidade Cirurgia Geral simulada pelo modelo com aplicação do MSS otimizado. As barras representam o número total de intervenções cirúrgicas realizadas em cada um dos dias do ano (eixo das abcissas). Os intervalos correspondem aos dias em que não houve cirurgias.

Evolução da LIC

No regime convencional, as três replicações do MSS real e do MSS otimizado foram sobreponíveis relativamente à evolução da LIC (Figuras 45 e 46). Embora o modelo de otimização tenha tido apenas um impacto modesto na dimensão da LIC, é de salientar que se registou uma uniformização das diferentes especialidades, ou seja, houve uma maior aproximação do número de doentes em cada uma das LIC.

Já no que toca ao ambulatório, a evolução da LIC diferiu entre as várias especialidades quando comparadas as replicações do MSS otimizado e do MSS real. Enquanto a simulação do MSS real reduziu consideravelmente a LIC de Cirurgia Geral e Dermatologia, aumentou a de Cirurgia Pediátrica e manteve as restantes estáveis, já a simulação do MSS otimizado moderou a diminuição da LIC de Cirurgia Geral e dessa forma conseguiu diminuir mais homoganeamente a LIC de cada uma das outras especialidades. Esta aproximação entre a quantidade de doentes em espera para as várias especialidades foi ao encontro de um dos objetivos do modelo de otimização, que consistia na minimização da quantidade de utentes que excedem o TMRG, conforme explorado em mais detalhe na secção seguinte.

Cirurgia Geral - convencional

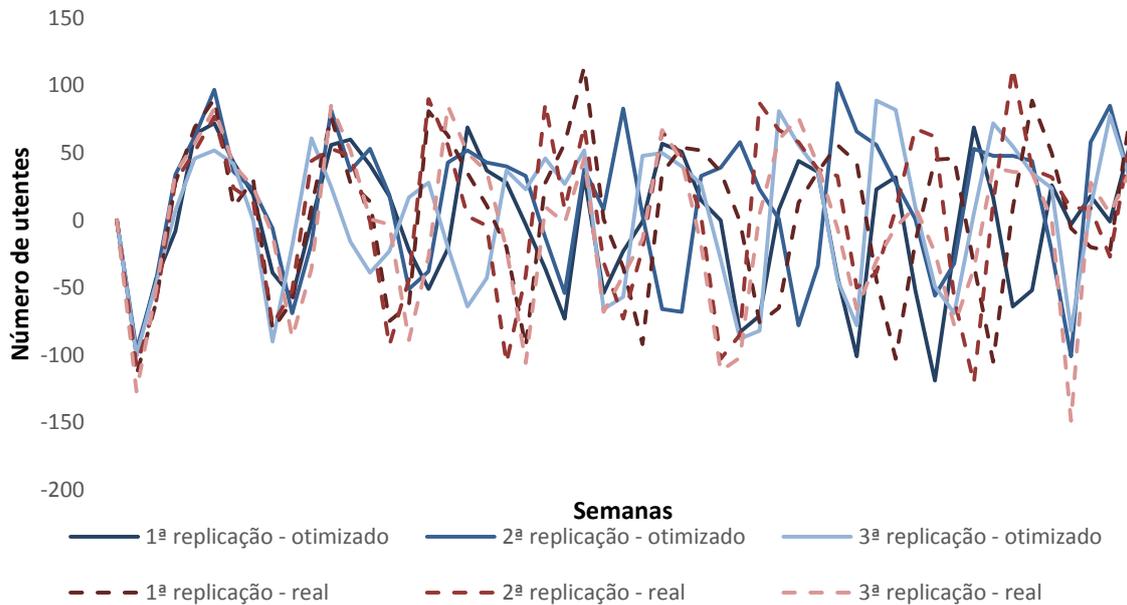


Figura 31 – Comportamento semanal da LIC de Cirurgia Geral. As linhas representam a diferença entre o número de utentes que entraram na LIC e os que dela saíram em cada uma das semanas do ano. As entradas foram consideradas pelo dia de inscrição na LIC e as saídas pelo dia da operação. O gráfico compara os picos positivos e negativos simulados em cada uma das replicações do modelo, quer para o MSS real quer para o MSS otimizado. Os picos positivos correspondem a semanas em que o total de entradas excedeu o total de saídas, e os negativos a situação inversa. O cálculo do total semanal resultou do somatório das entradas e saídas ao final do dia de Domingo.

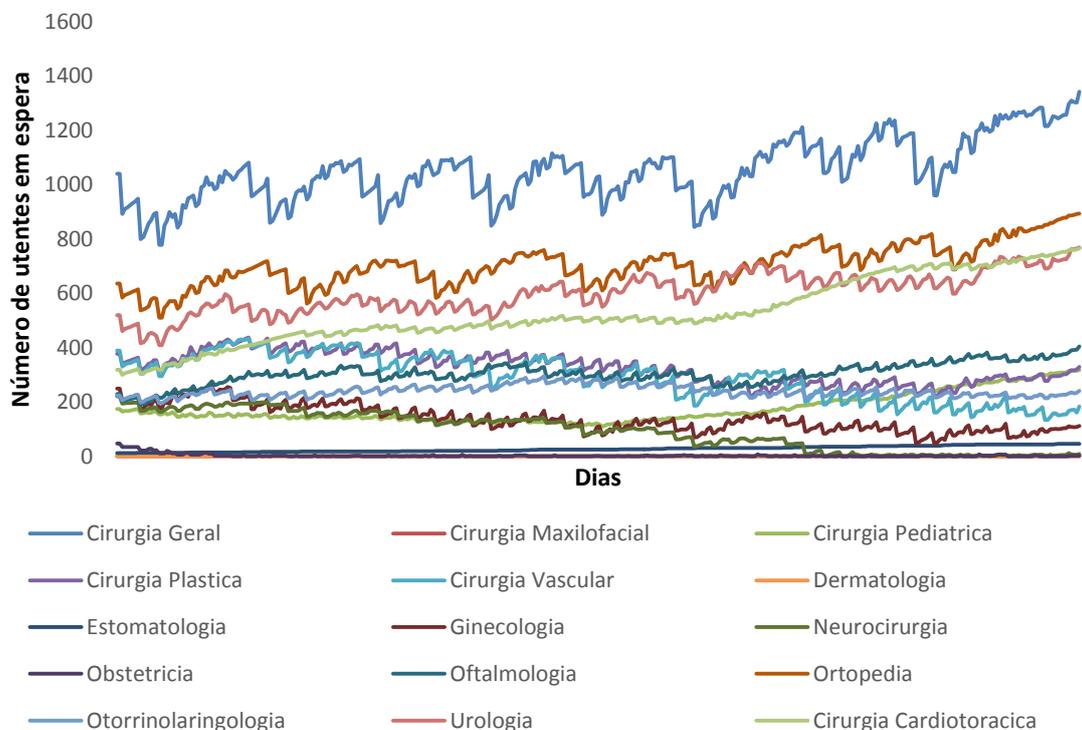


Figura 32 – Evolução da LIC por especialidade ao longo do ano resultante da aplicação do MSS real pelo modelo de simulação. As linhas coloridas representam a dimensão da LIC (em número total de doentes) para cada uma das especialidades em cada semana do ano (eixo das abcissas). Para cálculo da dimensão da LIC foi considerado o número total de doentes inscritos para cirurgia ao final do dia de Domingo.

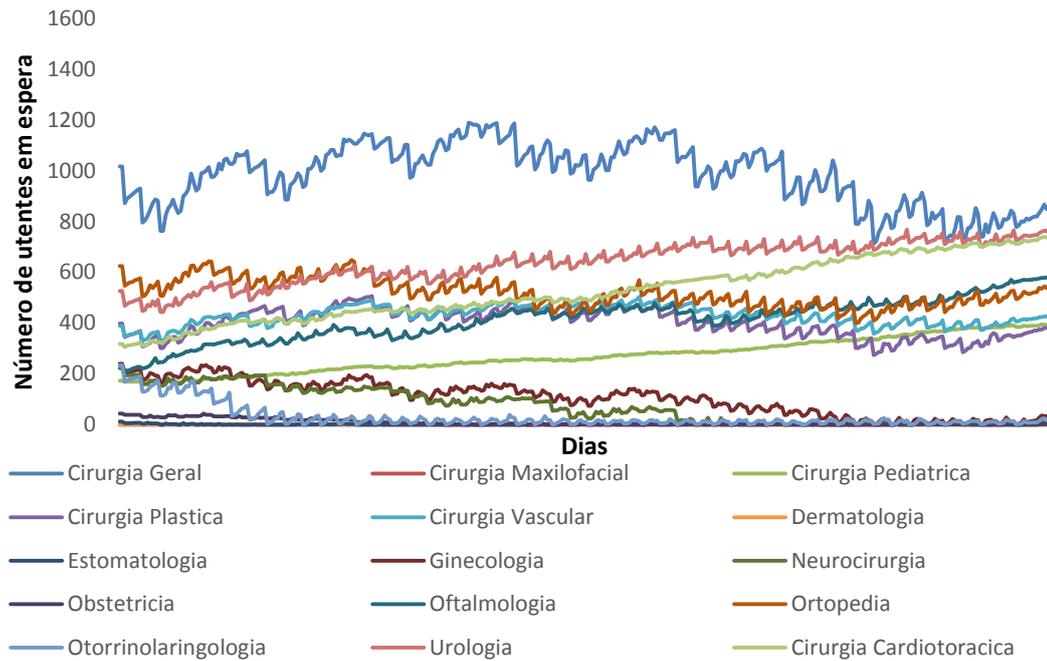


Figura 33 – Evolução da LIC por especialidade ao longo do ano resultante da aplicação do MSS otimizado pelo modelo de simulação. As linhas coloridas representam a dimensão da LIC (em número total de doentes) para cada uma das especialidades em cada semana do ano (eixo das abcissas). Para cálculo da dimensão da LIC foi considerado o número total de doentes inscritos para cirurgia ao final do dia de Domingo.

Cumprimento do TMRG

Quanto ao cumprimento do TMRG em regime convencional, houve uma diminuição de aproximadamente 10% no número médio de doentes que excedeu esse prazo, embora se tenha registado um ligeiro aumento do número de dias em que o mesmo é ultrapassado.

Pelo contrário, a aplicação do MSS otimizado em cirurgia de ambulatório resultou na diminuição para metade do número de doentes que ultrapassou o TMRG bem como na diminuição do número médio de dias em que esse tempo é excedido.

É, portanto, relativamente ao TMRG que o desempenho do modelo se destaca, pois consegue um decréscimo significativo no número de doentes que não cumprem os limites estabelecidos pelo SIGIC. Embora em regime convencional tenha havido um aumento compensatório no número de dias de espera além do TMRG, convém salientar que esse indicador é pouco relevante, uma vez que as penalizações são aplicadas aos hospitais apenas em função de o período de tempo em espera ultrapassar ou não o TMRG.

Tabela 13 - Cumprimento dos TMRG, MSS otimizado convencional versus MSS real convencional simulado

	MSS otimizado	MSS real-simulado
Número de doentes que excede TMRG	1816	2011
Tempo médio excedido (dias)	22	16

Os valores do modelo de simulação foram obtidos a partir da média das três replicações. Para a avaliação do TMRG, foi comparada a diferença entre a data da cirurgia e a da inscrição na LIC com os períodos definidos pelas normas do SIGIC para cirurgia não-oncológica.

Taxas de utilização das unidades pós-cirúrgicas

A otimização do MSS não se repercutiu em alterações de relevo na utilização das unidades pós-cirúrgicas, mantendo-se praticamente inalteradas a taxas médias de utilização das mesmas. Este facto reforça uma vez mais a exequibilidade do MSS otimizado, visto que não colocou pressão excessiva nem considerou a utilização de recursos que não estariam disponíveis.

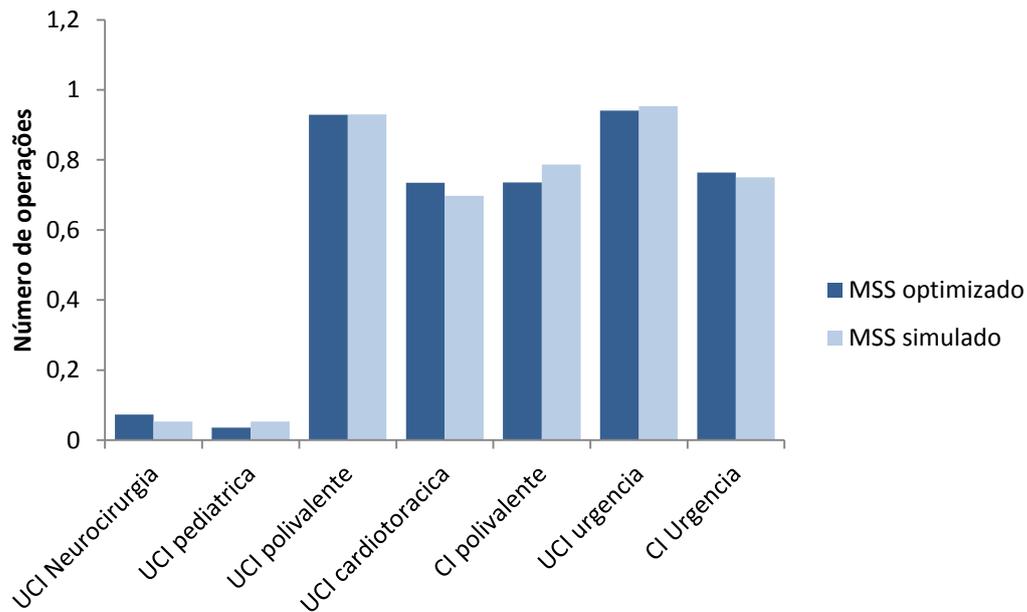


Figura 34 – Taxa de ocupação das unidades pós-cirúrgicas. As barras representam a razão entre o número de doentes que se encontram numa dada unidade e a lotação da mesma. Os valores do MSS otimizado e do MSS real foram calculados como a média das três replicações efetuadas pelo modelo de simulação para cada um dos MSS.

6 Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro

À medida que se agravam os cortes orçamentais e as fontes de financiamento se tornam cada vez mais limitadas, os serviços de saúde vêm-se confrontados com a necessidade de melhorar a eficiência da gestão das unidades hospitalares. Sendo a principal fonte de receita e de despesa do hospital, o bloco operatório torna-se alvo primordial de quaisquer políticas cujo intuito seja a eficiente gestão de recursos físicos e humanos. O MSS é a peça chave na gestão do bloco operatório, na medida em que estabelece os princípios reguladores do funcionamento do mesmo. A sua influência na produtividade cirúrgica não pode ser menosprezada e daí o interesse crescente no desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão nesta área.

O presente trabalho demonstrou que é possível desenvolver modelos de simulação-otimização multiobjectivo na área da saúde, com potencial para serem aplicados na prática em serviços do sector público ou privado.

No caso particular do bloco operatório, os modelos de simulação parecem reproduzir de forma fidedigna a realidade, mesmo quando lhes é fornecida informação limitada. Os modelos de otimização, por seu lado, conseguem alcançar ganhos significativos em determinados indicadores de qualidade, mantendo, contudo, o equilíbrio dos restantes.

De facto, a combinação sequencial do modelo de otimização e simulação melhorou o cumprimento do TMRG conforme estipulado pelo SIGIC, sem comprometer o desempenho nos restantes indicadores. Para a diminuição do número de doentes que são operados dentro do prazo esperado muito contribuiu a alteração das normas de reagendamento de cirurgias canceladas, o que sugere que melhorias significativas podem ser alcançadas com medidas simples e sem consumo extraordinário de recursos.

É ainda de realçar que o modelo de simulação-otimização se cingiu aos recursos disponíveis, demonstrando assim que há margem para aumentar a eficiência do bloco operatório nas circunstâncias atuais.

Por outro lado, a validação do modelo não tomou em linha de conta os recursos humanos. Dado o seu papel preponderante no bloco operatório e nos serviços de saúde em geral, essa poderá ser vista como uma limitação da validação do modelo, na qual é sem dúvida prioritário investir. Sob uma outra perspetiva, essa limitação representa uma potencial fonte de ganhos em eficiência se, futuramente, forem considerados em modelos para o bloco operatório.

Um dos principais obstáculos ao desenvolvimento do modelo foi a escassez da informação disponibilizada pelo hospital de referência. De facto, o modelo de otimização provou ser capaz de encontrar mais soluções e, conseqüentemente, aumentar a probabilidade de descobrir soluções mais vantajosas quando dispunha de mais informação em quantidade e qualidade. Assim sendo, o futuro passará pelo estabelecimento de parcerias entre grupos dedicados ao desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão em saúde e instituições de saúde. A colaboração estreita entre essas entidades é do interesse mútuo, uma vez que a partilha livre de informação é crucial para garantir o máximo usufruto das potencialidades dos modelos de simulação-otimização.

Além disso, a disponibilidade de informação cabal acerca do percurso do utente durante a admissão hospitalar é imprescindível à construção de modelos fidedignos, nos quais administradores e gestores possam basear decisões do foro estratégico e operacional. A confiança dos decisores nos modelos dependerá da exatidão com que simulam a realidade. Esta preocupação esteve presente ao longo de todo o desenvolvimento do projeto, particularmente na validação do modelo de simulação, visto que a sensibilidade das matérias da área da saúde implica que qualquer imprecisão possa ter repercussões dramáticas.

Embora o modelo de otimização-simulação tenha provado ser uma ferramenta promissora de suporte à decisão na gestão do bloco operatório, há ainda diversos aspetos a explorar e melhorar. O elevado grau de estocacidade e incerteza que caracterizam a área da saúde requerem o desenvolvimento de sistemas dotados de maior complexidade e com capacidade de ter em consideração maior número de variáveis.

Ao longo do desenvolvimento do modelo de simulação concluiu-se que este permitia a realização de uma análise à capacidade instalada, o que se revelou de elevada utilidade. É possível testar diferentes cenários, variando a oferta e com isso analisar o impacto de cada variável no desempenho do sistema. No futuro deverá ser incluída a possibilidade de o modelo gerir autonomamente a disponibilidade de salas ao longo do ano, isto é, o modelo poderá variar a quantidade de salas em funcionamento em diferentes momentos, permitindo assim rentabilizar ao máximo os recursos e ajustar a oferta em períodos de menor procura.

Em termos mais técnicos, a necessidade mais premente é desenvolver o mesmo sistema de simulação noutra *software* que permitisse tempos de execução significativamente mais curtos. A rapidez de execução do modelo permitiria, por sua vez, realizar mais replicações de cada MSS e, assim, isolar os efeitos da estocacidade e aumentar a aproximação do modelo à realidade.

Outro ponto que merece particular atenção no futuro é o comportamento incerto do modelo de otimização no que toca à evolução das soluções geradas. É preciso investir na análise do modo como o espaço de procura deve ser orientado com base na simulação. Também seria interessante desenvolver diferentes modelos de otimização, recorrendo, por exemplo, a algoritmos genéticos, comparando posteriormente a qualidade e quantidade de soluções encontradas.

Em suma, a abordagem holística ao MSS levou ao desenvolvimento de um sistema de otimização-simulação capaz de contribuir para a gestão mais eficiente do bloco operatório. A sua futura implementação prática numa instituição de saúde revelará o seu verdadeiro potencial e apontará novos caminhos a explorar. Sistemas de apoio à decisão como o alvo deste trabalho são a chave para assegurar a eficiente gestão de recursos e assim garantir a sustentabilidade do Sistema Nacional de Saúde.

Referências

- ACSS. 2012. Relatório da Atividade em Cirurgia Programada – 1º Semestre 2012. Lisboa: Unidade Central de Gestão de Inscritos para Cirurgia.
- Agnētis, A., A. Coppi, M. Corsini, G. Dellino, C. Meloni, and M. Pranzo. 2014. "A decomposition approach for the combined master surgical schedule and surgical case assignment problems." *Health Care Management Science* no. 17 (1):49-59.
- Aguirre-Córdova, J. F., G. Chávez-Vázquez, G. A. Huitrón-Aguilar, and N. Cortés-Jiménez. 2003. "Why is surgery cancelled? causes, implications, and bibliographic antecedents." *Gaceta Médica De México* no. 139 (6):545-551.
- Almada Lobo, B. 2014. Statistical methods for forecasting - Exponential smoothing. Porto.
- Apt, K. 2003. *Principles of Constraint Programming*: Edition Cambridge University Press.
- Banditori, C., P. Cappanera, and F. Visintin. *A combined optimization-simulation approach to the master surgical scheduling problem*.
- Belien, J., E. Demeulemeester, and B. Cardoen. 2006. "Visualizing the demand for various resources as a function of the master surgery schedule: a case study." *Journal of Medical Systems* no. 30 (5):343-50.
- Borja Santos, R. 2015. "266 doentes chegaram um dia ao IPO para serem operados e não tiveram camas." *Público*, 01 April 2015.
- Dangerfield, B., and C. Roberts. *Optimisation as a statistical estimation tool: An example in estimating the AIDS treatment-free incubation period distribution*.
- Dexter, F., A. Macario, and L. O'Neill. 2000. "Scheduling surgical cases into overflow block time- computer simulation of the effects of scheduling strategies on operating room labor costs." *Anesthesia Analgesia* no. 90 (4):980-8.
- el-Darzi, E., C. Vasilakis, T. Chaussalet, and P. H. Millard. 1998. "A simulation modelling approach to evaluating length of stay, occupancy, emptiness and bed blocking in a hospital geriatric department." *Health Care Management Science* no. 1 (2):143-9.
- Erdogan, S. A., B. T. Denton, J. J. Cochran, L. A. Cox, P. Keskinocak, J. P. Kharoufeh, and J. C. Smith. 2010. "Surgery Planning and Scheduling." In *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*. John Wiley & Sons, Inc.
- Etzioni, D. A., J. H. Liu, M. A. Maggard, and C. Y. Ko. 2003. *The aging population and its impact on the surgery workforce*.
- Ghani, U., R. Monfared, and R. Harrison. 2015. "Integration approach to virtual-driven discrete event simulation for manufacturing systems." *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* no. 28 (8):844-860.
- Guerriero, F., and R. Guido. 2011. "Operational research in the management of the operating theatre: a survey." *Health Care Management Science* no. 14 (1):89-114.

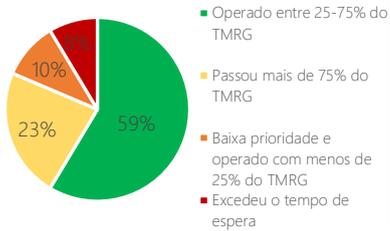
- Gunal, M. M. 2012. "A guide for building hospital simulation models." *Health Systems* no. 1 (1):17.
- Hanzak, T. *Holt-Winters Method with General Seasonality*.
- Harper, P. R. 2002. "A framework for operational modelling of hospital resources." *Health Care Management Science* no. 5 (3):165-173.
- Hyndman, R. J. 2008. *Forecasting with exponential smoothing. [electronic book] : the state space approach, Springer series in statistics: Heidelberg : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008*.
- Hyndman, R. J., A. B. Koehler, R. D. Snyder, and S. Grose. 2002. "A state space framework for automatic forecasting using exponential smoothing methods." *International Journal of Forecasting* no. 18:439-454.
- Jian, X., C. Ying-wu, Y. Ke-wei, Z. Qing-song, and X. Li-ning. 2012. "A hybrid multiobjective genetic algorithm for robust resource-constrained project scheduling with stochastic durations." *Mathematical Problems in Engineering* no. 2012:1-24.
- Koehler, A. B., R. D. Snyder, and J. K. Ord. 2001. "Forecasting models and prediction intervals for the multiplicative Holt–Winters method." *International Journal of Forecasting* no. 17:269-286.
- Kroshl, W. M., S. Sarkani, and T. A. Mazzuchi. 2015. "Efficient allocation of resources for defense of spatially distributed networks using agent-based simulation." *Risk Analysis*.
- Lane, D., C. Monefeldt, and E. Husemann. 2003. "Client involvement in simulation model building: hints and insights from a case study in a London hospital." *Health Care Management Science* no. 6 (2):105-116.
- Laskowski, M., B. C. Demianyk, J. Witt, S. N. Mukhi, M. R. Friesen, and R. D. McLeod. 2011. "Agent-based modeling of the spread of influenza-like illness in an emergency department: a simulation study." *IEEE Trans Inf Technol Biomed* no. 15 (6):877-89.
- Lin, R., M. Y. Sir, and K. S. Pasupathy. 2013. "Multi-objective simulation optimization using data envelopment analysis and genetic algorithm: Specific application to determining optimal resource levels in surgical services." *Omega* no. 41:881-892.
- Litvak, E., and M. C. Long. 2000. "Cost and quality under managed care: irreconcilable differences?" *The American Journal Of Managed Care* no. 6 (3):305-312.
- Macario, A. 2006. "Are your hospital operating rooms "efficient"? A scoring system with eight performance indicators." *Anesthesiology* no. 105 (2):237-40.
- Magerlein, J. M., and J. B. Martin. 1978. "Surgical demand scheduling: a review." *Health Services Research* no. 13 (4):418-33.
- Mannino, C., E. J. Nilssen, and T. E. Nordlander. 2012. "A pattern based, robust approach to cyclic master surgery scheduling." *Journal of Scheduling* no. 15 (5):553-563.
- May, J. H., W. E. Spangler, D. P. Strum, and L. G. Vargas. 2011. "The Surgical Scheduling Problem: Current Research and Future Opportunities." *Production & Operations Management* no. 20 (3):392-405.
- McIntosh, C., F. Dexter, and R. H. Epstein. 2006. "The impact of service-specific staffing, case scheduling, turnovers, and first-case starts on anesthesia group and operating room productivity: a tutorial using data from an Australian hospital." *Anesthesia Analgesia* no. 103 (6):1499-516.
- Ozkarahan, I. 2000. "Allocation of surgeries to operating rooms by goal programming." *Journal of Medical Systems* no. 24 (6):339-78.

- Pascoal, M. L. H., and M. A. F. Gatto. 2006. "Rate of surgery cancellation at a university hospital and reasons for patients' absence from the planned surgery." *Revista Latino-Americana de Enfermagem* (1):48.
- Persson, M., and J. Persson. 2010. "Analysing management policies for operating room planning using simulation." *Health Care Management Science* no. 13 (2):182-191.
- Pita Barros, P. 2013. *Economia da Saúde - Conceitos e Comportamentos*. 2nd ed. Coimbra: Editora Almedina.
- Siebers, P., U. Aickelin, H. Celia, and C. Clegg. 2010. "Towards the development of a simulator for investigating the impact of people management practices on retail performance."
- Sreekanth, J., and B. Datta. 2011. "Coupled simulation-optimization model for coastal aquifer management using genetic programming-based ensemble surrogate models and multiple-realization optimization." *Water Resources Research* no. 47 (4).
- Stepaniak, P. S., C. Heij, G. H. H. Mannaerts, M. de Quelerij, and G. de Vries. 2009. "Modeling procedure and surgical times for current procedural terminology-anesthesia-surgeon combinations and evaluation in terms of case-duration prediction and operating room efficiency: a multicenter study." *Anesthesia and Analgesia* no. 109 (4):1232 - 1245.
- Strum, D. P., A. R. Sampson, J. H. May, and L. G. Vargas. 2000. "Surgeon and type of anesthesia predict variability in surgical procedure times." *Anesthesiology* no. 92 (5):1454-66.
- Taylor, J. W. 2003. Short-Term Electricity Demand Forecasting Using Double Seasonal Exponential Smoothing. 799.
- Whittaker, G., S. M. Griffith, J. J. Steiner, G. W. Mueller-Warrant, G. M. Banowetz, R. Confesor Jr, R. Färe, and S. Grosskopf. 2009. "A hybrid genetic algorithm for multiobjective problems with activity analysis-based local search." *European Journal of Operational Research* no. 193 (1):195-203.
- Winters, P. R. 1960. "Forecasting sales by exponentially weighted moving averages." *Management Science* no. 6 (3):324-342.
- Wullink, G., M. Van Houdenhoven, E. W. Hans, J. M. van Oostrum, M. van der Lans, and G. Kazemier. 2007. "Closing emergency operating rooms improves efficiency." *Journal of Medical Systems* no. 31 (6):543-6.

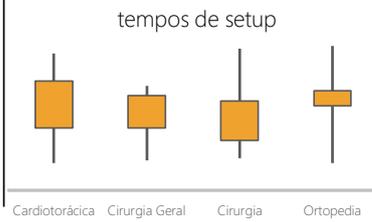
ANEXO A: Report de gestão

HIGHLIGHTS

tempos de espera para cirurgia



560.000€ custos totais de tempos de setup



180.000€ custo total

retornos não programados ao bloco



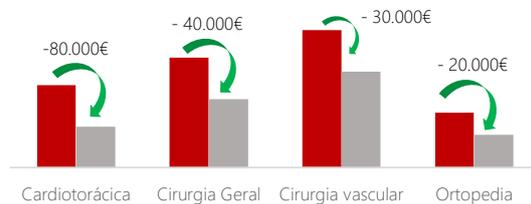
PERFORMANCE FINANCEIRA (desde 01/01/2015)

+12% variação do case-mix global

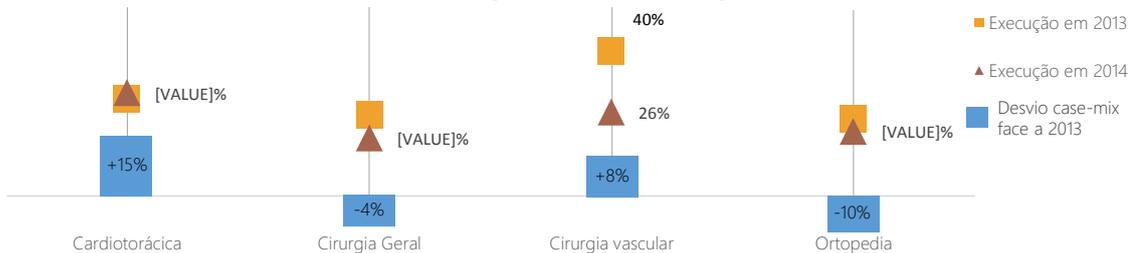
contrato programa – serviços cirúrgicos:



gastos com produção programada adicional (ppa)

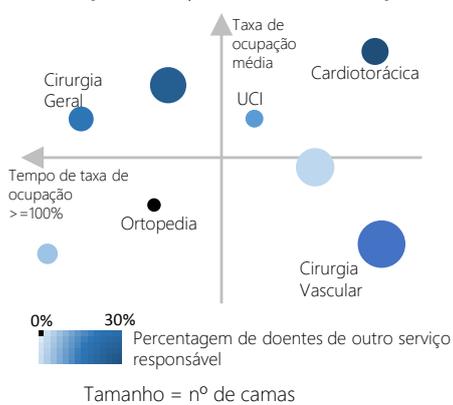


execução do contrato programa – serviços cirúrgicos

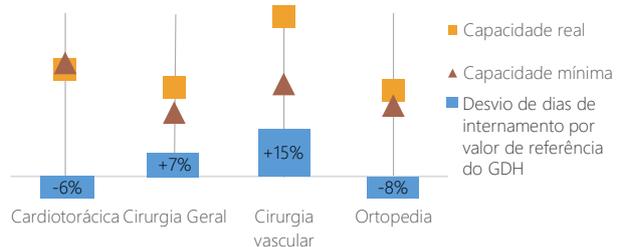


CAPACIDADE INSTALADA (novembro a janeiro)

utilização da capacidade dos serviços



análise da capacidade instalada



eficiência de utilização do bloco operatório

Serviço	Eficiência	Serviço	Eficiência
Cirurgia Geral	80%	Cirurgia Plástica	45%
Cirurgia Maxilofacial	75%	Cirurgia Vascular	35%
Cirurgia Pediátrica	69%	Neurocirurgia	27%

GESTÃO DO BLOCO (novembro a janeiro)

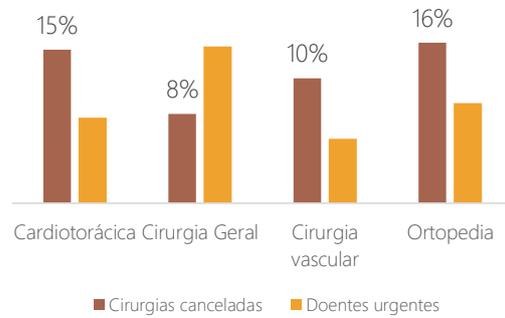
salas onde se realizam cirurgias de ambulatório



peso das cirurgias de ambulatório

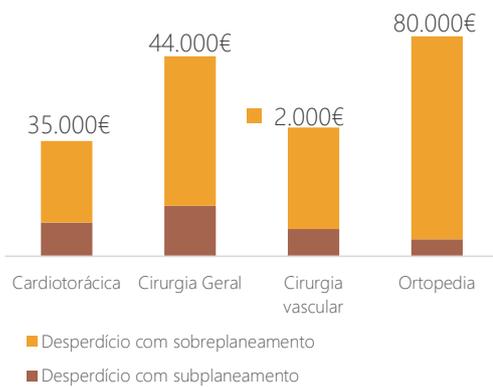


cancelamentos de cirurgias e tipo de pacientes



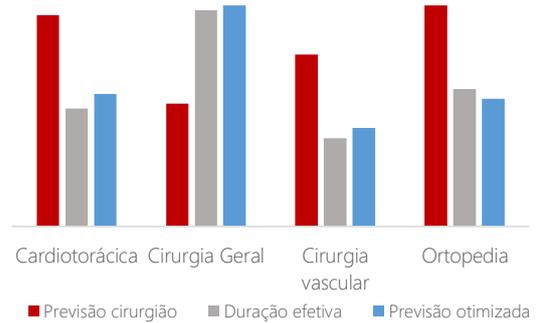
PLANEAMENTO (novembro a janeiro)

custos com planeamento do bloco



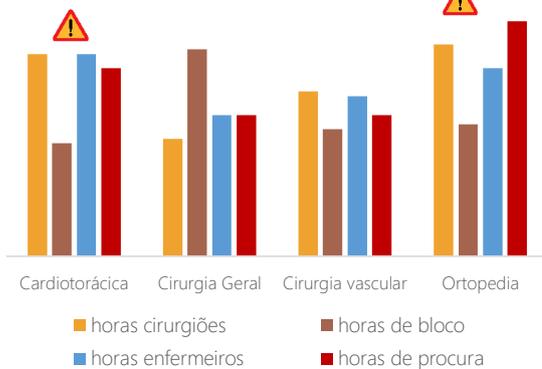
-150.000€ em PPA (com otimização da previsão da duração)

previsão da duração das cirurgias

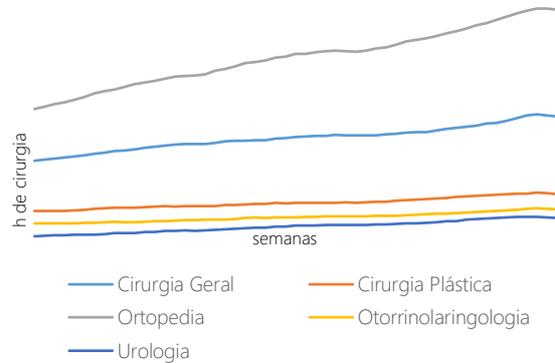


ANÁLISE PREDITIVA | OFERTA VS PROCURA

capacidade de cumprir TMRG nos próximos 3 meses



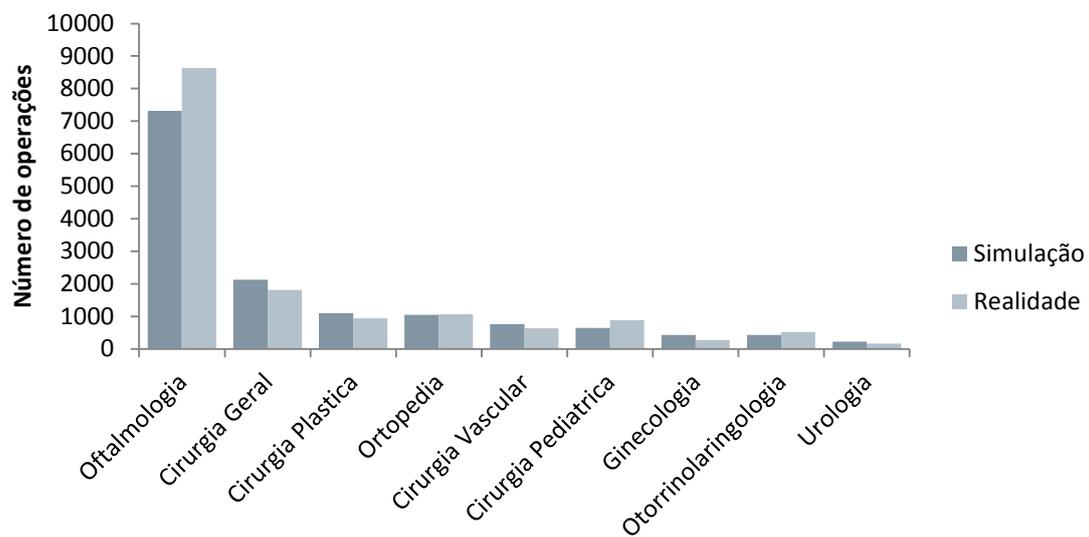
evolução da lista de inscritos para cirurgias durante o ano de 2015



ANEXO B: Resultados do Regime de Ambulatório

Validação do modelo em regime de Ambulatório

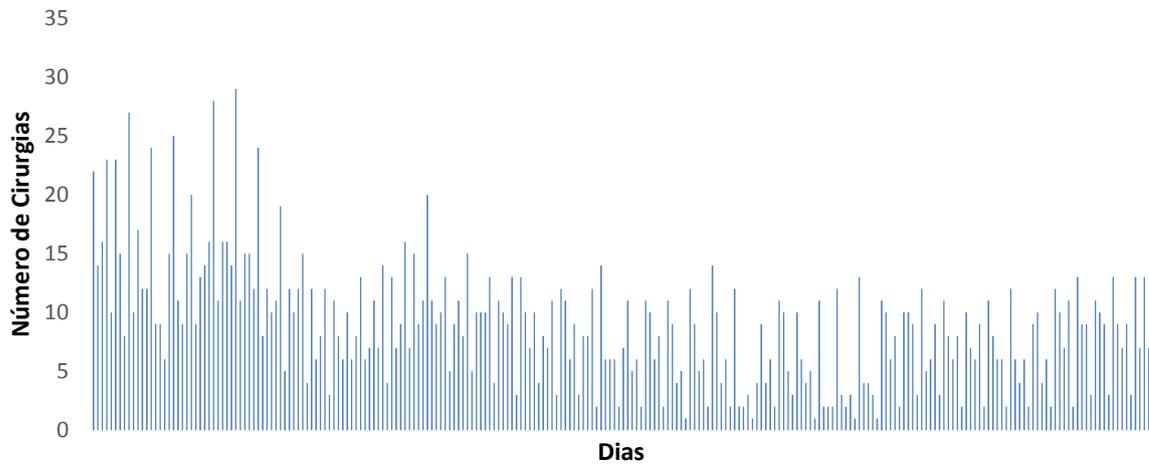
Produção anual



Produção anual por especialidade em cirurgia ambulatório. As barras representam o número total de intervenções cirúrgicas realizadas na realidade (cinzento claro) e geradas pelo modelo de simulação (cinzento escuro). Os valores referentes ao modelo de simulação foram calculados como a média do total de operações obtidas em cada uma das três replicações. Os valores considerados como realidade foram estimados com base nos dados fornecidos pelo hospital de referência.

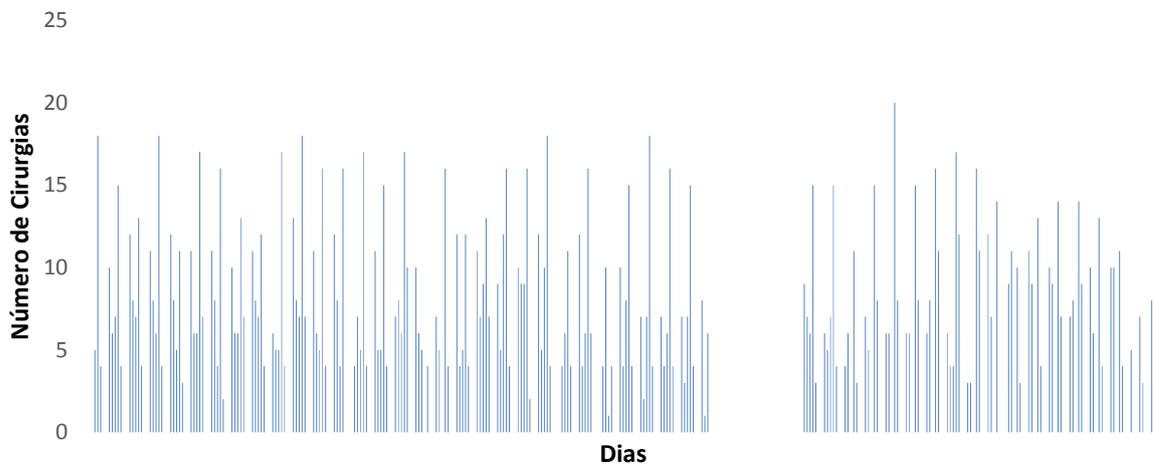
Produção diária

Cirurgia Geral – simulação



Produção diária para a especialidade Cirurgia Geral simulada pelo modelo com aplicação do MSS real. As barras representam o número total de intervenções cirúrgicas realizadas em cada um dos dias do ano (eixo das abcissas). Os intervalos correspondem aos dias em que não houve cirurgias.

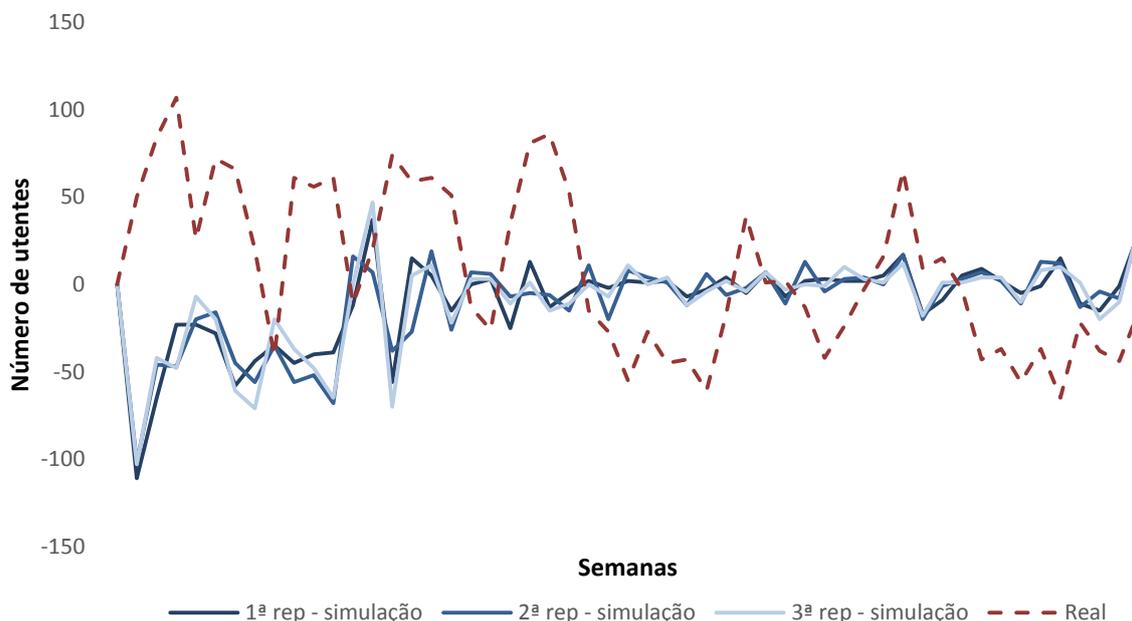
Cirurgia Geral – Real



Produção diária para a especialidade Cirurgia Geral verificada na realidade. As barras representam o número total de intervenções cirúrgicas realizadas em cada um dos dias do ano (eixo das abcissas). Os intervalos correspondem aos dias em que não houve cirurgias.

Evolução semanal da LIC

Cirurgia Geral



Evolução semanal da LIC de Cirurgia Geral. As linhas representam a diferença entre o número de doentes que entraram para a LIC e que saíram da mesma em cada uma das semanas do ano. As entradas foram consideradas como o dia de inscrição na LIC e as saídas como o dia da operação. O gráfico compara os picos positivos e negativos simulados em cada uma das replicações do modelo com o que se verificou na realidade no hospital de referência. Os picos positivos correspondem a semanas em que o total de entradas excedeu o total de saídas, e os negativos a situação inversa. O cálculo do total semanal resultou do somatório das entradas e saídas ao final do dia de Domingo.

Cumprimento dos TMRG

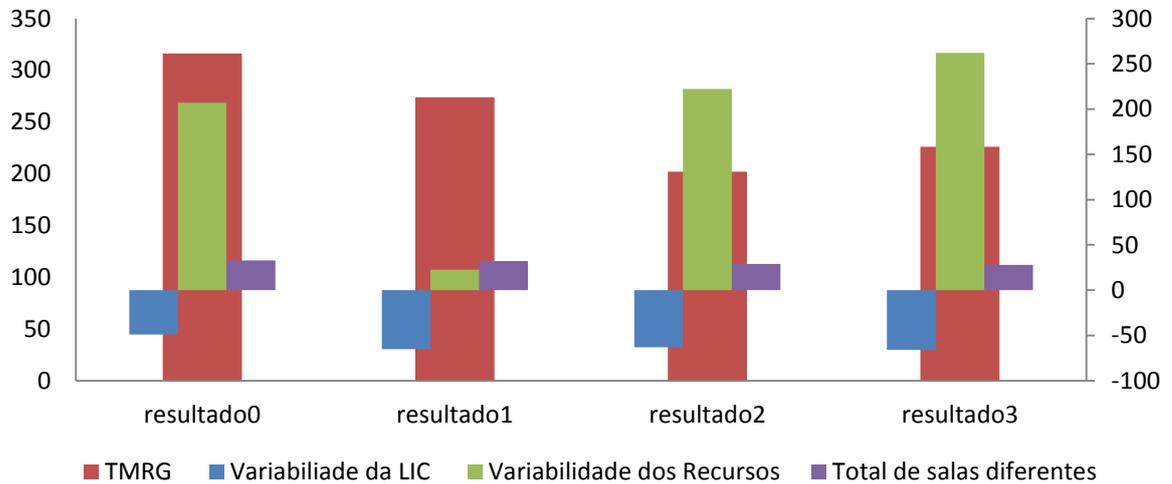
Tabela 14 - Cumprimento dos TMRG, MSS real ambulatório simulado vs realidade

	Média da simulação MSS real	Real
Número de doentes que excede TMRG	392	5321
Tempo médio que excede (dias)	23	75

Os valores do modelo de simulação foram calculados como a média das três replicações. Para a avaliação do TMRG, foi comparada a diferença entre a data da cirurgia e a da inscrição no LIC com os períodos definidos pelas normas do SIGIC para cirurgia não-oncológica.

Ambulatório otimizado

Fronteira de Pareto



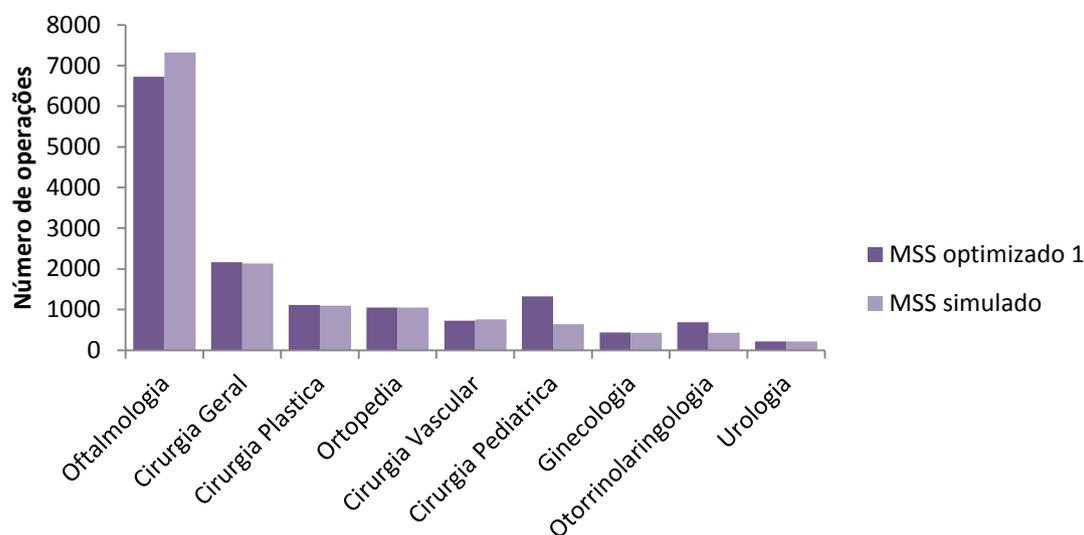
Fronteira de *pareto* da otimização para cirurgia de ambulatório. Os diferentes resultados ao longo do eixo das abcissas representam as 4 soluções não dominadas geradas pelo modelo de otimização. As barras coloridas representam o desempenho de cada uma dessas soluções nos diversos indicadores de qualidade considerados na avaliação da eficiência do bloco operatório. O eixo das ordenadas à esquerda representa o número de doentes que ultrapassa o TMRG; o eixo das ordenadas à direita representa a variância da taxa de utilização dos recursos físicos e a variância da taxa de evolução da LIC; também no eixo da direita, se representa o somatório do número de salas diferentes usadas por cada especialidade cirúrgica. Para todos os indicadores foi usada a média das três replicações efetuadas pelo modelo de simulação.

MSS otimizado versus MSS real

Resumo comparativo entre o MSS ambulatório otimizado e o real

Especialidade	Nº de períodos temporais utilizados - otimizado	Nº de períodos temporais utilizados - real
Cirurgia Geral	12	12
Cirurgia Pediátrica	5	5
Cirurgia Plástica	5	5
Cirurgia Vascular	6	5
Dermatologia	8	11
Estomatologia	11	10
Ginecologia	2	1
Oftalmologia	18	20
Ortopedia	5	6
Otorrinolaringologia	6	5
Urologia	2	1
Total	80	81

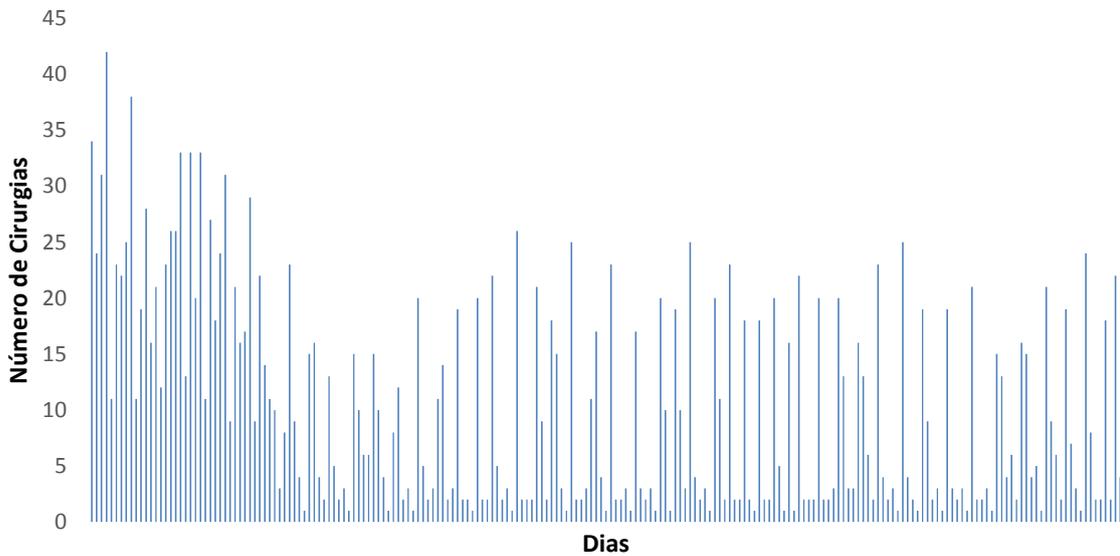
Produção anual



Produção anual por especialidade em cirurgia ambulatório. As barras representam o número total de intervenções cirúrgicas realizadas pelo modelo de simulação usando o MSS real (cinzento claro) e o MSS otimizado (cinzento escuro). Os valores foram calculados como a média do total de operações obtidas em cada uma das três replicações efectuadas pelo modelo de simulação para ambos os MSS's.

Produção diária

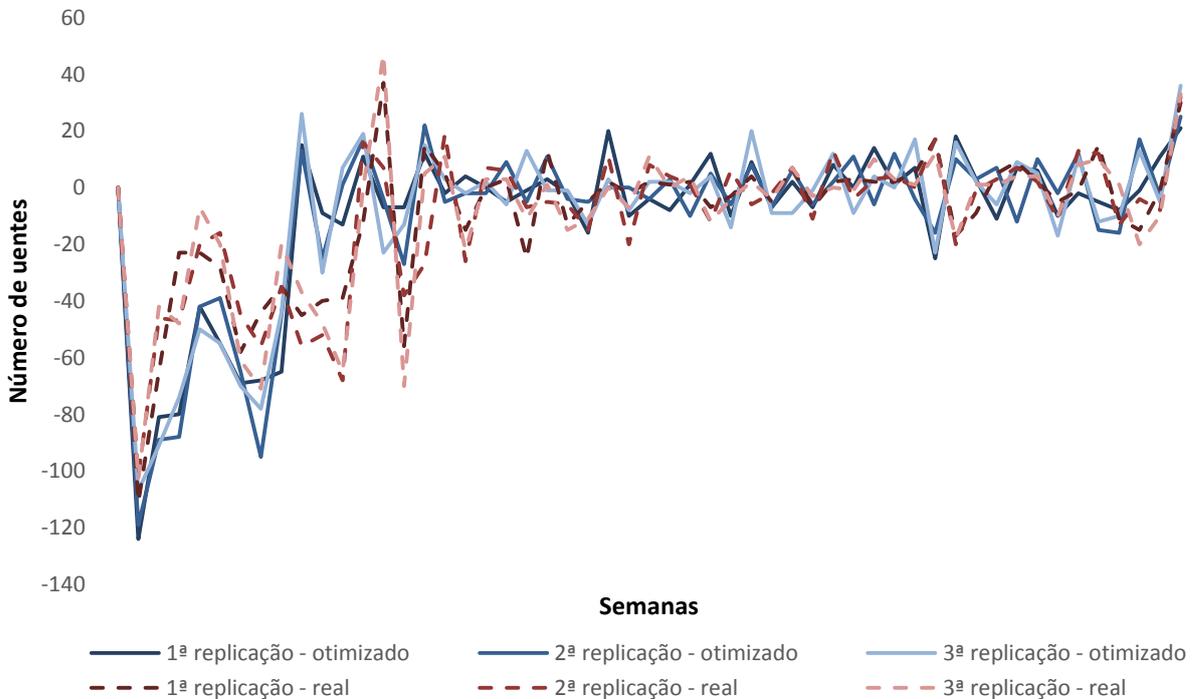
Cirurgia Geral



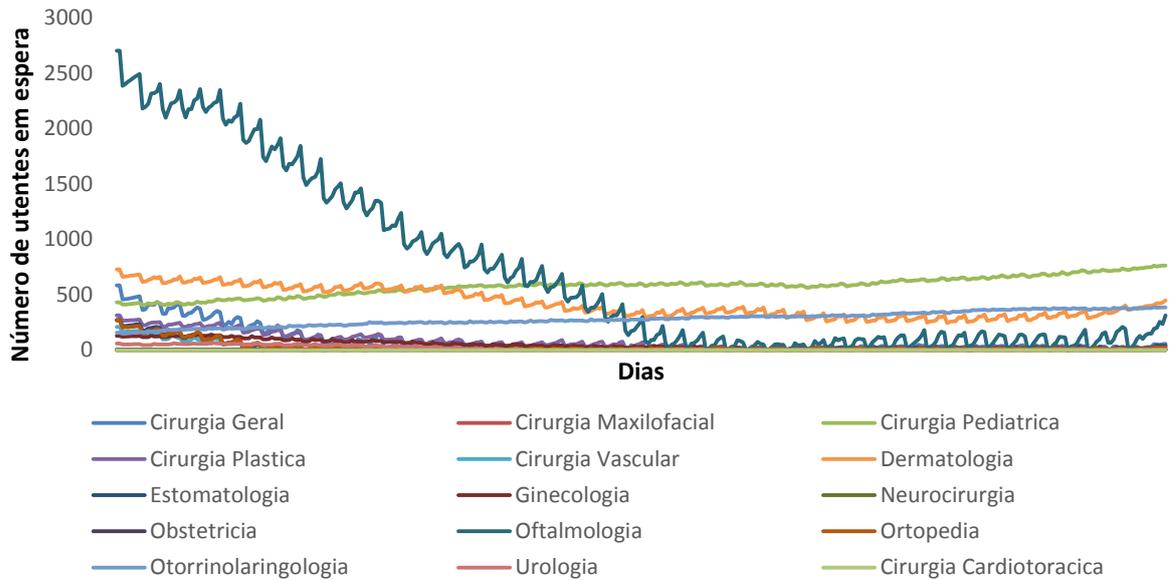
Produção diária para a especialidade Cirurgia Geral simulada pelo modelo com aplicação do MSS otimizado. As barras representam o número total de intervenções cirúrgicas realizadas em cada um dos dias do ano (eixo das abcissas). Os intervalos correspondem aos dias em que não houve cirurgias.

Evolução da LIC

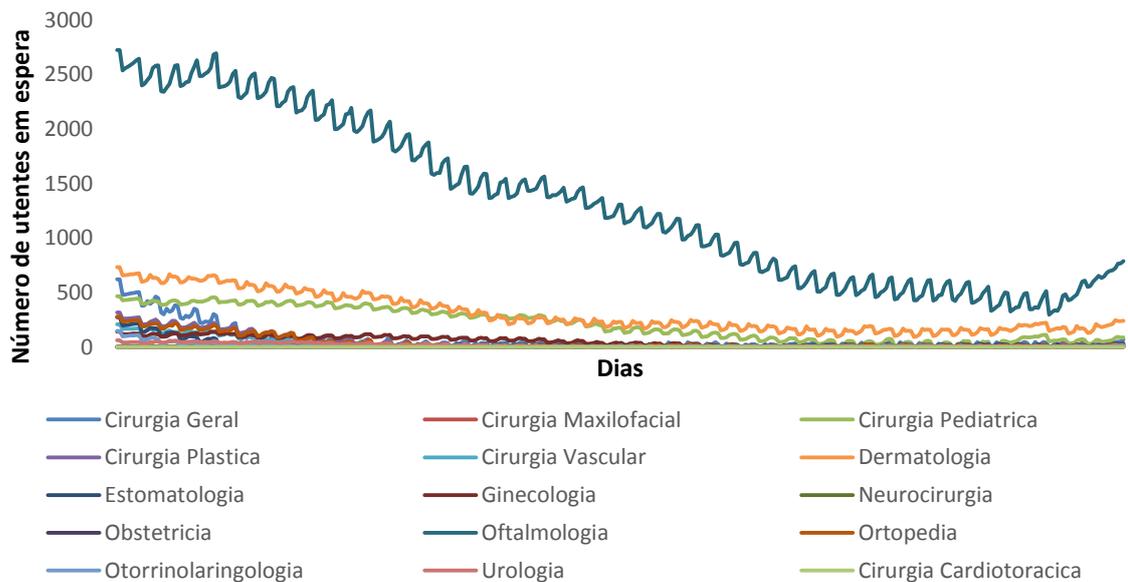
Cirurgia Geral



Comportamento semanal da LIC de Cirurgia Geral. As linhas representam a diferença entre o número de doentes que entraram para a LIC e que saíram da mesma em cada uma das semanas do ano. As entradas foram consideradas como o dia de inscrição na LIC e as saídas como o dia da operação. O gráfico compara os picos positivos e negativos simulados em cada uma das replicações do modelo quer para o MSS real (tons de laranja) quer para o MSS otimizado (tons de azul). Os picos positivos correspondem a semanas em que o total de entradas excedeu o total de saídas, e os negativos a situação inversa. O cálculo do total semanal resultou do somatório das entradas e saídas ao final do dia de Domingo.



Evolução da LIC por especialidade ao longo do ano resultante da aplicação do MSS real pelo modelo de simulação. As linhas coloridas representam a dimensão da LIC (em número total de doentes) para cada uma das especialidades em cada semana do ano (eixo das abcissas). Para cálculo da dimensão da LIC foi considerado o número total de doentes inscritos para cirurgia ao final do dia de Domingo.



Evolução da LIC por especialidade ao longo do ano resultante da aplicação do MSS otimizado pelo modelo de simulação. As linhas coloridas representam a dimensão da LIC (em número total de doentes) para cada uma das especialidades em cada semana do ano (eixo das abcissas). Para cálculo da dimensão da LIC foi considerado o número total de doentes inscritos para cirurgia ao final do dia de Domingo.

*Cumprimento dos TMRG*Tabela 15 – Cumprimento dos TMRG, MSS otimizado ambulatório *versus* MSS real ambulatório simulado

	Média da simulação MSS otimizado	MSS real simulado
Número de doentes que excede TMRG	202	392
Tempo médio que excede (dias)	3	22

Os valores do modelo de simulação foram calculados como a média das três replicações. Para a avaliação do TMRG, foi comparada a diferença entre a data da cirurgia e a da inscrição no LIC com os períodos definidos pelas normas do SIGIC para cirurgia não-oncológica.