

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
Faculdade de Ciências  
Departamento de Estatística e Investigação Operacional



# Planeamento de Cirurgias Electivas

## Abordagens em Programação Inteira

**Inês Marques Proença**

DOUTORAMENTO EM  
ESTATÍSTICA E INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL  
(Especialidade de Optimização)

2010



UNIVERSIDADE DE LISBOA  
Faculdade de Ciências  
Departamento de Estatística e Investigação Operacional



# Planeamento de Cirurgias Electivas

## Abordagens em Programação Inteira

**Inês Marques Proença**

Tese apresentada para obtenção do grau de Doutor em Estatística e Investigação Operacional, especialidade de Optimização, orientada pela Professora Doutora Maria Eugénia Vasconcelos Captivo e pela Professora Doutora Margarida Maria Gonçalves Vaz Pato.

2010



*À minha Mãe  
que me deu a vida  
e que dá vida à minha vida.*



## Resumo

Esta tese aborda e desenvolve o planeamento de cirurgias electivas no bloco operatório de um hospital central, geral e universitário, inserido na sub-região de Saúde de Lisboa, e integrado no Sistema Nacional de Saúde. Procura-se uma melhor resposta para a redução das listas de espera para cirurgia, bem como a melhoria na eficiência do funcionamento do referido hospital.

Para tal, foi desenvolvida uma abordagem de solução que abrange a formulação do problema através de um modelo em programação linear inteira, a resolução da sua relaxação linear e a aplicação de heurísticas de melhoramento criadas para o efeito. Como alternativa na obtenção de uma solução admissível para o problema, são propostas heurísticas, construtivas e híbridas, igualmente criadas para o efeito.

As metodologias desenvolvidas foram testadas com base em dados reais disponibilizados pelo hospital em estudo. Os testes mostraram bons resultados computacionais da abordagem proposta. Revelaram ainda uma adequação das soluções obtidas à realidade concreta do bloco operatório.

A abordagem proposta na presente tese proporciona ainda uma melhoria significativa no desempenho global do bloco operatório, quer ao nível da redução das listas de espera para cirurgia, quer ao nível do aumento da produtividade do bloco operatório, quer ainda da sua eficiência.

Respondendo, assim, aos objectivos a que se propôs, introduz uma visão inovadora e resolutiva de um problema actual a que é urgente dar uma resposta eficiente e eficaz.

**Palavras-Chave.** Cidadania, Cuidados de Saúde, Escalonamento, Heurísticas, Programação Linear Inteira.



# Abstract

This thesis discusses and develops the planning of elective surgeries in the operating room of a central, general and university hospital, located on the Health sub-region of Lisbon, and integrated within the Portuguese National Health Service. We look for a better response for reducing waiting lists for surgery, as well as improving the hospital efficiency of functioning.

To this end, we developed a solving approach that includes the formulation of the problem through an integer linear programming model, the computation of its linear relaxation solution and the implementation of improving heuristics created for this purpose. Alternatively for obtaining a feasible solution to the problem, constructive and hybrid heuristics are proposed, also created for this purpose.

The methodologies developed were tested on real data provided by the hospital under study. The tests showed good computational results for the proposed approach. The tests also revealed adequacy of the solutions obtained to the concrete reality of the operating room.

The approach proposed in this thesis also provides a significant improvement in the overall performance of the operating room, both in the reduction of waiting lists for surgery, and in terms of increasing productivity in surgical services, and even in efficiency.

Answering to the objectives proposed, this thesis introduces an innovative and problem-solving approach for a current problem, to which is urgent to respond efficiently and effectively.

**Keywords.** Citizenship, Health Care, Scheduling, Heuristics, Integer Linear Programming.



## Agradecimentos

Este trabalho, na sua totalidade, permitiu-me uma longa aprendizagem feita numa descoberta constante, que se renova na alegria do desafio imediato de propostas futuras.

Em primeiro lugar, agradeço à Professora Maria Eugénia Captivo e à Professora Margarida Vaz Pato por terem correspondido a um desafio por mim lançado sobre o tema desta tese, assim como o apoio permanente, interrogador e estimulante, ao longo de todo este tempo. Não quero deixar de agradecer, reconhecidamente, tudo aquilo que me ensinaram e que me foi possível aprender.

Agradeço ao Dr. Manuel Delgado o seu interesse entusiástico por este trabalho. À Dra. Margarida Baltazar, agradeço a sua paciente disponibilidade na provisão dos dados necessários à elaboração deste trabalho. À Enfermeira Fátima Menezes, agradeço a amigável e paciente descrição de todo o processo, bem como o interesse e carinho manifestados.

Aos Professores Ana Paias, António José Rodrigues, Conceição Fonseca, Fernando Bastos, Francisco Saldanha da Gama, João Telhada, Luís Gouveia e Miguel Constantino, agradeço o entusiasmo e acolhimento tão importantes num trabalho desta natureza. Ao Professor João Telhada um agradecimento pela disponibilidade e por todo o apoio informático que me forneceu. Agradeço ainda à Professora Margarida Moz o carinho e interesse que sempre manifesta pelo meu trabalho.

À minha Mãe agradeço a confiança e o estímulo. Agradeço ao Porfírio a sua presença atenta e carinhosa. Ao meu Irmão, agradeço a cumplicidade enriquecedora. À minha Avó e ao meu Avô agradeço o testemunho e à minha Tia a sua presença.

Ao Padre Traquina agradeço a esperança e a alegria, a sua presença na nossa família.

Agradeço a presença e disponibilidade da Ana e do Miguel. À Patrícia e ao João, e à Alexandra, agradeço a amizade e interesse. À Ana agradeço ainda a sua generosa ajuda.

A todos aqueles que me acompanharam ao longo deste processo e que continuam no meu caminho, agradeço profundamente a possibilidade de descoberta e de crescimento em cada momento.

# Índice

Índice de Tabelas	xv
Índice de Figuras	xvii
Lista de Abreviaturas	xix
<b>1</b> Introdução	<b>1</b>
<b>I</b> O Planeamento de Cirurgias Electivas	<b>7</b>
<b>2</b> Descrição Introdutória	<b>9</b>
2.1 Cirurgia . . . . .	9
2.2 Processo . . . . .	11
2.3 Reembolso . . . . .	12
<b>3</b> Estudo de Caso	<b>15</b>
3.1 Indicadores . . . . .	15
3.2 Procedimentos . . . . .	16
<b>4</b> Revisão de Literatura	<b>21</b>
4.1 Planeamento de Cirurgias Electivas . . . . .	23
4.1.1 <i>Case mix planning</i> . . . . .	23
4.1.2 <i>Master surgery planning</i> . . . . .	24
4.1.3 <i>Elective case scheduling</i> . . . . .	28
4.2 Outros Trabalhos . . . . .	39
<b>II</b> Abordagem ao Problema do Planeamento de Cirurgias	

<b>Electivas</b>	<b>43</b>
<b>5 Modelo Matemático</b>	<b>45</b>
5.1 Hipóteses Consideradas . . . . .	45
5.2 Enquadramento dos Parâmetros do Modelo . . . . .	46
5.3 Variáveis . . . . .	50
5.4 Restrições . . . . .	51
5.5 Funções Objectivo . . . . .	55
5.6 Complexidade Computacional . . . . .	57
5.7 Observações . . . . .	59
<b>6 Abordagem de Solução</b>	<b>63</b>
6.1 Metodologias de Solução . . . . .	63
6.2 Heurísticas Construtivas . . . . .	64
6.2.1 Heurística Híbrida . . . . .	73
6.3 Heurísticas de Melhoramento . . . . .	73
6.3.1 Rentabilizar o Bloco Operatório . . . . .	79
6.3.1.1 Observações . . . . .	81
6.3.2 Reduzir a Lista de Espera para Cirurgia . . . . .	87
<b>III Testes e Análises</b>	<b>93</b>
<b>7 Bases de Dados Disponíveis</b>	<b>95</b>
<b>8 Experiência Computacional</b>	<b>101</b>
8.1 Hipóteses Consideradas . . . . .	101
8.2 Especificação dos Parâmetros . . . . .	102
8.3 Resultados Obtidos . . . . .	105
8.3.1 Rentabilizar o Bloco Operatório . . . . .	108
8.3.1.1 Optimização do Modelo Matemático . . . . .	108
8.3.1.2 Heurística Construtiva . . . . .	117
8.3.1.3 Heurística Híbrida . . . . .	126
8.3.2 Reduzir a Lista de Espera para Cirurgia . . . . .	136
8.3.2.1 Optimização do Modelo Matemático . . . . .	136
8.3.2.2 Heurística Construtiva . . . . .	144
8.3.2.3 Heurística Híbrida . . . . .	154
8.3.3 Observações Gerais . . . . .	163

<b>9</b>	<b>Análise e Comparação</b>	<b>165</b>
9.1	Análise de Uma Solução . . . . .	165
9.1.1	Plano Operatório . . . . .	166
9.1.2	Registo Operatório . . . . .	170
9.2	Análise Global . . . . .	173
<b>IV</b>	<b>Conclusões</b>	<b>195</b>
<b>10</b>	<b>Conclusões e Trabalho Futuro</b>	<b>197</b>
10.1	Conclusões . . . . .	197
10.2	Trabalho Futuro . . . . .	200
<b>V</b>	<b>Anexos</b>	<b>203</b>
<b>A</b>	<b>Horário de Serviço dos Cirurgiões</b>	<b>205</b>
<b>B</b>	<b>Número de Variáveis e Restrições</b>	<b>209</b>
<b>C</b>	<b>Resultados Preliminares para o Desenvolvimento da Heurística de Melhoramento para Rentabilizar o Bloco Operatório</b>	<b>213</b>
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>227</b>



# Índice de Tabelas

4.1	Resumo das referências bibliográficas sobre o Planeamento de Cirurgias Electivas . . . . .	37
5.1	Parâmetros utilizados no modelo . . . . .	49
6.1	Parâmetros utilizados na heurística construtiva . . . . .	71
7.1	Descritivo da duração das 16 865 cirurgias convencionais realizadas entre 1 de Janeiro de 2004 e 28 de Dezembro de 2007 (em minutos) . . . . .	96
7.2	Descritivo da duração das 3 743 cirurgias de ambulatório realizadas entre 1 de Janeiro de 2004 e 28 de Dezembro de 2007 (em minutos) . . . . .	96
7.3	Descritivo das listas de espera para cirurgias convencionais . . . . .	99
7.4	Descritivo das listas de espera para cirurgias de ambulatório . . . . .	99
8.1	Valores dos parâmetros utilizados na experiência computacional . . . . .	105
8.2	Rentabilizar o bloco operatório - Modelo matemático - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias convencionais . . . . .	108
8.3	Rentabilizar o bloco operatório - Modelo matemático - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias de ambulatório . . . . .	111
8.4	Rentabilizar o bloco operatório - Modelo matemático - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias electivas . . . . .	116
8.5	Rentabilizar o bloco operatório - Heurística construtiva - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias convencionais . . . . .	117
8.6	Rentabilizar o bloco operatório - Heurística construtiva - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias de ambulatório . . . . .	121
8.7	Rentabilizar o bloco operatório - Heurística construtiva - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias electivas . . . . .	124
8.8	Rentabilizar o bloco operatório - Heurística híbrida - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias convencionais . . . . .	126

8.9	Rentabilizar o bloco operatório - Heurística híbrida - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias de ambulatório . . . . .	129
8.10	Rentabilizar o bloco operatório - Heurística híbrida - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias electivas . . . . .	133
8.11	Reduzir a lista de espera para cirurgia - Modelo matemático - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias convencionais . . . . .	136
8.12	Reduzir a lista de espera para cirurgia - Modelo matemático - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias de ambulatório . . . . .	139
8.13	Reduzir a lista de espera para cirurgia - Modelo matemático - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias electivas . . . . .	143
8.14	Reduzir a lista de espera para cirurgia - Heurística construtiva - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias convencionais . . . . .	144
8.15	Reduzir a lista de espera para cirurgia - Heurística construtiva - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias de ambulatório . . . . .	148
8.16	Reduzir a lista de espera para cirurgia - Heurística construtiva - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias electivas . . . . .	151
8.17	Reduzir a lista de espera para cirurgia - Heurística híbrida - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias convencionais . . . . .	154
8.18	Reduzir a lista de espera para cirurgia - Heurística híbrida - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias de ambulatório . . . . .	158
8.19	Reduzir a lista de espera para cirurgia - Heurística híbrida - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias electivas . . . . .	161
9.1	Indicadores para os planos operatórios de 12-16 Fevereiro 2007 . . . . .	169
9.2	Indicadores para os registos operatórios de 12-16 Fevereiro 2007 . . . . .	174
9.3	Rentabilizar o bloco operatório - Modelo matemático - plano operatório .	174
9.4	Rentabilizar o bloco operatório - Heurística construtiva - plano operatório	177
9.5	Rentabilizar o bloco operatório - Heurística híbrida - plano operatório . .	180
9.6	Reduzir lista de espera para cirurgia - Modelo matemático - plano operatório . . . . .	183
9.7	Reduzir lista de espera para cirurgia - Heur. construtiva - plano operatório	186
9.8	Reduzir a lista de espera para cirurgia - Heurística híbrida - plano operatório . . . . .	190
B.1	Estudo da ordem das variáveis do modelo . . . . .	209
B.2	Estudo da ordem das restrições do modelo . . . . .	210

C.1 Resultados obtidos no estudo preliminar da heurística de melhoramento . 215



# Índice de Figuras

2.1	Resumo esquemático do processo . . . . .	12
6.1	Resumo esquemático das metodologias de solução . . . . .	65
6.2	Heurística construtiva - Fase de Marcação de Cirurgias classificadas como Urgência Diferida - (a) . . . . .	74
6.3	Heurística construtiva - Fase de Marcação de Cirurgias classificadas como Urgência Diferida - (b) . . . . .	75
6.4	Heurística construtiva - Fase de Marcação de Cirurgias classificadas como Urgência Diferida - (c) . . . . .	76
6.5	Heurística construtiva - Fase de Marcação de Cirurgias classificadas como Muito Prioritárias . . . . .	77
6.6	Heurística construtiva - Fase de Marcação de Cirurgias classificadas como Prioritárias ou Normal . . . . .	78
6.7	Heurística de melhoramento - Fase de Arrumo . . . . .	82
6.8	Heurística de melhoramento - Fase de Inserção . . . . .	83
6.9	Heurística de melhoramento na rentabilização do bloco operatório - Fase de 2/3 - 1 Trocas . . . . .	84
6.10	Heurística de melhoramento na rentabilização do bloco operatório - Fase de Aproveitamento Final: 1 (última) Troca . . . . .	85
6.11	Heurística de melhoramento - Procedimento de Paragem . . . . .	86
6.12	Heurística de melhoramento na redução da lista de espera - Fase de 1 - 2/3 Trocas . . . . .	90
6.13	Heurística de melhoramento na redução da lista de espera - Fase de Aproveitamento Final: 1 (última) - 2 Trocas . . . . .	91
9.1	Plano do hospital e plano proposto para a semana de 12-16 Fevereiro 2007	167
9.2	Registo operatório e pseudo-registo operatório para a semana de 12-16 Fevereiro 2007 . . . . .	172



# Lista de Abreviaturas

CID	Codificação Internacional das Doenças
GDH	Grupo de Diagnóstico Homogéneo
ICM	Índice de <i>Case-Mix</i>
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
PD	Programação Dinâmica
PECLEC	Programa Especial de Combate às Listas de Espera Cirúrgicas
PI	Programação Inteira
PIE	Programação Inteira Estocástica
PIME	Programação Inteira Mista Estocástica
PL	Programação Linear
PLE	Programação Linear Estocástica
PLI	Programação Linear Inteira
PLIM	Programação Linear Inteira Mista
PQIM	Programação Quadrática Inteira Mista
SIGIC	Sistema Integrado de Gestão de Inscritos para Cirurgia
SNS	Serviço Nacional de Saúde
TAC	Tomografia Axial Computorizada
UCA	Unidade de Cuidados Anestésicos
UCAPO	Unidade de Cuidados Anestésicos Pós-Operatório
UCI	Unidade de Cuidados Intensivos



# Capítulo 1

## Introdução

O problema das listas de espera para cirurgia nos hospitais constitui uma das questões que mais atenção requer e que precisa, necessariamente, de uma solução urgente.

Barros [Bar08] explica que o aumento das listas de espera para cirurgia está relacionado com importantes avanços na tecnologia cirúrgica e de anestesia, verificados ao longo das últimas duas ou três décadas. Estes avanços revelaram-se fundamentais no aumento do alcance, da segurança e da eficiência dos procedimentos cirúrgicos oferecidos pelos sistemas de saúde modernos. Como consequência, verificaram-se aumentos significativos na procura de cirurgias.

Por outro lado, o aumento sucessivo do número de pessoas, em lista de espera, para cirurgia resulta, também, de uma incapacidade de resposta do sistema de saúde à procura actual de cirurgias.

A existência destas listas de espera decorre, pois, de um desfasamento entre a intensidade da procura, manifestada na chegada de novos doentes para intervenção cirúrgica, e a capacidade do sistema de saúde na resolução dessas solicitações.

Barros [Bar08] aponta três categorias de factores que levam à existência de listas de espera para intervenção cirúrgica. São eles:

- aumento da procura de intervenções cirúrgicas, em cuja base estão aspectos como o envelhecimento da população, opções clínicas associadas à introdução de novas tecnologias, expectativas dos utentes, etc.;

- definição da capacidade da oferta, de que é exemplo o número de blocos operatórios disponíveis;
- a eficiência da organização prestadora de cuidados de saúde, onde estão incluídos factores como a organização funcional dos serviços, a incerteza/variabilidade do desempenho clínico, o empenho dos recursos humanos, entre outros.

Sabe-se, da teoria de filas de espera que, se a taxa de entrada no sistema for superior à taxa de serviço, a fila encontra-se numa situação de congestionamento.

A taxa de entrada no sistema é definida pela procura de intervenções cirúrgicas, que poderá abrandar apenas numa prática de responsabilização, por parte do cidadão, em adoptar comportamentos mais saudáveis e em utilizar os serviços de saúde o mais racionalmente que lhe for possível, valendo-se, para tal, da melhor informação que lhe é disponibilizada. Tal possibilidade é já abordada no Plano Nacional de Saúde para 2004-2010 [Dir04].

A taxa de serviço do sistema é definida quer pela capacidade da oferta, quer pela eficiência da organização. A capacidade da oferta envolve a capacidade cirúrgica instalada, nomeadamente através dos blocos operatórios existentes nos hospitais do país, assim como a disponibilidade de cada bloco operatório para o atendimento do utente, que está necessariamente ligada à eficiência com que cada bloco operatório se apresenta na oferta do serviço.

A incerteza inerente às actividades cirúrgicas é também fonte potenciadora de ineficiência do bloco operatório de um hospital.

A avaliação de desempenho da oferta de capacidade cirúrgica tem sido, historicamente, realizada através do número de pessoas em lista de espera. Recentemente, esta análise tem sido complementada com a atenção ao tempo clinicamente aceitável, em lista de espera, uma vez que se reconhece já a impossibilidade prática de anular as listas de espera para cirurgia [Bar08].

As políticas desenvolvidas em Portugal, nos últimos 10 anos, dividem-se em dois grandes grupos: os que procuram estimular a realização de actividade adicional, disponibilizando verbas para a realização de cirurgias adicionais; e o mais recente, que criou um sistema de informação que permite gerir os doentes inscritos, para cirurgia, de modo

mais amplo e global, e que permite saber, em cada momento, a situação quer em termos de número de inscritos, quer em termos de tempo de espera. Este programa surge em 2004, integrado no contexto do Plano Nacional de Saúde 2004-2010, e denominado por SIGIC - Sistema Integrado de Gestão de Inscritos para Cirurgia [Min05]. Tem como objectivo a redução das listas de espera através de uma melhor gestão das mesmas, aproveitando as possibilidades geradas pela integração das instituições.

Os programas centrados na disponibilização de verbas adicionais para a realização de cirurgias não tiveram o efeito desejado. Pelo contrário, as listas de espera mantiveram ou aumentaram a sua dimensão, medida no número de pessoas em espera. Barros [Bar08] aponta duas explicações para esta observação. A primeira consiste no facto de se reduzir a actividade normal, transferindo-se parte dessa actividade para a adicional, com remuneração própria. A segunda baseia-se na possível alteração do critério clínico para proposta de intervenção cirúrgica, passando a ser admitidos mais doentes.

Dentro do quadro de disponibilização de verbas adicionais, encontram-se os seguintes programas: PERLE - Programa Específico de Resolução de Listas de Espera (1995); PPA - Programa de Promoção do Acesso (1999); e o PECLEC - Programa Especial de Combate às Listas de Espera Cirúrgicas [Pre02]. O primeiro recorria, exclusivamente, à contratação de capacidade no sector privado; nos outros dois programas, os fundos eram direccionados para o desenvolvimento de trabalho extraordinário nas unidades públicas, embora permitindo também o recurso a entidades privadas. O PECLEC manifesta-se, ainda, actual.

O Sistema Integrado de Gestão de Inscritos para Cirurgia (SIGIC) introduziu informação mais fiável, quer sobre o número de pessoas em lista de espera cirúrgica, quer sobre o respectivo tempo de espera até à intervenção. Valores recentes indicam uma redução no número de inscritos para cirurgia, bem como no tempo mediano de espera, parecendo indicar que o SIGIC terá tido aqui um papel relevante. A informação mais transparente e disponível pode, também, exercer alguma pressão sobre a eficiência da organização prestadora de cuidados de saúde.

Segundo dados da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) [OCD09], os gastos em cuidados de saúde em Portugal estimam-se em cerca de 9,9% do PIB (Produto Interno Bruto), sendo 71,5% dos gastos em cuidados de saúde realizados por despesa pública. Representam uma despesa de 2150 US\$ *per capita*.

Em relação aos restantes países da OCDE, os Estados Unidos gastaram 15,8% do PIB em cuidados de saúde, representando a despesa pública 45,2% destes gastos. Os Estados Unidos são o país da OCDE que mais gasta *per capita* (6933 US\$). Os dados reportam ao ano de 2006, constituindo os dados mais recentes disponíveis para Portugal.

Estima-se que o bloco operatório constitui mais de 40% dos gastos de um hospital, o que faz dele o maior centro consumidor de recursos de um hospital [Hea05]. Para além disto, o bloco operatório tem um impacto significativo em muitas outras actividades do hospital [LL00], como por exemplo, nas unidades de internamento e nas técnicas de diagnóstico.

Assim, revela-se também importante tornar o bloco operatório num centro mais eficiente, na medida em que se pretende atingir um menor custo por cada cirurgia realizada.

O presente trabalho pretende constituir um contributo da investigação científica, na área da Investigação Operacional, para o aumento da eficiência da capacidade instalada da oferta de cirurgia de um hospital, contribuindo assim para equilibrar as listas de espera para cirurgia, e tornar o bloco operatório um serviço mais eficiente e rentabilizador da capacidade instalada. Responde-se, deste modo, à proposta de incentivo da investigação e desenvolvimento em saúde, realizada no âmbito do Plano Nacional de Saúde para 2004-2010.

Trata-se de uma investigação prática decorrida num hospital português. Envolveu o estudo, percepção e compreensão do modo de funcionamento e planeamento do bloco operatório do hospital. Envolveu ainda a recolha de dados. Embora tenha sido um processo naturalmente moroso, revelou-se fundamental para a realização deste trabalho.

A tese é composta por três partes.

Na primeira, descreve-se o planeamento de cirurgias electivas (capítulo 2) e enquadra-se o problema, quer ao nível do caso em estudo (capítulo 3), quer ao nível da literatura existente nesta área (capítulo 4).

Na segunda parte, é apresentada a abordagem utilizada para o problema do planeamento de cirurgias electivas. Constituída por dois capítulos, desenvolve-se um modelo

em programação linear inteira no capítulo 5, e a abordagem de solução no capítulo 6. As heurísticas desenvolvidas são também introduzidas no capítulo 6.

A terceira parte apresenta os dados disponibilizados pelo hospital (capítulo 7), reporta os resultados dos testes computacionais (capítulo 8) e introduz diversas análises às soluções obtidas (capítulo 9).

Termina-se a presente tese com algumas conclusões e propostas para trabalho futuro.



# Parte I

## O Planeamento de Cirurgias Electivas



# Capítulo 2

## Descrição Introdutória

O presente capítulo descreve, genericamente, o planeamento de cirurgias electivas e fornece um enquadramento introdutório às intervenções cirúrgicas.

### 2.1 Cirurgia

De acordo com os conceitos para fins estatísticos na área temática da saúde, aprovados na Deliberação nº 601/2005 de 21 de Abril de 2005, e disponibilizados pelo Instituto Nacional de Estatística, uma intervenção cirúrgica define-se como um ou mais actos operatórios com o mesmo objectivo terapêutico e ou diagnóstico, realizado(s) por cirurgião(ões) em sala operatória, na mesma sessão, sob anestesia geral, loco-regional ou local, com ou sem presença de anestesista. Para intervenção cirúrgica podem ser, opcionalmente, utilizadas as designações cirurgia ou operação cirúrgica.

Uma intervenção cirúrgica pode ser urgente ou electiva. Uma cirurgia urgente é uma cirurgia efectuada, sem data de realização previamente marcada, por imperativo da situação clínica do paciente. As cirurgias urgentes não se enquadram no âmbito do presente trabalho.

O que caracteriza uma cirurgia electiva é a possibilidade da data da sua realização ser previamente marcada, sendo por isso também designada por cirurgia programada.

Uma cirurgia electiva pode ainda ser convencional (*inpatient*) ou de ambulatório (*outpatient*).

A cirurgia de ambulatório define-se como intervenção cirúrgica programada, realizada sob anestesia geral, loco-regional ou local que, embora habitualmente efectuada em regime de internamento, pode ser realizada em instalações próprias, com segurança e de acordo com as actuais *legis artis*, em regime de admissão e alta no período inferior a vinte e quatro horas.

Não estando no quadro desta definição, uma cirurgia electiva é convencional. A cirurgia convencional é, portanto, realizada em regime de internamento. Entende-se por internamento o conjunto de serviços que prestam cuidados de saúde a indivíduos que, após serem admitidos, ocupam cama (ou berço de neonatologia ou pediatria), para diagnóstico, tratamento ou cuidados paliativos, com permanência de, pelo menos, vinte e quatro horas.

A possibilidade do tratamento cirúrgico em regime de ambulatório permite contribuir para diminuir os tempos de internamento, possibilitando assim a redução de listas de espera para cirurgia, com consequentes benefícios sociofamiliares, económicos e psicológicos para o doente, para além de, eventualmente, permitir a redução dos custos hospitalares [Dir01]. Esta prática tem vindo a aumentar a nível mundial pelas razões apontadas.

Uma cirurgia electiva tem um nível de prioridade associado, que define o prazo em que deverá decorrer a sua realização [Min08]. Este prazo é definido tendo em conta o tempo máximo que o utente pode esperar pelo procedimento cirúrgico proposto, avaliado em função da doença e problemas associados, patologia de base, gravidade, impacto na esperança de vida, na autonomia e na qualidade de vida do utente, velocidade de progressão da doença e tempo de exposição à doença.

Quatro níveis de prioridade são possíveis. Uma cirurgia classificada como Urgência Diferida deverá realizar-se em 72 horas. Como Muito Prioritária deverá ser realizada dentro de um período de 15 dias. A cirurgia Prioritária deverá acontecer num período de 2 meses. A cirurgia classificada como Normal deverá ocorrer dentro de um período de 1 ano.

Pode acrescentar-se ainda que as intervenções cirúrgicas são, actualmente, classificadas segundo a *Codificação Internacional das Doenças*, 9ª revisão, *Modificação Clínica*

(CID-9-MC) [Org04].

## 2.2 Processo

Em ambiente hospitalar, as cirurgias são realizadas numa sala de operações no bloco operatório.

O utente, quer esteja em regime de internamento, quer seja admitido no próprio dia, apresenta-se no bloco operatório vindo de uma unidade de internamento e transita do bloco para uma unidade de recobro.

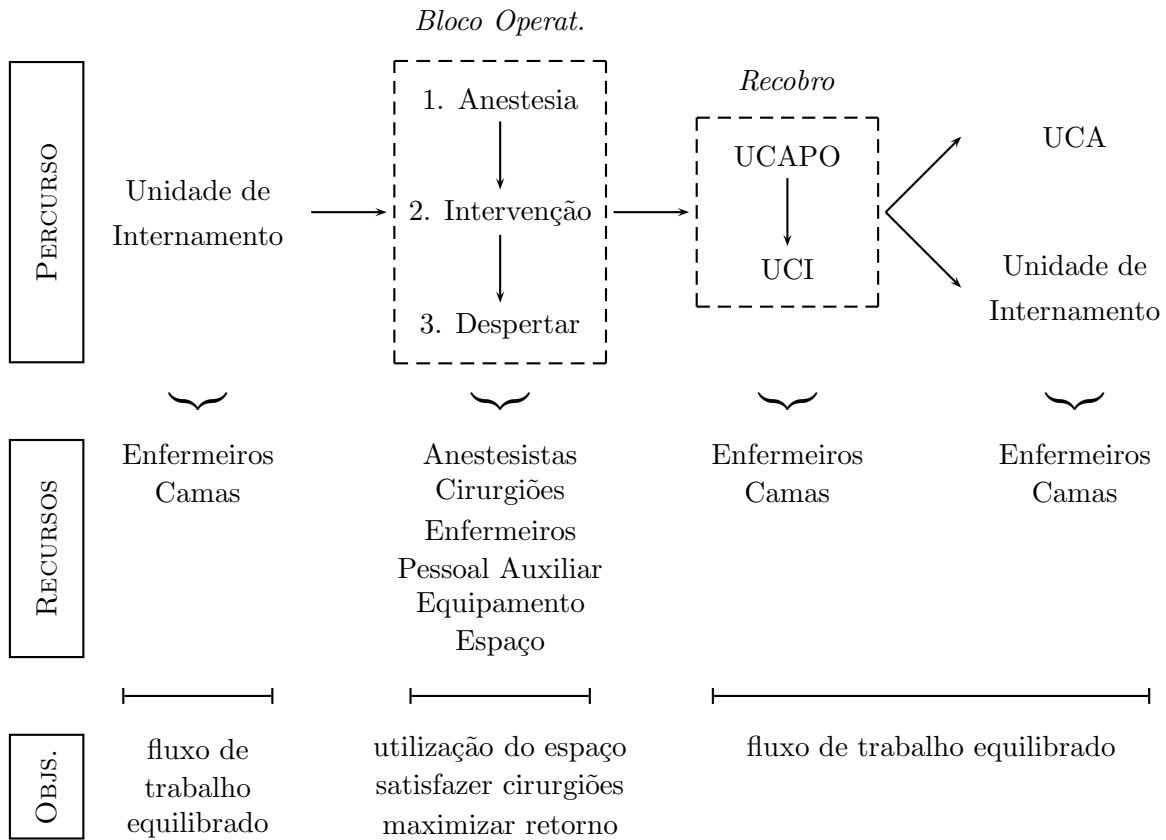
Duas possibilidades se apresentam dentro das unidades de recobro: Unidade de Cuidados Anestésicos Pós-Operatório (UCAPO) e Unidade de Cuidados Intensivos (UCI). Se transitou para a UCI, daqui poderá seguir ou para a Unidade de Cuidados de Ambulatório (UCA) ou para a unidade de internamento, mas se transitou para a UCAPO, pode ainda transitar para a UCI, não se verificando o inverso. A UCAPO, UCI, UCA e as unidades de internamento têm todas gestão autónoma.

Nestas unidades destaca-se a necessidade de uma cama disponível para a permanência do utente, e ainda a necessidade de enfermeiros e pessoal auxiliar em conformidade. Identifica-se como principal objectivo, nestas unidades, a manutenção de um fluxo de trabalho equilibrado.

No hospital em estudo, dentro do bloco operatório, verifica-se, para além da intervenção cirúrgica, a indução da anestesia bem como o despertar da anestesia. Torna-se, pois, necessário, para a indução e para o despertar, um médico anestesista, um enfermeiro com funções de anestesia (enfermeiro anestesista) e um espaço para a sua realização. No momento da intervenção cirúrgica, importa a presença de um ou mais cirurgiões, dois enfermeiros com funções de instrumentista e circulante (enfermeiro instrumentista e enfermeiro circulante), pessoal auxiliar; equipamento; e espaço para a intervenção. Em geral, a indução e o despertar da anestesia podem ser realizados em sala própria ou na sala de operações.

A permanência dos pacientes na UCAPO depende da patologia e da reacção do doente à anestesia, permanecendo geralmente entre 1 e 48 horas.

Figura 2.1: Resumo esquemático do processo



No contexto apresentado, surgem como objectivos primordiais a maximização da utilização do bloco operatório, bem como a sua rentabilização.

A figura 2.1 apresenta, esquematicamente, o percurso de um paciente. Nesta figura destacam-se também os principais recursos necessários em cada fase do processo, assim como os respectivos objectivos.

## 2.3 Reembolso

Se se tratar de uma entidade pública, os custos referentes ao acto cirúrgico são suportados pelo Estado, no âmbito do Serviço Nacional de Saúde (SNS), conforme a Portaria

nº 132/2009 de 30 de Janeiro [Min09], que se transcreve:

“/.../ “Sistema de classificação de doentes em grupos de diagnósticos homogéneos (GDH)” - sistema de classificação de episódios agudos de doença tratados em internamento, que permite definir operacionalmente a produção de um hospital. Os GDH são definidos em termos das seguintes variáveis: diagnóstico principal, intervenções cirúrgicas, patologias associadas e complicações, procedimentos clínicos realizados, idade, sexo do doente, destino após a alta e peso à nascença. Os grupos foram concebidos de modo a serem coerentes do ponto de vista clínico e homogéneos em termos de consumo de recursos.

/.../ O preço das prestações de saúde realizadas em internamento é calculado nos termos da presente portaria mediante o sistema de classificação de doentes em GDH ou de acordo com a diária de internamento.”

Desta forma, a intervenção cirúrgica não é directamente reembolsada, mas contribui como variável classificativa para a integração do utente num grupo de diagnóstico homogéneo (GDH), sendo o hospital reembolsado em conformidade com o estabelecido na tabela para este grupo.

Caso se trate de uma entidade privada, esses custos são suportados pelo utente, directamente ou através de qualquer convenção com a qual mantenha ligação.



# Capítulo 3

## Estudo de Caso

O presente estudo recai sobre um hospital central geral e universitário inserido na Sub-Região de Saúde de Lisboa, e que está integrado no Serviço Nacional de Saúde. Não tem maternidade nem urgências externas. O hospital tem uma lotação de cerca de 300 camas, realizando anualmente cerca de 5000 cirurgias.

A actividade cirúrgica é uma das áreas funcionais que caracteriza a actividade essencial do hospital. O tipo de prestação dos Serviços Cirúrgicos é de complexidade e severidade elevadas no contexto nacional (índice de *case-mix* de 1,48 <sup>1</sup>).

O hospital possui um Bloco Operatório Central com seis salas de operações, estando uma reservada para cirurgias de ambulatório. O bloco operatório é utilizado por cinco Serviços de Cirurgia: Cirurgia Geral e Digestiva, Cirurgia Torácica, Angiologia e Cirurgia Vascular, Otorrinolaringologia e Urologia.

### 3.1 Indicadores

Os serviços de Cirurgia Geral e Digestiva e de Urologia apresentaram individualmente, em 2007, mais do dobro de doentes saídos de qualquer outro serviço do Departamento

---

<sup>1</sup>O índice de *case-mix* (ICM) é o coeficiente global de ponderação da produção de um hospital, reflectindo a sua relatividade face aos outros, em termos da sua maior ou menor proporção de doentes com patologias complexas e, conseqüentemente, mais consumidoras de recursos.

O ICM nacional é, por definição, igual a 1, pelo que o ICM de cada hospital afastar-se-á para mais ou para menos deste valor de referência, conforme o hospital trate uma proporção maior ou menor de doentes agrupados em GDHs de elevado peso relativo face ao padrão nacional.

de Cirurgia, manifestando maior número o Serviço de Cirurgia Geral e Digestiva.

A taxa de ocupação dos serviços do Departamento de Cirurgia varia entre 56,6%, no Serviço de Otorrinolaringologia, e 72,1%, no Serviço de Cirurgia Vascular.

Em 2007, 74,9% das cirurgias realizadas no bloco operatório foram convencionais e 23,1% de ambulatório. As restantes foram urgências internas.

Relativamente às cirurgias convencionais, 33,6% foram realizadas pelo Serviço de Cirurgia Geral e Digestiva e 26,7% pelo Serviço de Urologia. As restantes cirurgias convencionais estão distribuídas pelas outras especialidades cirúrgicas do hospital.

No que respeita às cirurgias de ambulatório, 40,4% foram realizadas pelo Serviço de Cirurgia Geral e Digestiva e 35,1% pelo Serviço de Otorrinolaringologia. O Serviço de Cirurgia Torácica não realiza cirurgias em regime de ambulatório.

Os dados apresentados foram recolhidos do Relatório e Contas do hospital para o ano de 2007.

## **3.2 Procedimentos**

As salas de operações do hospital possuem o mesmo equipamento básico. O equipamento específico é móvel, no entanto, deve ser transportado poucas vezes devido à sua sensibilidade e fragilidade. Por este motivo, é prática neste hospital a afectação das salas às especialidades cirúrgicas. Contudo, a especialidade cirúrgica pode ser alterada na sala durante o dia, necessitando de cerca de uma hora para se proceder às alterações requeridas. Porém, no âmbito deste trabalho, e por solicitação do hospital, não é considerada a possibilidade de trocar a especialidade cirúrgica na sala durante o dia. A necessidade de uma hora de preparação dessa mudança prejudicaria o rendimento global do bloco operatório, não trazendo, à partida, quaisquer benefícios.

Neste hospital, a indução da anestesia, a intervenção cirúrgica e o despertar da anestesia acontecem no mesmo espaço, ou seja, na sala de operações.

Entre duas cirurgias realizadas na mesma sala, é obrigatório proceder-se ao protocolo

de higienização da sala de operações, que é realizado por um auxiliar de acção médica e demora cerca de 30 minutos. Os auxiliares de acção médica não têm constituído, até ao momento, um recurso escasso.

Actualmente, cada sala de operações tem uma equipa de enfermeiros, fixa e permanente. Assim, a afectação da equipa de enfermeiros não é necessária para o problema do planeamento de cirurgias electivas.

No acto da inscrição do paciente em lista de espera para cirurgia, o utente fica afecto a um cirurgião, o que significa que no acto do agendamento não se torna necessário proceder a essa afectação.

No momento deste estudo, pratica-se um horário de trabalho regular no bloco operatório entre as 8h e as 20h, de 2ª a 6ª feira, em dias úteis.

A marcação das cirurgias é feita semanalmente e no respectivo Serviço de Cirurgia, portanto independente para cada especialidade cirúrgica. Os mapas de planeamento dos Serviços de Cirurgia são enviados para o bloco operatório, onde são conferidos e onde se verifica a sua exequibilidade. Fica definido o plano da semana seguinte a cada sexta-feira. Durante a semana, podem ocorrer alterações ao plano, que, a acontecerem, terão necessariamente de ser propostas até às 12h do dia anterior à realização prevista.

O agendamento de cada cirurgia é oficializado através do documento “Agendamento de Intervenção Cirúrgica”. Aqui é introduzida toda a informação necessária para a realização da cirurgia, nomeadamente:

- especialidade proponente;
- diagnóstico (segundo código CID);
- procedimento cirúrgico previsto;
- identificação da equipa de cirurgia;
- data da intervenção, sala, hora de início, duração prevista para a intervenção;
- tipo de agendamento (efectivo ou suplente);
- característica da cirurgia (Convencional/Ambulatório/Urgente/Adicional);

- nível de prioridade clínica;
- tipo de cirurgia (limpa/contaminada);
- tipo de anestesia;
- necessidade sanguínea;
- médico proponente;
- necessidades específicas de suporte peri-operatório.

A informação constante neste documento é indicada pelo cirurgião responsável pela cirurgia correspondente. À data da realização do presente estudo, a duração prevista para a intervenção cirúrgica é baseada exclusivamente na sensibilidade do médico proponente.

Existem alguns recursos escassos que são partilhados por todas as especialidades, por exemplo o raio X e o intensificador de imagem.

Pontualmente pode existir superlotação na UCAPO, mas que não afecta o agendamento semanal nem diário. Poderá apenas criar, momentaneamente, pequenos atrasos no início de uma cirurgia, que, a acontecer, poderá demorar até 20 minutos. Nessas circunstâncias, a UCAPO põe o bloco operatório ao corrente deste acontecimento.

Noutros hospitais, a capacidade limitada da UCAPO pode restringir o desenvolvimento da escala de cirurgia ou afectar a sua própria realização. Por exemplo, com base em dados recolhidos em seis semanas sobre todas as intervenções cirúrgicas realizadas no Queen Elizabeth Hospital (Barbados, Caraíbas), Jonnalagadda *et al.* [JWH<sup>+</sup>05] observam que 15% das cirurgias são canceladas devido à escassez de camas disponíveis no recobro. Também Sobolev *et al.* [SBZF05] constataram que, no Serviço de Cirurgia Vascular do Queen's University Hospital (Kingston, Canadá), o tempo de permanência de um paciente na unidade de cuidados intensivos e a disponibilidade desta mesma unidade afectam a escala de cirurgia da especialidade cirúrgica estudada.

À data do presente estudo, o hospital não conhece os custos associados à realização de cada tipo de intervenção cirúrgica. Contudo, pensa-se serem independentes do dia,

da sala e da hora de realização da cirurgia.

Para a abordagem proposta neste trabalho, o problema do planeamento de cirurgias electivas tratou as especialidades cirúrgicas em simultâneo. As alterações ao plano introduzem um novo problema de re-planeamento que não se inclui no âmbito deste trabalho.



# Capítulo 4

## Revisão de Literatura

O processo de planeamento de cirurgias electivas tem sido apresentado, na literatura, como um processo em três fases.

Numa primeira fase, o tempo disponível das salas de operações é distribuído pelos diferentes cirurgiões ou grupos de cirurgia. Situada a um nível estratégico de decisão e, geralmente, realizada anualmente, esta fase é denominada por *case mix planning*. A distribuição do tempo é feita em termos percentuais e pode ser vista como um orçamento, ao nível do tempo, disponibilizado para cada cirurgião ou grupo de cirurgia. É prática comum dos hospitais promoverem os serviços com uma forte componente de investigação e ensino associados; ou promoverem serviços que aumentem o prestígio da organização e ajudem a recrutar ou reter membros valiosos ao nível do pessoal médico. Esta distribuição também pode ter em conta a capacidade operativa de cada cirurgião ou grupo de cirurgia e a quantidade esperada de pacientes ao longo do correspondente horizonte temporal.

A segunda fase envolve o desenvolvimento de uma escala mestre. Trata-se de um documento cíclico que define o número e o tipo de salas de operações disponíveis, as horas em que as salas estão abertas, definindo ainda cirurgiões ou grupos de cirurgia que têm prioridade sobre o tempo das salas de operações. Esta fase designa-se por *master surgery planning* e enquadra-se num nível tático da gestão hospitalar. O horizonte temporal nesta fase do planeamento é mais reduzido do que na fase anterior.

Finalmente, numa terceira fase é estabelecido o planeamento de cada intervenção numa base diária. Esta fase situa-se a um nível operacional e é designada por *elective*

*case scheduling*.

A última fase do planeamento de cirurgias electivas, *elective case scheduling*, é, por vezes, abordada na literatura, dividida em dois procedimentos [MM78]. No primeiro, referido como *advance scheduling*, afectam-se os pacientes aos dias da intervenção, e/ou às salas de operações. No segundo, designado por *allocation scheduling*, são sequenciados os pacientes de cada dia de intervenção, ou afectam-se os pacientes a um horário determinado.

Relativamente à gestão do tempo das salas de operações, a literatura refere a existência de duas estratégias de planeamento: *block-scheduling* e *open-scheduling*. Num sistema em *block-scheduling*, o tempo das salas de operações é tratado em blocos. Assim, os cirurgiões, individualmente ou agregados a grupos de cirurgia, são afectos a blocos de tempo em escalas que são, geralmente, periódicas. Após esta afectação, cada cirurgião selecciona as cirurgias para cada bloco de tempo que lhe é afecto ou ao grupo de cirurgia a que pertence. Num sistema em *open-scheduling*, o tempo das salas de operações é aberto a todos os pacientes. Neste sistema, os pacientes são marcados enquanto houver tempo disponível nas salas de operações. A primeira estratégia enquadra-se mais naturalmente na definição das três fases anteriores.

Segundo estas designações, o presente projecto integra-se na fase de *elective case scheduling* e utiliza uma estratégia de planeamento em *open-scheduling*.

Magerlein e Martin [MM78], Przasnyski [Prz86], Blake e Carter [BC97b] e Cardoen *et al.* [CDB10] apresentam trabalhos de revisão bibliográfica sobre a aplicação da investigação operacional ao planeamento de cirurgias. Magerlein e Martin [MM78] introduz a distinção entre *advance scheduling* e *allocation scheduling*.

O planeamento de cirurgias é ainda englobado em revisões bibliográficas mais genéricas que incidem sobre cuidados de saúde, nomeadamente em Boldy [Bol76], Smith-Daniels *et al.* [SDSSD88] e Pierskalla e Brailer [PB94], e também sobre o escalonamento de pacientes de ambulatório [CV03].

Na secção seguinte são apresentados os artigos encontrados na literatura que se enquadram dentro das três fases de planeamento de cirurgias electivas. Na secção 4.2, apresentam-se outros trabalhos, considerados de interesse, dentro deste campo.

## 4.1 Planeamento de Cirurgias Electivas

Quando nada for referido, o trabalho é testado com dados gerados aleatoriamente, não constituindo, portanto, uma aplicação a um caso real. E, neste caso, apenas são consideradas cirurgias electivas.

Os trabalhos são apresentados por ordem de antiguidade, excepto nos casos em que estão relacionados entre si.

A tabela 4.1, no final desta secção, sumariza os trabalhos mencionados.

### 4.1.1 *Case mix planning*

Hughes e Soliman [HS85] apresentam um trabalho em programação linear para decidir sobre o número de pacientes a tratar, anualmente, de cada GDH correntemente realizado no hospital, de modo a maximizar o retorno financeiro líquido total. São consideradas restrições de capacidade de recursos fundamentalmente ao nível de camas, tempo de salas de parto e de operações e tempo de utilização de recursos para a realização de exames complementares de diagnóstico por imagem (TAC).

Robbins e Tuntiwongpiboon [RT89] mostram como o problema de escolher o *case mix* óptimo dos vários grupos de diagnóstico homogéneo a tratar no hospital pode ser resolvido através da programação linear. Os autores apresentam um modelo que maximiza as margens obtidas com restrições de disponibilidade de recursos para servir os vários grupos. Estas restrições incluem a limitação de espaço (camas) e de tempo disponível, quer ao nível de pessoal médico, quer ainda ao nível de equipamentos de diagnóstico. O problema é resolvido através do programa *Storm* [Sto09].

Blake e Carter [BC02] apresentam uma abordagem determinística onde formulam o problema da selecção de *case mix* em dois modelos de programação linear por metas. Os autores aplicam a abordagem sugerida neste artigo ao Departamento de Cirurgia do Mount Sinai Hospital, situado em Toronto (Canadá). O método de resolução dos problemas não é especificado.

Kuo *et al.* [KSMB03] apresentam uma abordagem em programação linear para afectar o tempo da sala de operações de modo a maximizar o retorno financeiro obtido. As restrições consideradas nesta abordagem impõem um tempo fixo de sala de operações para os cirurgiões com responsabilidades de ensino, investigação ou gestão, e, para os restantes, um tempo variável entre 8 a 31 horas semanais. É também considerado um tempo fixo para cada especialidade cirúrgica e para os cirurgiões que realizam transplantes. O problema é aplicado no Duke University Medical Center (EUA) e resolvido através do *Microsoft Excel*.

Testi *et al.* [TTT07] apresentam um trabalho que envolve hierarquicamente as três fases do planeamento de modo que a solução de uma fase é *input* da fase seguinte. Na fase de *case mix planning*, apresentam um modelo em programação linear inteira para decidir o número de sessões afectas a cada especialidade, de modo a maximizar os benefícios obtidos. O modelo considera a capacidade das salas de operações e valores mínimos para o número de sessões a atribuir a cada especialidade cirúrgica. Para a segunda fase do planeamento, apresentam uma abordagem em programação linear inteira para afectar as salas e os dias às unidades cirúrgicas, de modo a maximizar a satisfação das preferências dos cirurgiões. Neste modelo, cada sala só pode ser afectada a uma especialidade cirúrgica por dia. O modelo considera ainda um limite superior no número de salas afectas a cada especialidade, restrições associadas ao número de sessões definidas na fase anterior de planeamento e um limite inferior no número de salas de cada tipo afectas a cada especialidade. Ambos os problemas são resolvidos através do CPLEX. Na terceira fase, as cirurgias electivas são afectas e sequenciadas através de simulação. Esta abordagem foi implementada num departamento de cirurgia do San Martino University Hospital, em Génova (Itália).

### 4.1.2 *Master surgery planning*

Blake *et al.* [BDD02] verificam que o tempo do bloco operatório, distribuído pelos diferentes grupos cirúrgicos, na primeira fase do planeamento, é raramente um múltiplo do tempo definido para cada bloco de tempo, nos casos em que o tempo das salas de operações é disponibilizado em blocos de tempo fixos. Assim, os autores propõem um modelo em programação inteira para afectar os blocos de tempo das salas de operações aos diferentes grupos cirúrgicos, de modo a minimizar a sub-afecção de tempo de salas

de operações afecto na segunda fase do planeamento em função do tempo definido na primeira fase. As restrições do modelo envolvem a capacidade das salas ao nível do tempo disponível, bem como limites inferiores e superiores para o número de blocos de tempo de cada tipo de sala afectos a cada grupo cirúrgico. O modelo foi desenvolvido para aplicação no Mount Sinai Hospital, Toronto (Canadá). A abordagem é determinística e o modelo foi resolvido através do *Microsoft Excel*.

Em Blake e Donald [BD02], os autores apresentam uma abordagem idêntica, mas utilizam o CPLEX para obter uma solução inteira admissível inicial, e melhoram esta solução através de uma heurística desenvolvida para o efeito.

Vissers *et al.* [VAB05] apresentam uma abordagem em programação linear inteira mista para definir, para cada dia e sala de operações, o número de horas disponíveis da sala e o número de pacientes de cada categoria a serem operados. As diferentes categorias de pacientes são definidas em função da necessidade de recursos. O modelo considera o cumprimento de um valor de referência para o número de cirurgias a realizar de cada categoria por horizonte temporal, assim como um limite inferior e superior para a utilização de cada recurso, baseado na definição de um nível regular e extraordinário, definidos com base num nível de utilização de referência. Os recursos considerados incluem, para além de outros não especificados, as salas de operações, e as camas e enfermeiros da Unidade de Cuidados Intensivos. O modelo é resolvido através do *general solver* MOMIP. A abordagem é realizada para o Departamento de Cirurgia Cardiorácica do Erasmus MC Hospital (Holanda).

Santibáñez *et al.* [SBA07] apresentam um modelo em programação linear inteira mista para afectar blocos de tempo das salas de operações às especialidades cirúrgicas de modo a minimizar a utilização diária máxima de camas, isto é, o pico de utilização diária de camas, e maximizar o número de procedimentos cirúrgicos a realizar. Os dois objectivos são tratados individualmente. O modelo tem em conta recursos escassos, como o tempo das salas de operações e as camas no pós-operatório. Considera ainda o modelo que cada sala de operações só pode ser afectada, no máximo, a uma especialidade cirúrgica; e a especialidade afectada a cada sala tem de ser a mesma nos mesmos dias da semana. O modelo inclui ainda limites inferiores e superiores no número de blocos de tempo afectos a cada especialidade cirúrgica definidos na fase anterior do planeamento. O modelo é resolvido através do CPLEX e é aplicado aos hospitais da região de saúde de British Columbia (British Columbia Health Authority), Canadá.

Beliën e Demeulemeester [BD04, BD07] propõem modelos para construir planos de cirurgia que minimizem a variabilidade artificial na procura de recursos na unidade de internamento, isto é, a variabilidade originada por um deficiente planeamento das escalas de cirurgia. Como restrições do modelo, consideram a atribuição a cada cirurgião ou grupo de cirurgia de uma quantidade de blocos de tempo estabelecida na fase anterior do planeamento (*case mix planning*) e restrições de capacidade que limitam a quantidade de blocos de salas de operações diariamente disponíveis. O número de pacientes operados por bloco de tempo, e o tempo de permanência no hospital (*length of stay*) são considerados variáveis estocásticas seguindo uma distribuição multinomial com parâmetros variáveis em função do tipo de cirurgia. Os modelos, desenvolvidos em programação linear inteira e programação quadrática inteira, afectam os blocos de tempo disponíveis aos cirurgiões ou grupos cirúrgicos de modo a minimizar a falta esperada de camas originada por esta mesma afectação. Os respectivos problemas são resolvidos através da utilização de heurísticas e meta-heurísticas (*simulated annealing*) desenvolvidas para o caso em estudo. Apenas são consideradas cirurgias electivas.

Beliën e Demeulemeester [BD08] propõem uma abordagem integrada entre os processos de escalonamento das salas de operações, nomeadamente a fase de *master surgery planning*, e o processo de escalonamento dos enfermeiros, permitindo, assim, reduzir custos com o pessoal. O escalonamento dos enfermeiros é feito de modo a dar resposta a um determinado padrão de serviço que, por sua vez, é originado por uma escala de cirurgia. A selecção da escala de cirurgia e de enfermeiros é, assim, integrada num único problema que os autores denominam escalonamento generalizado de enfermeiros, formulado em programação linear inteira e baseado num modelo de cobertura. Este problema é resolvido através de uma metodologia de *branch-and-price*. Os padrões de serviço são gerados com base nas soluções obtidas com a resolução de um outro modelo, também em programação linear inteira, que constrói as escalas de cirurgia.

Beliën *et al.* [BDC06] desenvolveram uma ferramenta informática que permite visualizar o impacto da *master surgery schedule* na utilização de recursos (materiais e humanos). A *master surgery schedule* é construída pelo utilizador. A aplicação foi testada no centro de cirurgias de ambulatório do hospital Gasthuisberg, situado em Leuven, (Bélgica).

Em 2009, os mesmos autores [BDC09] adoptaram o modelo e as abordagens de

solução introduzidas em [BD07] e juntaram-nos ao sistema de apoio à decisão desenvolvido em [BDC06]. O modelo considera agora três objectivos: a nivelção da ocupação de camas nas unidades de internamento; a concentração de cirurgões do mesmo grupo cirúrgico na mesma sala de operações; a realização da escala de um modo tão repetitivo quanto possível, entre as várias semanas, quando o ciclo é superior a uma semana. O modelo é resolvido por uma metodologia de *simulated annealing* adoptada do anterior artigo e também por uma abordagem de programação por metas. O caso de estudo foi desenvolvido no Virga Jesse Hospital, situado em Hasselt, Bélgica.

van Oostrum *et al.* [vOvHH<sup>+</sup>08] apresentam um modelo em programação inteira estocástica para especificar a lista de tipos de procedimentos cirúrgicos que serão realizados em cada sala de operações e dia do ciclo de planeamento, de modo a maximizar a utilização da sala de operações e nivelar a necessidade de camas nas unidades de pós-operatório (Unidade de Cuidados Intensivos e Unidade de Internamento), através da soma ponderada dos dois critérios. Os autores utilizaram uma abordagem de geração de colunas para resolver o modelo. A abordagem foi testada com dados do Erasmus MC Hospital (Holanda).

Denton *et al.* [DvOvH<sup>+</sup>09] relatam a implementação real de uma abordagem de *master surgical scheduling* a um hospital regional na Holanda (Beatrix Hospital), onde incluem as metodologias apresentadas em [vOvHH<sup>+</sup>08]. O hospital tinha como objectivos o aumento da utilização dos seus recursos, conceder maior primazia aos procedimentos cirúrgicos com maior capacidade geradora de lucro para o hospital, assim como obter um fluxo mais estável e previsível de pacientes no hospital. Esta abordagem foi implementada entre Abril de 2007 e Novembro de 2008, e mostrou capacidade de resposta aos objectivos do hospital.

Testi e Tanfani [TT09] apresentam um modelo em programação linear inteira que integra as fases de *master surgery scheduling* e *elective case scheduling* (*advance scheduling*). O modelo afecta blocos de tempo do bloco operatório a sub-especialidades cirúrgicas, bem como sub-conjuntos de pacientes em lista de espera a estes blocos de tempo. Este modelo introduz uma função objectivo de minimização da perda de bem-estar total dos pacientes, medida através da soma dos custos de espera dos pacientes que vão ser operados, assim como daqueles que não estão marcados e que continuam na lista de espera no final do horizonte temporal. Estes custos são avaliados através de um indicador, que os autores denominam por NAWD (*Need-Adjusted-Waiting-Days*),

e que tem em conta a classe do nível de prioridade em que cada paciente se integra, assim como o tempo limite para operação que a define. O modelo foi resolvido através do CPLEX e testado com dados do Departamento de Cirurgia Geral do San Martino University Hospital, em Génova.

### 4.1.3 *Elective case scheduling*

Carter *et al.* [COPB<sup>+</sup>91] apresenta um modelo de simulação que permite testar o impacto de diferentes escalas das salas de operações, em vários departamentos do hospital, nomeadamente na admissão, unidades de cuidados intensivos, bloco operatório e unidades de cuidados pós-operatórios. O modelo pretende afectar pacientes a salas de operações, de modo a minimizar o número de pacientes que permanecem no hospital, durante o fim-de-semana, e equilibrar o trabalho diário dos médicos, enfermeiros e pessoal auxiliar. Este modelo não considera blocos de tempo afectos a cirurgiões ou grupos cirúrgicos. O modelo foi testado e validado num hospital pediátrico de Toronto (Canadá).

Ozkarahan [Ozk95] apresenta uma abordagem que contempla, separadamente, os dois procedimentos incluídos nesta fase do planeamento das salas de operações. Para a afectação das cirurgias às salas de operações, utiliza uma abordagem de programação por metas, onde se pretende minimizar a subutilização das salas e minimizar a sua utilização em tempo extraordinário. O modelo considera como restrições a capacidade das salas, onde o tempo extraordinário a utilizar não é limitado, e obriga a serem marcadas todas as cirurgias consideradas. O modelo é resolvido com o programa LINDO. O sequenciamento das cirurgias é feito através de um procedimento heurístico.

Em 2000, o autor testa a abordagem anterior num hospital da Turquia. Este trabalho assume um tempo diário, previamente atribuído, para ser usado por cada especialidade cirúrgica. Para além das metas já utilizadas, o autor considera o desvio negativo do tempo marcado, para cada especialidade, em relação ao tempo previamente estipulado; preferências relativas à escolha da sala; importância relativa de cirurgias (classificada pelos cirurgiões); e as camas disponíveis na Unidade de Cuidados Intensivos. Este modelo é testado com base em dados obtidos no Dokuz Eylul University Hospital (Izmir, Turquia).

Gerchak *et al.* [GGH96] apresentam um modelo em programação dinâmica estocástica para o problema de decisão de admissão de cirurgias electivas propostas adicionalmente no início do dia, quando já existem algumas cirurgias marcadas para esse mesmo dia. Os autores consideram a utilização do bloco operatório em simultâneo com cirurgias urgentes, cujo tempo de utilização diário é aleatório. O modelo tem como objectivo a maximização do retorno obtido e é sujeito a restrições de capacidade no tempo disponível das salas de operações. São considerados custos associados à utilização da sala de operações, em horário extraordinário, e custos sociais associados à espera para cirurgia. Este problema surgiu em hospitais civis numa região do Ontário (Canadá).

Min e Yih [MY10a] desenvolvem uma extensão do modelo anterior, de modo a ser considerado o nível de prioridade associado a cada paciente em lista de espera para cirurgia, e o conseqüente efeito no desenvolvimento de escalas de cirurgias. Os autores concluem que a consideração da prioridade de cada paciente altera substancialmente a escala óptima obtida, trazendo efeitos positivos na eficiência da mesma, contribuindo assim para a melhoria da eficiência da utilização do bloco operatório.

Sier *et al.* [STM97] apresentam uma abordagem em *simulated annealing* para escolher um período de início para as cirurgias electivas de modo a minimizar uma soma ponderada dos seguintes objectivos: até aos 12 anos, os pacientes devem ser marcados por ordem de idade, isto é, os pacientes mais novos devem ser marcados mais cedo; nível de prioridade associado a cada cirurgia; operações mais longas devem ser realizadas em primeiro lugar; penalidades associadas ao conflito da utilização de equipamentos; penalidades por exceder a duração dos blocos de tempo; e penalidades relativas a sobreposição de cirurgias. Os autores referem que as escalas dos enfermeiros são realizadas mensalmente e independentemente das escalas das cirurgias.

Dexter e Traub [DT02] comparam duas heurísticas construtivas para afectar cirurgias a salas de operações (*advance scheduling*) de modo a maximizar a eficiência da utilização das salas de operações, eficiência medida pelo total das horas em subutilização e sobreutilização. Os autores utilizaram dados reais obtidos no bloco operatório de um hospital e num centro de cirurgia de ambulatório.

Guinet e Chaabane [GC03] apresentam um modelo em programação linear inteira para marcar cirurgias electivas para um dia, uma sala de operações e um período específico, de modo a minimizar os custos de intervenção que são definidos pelos custos de

funcionamento da sala em tempo regular e em tempo extraordinário e pelo tempo de espera do paciente (custos de hospitalização do mesmo). O modelo permite a marcação de cirurgias em tempo extraordinário, no entanto, limita o tempo regular e extraordinário utilizado em cada sala de operações. Todas as cirurgias propostas ao planeamento são marcadas. O modelo considera também um limite máximo no tempo em operação de cada cirurgião, e impossibilita a marcação de cirurgias antes da data de hospitalização e depois do prazo definido para a sua realização. Impossibilita ainda a marcação em períodos de indisponibilidade do cirurgião ou quando os recursos materiais necessários não estão disponíveis. É utilizada uma heurística primal-dual na abordagem de solução.

Hsu *et al.* [HdML03] apresentam uma abordagem determinística para sequenciar cirurgias electivas num centro de cirurgia de ambulatório em que se pretende minimizar o número de enfermeiros em serviço na UCAPO e o momento de saída do último paciente desta unidade. Os autores desenvolvem uma metodologia em *tabu search*.

Lebowitz [Leb03] utiliza uma abordagem de simulação para testar várias regras de sequenciamento de cirurgias electivas. O autor conclui que sequenciar primeiro os procedimentos com duração prevista mais curta melhora o desempenho do bloco operatório e diminui os custos extraordinários de pessoal sem diminuir o número de cirurgias realizadas. Esta estratégia assume que o planeamento é feito com base em informação histórica da duração média dos procedimentos, e baseia-se no facto de que os procedimentos mais curtos têm menor desvio-padrão.

Marcon *et al.* [MKS03a] apresentam um método para apoiar a definição de escalas de cirurgia, cuja abordagem envolveu um modelo matemático e simulação. O modelo matemático, em programação linear inteira e baseado no *multiple knapsack problem*, permite marcar as cirurgias para as salas de operações (*advance scheduling*) de modo a minimizar o risco de não realização das cirurgias (baseado no cálculo da probabilidade de uma cirurgia não ser realizada). No modelo, são consideradas restrições de capacidade do tempo das salas de operações e todas as cirurgias consideradas são marcadas. O método proposto deve ser utilizado em duas fases. Na primeira, fase estática, o planeamento é previamente definido. A segunda fase, realizada durante o decorrer do dia do planeamento, actualiza o risco de não realização e um novo planeamento é obtido. As soluções para o modelo matemático são encontradas através do CPLEX.

Marcon *et al.* [MKS<sup>+</sup>03b] desenvolvem um modelo em programação linear inteira

para afectar cirurgias electivas a uma sala e a um instante de início. O modelo tem em conta restrições de capacidade no tempo das salas de operações, sobreposição de cirurgias nas salas e sobreposição de cirurgiões em várias salas no mesmo período. O modelo obriga ainda a marcar todas as cirurgias consideradas, e obriga a que as cirurgias com maior índice de contaminação sejam realizadas no final do planeamento. O horizonte temporal de planeamento utilizado é um dia. O modelo é resolvido através do CPLEX e testado com dados do Hospital Croix-Rousse (Lyon, França). Este trabalho envolve ainda simulação para analisar a necessidade de camas na UCAPO.

Ogulata e Erol [OE03] apresentam um conjunto de três modelos hierárquicos em programação linear inteira multicritério para gerar escalas semanais de cirurgias electivas. A consideração em três fases hierárquicas é introduzida devido à complexidade do problema global. Na primeira fase, são seleccionados os pacientes a serem operados; na segunda os mesmos pacientes são affectos aos grupos de cirurgia; na terceira determinam-se os dias e as salas de operações. Os critérios considerados são a maximização da utilização das salas de operações; a distribuição equilibrada de serviço entre os grupos de cirurgia; e a minimização do tempo de espera para cirurgia. Estes critérios são tratados através de uma abordagem de programação por metas. Os três modelos hierárquicos são resolvidos por *branch-and-bound* e testados com dados obtidos no College of Medicine Research Hospital da Universidade de Cukurova (Turquia).

Denton e Gupta [DG03] apresentam um modelo em programação linear estocástica para a atribuição de uma hora de marcação quando a sequência das cirurgias já é conhecida. Esta formulação permite considerar a natureza estocástica da duração das cirurgias. São considerados três objectivos em soma ponderada: a minimização do tempo de espera do cirurgião no dia da cirurgia; a minimização do tempo de espera do paciente no dia da cirurgia; e a minimização da utilização das salas de operações em horário extraordinário. O problema é resolvido através de uma heurística baseada em metodologias de programação estocástica. Não são introduzidas restrições funcionais, nem ao nível de capacidade de recursos, nem ao nível da disponibilidade dos intervenientes. A abordagem abrange apenas uma sala de operações.

Denton *et al.* [DVV07] estendem a abordagem anterior para incluir, para além da hora de marcação, a decisão no sequenciamento das cirurgias (*allocation scheduling*). Neste trabalho, a abordagem proposta é testada com dados reais do Fletcher Allen Health Care (Vermont, EUA). Os resultados obtidos pelos autores indicam que

a prática habitual de marcação de cirurgias mais longas e mais complexas no início do dia, pode ter um impacto negativo significativo nas medidas de desempenho do bloco operatório.

Persson e Persson [PP05] apresentam uma abordagem em programação linear inteira onde se pretende afectar as equipas de cirurgiões e as cirurgias electivas às salas de operações, e a dias de intervenção; e afectar os pacientes aos cirurgiões com capacidade para realizar a cirurgia associada. O modelo considera restrições de capacidade temporal de cada período, na quantidade de salas que uma equipa de cirurgia pode ocupar, em simultâneo, e ao nível do número de períodos (dias) consecutivos, em operação, para cada equipa de cirurgiões. O modelo considera ainda restrições de sobreposição dos cirurgiões entre salas e de grupos de cirurgia no mesmo período e na mesma sala; e restrições de disponibilidade dos cirurgiões. O objectivo considerado pretende minimizar as cirurgias não marcados no plano. O modelo foi testado com dados do Blekinge Hospital e do Sahlgrenska University Hospital, situados ambos na Suécia.

Velásquez e Melo [VM06] apresentam um modelo em programação linear inteira, formulado como um *set packing problem*, para estabelecer o período de início das cirurgias. Esta abordagem supõe que o gestor do bloco operatório recebe informação dos vários Departamentos de Cirurgia em relação aos requisitos de cirurgia, que inclui o tempo de início preferido de cada cirurgia, bem como os recursos necessários. O modelo considera restrições de capacidade de recursos, e obriga a marcar todas as cirurgias dentro do horizonte de planeamento de um dia. O modelo tem como objectivo maximizar a satisfação das preferências dos cirurgiões, relativamente aos períodos de início, bem como às preferências dos recursos a utilizar, e é resolvido por uma abordagem de *branch-and-price*.

Jebali *et al.* [JAL06] apresentam uma abordagem em dois passos onde consideram separadamente os dois procedimentos sobre os quais a literatura divide a fase de *elective case scheduling*. No primeiro passo, afectam-se as intervenções cirúrgicas às salas de operações (*advance scheduling*), de modo a minimizar os custos de utilização em tempo extraordinário e de subutilização das salas de operações, envolvendo ainda a minimização do tempo entre o dia da admissão e o dia da operação de cada paciente cirúrgico. São restrições do modelo o limite de tempo regular e extraordinário permitido no planeamento, a capacidade do número de camas da UCI, e o tempo máximo de cirurgia para cada cirurgião. É ainda considerada a adequação da sala à cirurgia, e o prazo definido

para cada intervenção. No segundo passo, *allocation scheduling*, procede-se ao sequenciamento das cirurgias marcadas no passo anterior, com o objectivo de minimizar o tempo extraordinário total. Nesta fase são introduzidas questões funcionais do planeamento das salas, bem como a sua relação com a unidade de recuperação pós-operatória, ao nível de capacidade, disponibilidade e sobreposição. Ambos os problemas são resolvidos através do CPLEX.

van der Lans *et al.* [vdLHH<sup>+</sup>06] apresentam uma abordagem para sequenciar cirurgias electivas (*allocation scheduling*) de modo a que os tempos de conclusão das cirurgias marcadas sejam espalhados o mais possível no dia. O tempo das salas de operações é utilizado em simultâneo com a realização de cirurgias urgentes. Quando surge uma cirurgia urgente, esta tem de esperar até que uma sala de operações termine a cirurgia que está a realizar. Sendo as cirurgias electivas marcadas de modo a que o tempo de conclusão das cirurgias esteja espalhado o mais possível ao longo do dia, então o tempo de espera de uma cirurgia urgente é minimizado. Os autores desenvolveram procedimentos heurísticos e *simulated annealing* para resolução do problema. Foram utilizados dados do Erasmus MC Hospital (Holanda). O horizonte temporal considerado foi um dia.

Hans *et al.* [HWvHK08] consideram o problema de afectação das cirurgias electivas às salas de operações (*advance scheduling*) de forma a maximizar a utilização das salas de operações e, em simultâneo, minimizar o risco de utilização das salas em tempo extraordinário. Para tornar o plano mais robusto em relação ao tempo extraordinário, é planeada uma folga em cada sala, com base em dados históricos e tendo em conta a duração (estocástica) das cirurgias planeadas para a mesma sala. Os autores utilizam uma abordagem estocástica baseada em heurísticas construtivas e *simulated annealing*. Esta investigação foi realizada em colaboração com o Erasmus MC Hospital (Holanda).

Pham e Klinkert [PK08] apresentam um modelo em programação linear inteira mista, baseado numa nova extensão do *job shop scheduling problem* denominada *multi-mode blocking job shop*. O modelo define um período de início para cada uma das três fases necessárias na realização de uma cirurgia: pré-operatório, intervenção e pós-operatório; e afecta um conjunto de recursos necessários à realização da cirurgia, com o objectivo de minimizar o período de início da última cirurgia a ser realizada. O problema é resolvido com o CPLEX. Os autores desenvolvem experiências computacionais ao modelo com instâncias reais de pequenas dimensões obtidas num centro de cirurgia

de ambulatório e sobre as instâncias utilizadas por Ozkarahan [Ozk95].

Fei *et al.* [FCMA08] apresentam um modelo em programação linear inteira para o problema de afectação de um conjunto de cirurgias a uma sala de operações e a um dia para serem operados (*advance scheduling*), de modo a minimizar os custos operacionais relacionados com a inactividade da sala e sua utilização em horário extraordinário. O modelo contempla apenas restrições de capacidade no tempo de cada sala de operações e os prazos de realização da cirurgia, isto é, as cirurgias com prazo inferior ao horizonte temporal têm de ser marcadas dentro do prazo e as restantes podem ser marcadas no máximo uma vez. Os autores assumem que cada sala de operações pode operar qualquer tipo de cirurgia a qualquer momento, e os recursos humanos e materiais estão disponíveis sempre que forem necessários, quer ao nível do bloco operatório, quer ao nível do recobro e unidades de internamento. O respectivo problema é resolvido através de uma abordagem de *branch-and-price*.

Fei *et al.* [FCM09] apresentam uma abordagem idêntica à anterior. As principais diferenças verificam-se ao nível das restrições consideradas, juntando agora um limite máximo diário em operação para cada cirurgião, e do método de resolução. Neste trabalho, os autores utilizam uma heurística baseada em geração de colunas. Esta abordagem é também utilizada pelos mesmos autores numa aplicação ao problema de escalonamento de endoscopias [FMCC09].

Lamiri e Xie [LX06] e Lamiri *et al.* ([LXZ08], [LXDG08] e [LGX09]) propõem um modelo em programação estocástica para marcar cirurgias electivas em períodos de tempo, dentro de um horizonte temporal de planeamento, de modo a minimizar custos esperados e relacionados com a utilização de tempo extraordinário, e custos relacionados com os pacientes. A chegada de cirurgias urgentes é aleatória. O primeiro e segundo trabalhos utilizam métodos exactos de resolução. No primeiro é proposto uma relaxação lagrangeana e no segundo uma abordagem de geração de colunas. Em ambos, os subproblemas estocásticos gerados são resolvidos por programação dinâmica. No terceiro trabalho, os autores desenvolvem um método de optimização que combina simulação de Monte Carlo com a utilização do CPLEX em problemas de programação linear inteira mista. No quarto trabalho é aprofundado o método proposto e são ainda propostas heurísticas e meta-heurísticas (*simulated annealing* e *tabu search*) para a resolução do modelo. A abordagem trabalhada obriga apenas a que as cirurgias consideradas tenham de ser todas marcadas (dentro do horizonte temporal ou mais tarde, representado por

um período de tempo virtual). Nos custos relacionados com os pacientes, podem ser acrescentadas penalidades relativas à espera para cirurgia, preferências do cirurgião ou do paciente, e eventuais prazos.

Cardoen *et al.* [CDB09a, CDB09b] apresentam um modelo em programação linear inteira mista multicritério para a fase de sequenciamento de cirurgias (*allocation scheduling*). Os autores consideram seis objectivos que envolvem a minimização do período de início das cirurgias em crianças e pacientes prioritários; penalidade associada a pacientes que necessitam de percorrer uma distância relevante de casa ao hospital (preferencialmente, estes são marcados para depois de uma certa hora); número de períodos de utilização de cuidados de recobro em horário extraordinário; e picos de ocupação de camas numa primeira e segunda fase de recobro. As restrições consideradas obrigam a que todos os pacientes afectos na *advance scheduling* sejam marcados; garantem que as cirurgias não se sobrepõem na mesma sala; consideram limites de capacidade ao nível das camas na primeira e segunda fase de recobro e ao nível de instrumentos. É ainda considerada a limpeza adequada da sala de operações após a realização de uma cirurgia infectada. A componente multiobjectivo do problema é abordada através de uma soma ponderada dos seis objectivos, numa articulação *a priori* de preferências do agente de decisão. Os pesos são definidos pelo responsável do planeamento das cirurgias, de modo a que a soma dos mesmos seja uma unidade, e é feita uma normalização das funções objectivo, com base no melhor e pior valor obtidos para cada uma delas, quando optimizadas individualmente. O problema resultante, em programação linear inteira mista, é resolvido uma única vez através do CPLEX [CDB09a] ou através de uma metodologia de *branch-and-price* [CDB09b]. A abordagem é aplicada em instâncias geradas aleatoriamente com base em dados reais, obtidos no Gasthuisberg Hospital (Leuven, Bélgica), e apenas envolve cirurgias de ambulatório.

Persson e Persson [PP09] apresentam um modelo em programação linear inteira para afectar cirurgias electivas às salas de operações (*advance scheduling*), minimizando os custos de ocupação de camas extra para cuidados pós-operatórios nas unidades de internamento, e os custos relativos a pessoal em trabalho extraordinário. A abordagem proposta considera a possibilidade de utilização de tempo extraordinário do bloco operatório e de camas extras nas unidades de internamentos, e a adequação de algumas salas de operações para as cirurgias. O modelo é testado em dados obtidos no Departamento de Cirurgia Geral do Blekinge Hospital (Suécia).

Min e Yih [MY10b] baseiam-se no princípio de que o planeamento de cirurgias electivas é mais robusto quando considera a incerteza que lhe é inerente. Os autores enquadram incerteza num modelo desenvolvido em programação inteira mista estocástica, que afecta pacientes a blocos cirúrgicos com o objectivo de minimizar o custo referente aos pacientes, bem como o custo do tempo esperado de trabalho extraordinário. Neste modelo são consideradas restrições de capacidade dos blocos de tempo disponíveis para a marcação de cirurgias e restrições de capacidade a jusante, nomeadamente no número de camas disponíveis, em cada período de tempo, na unidade de cuidados intensivos de cirurgia. A incerteza contida no modelo refere-se à duração de cada cirurgia e ao tempo de permanência de cada paciente na UCI. Os autores adoptaram uma metodologia de solução baseada em amostragem (algoritmo de *Sample Average Approximation*), que utiliza o CPLEX na optimização de modelos em programação inteira mista resultantes deste algoritmo. Os testes da abordagem apresentada neste trabalho foram desenvolvidos em instâncias adoptadas de dados reais de um hospital regional. Estas instâncias incluem 203 cirurgias para o planeamento em 32 blocos cirúrgicos, que se distribuem por 10 salas de operações e 5 dias do horizonte de planeamento.

Tabela 4.1: Resumo das referências bibliográficas sobre o Planeamento de Cirurgias Electivas

REFERÊNCIA	NATUREZA	MODELO	ABORDAGEM DE SOLUÇÃO
<hr/> <i>Fase: case mix planning</i> <hr/>			
Hughes e Soliman [HS85]	determinística	PL	métodos exactos
Robbins e Tuntiwongpiboon [RT89]	determinística	PL	métodos exactos
Blake e Carter [BC02]	determinística	PL	não especificado
Kuo <i>et al.</i> [KSMB03]	determinística	PL	métodos exactos
Testi <i>et al.</i> [TTT07]	determinística	PLI	métodos exactos
<hr/> <i>Fase: master surgery planning</i> <hr/>			
Blake e Donald [BD02]	determinística	PLI	métodos exactos, heurísticas
Blake <i>et al.</i> [BDD02]	determinística	PLI	métodos exactos
Beliën e Demeulemeester [BD04]	estocástica	PLIM e PQIM	heurísticas, meta-heurísticas
Vissers <i>et al.</i> [VAB05]	determinística	PLIM	métodos exactos
Beliën <i>et al.</i> [BDC06]	determinística	-	procedimento analítico
Beliën e Demeulemeester [BD07]	estocástica	PLIM e PQIM	heurísticas, meta-heurísticas
Santibáñez <i>et al.</i> [SBA07]	determinística	PLIM	métodos exactos
Testi <i>et al.</i> [TTT07]	determinística	PLI	métodos exactos
Beliën e Demeulemeester [BD08]	determinística	PLI	métodos exactos
van Oostrum <i>et al.</i> [vOvHH <sup>+</sup> 08]	estocástica	PIE	métodos exactos
Beliën <i>et al.</i> [BDC09]	estocástica	PLIM e PQIM	meta-heurísticas
Denton <i>et al.</i> [DvOvH <sup>+</sup> 09]	estocástica	PIE	métodos exactos
Testi e Tanfani [TT09]	determinística	PLI	métodos exactos

*Continua na página seguinte*

REFERÊNCIA	NATUREZA	MODELO	ABORDAGEM DE SOLUÇÃO
<hr/> Fase: <i>elective case scheduling</i> <hr/>			
Carter <i>et al.</i> [COPB <sup>+</sup> 91]	determinística	simulação	simulação
Ozkarahan [Ozk95]	determinística	PLI	métodos exactos, heurísticas
Gerchak <i>et al.</i> [GGH96]	estocástica	PD	métodos exactos
Sier <i>et al.</i> [STM97]	determinística	-	meta-heurísticas
Ozkarahan [Ozk00]	determinística	PLI	métodos exactos, heurísticas
Dexter e Traub [DT02]	estocástica	-	heurísticas
Denton e Gupta [DG03]	estocástica	PLE	heurísticas
Guinet e Chaabane [GC03]	determinística	PLI	heurísticas
Lebowitz [Leb03]	estocástica	simulação	simulação
Ogulata e Erol [OE03]	determinística	PLI	métodos exactos
Hsu <i>et al.</i> [HdML03]	determinística	-	meta-heurísticas
Marcon <i>et al.</i> [MKS03a]	estocástica	PLI	métodos exactos, simulação
Marcon <i>et al.</i> [MKS <sup>+</sup> 03b]	estocástica	PLI	métodos exactos, simulação
Persson e Persson [PP05]	determinística	PI	métodos exactos
Jebali <i>et al.</i> [JAL06]	determinística	PLIM	métodos exactos
Lamiri e Xie [LX06]	estocástica	PIE	métodos exactos
Velásquez e Melo [VM06]	determinística	PLI	métodos exactos
van der Lans <i>et al.</i> [vdLHH <sup>+</sup> 06]	determinística	-	heurísticas, meta-heurísticas
Denton <i>et al.</i> [DVV07]	estocástica	PLE	heurísticas
Testi <i>et al.</i> [TTT07]	determinística	simulação	simulação
Fei <i>et al.</i> [FCMA08]	determinística	PLI	métodos exactos
Hans <i>et al.</i> [HWvHK08]	estocástica	-	heurísticas, meta-heurísticas
Lamiri <i>et al.</i> [LXDG08]	estocástica	PIE	métodos exactos, simulação

*Continua na página seguinte*

REFERÊNCIA	NATUREZA	MODELO	ABORDAGEM DE SOLUÇÃO
Lamiri <i>et al.</i> [LXZ08]	estocástica	PIE	métodos exactos
Pham e Klinkert [PK08]	determinística	PLIM	métodos exactos
Cardoen <i>et al.</i> [CDB09a]	determinística	PLIM	métodos exactos
Cardoen <i>et al.</i> [CDB09b]	determinística	PLIM	métodos exactos
Fei <i>et al.</i> [FCM09]	determinística	PLI	heurísticas
Min e Yih [MY10a]	estocástica	PD	métodos exactos
Persson e Persson [PP09]	determinística	PLI	métodos exactos
Lamiri <i>et al.</i> [LGX09]	estocástica	PIE	métodos exactos, simulação, heurísticas, meta-heurísticas
Testi e Tanfani [TT09]	determinística	PLI	métodos exactos
Min e Yih [MY10b]	estocástica	PIME	métodos exactos

## 4.2 Outros Trabalhos

Nesta secção destacam-se outros trabalhos relacionados com o problema de planeamento de cirurgias electivas, não enquadráveis na classificação anterior.

Blake e Carter [BC97a] afirmam que a marcação de cirurgias é um procedimento difícil, devido à incerteza inerente, proveniente do nível de duração das cirurgias, e ainda proveniente do nível de disponibilidade dos recursos necessários para providenciar os cuidados ao paciente, quer ao nível de pré-operatório, quer de pós-operatório. A interdependência verificada entre o bloco operatório e outros departamentos afecta a agilidade necessária para adaptação à incerteza. Os autores sugerem que a marcação das cirurgias deve envolver a reserva de uma sala específica, num dia específico, e de um período de tempo. As restrições internas do bloco operatório que afectam a marcação são a disponibilidade do cirurgião, restrições de equipamento e das salas, restrições de pessoal e considerações legais. Relativamente ao exterior do bloco operatório, incluem a disponibilidade do paciente, cuidados de enfermagem pré e pós-operatório, camas na unidade de internamento e disponibilidade das unidades de recobro. Os autores afirmam ainda que a procura de procedimentos cirúrgicos está não só relacionada com o

processo de doença do paciente, mas também com a disponibilidade dos cirurgiões e dos serviços cirúrgicos, tendo a fase de *case mix planning* um papel crítico na definição da procura.

Dexter [Dex00] propõe a utilização de procedimentos estatísticos para apoiar o responsável do bloco operatório na decisão de mover ou não, para outra sala de operações disponível, o último caso cirúrgico do dia, marcado para uma sala de operações, de modo a minimizar os custos laborais extraordinários decorrentes da eventualidade de haver atraso na realização do plano cirúrgico da sala onde estava marcada a cirurgia. Afirma o autor que a decisão de mudar a última cirurgia para outra sala pode reduzir eventuais custos extraordinários, mas, no entanto, pode contribuir para a insatisfação dos enfermeiros e anestesistas que realizam mais cirurgias do que aquelas que tinham marcadas para o dia, tendo como consequência uma maior lentidão na execução dos processos marcados. O autor trabalhou dados reais do Iowa University Hospital (EUA).

Calichman [Cal05] apresenta uma metodologia em folha de cálculo (*spreadsheet program*) para determinar o número de cirurgias a marcar, de cada especialidade cirúrgica, em cada dia do horizonte temporal. A metodologia proposta pode incluir as seguintes restrições: limites inferior e superior para o número de cirurgias a marcar no horizonte temporal; disponibilidade diária de equipamento e pessoal; tempo total disponível para a marcação de cirurgias; número máximo de camas disponíveis; preferências dos cirurgiões. O objectivo é maximizar o reembolso gerado, calculado com base na margem média de lucro.

Marcon e Dexter [MD06] analisam o impacto de várias regras de sequenciamento de cirurgias electivas no número de pacientes, por hora, a receber cuidados na UCAPO, e na consequente necessidade de pessoal, nesta unidade, e ainda no tempo extraordinário utilizado nas salas de operações, devido a atrasos na admissão a esta unidade. Os autores aplicam uma abordagem de simulação e concluem que uma das regras mais usadas na prática, a marcação das cirurgias mais longas primeiro, foi a que se comportou pior dentro das regras estudadas. As melhores regras estudadas são referidas como HIHD (*Half Increase in OR time and Half Decrease in OR time*) e MIX (*Mixed OR time*). Supondo que as cirurgias estão por ordem crescente de duração no conjunto  $\{L_1, L_2, \dots, L_n\}$ , na primeira regra as cirurgias são sequenciadas de acordo com a ordem  $\{L_1, L_3, \dots, L_n, \dots, L_4, L_2\}$  e na segunda de acordo com a ordem  $\{L_1, L_n, L_2, L_{n-1}, L_3, L_{n-2}, \dots\}$ . O estudo é aplicado a situações em que cada cirurgião marca, indi-

vidualmente, as suas cirurgias para o bloco de tempo que lhe foi afecto, na fase anterior do planeamento.

Augusto *et al.* [AXP10] analisam o impacto de permitir o início da recuperação do paciente na sala de operações quando não está disponível uma cama no recobro para receber o paciente, até a mesma ficar disponível ou até o paciente estar em condições para prosseguir para a unidade de internamento. A abordagem envolve a formulação de um problema em programação inteira, resolvido através de uma relaxação lagrangeana, seguida de uma heurística para tornar admissível a solução obtida. Os autores concluem que os benefícios de permitir o início da recuperação do paciente na sala de operações são elevados quando a carga de trabalho na unidade de recobro é elevada.



## Parte II

# Abordagem ao Problema do Planeamento de Cirurgias Electivas



# Capítulo 5

## Modelo Matemático

No presente capítulo apresenta-se o modelo matemático em programação linear inteira desenvolvido para formular o problema do planeamento de cirurgias electivas.

### 5.1 Hipóteses Consideradas

No desenvolvimento do modelo, surgiu a necessidade de se considerarem algumas hipóteses que se apresentam.

Não se permite o planeamento de cirurgias com utilização de tempo extraordinário do bloco operatório, isto é, a cirurgia deve ser marcada de modo que, no planeamento e de acordo com a sua duração prevista, seja iniciada e terminada dentro do horário regular do bloco. Apesar de, por vezes, esta hipótese não se verificar no planeamento actual do bloco operatório do hospital em estudo, trata-se de uma indicação explícita da Administração do hospital.

Em consequência, coloca-se como hipótese que todas as cirurgias têm uma duração prevista inferior à duração do horário regular diário do bloco operatório. Caso contrário, de acordo com o modelo, uma cirurgia que ultrapassasse o limite horário diário do bloco operatório nunca seria marcada. Nota-se que, no caso em estudo, o horário regular diário do bloco operatório tem a duração de 12 horas (das 8h às 20h).

Coloca-se ainda como hipótese que todas as cirurgias classificadas como Urgência Diferida em lista de espera podem ser marcadas no primeiro dia do planeamento,

nomeadamente no que respeita ao número de períodos de tempo necessários para cada cirurgião, e ao número de salas disponíveis para as várias especialidades. Por outro lado, as cirurgias classificadas como Muito Prioritárias em lista de espera podem ser marcadas, na totalidade, no horizonte temporal de planeamento.

Embora no caso de estudo se preveja a possibilidade da troca de especialidade numa sala de operações durante o dia, com o correspondente tempo de inactividade motivado pela preparação da sala para essa mesma troca, esta possibilidade não foi considerada no modelo, de acordo com o pretendido pela Direcção do hospital. Assim, no planeamento originado pelo modelo, uma sala de operações recebe apenas uma especialidade cirúrgica durante cada dia.

Considerou-se um limite máximo de tempo em operação para cada cirurgião. Apesar de ter sido indicado não existir qualquer limite de tempo para cirurgia, legal ou formal, foi necessária a introdução deste limite para evitar situações extremas de planeamentos com cirurgiões a operar durante todo o tempo de funcionamento regular diário do bloco operatório, ou até mesmo para evitar que a situação venha a repetir-se durante todo o horizonte temporal do planeamento.

## 5.2 Enquadramento dos Parâmetros do Modelo

Em cada momento de tomada de decisão ao nível do planeamento, em cada sexta-feira no caso em estudo, existe um conjunto de cirurgias electivas para serem marcadas. Este conjunto pode corresponder, na totalidade, à lista de espera para cirurgia, ou pode corresponder a um subconjunto de cirurgias constantes desta mesma lista, previamente seleccionado para ser considerado no horizonte de planeamento. Naturalmente, as cirurgias podem ser todas marcadas se o conjunto for reduzido, ou, como acontece na maioria dos casos reais, o conjunto de cirurgias para serem marcadas é tão extenso que apenas um subconjunto de cirurgias será efectivamente marcado no horizonte de planeamento em consideração. O conjunto de cirurgias electivas consideradas para marcação no horizonte de planeamento designa-se por conjunto  $C$ .

Cada cirurgia é caracterizada, entre outros itens, segundo o Serviço de Cirurgia em que se enquadra e o nível de prioridade com que foi classificada. O conjunto das especialidades cirúrgicas designa-se por  $E$ . O conjunto de níveis de prioridade designa-se

por  $P = \{1, 2, 3, 4\}$ . Estes valores são atribuídos por ordem decrescente de prioridade. Assim, o valor 1 é utilizado para o primeiro nível de prioridade - classificação como Urgência Diferida. O valor 2 refere-se ao segundo nível de prioridade, sendo relacionado com as cirurgias classificadas como Muito Prioritárias. O valor 3 representa o nível de prioridade classificado como Prioritário. O valor 4 é atribuído ao nível de prioridade mais baixo, ou seja, para a classificação da cirurgia com prioridade Normal.

As cirurgias consideradas para marcação podem ser agrupadas por especialidade cirúrgica e por nível de prioridade. O conjunto de cirurgias da especialidade cirúrgica  $j \in E$  consideradas para marcação designa-se por conjunto  $C_j^e$ . O conjunto de cirurgias com nível de prioridade  $i \in P$  consideradas para marcação designa-se por conjunto  $C_i^p$ . Acresce ainda outro subconjunto de  $C$  que contém as cirurgias consideradas para marcação que não são classificadas como Urgência Diferida. Este conjunto representa-se por  $C^n$  e define-se por  $C^n = C \setminus C_1^p$ .

Para realizar o conjunto de cirurgias consideradas para marcação, existe um conjunto de cirurgiões que se designa por conjunto  $H$ .

O bloco operatório tem um conjunto de salas disponíveis para a marcação das cirurgias. O conjunto das salas de operações designa-se por  $S$ .

As cirurgias devem ser marcadas para um intervalo de tempo dentro do horário regular do bloco operatório. Foi utilizada uma representação discreta do tempo. Assim, o horário regular do bloco integra um conjunto de dias e um conjunto de períodos de tempo diários disponíveis para a marcação das cirurgias. O conjunto de dias disponíveis para a marcação de cirurgias designa-se por conjunto  $D$ . O conjunto de períodos de tempo diários disponíveis para a marcação de cirurgias designa-se por conjunto  $T$ , e é igual para todos os dias em  $D$ . Consideraram-se períodos de tempo com igual duração.

Cada cirurgia  $c \in C$  é caracterizada segundo a especialidade cirúrgica a que pertence, o cirurgião que a realiza e o tempo que se prevê para a sua duração. A especialidade cirúrgica da cirurgia  $c \in C$  designa-se por  $e_c \in E$  e o cirurgião que a realiza designa-se por  $h_c \in H$ .

A duração prevista para a cirurgia  $c \in C$  tem uma natureza estocástica e revela-se de grande importância para a qualidade de um planeamento. A duração prevista para a

cirurgia  $c \in C$ , em minutos, representa-se por  $d_c$ . Uma vez que se utiliza uma representação discreta do tempo, a duração prevista dá origem ao número de períodos de tempo que se prevê necessários para a realização da cirurgia, o qual se designa por  $t_c$ . Este valor é obtido arredondando por excesso o quociente da duração prevista da cirurgia pela duração de cada período de tempo. No presente trabalho, a duração prevista para cada cirurgia é abordada numa perspectiva determinística.

Uma vez que uma cirurgia deve ser marcada de modo a ser iniciada e terminada dentro do horário regular do bloco operatório, define-se, para cada cirurgia  $c \in C$  considerada, um subconjunto de períodos de tempo em que a cirurgia pode ser iniciada de modo a ser terminada dentro do tempo regular do bloco. Este subconjunto designa-se por  $T_c \subseteq T$  e define-se formalmente por  $T_c = \{t \in T : t + t_c - 1 \leq |T|\}$ .

Por diversos motivos, tanto o cirurgião como o paciente podem não estar disponíveis para a realização da cirurgia em determinados períodos no horizonte temporal do planeamento. Torna-se, pois, necessário considerar estas impossibilidades durante o planeamento. Para tal, introduz-se o parâmetro  $i_{ctd}$  que designa a impossibilidade da cirurgia  $c \in C$  ser iniciada no período de tempo  $t \in T_c$  no dia  $d \in D$  motivada por indisponibilidade do cirurgião ou do paciente. Este parâmetro toma o valor zero quando o cirurgião ou o paciente não estão disponíveis para a realização da cirurgia em algum período em que a cirurgia estaria a ser realizada no caso da mesma ser iniciada no período  $t \in T$ . Formalmente,  $i_{ctd} = 0$  se o cirurgião ou o paciente estão indisponíveis em algum período de tempo  $t' \in T : t \leq t' \leq t + t_c - 1$ . No caso contrário, o parâmetro toma o valor 1.

Foi introduzido um limite máximo de tempo em operação definido diariamente e semanalmente para cada cirurgião. O número máximo de períodos de tempo em operação para o cirurgião  $h \in H$  no dia  $d \in D$  é representado pelo parâmetro  $T_{hd}^{MAXD}$ . Este limite pode ser igual para todos os dias e, neste caso, será representado por  $T_h^{MAXD}$ . O número máximo semanal de períodos de tempo em operação para o cirurgião  $h \in H$  é representado por  $T_h^{MAXS}$ .

Na tabela 5.1, resumem-se não só estes parâmetros como outros utilizados na modelização da secção 5.5.

Tabela 5.1: Parâmetros utilizados no modelo

---

$C$	conjunto de cirurgias electivas consideradas para marcação no horizonte de planeamento
$E$	conjunto de especialidades cirúrgicas
$P$	conjunto de níveis de prioridades
$C_j^e$	conjunto de cirurgias da especialidade cirúrgica $j \in E$ consideradas para marcação
$C_i^p$	conjunto de cirurgias com nível de prioridade $i \in P$ consideradas para marcação
$C^n$	conjunto de cirurgias consideradas para marcação que não são classificadas como Urgência Diferida
$H$	conjunto de cirurgiões
$S$	conjunto de salas de operações disponíveis para a marcação das cirurgias
$D$	conjunto de dias disponíveis para a marcação de cirurgias
$T$	conjunto de períodos de tempo diários disponíveis para a marcação de cirurgias
$e_c$	especialidade cirúrgica da cirurgia $c \in C$
$h_c$	cirurgião que realiza a cirurgia $c \in C$
$t_c$	duração prevista para a cirurgia $c \in C$ , em número de períodos de tempo
$T_c$	subconjunto de períodos de tempo em que a cirurgia $c \in C$ pode ser iniciada de modo a ser terminada previsivelmente dentro do tempo regular do bloco operatório
$i_{ctd}$	impossibilidade da cirurgia $c \in C$ ser iniciada no período de tempo $t \in T_c$ no dia $d \in D$
$T_{hd}^{MAXD}$	número máximo de períodos de tempo em operação para o cirurgião $h \in H$ no dia $d \in D$ *
$T_h^{MAXS}$	número máximo semanal de períodos de tempo em operação para o cirurgião $h \in H$
$r_c$	reembolso originado pela cirurgia $c \in C$

---

\* Este parâmetro pode ser superior no primeiro dia de planeamento quando a soma da duração das cirurgias de prioridade máxima de um cirurgião é superior ao limite diário considerado

### 5.3 Variáveis

Uma vez que a realização de uma cirurgia é uma tarefa não-preemptiva, isto é, não pode ser interrompida e continuada num período posterior, torna-se suficiente a consideração do período de início de cada cirurgia.

Assim, as variáveis de decisão utilizadas são indexadas no tempo e remetem para o período de início da realização da cirurgia.

As variáveis indexadas no tempo foram introduzidas por Sousa e Wolsey [SW92] para a formulação de problemas de escalonamento não-preemptivo numa máquina, motivado por um problema de selecção de projectos com restrições de recursos.

As cirurgias com nível de prioridade máxima, classificadas como Urgência Diferida, têm um prazo de realização inferior à duração do horizonte temporal do planeamento. Mais concretamente, no caso em estudo, a decisão de planeamento é tomada em cada sexta-feira e, sendo o prazo de realização destas cirurgias de 72 horas, 3 dias, as mesmas deverão necessariamente ser realizadas no primeiro dia do planeamento, segunda-feira. Desta forma, os períodos admissíveis para iniciar estas cirurgias são restritos ao primeiro dia do planeamento ( $d = 1$ ).

Assim, consideram-se as seguintes variáveis de decisão para as cirurgias classificadas como Urgência Diferida, correspondendo ao nível máximo de prioridade:

$$x_{cst1} = \begin{cases} 1, & \text{se o início da cirurgia } c, \text{ classificada como Urgência Diferida, é agendado} \\ & \text{para o período de tempo } t \text{ do dia 1 na sala } s \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (c \in C_1^p, s \in S, t \in T_c)$$

As restantes cirurgias, tendo um prazo superior ao horizonte temporal do planeamento no presente caso de estudo, podem ser realizadas em qualquer um dos dias considerados.

Dentro da mesma linha, consideram-se as seguintes variáveis para as restantes cirurgias:

$$x_{cstd} = \begin{cases} 1, & \text{se o início da cirurgia } c, \text{ não classificada como Urgência Diferida, é agendado} \\ & \text{para o período de tempo } t \text{ do dia } d \text{ na sala } s \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (c \in C^n, s \in S, t \in T_c, d \in D)$$

O facto do domínio das variáveis de decisão ser, relativamente aos períodos de tempo, restringido ao conjunto  $T_c$ , impossibilita o planeamento de cirurgias utilizando tempo extraordinário do bloco operatório.

Foram ainda consideradas variáveis adicionais que registam a especialidade cirúrgica afectada diariamente a cada sala de operações:

$$y_{jst} = \begin{cases} 1, & \text{se pelo menos uma cirurgia da especialidade } j \text{ é iniciada na sala } s \text{ no dia } d \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (j \in E, s \in S, d \in D)$$

Estas variáveis podem ser evitadas na formulação do problema. No entanto, a utilização destas variáveis auxiliares no modelo reduz significativamente o número de restrições necessárias para garantir a afectação de, no máximo, uma especialidade cirúrgica a cada sala, e em cada dia, aumentando apenas ligeiramente o número total de variáveis do modelo, como se verá na secção 5.4. Experiências computacionais preliminares mostraram melhores resultados com a utilização destas variáveis adicionais.

## 5.4 Restrições

Apresenta-se agora o conjunto de restrições do modelo em programação linear inteira, desenvolvido para o problema do planeamento de cirurgias electivas.

Em primeiro lugar, tal como já anteriormente referido, as cirurgias electivas classificadas como Urgência Diferida têm necessariamente de ser marcadas e de modo a cumprir o prazo de 72 horas para a sua conclusão. A restrição do domínio de variação das variáveis de decisão destas cirurgias ao primeiro dia de planeamento, faz com que as mesmas sejam marcadas nesse mesmo dia, que, no caso em estudo, corresponde a segunda-feira.

$$\sum_{s \in S} \sum_{t \in T_c} x_{cst1} = 1, \forall c \in C_1^p \quad (5.1)$$

As cirurgias electivas classificadas como Muito Prioritária, apesar de poderem ser realizadas em 15 dias, deverão ser marcadas durante o horizonte temporal de planeamento.

$$\sum_{s \in S} \sum_{t \in T_c} \sum_{d \in D} x_{cstd} = 1, \forall c \in C_2^p \quad (5.2)$$

As restantes cirurgias, classificadas como Prioritária ou Normal, podem ou não ser marcadas no horizonte temporal do planeamento.

$$\sum_{s \in S} \sum_{t \in T_c} \sum_{d \in D} x_{cstd} \leq 1, \forall c \in (C_3^p \cup C_4^p) \quad (5.3)$$

Torna-se necessário garantir que as cirurgias não se sobreponham dentro da mesma sala de operações, isto é, que decorra, em cada momento, no máximo uma cirurgia em cada sala do bloco. Isto é garantido, através do conjunto de restrições (5.4) para o primeiro dia do horizonte temporal de planeamento, e o conjunto de restrições (5.5) abrange os restantes dias do horizonte temporal.

$$\sum_{c \in C} \sum_{\substack{t' = t - t_c - 1 \\ t' \in T_c}}^t x_{cst'1} \leq 1, \forall s \in S, t \in T \quad (5.4)$$

$$\sum_{c \in C^n} \sum_{\substack{t' = t - t_c - 1 \\ t' \in T_c}}^t x_{cst'd} \leq 1, \forall s \in S, t \in T, d \in D \setminus \{1\} \quad (5.5)$$

Estas restrições impõem também dois períodos em vazio após a realização de cada cirurgia, que são necessários para se proceder ao protocolo de higienização da sala.

Os conjuntos de restrições seguintes dão a possibilidade de se considerar as indisponibilidades do cirurgião e do paciente na marcação das cirurgias. O primeiro conjunto de

restrições (5.6) é relativo às cirurgias classificadas como Urgência Diferida; o segundo conjunto de restrições (5.7) é relativo às restantes cirurgias electivas consideradas para marcação no horizonte temporal.

$$\sum_{s \in S} x_{cst1} \leq i_{ct1}, \quad \forall c \in C_1^p, t \in T_c \quad (5.6)$$

$$\sum_{s \in S} x_{cstd} \leq i_{ctd}, \quad \forall c \in C^n, t \in T_c, d \in D \quad (5.7)$$

Tal como foi referido nas hipóteses consideradas para o modelo, não é permitida a troca de especialidade numa sala de operações durante o dia. Assim, em cada sala e em cada dia, é afectada, no máximo, uma especialidade cirúrgica.

$$\sum_{j \in E} y_{jsd} \leq 1, \quad \forall s \in S, d \in D \quad (5.8)$$

A marcação das cirurgias numa determinada sala deve, assim, respeitar a especialidade cirúrgica afecta a essa mesma sala de operações. Os conjuntos de restrições seguintes fazem a ligação entre as variáveis  $x_{cstd}$  e  $y_{jsd}$ . O conjunto de restrições (5.9) incide sobre o primeiro dia do horizonte temporal e o conjunto de restrições (5.10) sobre os restantes dias do horizonte temporal de planeamento.

$$\sum_{c \in C_j^e} \sum_{t \in T_c} x_{cst1} \leq y_{js1} |T|, \quad \forall j \in E, s \in S \quad (5.9)$$

$$\sum_{c \in (C_j^e \cap C^n)} \sum_{t \in T_c} x_{cstd} \leq y_{jsd} |T|, \quad \forall j \in E, s \in S, d \in D \setminus \{1\} \quad (5.10)$$

No caso de não serem utilizadas as variáveis adicionais  $y_{jsd}$  na formulação do problema, os conjuntos de restrições (5.8) - (5.10) seriam substituídos pelos seguintes conjuntos de restrições, sendo o primeiro relativo ao primeiro dia do horizonte temporal de planeamento, e o segundo relativo aos restantes dias:

$$\sum_{\substack{c' \in C: \\ e_{c'} \neq e_c}} \sum_{t' \in T_{c'}} x_{c'st'1} \leq (1 - \sum_{t \in T_c} x_{cst1}) |T|, \quad \forall c \in C, s \in S$$

$$\sum_{\substack{c' \in C^n: \\ e_{c'} \neq e_c}} \sum_{t' \in T_{c'}} x_{c'st'd} \leq (1 - \sum_{t \in T_c} x_{cstd}) |T|, \quad \forall c \in C^n, s \in S, d \in D \setminus \{1\}$$

Estes dois conjuntos de restrições originam, no máximo, um número de restrições na ordem de  $|C| \times |S| \times |D|$ , enquanto que os conjuntos de restrições correspondentes, com as variáveis  $y_{j_{sd}}$ , originam um número de restrições na ordem de  $|S| \times |D| \times |E|$ . Uma vez que, naturalmente, cada especialidade cirúrgica terá mais do que uma cirurgia em lista de espera, então  $|C|$  será superior a  $|E|$ , e, neste caso, a introdução das variáveis adicionais  $y_{j_{sd}}$  permite reduzir significativamente o número de restrições do modelo.

Exemplificando, numa situação de planeamento em que são consideradas 250 cirurgias de 5 especialidades cirúrgicas, 5 salas de operações, 5 dias para marcação e 46 períodos de tempo diários, a utilização das variáveis adicionais  $y_{j_{sd}}$  permite reduzir até 6 100 restrições. Esta opção aumenta apenas 125 variáveis no modelo.

Por este motivo, foram utilizadas as variáveis auxiliares  $y_{j_{sd}}$  na formulação do problema, para garantir a afectação de, no máximo, uma especialidade cirúrgica a cada sala, e em cada dia, expressa pelas restrições (5.8) a (5.10).

Durante o planeamento, é também necessário garantir a não sobreposição dos cirurgiões entre as várias salas do bloco operatório, isto é, que em cada momento, qualquer cirurgião não tem cirurgias a decorrer em mais do que uma sala em simultâneo. Isto é garantido, para o primeiro dia do horizonte temporal de planeamento, através das restrições (5.11), e, para os restantes dias, através das restrições (5.12).

$$\sum_{\substack{c \in C: \\ h_c = h}} \sum_{s \in S} \sum_{\substack{t' = t - t_c + 1 \\ t' \in T_c}}^t x_{cst'1} \leq 1, \forall h \in H, t \in T \quad (5.11)$$

$$\sum_{\substack{c \in C^n: \\ h_c = h}} \sum_{s \in S} \sum_{\substack{t' = t - t_c + 1 \\ t' \in T_c}}^t x_{cst'd} \leq 1, \forall h \in H, d \in D \setminus \{1\}, t \in T \quad (5.12)$$

O limite máximo de tempo em operação para cada cirurgião é considerado nas restrições seguintes. Os conjuntos (5.13) e (5.14) limitam o tempo gasto diariamente em cirurgia por cada cirurgião, para o primeiro e restantes dias do horizonte temporal de planeamento, respectivamente. O conjunto de restrições (5.15) limita o tempo semanal utilizado em cirurgia por cada cirurgião.

$$\sum_{\substack{c \in C: \\ h_c = h}} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T_c} t_c x_{cst1} \leq T_{h1}^{MAXD}, \quad \forall h \in H \quad (5.13)$$

$$\sum_{\substack{c \in C^n: \\ h_c = h}} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T_c} t_c x_{cstd} \leq T_{hd}^{MAXD}, \quad \forall d \in D \setminus \{1\}, h \in H \quad (5.14)$$

$$\sum_{\substack{c \in C_1^p: \\ h_c = h}} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T_c} t_c x_{cst1} + \sum_{\substack{c \in C^n: \\ h_c = h}} \sum_{d \in D} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T_c} t_c x_{cstd} \leq T_h^{MAXS}, \quad \forall h \in H \quad (5.15)$$

Finalmente, os conjuntos de restrições (5.16), (5.17) e (5.18) exprimem o domínio das variáveis consideradas no modelo.

$$x_{cst1} \in \{0, 1\}, \quad \forall c \in C_1^p, s \in S, t \in T_c \quad (5.16)$$

$$x_{cstd} \in \{0, 1\}, \quad \forall c \in C^n, s \in S, t \in T_c, d \in D \quad (5.17)$$

$$y_{j\text{sd}} \in \{0, 1\}, \quad \forall j \in E, s \in S, d \in D \quad (5.18)$$

Outras restrições podem também ser consideradas no planeamento de cirurgias electivas. Por exemplo, a forma como o tempo em cirurgia, para cada cirurgião, está distribuído ao longo do dia, isto é, o horário diário de cirurgia para cada cirurgião, poderá ser relevante no desenvolvimento de uma escala de cirurgia. No anexo A apresentam-se as alterações ao modelo necessárias no caso de se considerar este aspecto do planeamento. No caso do hospital em estudo, esta questão não é considerada no planeamento de cirurgias electivas e, por isso, não foi incluída no modelo, não sendo, portanto, também incluída nos testes desenvolvidos.

## 5.5 Funções Objectivo

São vários os objectivos sobre os quais o planeamento de cirurgias electivas pode ser desenvolvido. Consequentemente, as funções objectivo que podem ser consideradas no problema são variadas.

No âmbito apresentado, duas possibilidades se destacam quanto ao objectivo do problema.

A primeira possibilidade consiste na maximização da utilização das salas do bloco operatório, ao nível do número de períodos de tempo ocupados. Esta possibilidade prioriza a rentabilização da utilização do bloco operatório. Este objectivo pode ser escrito matematicamente da seguinte forma:

$$\max \sum_{c \in C_1^p} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T_c} t_c x_{cst1} + \sum_{c \in C^n} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T_c} \sum_{d \in D} t_c x_{cstd} \quad (5.19)$$

A segunda possibilidade está relacionada com a maximização do número de cirurgias agendadas. Este objectivo dá prioridade à redução das listas de espera para cirurgia. Matematicamente,

$$\max \sum_{c \in C_1^p} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T_c} x_{cst1} + \sum_{c \in C^n} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T_c} \sum_{d \in D} x_{cstd} \quad (5.20)$$

Com o primeiro objectivo serão, primeiramente, marcadas cirurgias com maior duração. Evita-se, assim, a inactividade de dois períodos na sala, após a realização de cada cirurgia, para se proceder ao protocolo de higienização da mesma. Com o segundo objectivo, serão, primeiramente, marcadas cirurgias com duração mais curta. Trata-se de dois objectivos com natureza claramente conflituaosa.

No contexto apresentado, surge ainda uma terceira possibilidade relativamente ao objectivo do problema: a maximização do reembolso originado pela cirurgia. Designando por  $r_c$  o reembolso originado pela cirurgia  $c \in C$ , este objectivo pode ser formalmente definido por:

$$\max \sum_{c \in C_1^p} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T_c} r_c x_{cst1} + \sum_{c \in C^n} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T_c} \sum_{d \in D} r_c x_{cstd} \quad (5.21)$$

Tal como foi referido na secção 2.3, no contexto de um hospital público, a intervenção cirúrgica não é directamente reembolsada, mas contribui, juntamente com outras variáveis classificativas, para a afectação de cada paciente a um grupo de diagnóstico homogéneo. Actualmente, o modo como a intervenção cirúrgica contribui para esta definição não é clara para a Administração do hospital em estudo. Por este motivo, não

se revelou viável a utilização deste objectivo na corrente aplicação real.

Este último objectivo coloca ainda em causa a realização de cirurgias mais simples e com menor capacidade de reembolso.

O modelo desenvolvido para o problema do planeamento de cirurgias electivas envolve, então, as funções objectivo (5.19), (5.20) e (5.21), e é sujeito às restrições (5.1) - (5.18). Trata-se de um problema com natureza multicritério. No entanto, no âmbito do presente trabalho, apresentam-se processos para abordar individualmente cada um dos objectivos (5.19) e (5.20).

Este modelo equaciona ainda a possibilidade de integrar considerações sobre o horário diário de cirurgia para cada cirurgião, matéria que se encontra no anexo A por não constituir uma questão relevante no actual desenvolvimento de escalas de cirurgia, no hospital em estudo.

## 5.6 Complexidade Computacional

O modelo desenvolvido na presente secção é de elevada complexidade e atinge grandes dimensões em instâncias reais. De facto, o modelo obtém um número de variáveis na ordem de  $o(|C| \times |S| \times |T| \times |D|)$  e de restrições na ordem de  $o(|C| \times |T| \times |D|)$ . Consultar anexo B para prova.

Facilmente se mostra que se trata de um problema NP-difícil, com qualquer uma das funções objectivo (5.19), (5.20) e (5.21). No caso do objectivo de maximização da utilização das salas de operações, basta para tal verificar que o problema admite como caso particular o problema *subset sum* que pertence à classe NP-difícil [GJ79]. No caso dos objectivos de maximização do número de cirurgias marcadas e de maximização do reembolso gerado pelas cirurgias marcadas, mostra-se que admitem como caso particular problemas do tipo *knapsack* que pertencem também à classe NP-difícil [GJ79].

Considere-se, então, uma instância simplificada do problema de planeamento de cirurgias electivas, em que:

- o conjunto de cirurgias para marcação é formado apenas por cirurgias com níveis

de prioridade 3 e 4 (Prioritária e Normal), isto é,  $|C_1^p| = |C_2^p| = 0$ ;

- existe uma única sala para marcação, isto é,  $|S| = 1$ ;
- o horizonte temporal de planeamento é constituído por um só dia, isto é,  $|D| = 1$ ;
- existe apenas um cirurgião, isto é,  $|H| = 1$ , e, conseqüentemente, apenas existe uma especialidade cirúrgica, isto é,  $|E| = 1$ ;
- o cirurgião e os pacientes estão disponíveis para operar a qualquer momento de funcionamento do bloco operatório ( $i_{ctd} = 1, \forall c \in C, t \in T_c, d \in D$ ).

Neste caso, o problema resume-se à selecção do conjunto de cirurgias a serem realizadas, sujeito ao limite de capacidade de tempo da sala de operações.

Na situação em que se pretende maximizar a utilização do bloco operatório, isto é, maximizar a função objectivo (5.19), o problema admite, então, como caso particular, o problema seguinte.

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{c \in C^n} t_c x_c \\ \text{s. a:} \quad & \sum_{c \in C^n} t_c x_c \leq T^{MAXD} \\ & x_c \in \{0, 1\}, \forall c \in C^n \end{aligned}$$

Trata-se de um problema de *subset sum* que pertence à classe NP-difícil [GJ79].

No caso em que se pretende maximizar o número de cirurgias marcadas (função objectivo (5.20)), o problema de planeamento de cirurgias electivas, com as particularidades referidas, resume-se, então, ao problema seguinte.

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{c \in C^n} x_c \\ \text{s. a:} \quad & \sum_{c \in C^n} t_c x_c \leq T^{MAXD} \\ & x_c \in \{0, 1\}, \forall c \in C^n \end{aligned}$$

Trata-se de um problema de *knapsack* com lucros todos iguais que também pertence à classe NP-difícil [GJ79].

No caso do objectivo de maximização do reembolso originado pelas cirurgias constantes do plano operativo, no caso da maximização da função objectivo (5.21), o problema de planeamento de cirurgias electivas, com as particularidades referidas, resume-se a um problema de *knapsack* que pertence também à classe NP-difícil [GJ79].

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{c \in C^n} r_c x_c \\ \text{s. a:} \quad & \sum_{c \in C^n} t_c x_c \leq T^{MAXD} \\ & x_c \in \{0, 1\}, \forall c \in C^n \end{aligned}$$

Deste modo, o problema tri-objectivo, resultante da consideração conjunta das funções objectivo (5.19), (5.20) e (5.21), é também NP-difícil.

## 5.7 Observações

O problema de planeamento de cirurgias electivas pode ser visto como um problema de escalonamento de tarefas (cirurgias) em várias máquinas (salas de operações) paralelas, e idênticas porque têm iguais velocidades de processamento. Cada tarefa deve ser processada numa única máquina, mas só pode ser processada num subconjunto de máquinas que é definido pelo próprio modelo, e respeitando múltiplas janelas temporais (representativas da disponibilidade do cirurgião e do paciente). As tarefas são não-preemptivas, isto é, o seu processamento não pode ser interrompido e posteriormente retomado num outro momento ou numa outra máquina. Algumas tarefas podem ser realizadas ou não, enquanto que outras têm mesmo de ser realizadas (caso das cirurgias classificadas como Urgência Diferida e Muito Prioritárias). Há ainda a consideração de prazos (*deadline*) para um tipo de tarefas (as cirurgias classificadas como Urgência Diferida).

Trata-se de uma aplicação em contexto hospitalar que, pela sua especificidade, se desvia dos problemas clássicos de escalonamento de tarefas em máquinas, não só pelas

citadas particularidades que definem o plano de cirurgias para o horizonte de planeamento, mas também por ser um problema tri-objectivo. Daí que se tenha optado por uma abordagem de formulação do problema em programação linear inteira.

Keha *et al.* [KKF09] sintetizam e comparam o desempenho de quatro tipos de formulações distintas em programação linear inteira mista para problemas clássicos de escalonamento de tarefas numa única máquina, classificadas com base na definição das variáveis de decisão. A primeira formulação utiliza variáveis contínuas para o tempo de conclusão de cada tarefa (*completion time variables*) e os autores referem que esta formulação é apenas apresentada em manuais académicos e pouco utilizada na prática, por não revelar um bom desempenho. A segunda formulação é baseada em variáveis binárias indexadas no tempo (*time indexed variables*) que correspondem às variáveis de decisão utilizadas no modelo desenvolvido no presente trabalho. A terceira formulação utiliza variáveis binárias de ordenação linear (*linear ordering variables*). A quarta formulação utiliza variáveis de afectação posicionais (*assignment and positional date variables*). Os autores referem que o segundo e terceiro tipo de formulações são as mais utilizadas e têm um desempenho semelhante: a relaxação linear é de mais difícil resolução, no entanto obtém melhores limites. Por outro lado, a quarta formulação é menos utilizada, mas a sua relaxação linear pode ser mais rápida, potenciando melhores desempenhos para a aplicação de metodologias de resolução de programação inteira.

Com base nestas observações, as variáveis utilizadas no presente trabalho - *time indexed variables* - são as que possibilitam uma maior flexibilidade para a formulação do problema de planeamento de cirurgias electivas. Em estudos preliminares, foi colocada a possibilidade de desenvolvimento de um modelo baseado nas variáveis de afectação posicionais. Estas variáveis mostraram pouca flexibilidade para a modelação das especificidades deste problema, dando origem a um modelo de maior dimensão.

Os capítulos seguintes desenvolvem, individualmente, as funções objectivo de maximização da utilização da sala de operações (5.19) e de maximização do número de cirurgias marcadas (5.20). A primeira pretende dar resposta à rentabilização do bloco operatório e a segunda à redução da lista de espera para cirurgia. O terceiro objectivo proposto (5.21), maximização do reembolso gerado pelo plano operatório, não será desenvolvido neste trabalho, pois a Administração do hospital em estudo encontra dificuldades na definição do contributo de cada intervenção cirúrgica para o grupo de diagnóstico homogéneo ao qual cada paciente pertence. Trata-se de uma dificuldade

que surge no âmbito dos hospitais integrados no Serviço Nacional de Saúde e está relacionada com o modelo de reembolso das intervenções cirúrgicas.

No capítulo seguinte será apresentada a abordagem de solução utilizada para cada uma das funções objectivo em estudo, onde se enquadra o modelo desenvolvido no presente capítulo. Os resultados das experiências computacionais do modelo são apresentados no capítulo 8.



# Capítulo 6

## Abordagem de Solução

No presente capítulo apresenta-se a abordagem de solução desenvolvida para o problema do planeamento de cirurgias electivas, com o objectivo de rentabilização do bloco operatório ou de redução da lista de espera para cirurgia. A abordagem proposta integra a resolução do modelo apresentado no capítulo anterior, assim como abordagens heurísticas que são também desenvolvidas neste capítulo.

### 6.1 Metodologias de Solução

O problema do planeamento de cirurgias electivas, com cada um dos dois objectivos em estudo, foi decomposto em duas fases hierárquicas. Na primeira fase, são marcadas as cirurgias convencionais, uma vez que as mesmas correspondem a uma percentagem muito mais significativa da produção cirúrgica do hospital, tal como foi referido no capítulo 3. Na segunda fase, são planeadas as cirurgias de ambulatório. De modo a garantir a admissibilidade do plano final, os resultados obtidos na fase de planeamento das cirurgias convencionais são considerados na segunda fase, para a marcação das cirurgias de ambulatório.

O modelo desenvolvido foi utilizado como primeiro passo de resolução nas duas fases referidas. Como foi visto no capítulo anterior, na secção 5.6, este modelo atinge uma dimensão muito elevada em instâncias reais. Por este motivo, para a resolução do modelo, foi usado um *solver* de programação linear inteira, com um determinado limite de tempo fixado previamente. No caso do programa parar sem obter a solução óptima, a melhor solução inteira obtida é melhorada através de uma heurística de melhoramento.

No caso do programa parar sem obter uma solução admissível, é utilizada uma heurística construtiva para obter uma solução admissível que será posteriormente melhorada através da mesma heurística de melhoramento.

Como alternativa ao modelo, surge a possibilidade da fase de planeamento de cirurgias convencionais ser iniciada directamente com a obtenção de uma solução admissível através de uma das heurísticas construtivas implementadas.

A figura 6.1 apresenta, esquematicamente, as metodologias de solução para o problema do planeamento de cirurgias electivas.

As heurísticas construtivas e de melhoramento são descritas nas secções seguintes.

## 6.2 Heurísticas Construtivas

As heurísticas construtivas foram desenvolvidas com o objectivo de disponibilizarem uma solução admissível para o problema. Estas podem ser utilizadas como primeiro passo da fase de planeamento de cirurgias convencionais ou na situação em que o *solver* de programação linear inteira, utilizado para a resolução do modelo, chegando ao final do tempo estipulado pára, sem encontrar qualquer solução admissível para o problema.

Estas heurísticas construtivas têm a mesma estrutura nos dois objectivos em consideração, rentabilização do bloco operatório e redução da lista de espera para cirurgia, distinguindo-se apenas na ordem de marcação das cirurgias não prioritárias. Por este motivo, são referidas no singular, fazendo-se apenas distinção entre as duas, quando necessário. Assim, a heurística construtiva consiste em três passos principais que se resumem assim:

1. FASE DE MARCAÇÃO DE CIRURGIAS CLASSIFICADAS COMO URGÊNCIA DIFERIDA  
Marca as cirurgias, classificadas como Urgência Diferida, no primeiro dia de planeamento. Esta fase pode ainda ser subdividida em três pontos:
  - (a) Identifica a possível existência de algum cirurgião com cirurgias, com este nível de prioridade, em lista de espera, cuja duração total o obrigue a operar em duas salas de operações distintas. Esta situação pode acontecer motivada pelo facto da sala de operações requerer dois períodos em vazio, após a realização de cada cirurgia, para a higienização da mesma, e o cirurgião

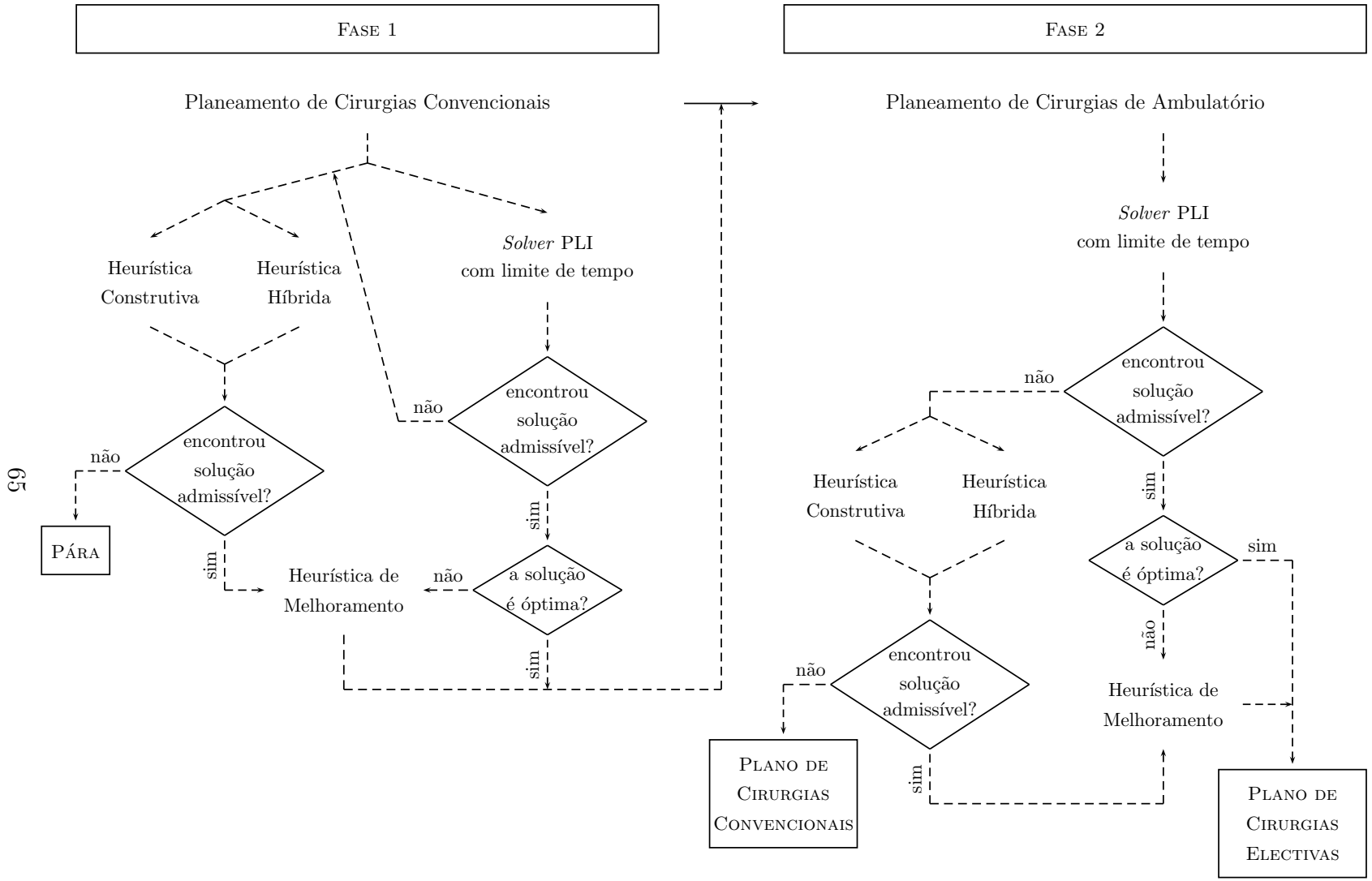


Figura 6.1: Resumo esquemático das metodologias de solução

65

precisar de rentabilizar esses períodos, de modo a conseguir realizar todas as suas cirurgias com este nível de prioridade no primeiro dia de planejamento, mantendo-se, assim, a admissibilidade do plano. No caso de existir algum cirurgião nestas circunstâncias, marca as respectivas cirurgias, alternadamente, e, em sequência, em duas salas, enquanto for necessário manter a marcação nas duas salas; as restantes cirurgias do mesmo cirurgião são marcadas, em sequência, numa dessas duas salas de operações.

- (b) Marca as restantes cirurgias, classificadas como Urgência Diferida, na primeira sala e no primeiro período em que podem ser marcadas.
- (c) No caso de chegar ao final do ponto anterior e existirem ainda cirurgias classificadas como Urgência Diferida que não estão marcadas, desmarca todas as cirurgias, classificadas como Urgência Diferida, da mesma especialidade das cirurgias não marcadas. Das cirurgias deste nível de prioridade ainda por marcar, identifica o cirurgião com mais tempo de cirurgia e marca, em sequência e na mesma sala, as cirurgias deste cirurgião, voltando novamente ao ponto anterior.

## 2. FASE DE MARCAÇÃO DE CIRURGIAS CLASSIFICADAS COMO MUITO PRIORITÁRIAS

Marca as cirurgias, classificadas como Muito Prioritárias, no primeiro dia e na primeira sala em que podem ser marcadas.

## 3. FASE DE MARCAÇÃO DE CIRURGIAS CLASSIFICADAS COMO PRIORITÁRIAS OU NORMAL

Marca as cirurgias, classificadas como Prioritárias ou Normal, no primeiro dia e na primeira sala em que podem ser marcadas.

As três fases da heurística devem ser realizadas tendo em conta a admissibilidade do problema, nomeadamente de modo a garantir:

- a não-sobreposição de diferentes cirurgias, em simultâneo, na mesma sala;
- dois períodos em vazio, após a realização de cada cirurgia, necessários para se proceder ao protocolo de higienização da sala;
- a realização da cirurgia, num período de disponibilidade do cirurgião e do paciente;
- a ocupação diária da sala por, apenas, uma especialidade cirúrgica;

- a não-sobreposição dos cirurgiões em mais do que uma sala, em simultâneo;
- o limite máximo de tempo, diário e semanal, em operação, de cada cirurgião.

A heurística construtiva não garante a obtenção de uma solução admissível, mesmo nos casos em que a instância é admissível, nem a optimalidade da solução admissível encontrada.

A componente mais restritiva do problema, e com base nos dados reais analisados, está relacionada com a marcação das cirurgias classificadas como Urgência Diferida. A obrigatoriedade de marcação no primeiro dia de planeamento limita muito esta parte do problema, e pode dificultar a obtenção de uma solução admissível, mesmo nos casos em que a instância tem solução admissível.

Por este motivo, a heurística deve ser antecedida por um pré-processamento de teste à admissibilidade da instância. Assim, neste teste foram utilizados os seguintes indicadores:

- soma dos limites inferiores no número de salas necessárias para a marcação de cirurgias classificadas como Urgência Diferida, para cada especialidade;
- total do tempo previsto, por cirurgião, para a realização de cirurgias classificadas como Urgência Diferida.

O teste à admissibilidade da instância, realizado com base nestes indicadores, não garante a existência de solução admissível para a instância em análise. Trata-se apenas de um simples teste, com parâmetros genéricos mas concretos, que permite fazer uma análise prévia à instância.

Para o cálculo destes indicadores, consideraram-se alguns parâmetros adicionais. Assim, o número de cirurgias classificadas como Urgência Diferida, em lista de espera, da especialidade  $e \in E$ , e o total da duração prevista destas cirurgias são designados, respectivamente, por  $C_e^{TOTP1E}$  e  $T_e^{TOTP1E}$  e definem-se por:

$$C_e^{TOTp1E} = |\{c \in C_1^p : e_c = e\}|, \forall e \in E$$

$$T_e^{TOTp1E} = \sum_{c \in C_1^p: e_c=e} t_c, \forall e \in E$$

O limite inferior no número de salas necessárias para a marcação de cirurgias classificadas como Urgência Diferida da especialidade  $e \in E$  designa-se por  $S_e^{MINp1E}$  e foi obtido através da seguinte expressão:

$$S_e^{MINp1E} = \left\lceil \frac{T_e^{TOTp1E} + 2 \left( C_e^{TOTp1E} - \left\lceil \frac{T_e^{TOTp1E}}{|T|} \right\rceil \right)}{|T|} \right\rceil, \forall e \in E$$

O cálculo deste limite inferior considera o total da duração prevista das cirurgias classificadas como Urgência Diferida de cada especialidade, assim como o tempo que será necessário para a higienização da sala de operações, dois períodos de tempo após a realização de cada cirurgia. Na última cirurgia do dia, para cada sala, estes períodos não são contabilizados para o problema em causa, particularidade contemplada na expressão anterior através de uma aproximação.

Deste modo, a soma dos limites inferiores no número de salas necessárias para a marcação de cirurgias classificadas como Urgência Diferida, para todas as especialidades, obtém-se por  $\sum_{e \in E} S_e^{MINp1E}$ . Se este valor for superior ao número de salas disponíveis para marcação ( $|S|$ ), a instância em análise não tem solução admissível.

Relativamente ao segundo indicador, se existir algum cirurgião cujo tempo total previsto para a realização das cirurgias classificadas como Urgência Diferida for superior ao número de períodos de tempo diários disponíveis para a marcação de cirurgias ( $|T|$ ), a instância em análise não tem solução admissível. Ao total da duração prevista das cirurgias classificadas como Urgência Diferida, em lista de espera, do cirurgião  $h \in H$ , designa-se por  $T_h^{TOTp1H}$  e define-se por:

$$T_h^{TOTp1H} = \sum_{c \in C_1^p: h_c=h} t_c, \forall h \in H$$

A primeira fase da heurística começa por identificar os cirurgiões cujas cirurgias, classificadas como Urgência Diferida, em lista de espera, implicam a necessidade de ocupação de duas salas de operações para a marcação das mesmas. No caso de existirem cirurgiões nestas condições, são marcadas em primeiro lugar as cirurgias correspondentes.

O cálculo do número de salas de operações necessárias, para cada cirurgião, para a marcação de cirurgias classificadas como Urgência Diferida, é feito de modo semelhante ao cálculo respectivo para cada especialidade. Assim, o número de cirurgias classificadas como Urgência Diferida, para marcação, do cirurgião  $h \in H$ , designa-se por  $C_h^{TOTp1H} = |\{c \in C_1^p : h_c = h\}|$ ,  $\forall h \in H$ . Deste modo, um limite inferior para o número de salas necessárias para a marcação de cirurgias, classificadas como Urgência Diferida, do cirurgião  $h \in H$ , designa-se por  $S_h^{MINp1H}$  e pode ser obtido através da expressão:

$$S_h^{MINp1H} = \left\lceil \frac{T_h^{TOTp1H} + 2 \left( C_h^{TOTp1H} - 1 \right)}{|T|} \right\rceil, \forall h \in H$$

Quando a duração das cirurgias é superior a um período de tempo ( $t_c > 1$ ,  $\forall c \in C_1^p$ ), como em todos os casos estudados, o número de salas necessárias, para cada cirurgião, para a marcação de cirurgias classificadas como Urgência Diferida, varia entre 0 e 2, isto é,  $S_h^{MINp1H} \in \{0, 1, 2\}$ ,  $\forall h \in H$ .

A heurística construtiva marca, em primeiro lugar, as cirurgias relativas aos cirurgiões que necessitam de duas salas de operações para as cirurgias classificadas como Urgência Diferida, no caso de existirem cirurgiões nestas condições. Para estes, calcula o número de cirurgias com flexibilidade de marcação, isto é, que podem ser marcadas em qualquer uma das duas salas de operações a serem utilizadas, e o número de cirurgias que têm de ser marcadas na segunda sala de operações. Estes parâmetros designam-se, respectivamente, por  $C_h^{FLEXp1H}$  e  $C_h^{S2p1H}$ , e podem ser obtidos pelas expressões:

$$C_h^{FLEXp1H} = \left\lfloor \frac{|T| - T_h^{TOTp1H}}{2} \right\rfloor, \forall h \in H$$

$$C_h^{S2p1H} = \left\lfloor \frac{C_h^{TOTp1H} - C_h^{FLEXp1H}}{2} \right\rfloor, \forall h \in H$$

Uma vez obtidos estes valores, a heurística marca as cirurgias em questão, em sequência e alternadamente, nas duas salas de operações, até atingir o número de cirurgias marcadas na segunda sala, após o que marca as cirurgias em sequência na primeira sala. Desta forma, consegue-se obter um plano mais arrumado e que possibilita mais espaços para marcações de cirurgias posteriores.

Na tabela 6.1, resumem-se os parâmetros utilizados no pré-processamento e no ponto (a) da primeira fase da heurística construtiva.

**Exemplo.** O presente exemplo pretende ilustrar o primeiro ponto (a) da fase de marcação de cirurgias classificadas como Urgência Diferida da heurística construtiva.

Considere-se uma situação com  $|T| = 10$ . Admita-se que um dado cirurgião, seja  $h = 1$ , tem quatro cirurgias classificadas como Urgência Diferida em lista de espera. Sejam  $c = 1, 2, 3, 4$  essas cirurgias, isto é,  $h_1 = h_2 = h_3 = h_4 = 1$  e  $\{1, 2, 3, 4\} \in C_1^p$ , e as suas durações são 2 períodos de tempo ( $t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = 2$ ). Assim,  $C_1^{TOTp1H} = 4$  e  $T_1^{TOTp1H} = 8$ , e são necessárias 2 salas para marcar estas cirurgias:  $S_1^{MINp1H} = \left\lceil \frac{8+2(4-1)}{10} \right\rceil = 2$ .

Uma destas cirurgias tem flexibilidade de marcação e tem de ser marcada uma cirurgia na segunda sala de operações:  $C_1^{FLEXp1H} = \lfloor \frac{10-8}{2} \rfloor = 1$  e  $C_h^{S2p1H} = \lfloor \frac{4-1}{2} \rfloor = 1$ .

Deste modo, as cirurgias em lista de espera, classificadas como Urgência Diferida, deste cirurgião, são marcadas no primeiro ponto da primeira fase da heurística, de acordo com o seguinte esquema:

$t$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$s = 1$	1	1	-	-	3	3	-	-	4	4
$s = 2$			2	2	-	-				

□

Tabela 6.1: Parâmetros utilizados na heurística construtiva

---

$C_e^{TOTp1E}$	número de cirurgias classificadas como Urgência Diferida, em lista de espera, da especialidade $e \in E$
$T_e^{TOTp1E}$	duração prevista, em número de períodos de tempo, para o total de cirurgias classificadas como Urgência Diferida, em lista de espera, da especialidade $e \in E$
$S_e^{MINp1E}$	limite inferior no número de salas necessárias para a marcação de cirurgias, classificadas como Urgência Diferida, da especialidade $e \in E$
$C_h^{TOTp1H}$	número de cirurgias classificadas como Urgência Diferida, em lista de espera, do cirurgião $h \in H$
$T_h^{TOTp1H}$	duração prevista, em número de períodos de tempo, para o total de cirurgias classificadas como Urgência Diferida, em lista de espera, do cirurgião $h \in H$
$S_h^{MINp1H}$	limite inferior no número de salas necessárias para a marcação de cirurgias, classificadas como Urgência Diferida, do cirurgião $h \in H$
$C_h^{FLEXp1H}$	número de cirurgias classificadas como Urgência Diferida, em lista de espera, do cirurgião $h \in H$ , com flexibilidade de marcação em qualquer sala de operações
$C_h^{S2p1H}$	número de cirurgias classificadas como Urgência Diferida, em lista de espera, do cirurgião $h \in H$ , que têm de ser marcadas na segunda sala de operações

---

No segundo ponto da fase de marcação de cirurgias classificadas como Urgência Diferida, são marcadas as restantes cirurgias com este nível de prioridade. Esta marcação é feita na primeira sala e no primeiro período em que as cirurgias podem ser marcadas.

No final desta fase, a heurística verifica se estão marcadas todas as cirurgias com nível máximo de prioridade. No caso de existirem cirurgias deste nível de prioridade ainda por marcar, a heurística desmarca todas as cirurgias com a mesma especialidade das cirurgias não marcadas. Das cirurgias deste nível de prioridade ainda por marcar, identifica o cirurgião com mais tempo de cirurgia e marca as cirurgias com este nível de prioridade, deste cirurgião, em sequência e na mesma sala. As restantes cirurgias desta especialidade, e com este nível de prioridade, ainda por agendar, são marcadas de acordo com o ponto anterior desta fase da heurística.

Este último ponto surge nesta fase da heurística para dar resposta a uma instância testada, em que apenas com os pontos anterior, a heurística não conseguiu marcar todas as cirurgias classificadas como Urgência Diferida. Através da análise dessa instância, observou-se que esta dificuldade tinha surgido pela conjugação de dois factores. Por um lado, a existência de um cirurgião, da especialidade em falta, com um tempo de cirurgia, neste nível de prioridade, relativamente elevado, mas não o suficiente para ser necessária a utilização de duas salas de operações e, portanto, as respectivas cirurgias serem marcadas no primeiro ponto desta fase. Por outro lado, a existência de cirurgias, deste nível de prioridade e especialidade, de outros cirurgiões. A marcação de cirurgias destes cirurgiões, alternadas com as do cirurgião com mais tempo de cirurgia impediu, nesta instância, a marcação de todas as cirurgias deste último cirurgião.

Na segunda e terceira fase da heurística construtiva são marcadas as cirurgias com os restantes níveis de prioridade. Esta marcação é feita no primeiro dia e na primeira sala em que as cirurgias podem ser marcadas.

É nestas duas fases que as heurísticas construtivas se distinguem em função do objectivo que está a ser considerado.

No caso em que se pretende dar resposta à rentabilização do bloco operatório, as cirurgias não classificadas como Urgência Diferida são marcadas por ordem decrescente de duração prevista.

Quando o objectivo é reduzir a lista de espera para cirurgia, as mesmas cirurgias são marcadas por ordem crescente de duração prevista.

A natureza inversa e, portanto, conflituosa dos dois objectivos em estudo é aqui evidenciada.

Nas figuras 6.2 a 6.6, descrevem-se os três passos principais da heurística construtiva, em pseudo-código.

### **6.2.1 Heurística Híbrida**

Tal como foi referido, a componente mais restritiva do problema está relacionada com a marcação das cirurgias classificadas como Urgência Diferida. Esta observação levou a considerar uma outra possibilidade na obtenção de uma solução admissível para o problema, que consiste na utilização do modelo matemático desenvolvido no capítulo 5 apenas na marcação das cirurgias com mais alto nível de prioridade.

Assim, surge ainda uma heurística híbrida com a mesma estrutura da heurística construtiva apresentada, mas em que a fase de marcação das cirurgias classificadas como Urgência Diferida é substituída pela optimização do modelo matemático reduzido apenas às cirurgias de prioridade máxima.

O modelo matemático reduzido para marcar as cirurgias classificadas como Urgência Diferida, utilizado na primeira fase da heurística híbrida, resulta do modelo com o conjunto de restrições (5.1) - (5.18) e as funções objectivo (5.19) ou (5.20), considerando apenas as cirurgias classificadas como Urgência Diferida e, conseqüentemente, o primeiro dia de planeamento.

## **6.3 Heurísticas de Melhoramento**

As heurísticas de melhoramento foram desenvolvidas com o objectivo de melhorar a solução obtida através de uma das metodologias anteriores da abordagem de solução

Figura 6.2: Heurística construtiva - Fase de Marcação de Cirurgias classificadas como Urgência Diferida - (a)

---

**Passo 1** FASE DE MARCAÇÃO DE CIRURGIAS CLASSIFICADAS COMO URGÊNCIA DIFERIDA: (a)

---

inicializa:  $s, t, h \leftarrow 1$

{percorre a lista de cirurgias}

calcula  $S_h^{MINp1H}$

**se**  $S_h^{MINp1H} > 1$  **então**

calcula  $C_h^{FLEXp1H}$  e  $C_h^{S2p1H}$

{percorre a lista de cirurgias classificadas como Urgência Diferida}

**se** o cirurgião da cirurgia actual ( $c^a$ ) é  $h$  **então**

marca a cirurgia actual em  $(t, s, d = 1)$  e actualiza o tempo em cirurgia, do cirurgião  $h$ , no dia 1 e no total da semana

**se** o número de cirurgias marcadas na sala 1 é superior ao número de cirurgias marcadas na sala 2 e o número de cirurgias marcadas na sala 2 é inferior a  $C_h^{S2p1H}$

**então**

$s \leftarrow 2$ ,  $t \leftarrow t + t_{c^a}$

**caso contrário**

**se**  $s = 1$  **então**

$t \leftarrow t + t_{c^a} + 2$

**caso contrário**

$s \leftarrow 1$ ,  $t \leftarrow t + t_{c^a}$

---

Figura 6.3: Heurística construtiva - Fase de Marcação de Cirurgias classificadas como Urgência Diferida - (b)

---

**Passo 1** FASE DE MARCAÇÃO DE CIRURGIAS CLASSIFICADAS COMO URGÊNCIA DIFERIDA: (b)

---

inicializa:  $s, t \leftarrow 1$

{percorre a lista de cirurgias, classificadas como Urgência Diferida, não marcadas}

seja  $c^a$  o índice da cirurgia actual, classificada como Urgência Diferida, não marcada

seja  $t_s^{prox}$  o próximo período onde pode ser marcada uma cirurgia na sala  $s$

**enquanto**  $s \in S$  e a cirurgia actual não está marcada **faz**

**se** ( $c^a$  é da mesma especialidade em operação na sala **ou** a sala não tem cirurgias marcadas) e  $t_s^{prox} \in T_{c^a}$  **então**

$t \leftarrow t_s^{prox}$

**repete**

**se** o cirurgião da cirurgia actual está em serviço em algum período durante a realização da cirurgia se a mesma começar em  $t$  **ou** a sala está ocupada em algum período durante a realização da cirurgia se a mesma começar em  $t$  ou em algum dos dois períodos anteriores ao seu início ou posteriores ao seu fim **então**

$t \leftarrow t + 1$

**caso contrário**

marca a cirurgia actual em  $(t, s, d = 1)$  e actualiza o tempo em cirurgia do respectivo cirurgião no dia 1 e no total da semana

actualiza  $t_s^{prox}$

**até**  $t > |T|$  **ou** a cirurgia actual já está marcada

---

Figura 6.4: Heurística construtiva - Fase de Marcação de Cirurgias classificadas como Urgência Diferida - (c)

---

**Passo 1** FASE DE MARCAÇÃO DE CIRURGIAS CLASSIFICADAS COMO URGÊNCIA DIFERIDA: (c)

---

**se** existem cirurgias classificadas como Urgência Diferida por marcar **então**  
**para todo** salas com a mesma especialidade das cirurgias, classificadas como Urgência Diferida, que ficaram por marcar **faz**  
desmarca todas as cirurgias marcadas para a sala e actualiza o tempo em cirurgia dos respectivos cirurgiões no dia 1 e no total da semana  
 $t_s^{prox} \leftarrow 1$   
seja  $h$  o cirurgião com mais tempo de cirurgias, classificadas como Urgência Diferida, por marcar  
seja  $s$  uma sala vazia  
{percorre a lista de cirurgias, classificadas como Urgência Diferida, não marcadas}  
seja  $c^a$  o índice da cirurgia actual, classificada como Urgência Diferida, não marcada  
**se** o cirurgião da cirurgia actual é  $h$  **então**  
marca a cirurgia actual em  $(t_s^{prox}, s, d = 1)$  e actualiza o tempo em cirurgia do respectivo cirurgião no dia 1 e no total da semana  
 $t_s^{prox} \leftarrow t_s^{prox} + t_{c^a} + 2$   
volta ao ponto (b) da mesma fase

---

Figura 6.5: Heurística construtiva - Fase de Marcação de Cirurgias classificadas como Muito Prioritárias

---

**Passo 2 FASE DE MARCAÇÃO DE CIRURGIAS CLASSIFICADAS COMO MUITO PRIORITÁRIAS**

---

inicializa:  $d, s \leftarrow 1$

{percorre a lista de cirurgias classificadas como Muito Prioritárias por ordem: decrescente de duração prevista, no caso do objectivo de rentabilização do bloco operatório; crescente de duração prevista, no caso do objectivo de redução da lista de espera para cirurgia}

seja  $c^a$  o índice da cirurgia actual, classificada como Muito Prioritária

**se** o tempo em cirurgia de  $h_{c^a}$  não permitir a realização desta cirurgia por ultrapassar o limite semanal **então**

$c^a$  não pode ser marcada e passa para a cirurgia classificada como Muito Prioritária seguinte

**caso contrário**

**enquanto**  $d \in D$ ,  $s \in S$  **faz**

**se** o tempo em cirurgia de  $h_{c^a}$  não permitir a realização desta cirurgia no dia  $d$  por ultrapassar o limite diário **então**

$c^a$  não pode ser marcada no dia  $d$  e  $d \leftarrow d + 1$

**caso contrário**

**repete**

**se** ( $c^a$  é da mesma especialidade em operação na sala **ou** a sala não tem cirurgias marcadas) e  $t_s^{prox} \in T_{c^a}$  **então**

**se** o cirurgião da cirurgia actual está em serviço em algum período durante a realização da cirurgia se a mesma começar em  $t_s^{prox}$  **ou** a sala está ocupada em algum período durante a realização da cirurgia se a mesma começar em  $t_s^{prox}$  ou em algum dos dois períodos anteriores ao seu início ou posteriores ao seu fim (no caso de  $d = 1$ ) **então**

**se**  $s = |S|$  **então**

$d \leftarrow d + 1$ ,  $s \leftarrow 1$

**caso contrário**

$s \leftarrow s + 1$

**caso contrário**

marca a cirurgia actual em  $(t_s^{prox}, s, d)$  e actualiza o tempo em cirurgia do respectivo cirurgião no dia  $d$  e no total da semana

$t_s^{prox} \leftarrow t_s^{prox} + t_{c^a} + 2$

**até**  $d > |D|$  **ou** a cirurgia actual já está marcada

---

Figura 6.6: Heurística construtiva - Fase de Marcação de Cirurgias classificadas como Prioritárias ou Normal

---

**Passo 3 FASE DE MARCAÇÃO DE CIRURGIAS CLASSIFICADAS COMO PRIORITÁRIAS OU NORMAL**

---

inicializa:  $d, s \leftarrow 1$

{percorre a lista de cirurgias classificadas como Prioritárias ou Normal por ordem: decrescente de duração prevista, no caso do objectivo de rentabilização do bloco operatório; crescente de duração prevista, no caso do objectivo de redução da lista de espera para cirurgia}

seja  $c^a$  o índice da cirurgia actual, classificada como Prioritária ou Normal

**se** o tempo em cirurgia de  $h_{c^a}$  não permitir a realização desta cirurgia por ultrapassar o limite semanal **então**

$c^a$  não pode ser marcada e passa para a cirurgia classificada como Prioritária ou Normal seguinte

**caso contrário**

**enquanto**  $d \in D$ ,  $s \in S$  **faz**

**se** o tempo em cirurgia de  $h_{c^a}$  não permitir a realização desta cirurgia no dia  $d$  por ultrapassar o limite diário **então**

$c^a$  não pode ser marcada no dia  $d$  e  $d \leftarrow d + 1$

**caso contrário**

**repete**

**se** ( $c^a$  é da mesma especialidade em operação na sala **ou** a sala não tem cirurgias marcadas) e  $t_s^{prox} \in T_{c^a}$  **então**

**se** o cirurgião da cirurgia actual está em serviço em algum período durante a realização da cirurgia se a mesma começar em  $t_s^{prox}$  **ou** a sala está ocupada em algum período durante a realização da cirurgia se a mesma começar em  $t_s^{prox}$  ou em algum dos dois períodos anteriores ao seu início ou posteriores ao seu fim (no caso de  $d = 1$ ) **então**

**se**  $s = |S|$  **então**

$d \leftarrow d + 1$ ,  $s \leftarrow 1$

**caso contrário**

$s \leftarrow s + 1$

**caso contrário**

marca a cirurgia actual em  $(t_s^{prox}, s, d)$  e actualiza o tempo em cirurgia do respectivo cirurgião no dia  $d$  e no total da semana

$t_s^{prox} \leftarrow t_s^{prox} + t_{c^a} + 2$

**até**  $d > |D|$  **ou** a cirurgia actual já está marcada

---

(otimização do modelo matemático, heurística construtiva e heurística híbrida).

As heurísticas de melhoramento elaboradas dependem do objectivo em consideração e, por este motivo, apresentam-se separadamente nas duas secções seguintes.

### **6.3.1 Rentabilizar o Bloco Operatório**

A heurística de melhoramento, desenvolvida para o aumento da produtividade do bloco operatório do hospital, consiste em quatro passos principais que se resumem.

1. FASE DE ARRUMO

Move as cirurgias marcadas para o mais cedo possível, no mesmo dia e na mesma sala, e mantendo a mesma ordenação.

2. FASE DE INSERÇÃO

Marca cirurgias ainda não marcadas para o tempo disponível no final de cada dia e em cada sala. A inserção da cirurgia deve ser feita de modo a respeitar a especialidade cirúrgica a decorrer na sala e a garantir que a mesma termine dentro do horário regular do bloco operatório.

3. FASE DE 2/3 - 1 TROCAS

Troca duas ou três cirurgias marcadas, consecutivas, por uma cirurgia não marcada, com a mesma especialidade cirúrgica, e que ocupe o mesmo ou menos tempo no horário do bloco operatório, desde que garanta a melhoria da função objectivo. Isto é, a duração da cirurgia não marcada deve ser no máximo igual à soma da duração das duas ou três cirurgias marcadas, acrescido do tempo vazio entre cada par de cirurgias, e no mínimo igual à soma da duração das duas ou três cirurgias marcadas, acrescido de um período de tempo.

4. FASE DE APROVEITAMENTO FINAL: 1 (ÚLTIMA) TROCA

Troca a última cirurgia marcada, em cada dia e em cada sala, por uma cirurgia não marcada, com maior duração e com a mesma especialidade cirúrgica, de modo a preencher o mais possível o resto do tempo regular do bloco operatório nesse dia.

Os quatro passos da heurística devem ser realizados tendo em conta a admissibilidade do problema, nomeadamente de modo a garantir:

- a realização das cirurgias classificadas como Urgência Diferida no primeiro dia do horizonte temporal do planeamento
- a não-sobreposição de diferentes cirurgias, em simultâneo, na mesma sala;
- dois períodos em vazio, após a realização de cada cirurgia, necessários para se proceder ao protocolo de higienização da sala;
- a realização da cirurgia, num período de disponibilidade do cirurgião e do paciente;
- a ocupação diária da sala por, apenas, uma especialidade cirúrgica;
- a não-sobreposição dos cirurgiões em mais do que uma sala, em simultâneo;
- o limite máximo de tempo, diário e semanal, em operação, de cada cirurgião.

O primeiro passo arruma as cirurgias de modo a conseguir espaço vazio no final do dia e permitir a marcação de mais cirurgias, que constituirá o segundo passo da heurística. Assim, a execução do primeiro passo não altera o nível de utilização da sala, não contribuindo directamente para melhorar o valor da função objectivo do problema.

Na fase de inserção podem ser marcadas novas cirurgias. No caso de isso acontecer, a utilização do bloco operatório aumenta, melhorando assim, o valor da função objectivo. No caso contrário, o plano não será alterado.

A fase de 2 ou 3 trocas possibilita a substituição de duas ou três cirurgias marcadas por uma outra não marcada. Esta troca permite evitar dois períodos de inactividade da sala, para higienização da mesma, entre cada par de cirurgias. Por cada troca realizada nesta fase, a utilização da sala aumenta em pelo menos um período de tempo, aumentando assim o valor da função objectivo. No caso de não ser realizada qualquer troca, o plano não é alterado.

O último passo tem como objectivo aumentar a utilização diária de cada sala do bloco operatório, através da troca da última cirurgia marcada no dia. No caso de acontecer a troca, a utilização da sala melhora na diferença de duração entre as duas cirurgias. No caso de não ser realizada qualquer troca, o plano não é alterado.

Enquanto que o primeiro passo da heurística é introduzido apenas para apoiar o segundo passo, não contribuindo directamente para alterar o valor da função objectivo, todos os outros passos permitem melhorar o valor da função objectivo considerada (5.19).

Nas figuras 6.7 a 6.11, são descritos os quatro passos da heurística de melhoramento, em pseudo-código, assim como o procedimento de paragem de cada um destes passos.

### 6.3.1.1 Observações

No processo de definição da heurística de melhoramento, no caso do objectivo de rentabilização do bloco operatório, foram experimentadas algumas alternativas que originaram várias versões da mesma, nomeadamente ao nível do passo 3 - fase de 2 ou 3 trocas.

Numa primeira versão, apenas seriam permitidas trocas de duas cirurgias consecutivas por uma outra cirurgia não marcada, cuja duração fosse igual à soma da duração das duas cirurgias marcadas, acrescida do espaço em vazio entre as duas cirurgias marcadas. Uma segunda versão seria semelhante à primeira, no entanto as trocas seriam de três cirurgias marcadas. Em relação à primeira versão, esta mostrou piores resultados.

Estas primeiras versões originaram duas outras, onde a troca poderia ser realizada por uma cirurgia não marcada, cuja duração pudesse melhorar, em pelo menos uma unidade, o valor da função objectivo. Desta forma, a cirurgia não marcada deveria ter uma duração no mínimo igual à soma da duração das duas/três cirurgias marcadas, acrescida de uma unidade, e no máximo igual à duração considerada no caso da respectiva versão anterior. Tal como anteriormente, a versão que apenas permite trocas de três cirurgias mostrou piores resultados do que a versão que permite apenas a troca de duas cirurgias. Relativamente às primeiras versões, a nova versão de duas trocas possibilitou a realização de mais trocas, obtendo, em geral, melhores resultados do que a correspondente versão inicial.

Após estas experiências, testou-se ainda a possibilidade de troca de três cirurgias após a troca de duas cirurgias, isto é, tenta-se trocar três cirurgias após cada uma das versões de duas trocas anteriores. Assim, a quinta versão realiza trocas tal como na primeira versão e, após não realizar mais qualquer dessas trocas, possibilita a troca de três cirurgias marcadas em consecutivo por uma cirurgia não marcada cuja duração

Figura 6.7: Heurística de melhoramento - Fase de Arrumo

---

**Passo 1 FASE DE ARRUMO**

---

inicializa:  $d, s, t \leftarrow 1$

**enquanto**  $d \in D$  ,  $s \in S$  ,  $t \in T$  **faz**

**se** estiver uma cirurgia  $c$  marcada em  $(t, s, d)$  **então**

$t \leftarrow t + t_c + 2$  {próximo período em que pode ser iniciada uma cirurgia}

**se**  $t > |T|$  **então**

TESTAFIM( $t, s, d$ )

**caso contrário**

procura a próxima cirurgia  $c$  marcada em  $(s, d)$

**se** encontrou **então**

seja  $t^1$  o período para o qual está marcada essa cirurgia

{tenta alterar a marcação da cirurgia para um período de  $t$  até  $t^1 - 1$ , período actual}

**enquanto** não conseguir alterar a marcação e não chegar a  $t^1$  **faz**

**se** o cirurgião está em serviço em algum período durante a realização da cirurgia se a mesma começar no período actual **então**

não pode ser marcada neste período e passa para o período seguinte

**caso contrário**

altera a marcação da cirurgia  $c$  de  $t^1$  para o período actual

$t \leftarrow$  período actual +  $t_c + 2$  {próximo período onde pode ser marcada uma cirurgia}

**se**  $t > |T|$  **então**

TESTAFIM( $t, s, d$ )

**se** não conseguiu alterar a marcação da cirurgia **então**

$t \leftarrow t^1 + t_c + 2$  {próximo período onde pode estar marcada uma cirurgia}

**se**  $t > |T|$  **então**

TESTAFIM( $t, s, d$ )

**caso contrário**

TESTAFIM( $t, s, d$ )

---

Figura 6.8: Heurística de melhoramento - Fase de Inserção

---

**Passo 2** FASE DE INSERÇÃO

---

inicializa:  $d, s \leftarrow 1, t^{min} \leftarrow 1$

**enquanto**  $d \in D, s \in S$  **faz**

procura a última cirurgia  $c$  marcada em  $(s, d)$

seja  $t$  o período para o qual está marcada essa cirurgia

$t \leftarrow t + t_c + 2$  {próximo período em que pode ser iniciada uma cirurgia}

**se**  $t > |T|$  **então**

TESTAFIM( $t, s, d$ )

**caso contrário**

$t^{max} \leftarrow |T| - t + 1$  {duração máxima para a cirurgia a ser marcada}

{percorre a lista de cirurgias não marcadas}

seja  $c^a$  o índice da cirurgia actual não marcada

**repete**

**se**  $c^a$  é da mesma especialidade em operação na sala **e**  $t^{min} \leq t_{c^a} \leq t^{max}$  **então**

**se** o cirurgião da cirurgia actual está em serviço em algum período durante a realização da cirurgia **se** a mesma começar em  $t$  **ou** o tempo em cirurgia do mesmo cirurgião não permitir a realização desta cirurgia no dia  $d$  por ultrapassar o limite diário ou o limite semanal **então**

$c^a$  não pode ser marcada e passa para a cirurgia não marcada seguinte

**caso contrário**

$c^{in} \leftarrow c^a, t^{min} \leftarrow t_{c^{in}} + 1$  {a cirurgia actual é candidata a ser marcada}

**até**  $t^{min} = t^{max}$  **ou** chega ao fim da lista de cirurgias não marcadas

**se** existe cirurgia não marcada candidata a ser marcada **então**

marca a cirurgia candidata em  $(t, s, d)$  e actualiza o tempo em cirurgia do cirurgião no dia  $d$  e no total da semana

TESTAFIM( $t, s, d$ )

**caso contrário**

$t \leftarrow t + 1$

**se**  $t > |T|$  **então**

TESTAFIM( $t, s, d$ )

---

Figura 6.9: Heurística de melhoramento na rentabilização do bloco operativo - Fase de 2/3 - 1 Trocas

---

**Passo 3 FASE DE 2/3 - 1 TROCAS**

---

inicializa:  $d, s, t \leftarrow 1$ ,  $k \leftarrow 2$  { $k$  representa o número de cirurgias marcadas a trocar por uma cirurgia não marcada}  
**repete**

**enquanto**  $d \in D$ ,  $s \in S$ ,  $t \in T$  **faz**

procura as próximas  $k$  cirurgias marcadas em consecutivo em  $(d, s)$  que não estejam classificadas como Urgência Diferida nem como Muito Prioritária

**se** encontrou **então**

sejam  $c^i$ ,  $i = 1, \dots, k$  essas cirurgias e  $t^i$ ,  $i = 1, \dots, k$  os períodos para os quais estão marcadas ( $t^{i+1} > t^i$ ,  $i = 1, \dots, k - 1$ )

$t^{max} \leftarrow t^k - t^1 + t_{c^k}$  {duração máxima para a cirurgia candidata à troca}

$t^{min} \leftarrow t^{max} - [2(k - 1) - 1]$  {duração mínima para a cirurgia candidata à troca}

{percorre a lista de cirurgias não marcadas}

seja  $c^a$  o índice da cirurgia actual não marcada

**repete**

**se**  $c^a$  é da mesma especialidade em operação na sala e  $t^{min} \leq t_{c^a} \leq t^{max}$  **então**

**se** o cirurgião da cirurgia actual está em serviço em algum período durante a realização da cirurgia se a mesma começar em  $t^1$  com uma outra cirurgia que não  $c^i$ ,  $i = 1, \dots, k$  **ou** o tempo em cirurgia do mesmo cirurgião não permitir a realização desta cirurgia no dia  $d$  por ultrapassar o limite diário ou o limite semanal (tendo em conta a troca) **então**

$c^a$  não é candidata à troca e passa para a cirurgia não marcada seguinte

**caso contrário**

$c^{in} \leftarrow c^a$ ,  $t^{min} \leftarrow t_{c^a} + 1$  {a cirurgia actual é candidata à troca}

**até**  $t^{min} = t^{max}$  **ou** chega ao fim da lista de cirurgias não marcadas

**se** existe cirurgia não marcada candidata à troca **então**

desmarca as cirurgias  $c^i$ ,  $i = 1, \dots, k$  e actualiza o tempo em cirurgia dos respectivos cirurgiões no dia  $d$  e no total da semana

marca a cirurgia não marcada em  $(t^1, s, d)$  e actualiza o tempo em cirurgia do respectivo cirurgião no dia  $d$  e no total da semana

$t \leftarrow t^1 + t_{c^{in}} + 2$

**se**  $t > |T|$  **então**

**se** não houve trocas em  $(s, d)$  **então**

TESTAFIM( $t, s, d$ )

**caso contrário**

$t \leftarrow 1$

**caso contrário**

$t \leftarrow t^2$

**caso contrário**

TESTAFIM( $t, s, d$ )

$k \leftarrow k + 1$

**até**  $k > 3$

---

Figura 6.10: Heurística de melhoramento na rentabilização do bloco operatório - Fase de Aproveitamento Final: 1 (última) Troca

---

**Passo 4 FASE DE APROVEITAMENTO FINAL: 1 (ÚLTIMA) TROCA**

---

inicializa:  $d, s, t \leftarrow 1, t^{min} \leftarrow 1$

**enquanto**  $d \in D, s \in S, t \in T$  **faz**

procura a última cirurgia marcada em  $(s, d)$

seja  $c$  essa cirurgia e  $t$  o período para o qual está marcada

$t^{max} \leftarrow |T| - t + 1$  {duração máxima para a última cirurgia}

**se** a última cirurgia marcada estiver classificada como Urgência Diferida ou como Muito Prioritária **ou**  $t^{max} = t_c$  **então**

TESTAFIM( $t, s, d$ )

**caso contrário**

{percorre a lista de cirurgias não marcadas}

seja  $c^a$  o índice da cirurgia actual não marcada

**repete**

**se**  $c^a$  é da mesma especialidade em operação na sala e  $t^{min} \leq t_{c^a} \leq t^{max}$  **então**

**se** o cirurgião da cirurgia actual está em serviço em algum período durante a realização da cirurgia se a mesma começar em  $t$  com uma outra cirurgia que não  $c$  **ou** o tempo em cirurgia do mesmo cirurgião não permitir a realização desta cirurgia no dia  $d$  por ultrapassar o limite diário ou o limite semanal (tendo em conta a troca) **então**

$c^a$  não é candidata à troca e passa para a cirurgia não marcada seguinte

**caso contrário**

$c^{in} \leftarrow c^a, t^{min} \leftarrow t_{c^{in}} + 1$  {a cirurgia actual é candidata à troca}

**até**  $t^{min} = t^{max}$  **ou** chega ao fim da lista de cirurgias não marcadas

**se** existe cirurgia não marcada candidata à troca **então**

desmarca a última cirurgia marcada em  $(t, s, d)$  e actualiza o tempo em cirurgia do respectivo cirurgião no dia  $d$  e no total da semana

marca a cirurgia candidata à troca em  $(t, s, d)$  e actualiza o tempo em cirurgia do respectivo cirurgião no dia  $d$  e no total da semana

TESTAFIM( $t, s, d$ )

---

Figura 6.11: Heurística de melhoramento - Procedimento de Paragem

---

**Procedimento 1** TESTAFIM( $t,s,d$ )

---

**se**  $s = |S|$  **então**

**se**  $d = |D|$  **então**

    termina

**caso contrário**

$d \leftarrow d + 1$  ,  $s \leftarrow 1$  ,  $t \leftarrow 1$

**caso contrário**

$s \leftarrow s + 1$  ,  $t \leftarrow 1$

---

deve ser igual à duração das três cirurgias marcadas, acrescida do espaço em vazio entre cada par dessas cirurgias. Numa sexta versão, após não realizar mais trocas de duas cirurgias, possibilita a troca de três cirurgias marcadas em consecutivo por uma cirurgia não marcada cuja duração deve ser, no máximo, igual à soma da duração das três cirurgias marcadas, acrescida do tempo vazio entre cada par de cirurgias, e no mínimo igual à soma da duração das três cirurgias marcadas, acrescida de uma unidade. A última versão mostrou melhores resultados do que a quinta versão, uma vez que possibilita a realização de mais trocas.

Em resumo, as experiências preliminares realizadas para o desenvolvimento da heurística de melhoramento mostraram que as trocas de três cirurgias são realizadas muito raramente e que a possibilidade de trocar duas ou três cirurgias por outra cirurgia com duração inferior possibilita a realização de mais trocas, melhorando, em geral, o valor da função objectivo. A reduzida frequência de trocas de três cirurgias justifica-se pelo facto de ser necessário uma cirurgia com duração muito longa, de modo a conseguir ocupar o espaço de três cirurgias. Perante as observações realizadas, foi seleccionada a sexta versão para ser incluída na versão final da heurística de melhoramento, apresentada na secção anterior.

Os resultados obtidos nos testes computacionais, realizados para as várias versões do terceiro passo da heurística de melhoramento, podem ser consultados no anexo C.

### **6.3.2 Reduzir a Lista de Espera para Cirurgia**

A heurística de melhoramento desenvolvida para o objectivo da redução da lista de espera para cirurgia segue uma estrutura semelhante à heurística de melhoramento desenvolvida para dar resposta à necessidade de aumento da produtividade do bloco operatório. Assim, a heurística consiste em quatro passos principais, sendo os dois primeiros idênticos aos dois primeiros passos da heurística apresentada na secção anterior. Resumem-se, assim, os quatro passos que constituem a heurística de melhoramento.

#### **1. FASE DE ARRUMO**

As cirurgias marcadas são re-marcadas para o mais cedo possível, no mesmo dia e na mesma sala, e mantendo a mesma ordenação.

## 2. FASE DE INSERÇÃO

Marca cirurgias ainda não marcadas no tempo disponível no final de cada dia e em cada sala. A inserção da cirurgia deve ser feita de modo a respeitar a especialidade cirúrgica a decorrer na sala e a garantir que a mesma termine dentro do horário regular do bloco operatório.

## 3. FASE DE 1 - 2/3 TROCAS

Troca uma cirurgia marcada por duas ou três cirurgias não marcadas, com a mesma especialidade cirúrgica, e que ocupem o mesmo ou menos tempo no horário do bloco operatório.

## 4. FASE DE APROVEITAMENTO FINAL: 1 (ÚLTIMA) - 2 TROCAS

Troca a última cirurgia marcada, de cada dia e em cada sala, por duas cirurgias não marcadas, com a mesma especialidade cirúrgica, e com a possibilidade de preencher o resto do tempo regular do bloco operatório nesse dia.

Novamente, os quatro passos da heurística devem ser realizados tendo em conta a admissibilidade do problema, tal como referido na secção anterior.

O primeiro passo arruma as cirurgias de modo a conseguir espaço vazio no final do dia, e assim permitir a marcação de mais cirurgias que consiste no segundo passo da heurística. A execução do primeiro passo não altera o número de cirurgias marcadas, não contribuindo de forma directa para melhorar o valor desta segunda função objectivo do problema. Por outro lado, esta fase possibilita mudanças do plano, mas, no entanto, não altera o valor da função objectivo.

Na fase de inserção há possibilidade de serem marcadas novas cirurgias. No caso de isso acontecer, o valor desta função objectivo aumenta uma unidade por cada cirurgia inserida. No caso contrário, o plano não será alterado, não variando o objectivo já atingido quanto à lista de espera.

A fase de 2 ou 3 trocas possibilita a substituição de uma cirurgia marcada por duas ou três cirurgias não marcadas. Estas trocas respondem directamente ao objectivo em questão, permitindo o aumento de cirurgias marcadas no plano. Por cada troca realizada nesta fase, o valor da respectiva função objectivo aumenta em uma ou duas unidades, permitindo, assim, uma maior redução da lista de espera para cirurgia. No caso de não ser realizada qualquer troca, naturalmente, o plano não é alterado.

O último passo tem como objectivo aproveitar o tempo diário remanescente, após a realização da última cirurgia. Este aproveitamento é feito através da troca da última cirurgia marcada do dia por duas cirurgias não marcadas, ocupando o tempo da cirurgia marcada juntamente com o tempo final em vazio. Por cada troca realizada neste passo, o valor da função objectivo em estudo aumenta uma unidade. No caso de não ser realizada a troca, o plano não é alterado. Este passo constitui uma continuidade da fase de duas trocas do passo anterior da heurística de melhoramento, permitindo agora a ocupação de tempo, porventura em vazio, no final de cada dia, e em cada sala.

Enquanto que o primeiro passo da heurística é introduzido apenas para criar espaço para um melhor desempenho do segundo passo, não contribuindo directamente para alterar o valor da função objectivo de redução da lista de espera, todos os outros passos permitem melhorar o valor da função objectivo considerada (5.20), garantindo que não piora o valor da mesma.

Apresentam-se, nas figuras seguintes, a descrição do terceiro e quarto passos da heurística de melhoramento, em pseudo-código. Os restantes dois passos (fase de arrumo e fase de inserção) coincidem com os utilizados na heurística de melhoramento desenvolvida para o aumento da produtividade do bloco operatório, e, portanto, estão descritos nas figuras 6.7 e 6.8. O procedimento  $TESTAFIM(t,s,d)$  coincide também com o utilizado nessa heurística e encontra-se na figura 6.11.

Figura 6.12: Heurística de melhoramento na redução da lista de espera - Fase de 1 - 2/3 Trocas

---

**Passo 3 FASE DE 1 - 2/3 TROCAS**

---

inicializa:  $d, s, t \leftarrow 1, k \leftarrow 2$   $\{k$  representa o número de cirurgias não marcadas a trocar por uma cirurgia marcada}

**repete**

**enquanto**  $d \in D, s \in S, t \in T$  **faz**

procura a próxima cirurgia marcada em  $(s, d)$  que não esteja classificada como Urgência Diferida nem como Muito Prioritária

**se** encontrou **então**

seja  $c$  essa cirurgia e  $t$  o período para o qual está marcada

**para**  $i = 1, \dots, k$  **faz**

$t^{max_i} \leftarrow t_c - \sum_{0 < j < i} (t_{cin^j} + 2) - 3(k - i)$   $\{$ duração máxima para a cirurgia candidata à troca para a posição  $i$  $\}$

$\{$ percorre a lista de cirurgias não marcadas $\}$

seja  $c^a$  o índice da cirurgia actual não marcada

**repete**

**se**  $c^a$  é da mesma especialidade em operação na sala e  $t_{c^a} \leq t^{max_i}$  **então**

**se** o cirurgião da cirurgia actual está em serviço em algum período durante a realização da cirurgia

**se** a mesma começar em  $t + \sum_{0 < j < i} (t_{cin^j} + 2)$  com uma outra cirurgia que não  $c$  **ou** o tempo em

cirurgia do mesmo cirurgião não permitir a realização desta cirurgia no dia  $d$  por ultrapassar o limite

diário ou o limite semanal (tendo em conta a troca) **então**

$c^a$  não é candidata à troca e passa para a cirurgia não marcada seguinte

**caso contrário**

$c^{in^i} \leftarrow c^a, t^{max_i} \leftarrow t_{cin^i} - 1$   $\{$ a cirurgia actual é candidata à troca para a posição  $i$  $\}$

**até**  $t_{cin^i} = 1$  **ou** chega ao fim da lista de cirurgias não marcadas

**se** existem cirurgias não marcadas candidatas à troca para as posições  $i = 1, \dots, k$  **então**

desmarca a cirurgia  $c$  e actualiza o tempo em cirurgia do respectivo cirurgião no dia  $d$  e no total da semana

marca as cirurgias não marcadas  $c^{in^i}, i = 1, \dots, k$ , em  $(t + \sum_{0 < j < i} (t_{cin^j} + 2), s, d)$  e actualiza o tempo em cirurgia do respectivo cirurgião no dia  $d$  e no total da semana

$t \leftarrow t + \sum_{i=1, \dots, k} (t_{cin^i} + 2)$

**se**  $t > |T|$  **então**

**se** não houve trocas em  $(s, d)$  **então**

TESTAFIM( $t, s, d$ )

**caso contrário**

$t \leftarrow 1$

**caso contrário**

$t \leftarrow t + t_c + 2$

**caso contrário**

TESTAFIM( $t, s, d$ )

$k \leftarrow k + 1$

**até**  $k > 3$

---

Figura 6.13: Heurística de melhoramento na redução da lista de espera - Fase de Aproveitamento Final: 1 (última) - 2 Trocas

---

**Passo 4 FASE DE APROVEITAMENTO FINAL: 1 (ÚLTIMA) - 2 TROCAS**

---

inicializa:  $d, s, t \leftarrow 1$

**enquanto**  $d \in D$ ,  $s \in S$ ,  $t \in T$  **faz**

procura a última cirurgia marcada em  $(s, d)$

seja  $c$  essa cirurgia e  $t$  o período para o qual está marcada

**se** a última cirurgia marcada estiver classificada como Urgência Diferida ou como Muito Prioritária **então**

TESTAFIM( $t, s, d$ )

**caso contrário**

**para**  $i = 1, 2$  **faz**

$t^{max_i} \leftarrow (|T| - t + 1) - \sum_{0 < j < i} (t_{c^{in_j}} + 2) - 3(2 - i)$  {duração máxima para a cirurgia candidata à troca para a posição  $i$ }

{percorre a lista de cirurgias não marcadas}

seja  $c^a$  o índice da cirurgia actual não marcada

**repete**

**se**  $c^a$  é da mesma especialidade em operação na sala e  $t_{c^a} \leq t^{max_i}$  **então**

**se** o cirurgião da cirurgia actual está em serviço em algum período durante a realização da cirurgia se a mesma começar em  $t + \sum_{0 < j < i} (t_{c^{in_j}} + 2)$  com uma outra cirurgia que não  $c$  **ou** o tempo em cirurgia do mesmo cirurgião não permitir a realização desta cirurgia no dia  $d$  por ultrapassar o limite diário ou o limite semanal (tendo em conta a troca)

**então**

$c^a$  não é candidata à troca e passa para a cirurgia não marcada seguinte

**caso contrário**

$c^{in^i} \leftarrow c^a$ ,  $t^{max_i} \leftarrow t_{c^{in^i}} - 1$  {a cirurgia actual é candidata à troca para a posição  $i$ }

**até**  $t_{c^{in^i}} = 1$  **ou** chega ao fim da lista de cirurgias não marcadas

**se** existem cirurgias não marcadas candidatas à troca para as posições  $i = 1, 2$  **então**

desmarca a cirurgia  $c$  e actualiza o tempo em cirurgia do respectivo cirurgião no dia  $d$  e no total da semana

marca as cirurgias não marcadas  $c^{in^i}$ ,  $i = 1, 2$ , em  $(t + \sum_{0 < j < i} (t_{c^{in_j}} + 2), s, d)$  e actualiza o tempo em cirurgia do respectivo cirurgião no dia  $d$  e no total da semana

$t \leftarrow t + \sum_{i=1,2} (t_{c^{in^i}} + 2)$

**caso contrário**

$t \leftarrow t + t_c + 2$

TESTAFIM( $t, s, d$ )

---



**Parte III**

**Testes e Análises**



# Capítulo 7

## Bases de Dados Disponíveis

Para a realização do presente estudo, o hospital providenciou uma base de dados contendo informação sobre todas as cirurgias realizadas no seu bloco operatório desde 1 de Janeiro de 2004 a 28 de Dezembro de 2007. Foram realizadas, neste período, 21 050 cirurgias no hospital.

Esta base de dados revelou-se particularmente importante para a definição do tempo previsto para a duração das cirurgias em lista de espera. Esta matéria será constante do capítulo seguinte.

O tratamento estatístico destes dados foi realizado em SPSS 16.0 [SPS07].

Apresenta-se, nas tabelas 7.1 e 7.2, um breve resumo deste conjunto de dados, incidindo sobre a duração, em minutos, das cirurgias convencionais e de ambulatório realizadas neste período, respectivamente, agregadas por especialidade cirúrgica.

É possível verificar nas tabelas que a duração, em minutos, das cirurgias convencionais é, em média, superior à duração das cirurgias de ambulatório.

Por outro lado, é possível observar que o valor da mediana da duração, em minutos, da realização de uma cirurgia, quer convencional, quer de ambulatório, é sempre inferior ao valor da respectiva média, sugerindo, assim, tratar-se de distribuições assimétricas positivas. Esta diferença é, naturalmente, menos significativa no caso das cirurgias de ambulatório.

Tabela 7.1: Descritivo da duração das 16 865 cirurgias convencionais realizadas entre 1 de Janeiro de 2004 e 28 de Dezembro de 2007 (em minutos)

Especialidade cirúrgica	$\bar{x}$	$x_M$	$s$	$cv^1$	$x_{(1)}$	$x_{(n)}$	$n$	(%)	<i>outl.</i>
Otorrinolaringologia	92	77	61	66,3%	0	410	2 371	(14,1)	3,8%
Cirurgia Geral e Digestiva	75	61	53	70,7%	0	562	6 529	(38,7)	4,3%
Cirurgia Torácica	110	96	62	56,4%	5	476	2 148	(12,7)	3,4%
Urologia	72	54	58	80,6%	2	473	4 165	(24,7)	8,8%
Angiologia e Cirurgia Vascular	72	54	54	75%	1	413	1 652	(9,8)	5,4%

$\bar{x}$  - Média;  $x_M$  - Mediana;  $s$  - Desv. padrão;  $cv^1$  - Coef. variação;  $x_{(1)}$  - Mínimo;  $x_{(n)}$  - Máximo;  $n$  - Dimensão da amostra; *outl.* - percentagem de *outliers*

Tabela 7.2: Descritivo da duração das 3 743 cirurgias de ambulatório realizadas entre 1 de Janeiro de 2004 e 28 de Dezembro de 2007 (em minutos)

Especialidade cirúrgica	$\bar{x}$	$x_M$	$s$	$cv^1$	$x_{(1)}$	$x_{(n)}$	$n$	(%)	<i>outl.</i>
Otorrinolaringologia	28	27	13	46,4%	2	107	1 484	(39,7)	2,7%
Cirurgia Geral e Digestiva	41	40	22	53,7%	1	155	1 359	(36,3)	2,5%
Urologia	31	27	18	58,1%	0	147	412	(11,0)	2,7%
Angiologia e Cirurgia Vascular	40	38	18	45%	5	132	488	(13,0)	3,5%

$\bar{x}$  - Média;  $x_M$  - Mediana;  $s$  - Desv. padrão;  $cv$  - Coef. variação;  $x_{(1)}$  - Mínimo;  $x_{(n)}$  - Máximo;  $n$  - Dimensão da amostra; *outl.* - percentagem de *outliers*

Acrescenta-se, ainda, que o rácio entre o valor de *skewness* e o respectivo erro padrão é sempre bastante superior a duas unidades, sugerindo tratarem-se de distribuições com uma assimetria positiva bastante acentuada. Nota-se, no entanto, que estes resultados são agregados por especialidade e envolvem uma grande diversidade de intervenções cirúrgicas, facto que pode justificar a forte assimetria verificada em cada especialidade.

O coeficiente de variação ( $cv^1$ ) é também bastante elevado, o que pode ainda ser reflexo da observação anterior.

Os valores mínimos obtidos podem significar erros de inserção de dados, enquanto que os valores máximos também podem ainda reflectir a ocorrência de cirurgias com complicações. A percentagem de *outliers* verificada em cada especialidade é bastante elevada, no entanto reportam novamente a dados agrupados.

Entre as 21 050 cirurgias realizadas nos quatro anos em análise, cerca de 80,1% foram cirurgias convencionais e 17,8% cirurgias de ambulatório. As restantes cirurgias são relativas à realização esporádica de outro tipo de cirurgias, que não se enquadram na produção do hospital.

Relativamente à distribuição das cirurgias realizadas pelas especialidades cirúrgicas, os valores observados vão de encontro aos descritos na secção 3.2 desta tese e obtidos no Relatório e Contas do hospital para o ano de 2007.

Assim, relativamente às cirurgias convencionais, 38,7% foram realizadas pelo Serviço de Cirurgia Geral e Digestiva e 24,7% pelo Serviço de Urologia. As restantes cirurgias convencionais, realizadas nestes quatro anos, estão distribuídas pelas outras especialidades cirúrgicas do hospital.

No que respeita às cirurgias de ambulatório, verifica-se que 39,6% foram realizadas pelo Serviço de Otorrinolaringologia e 36,3% pelo Serviço de Cirurgia Geral e Digestiva. O Serviço de Cirurgia Torácica não realiza cirurgias em regime de ambulatório.

Para além da base de dados descrita, outras três foram ainda disponibilizadas pelo hospital.

---

<sup>1</sup> $cv = \frac{s}{\bar{x}} \times 100$  (medida relativa de dispersão)

A primeira inclui a lista de espera para cirurgia em sete momentos distintos de decisão relativamente à marcação das cirurgias que, no caso em estudo, corresponde a sexta-feira. As outras duas bases de dados incluem o plano definido nestes mesmos momentos de decisão, e o registo histórico (realizado) das semanas correspondentes.

As semanas disponibilizadas para estudo são as iniciadas em 12 e 26 de Fevereiro, 5, 12, 19 e 26 de Março e 2 de Abril, todas em 2007.

A disponibilização destas três bases de dados possibilita uma análise comparativa das soluções propostas pela abordagem apresentada neste trabalho com as soluções realizadas neste hospital, para as mesmas semanas. Essa análise será apresentada no capítulo 9 desta tese.

Nas tabelas 7.3 e 7.4 apresenta-se um resumo das listas de espera para cirurgia nos momentos de decisão referidos, correspondentes à sexta-feira anterior às semanas em estudo. As listas de espera para cirurgias convencionais e de ambulatório encontram-se separadas, respectivamente nas tabelas 7.3 e 7.4.

As observações que podem tirar-se das duas listas de espera estão dentro das anotações efectuadas sobre o registo histórico obtido entre 2004 e 2007, apresentado nesta secção, e dos valores obtidos no Relatório e Contas do hospital para 2007, apresentados na secção 3.2.

Assim, as tabelas mostram uma predominância de cirurgias convencionais em lista de espera sobre as cirurgias de ambulatório, na razão de 7:1 (sete para um).

Relativamente às cirurgias convencionais em lista de espera, verifica-se que mais de metade são do Serviço de Cirurgia Geral e Digestiva e praticamente todas as cirurgias estão classificadas com o nível de prioridade Normal. O Serviço de Cirurgia Torácica apresenta uma percentagem bastante reduzida de cirurgias em lista de espera, relativamente aos restantes Serviços de Cirurgia. Em lista de espera, verifica-se, ainda, que poucas cirurgias são classificadas como Urgência Diferida e como Muito Prioritária são praticamente inexistentes.

Contrariamente ao observado no caso das listas de espera para cirurgias convencionais, a maior percentagem de cirurgias de ambulatório em lista de espera pertence

Tabela 7.3: Descritivo das listas de espera para cirurgias convencionais

	9 Fev	23 Fev	2 Mar	9 Mar	16 Mar	23 Mar	30 Mar
Número de cirurgias	2043	1984	1944	1899	1866	1888	1897
Especialidade cirúrgica (em %)							
Otorrinolaringologia	9,9	11,7	11,2	10,3	9,6	9,8	10,9
C. Geral e Digestiva	52,9	53,1	55,6	55,5	55,8	54,7	54,5
Cirurgia Torácica	5,0	4,6	4,0	4,3	4,2	4,1	3,8
Urologia	18,2	16,9	15,2	16,0	15,1	16,5	15,6
Angiologia e C. Vascular	14,0	13,7	14,0	13,9	15,3	14,9	15,2
Nível de prioridade (em %)							
Urgência Diferida	0,98	1,2	1,0	0,8	0,75	1,01	0,5
Muito Prioritária	0,05	0	0	0	0,05	0,05	0
Prioritária	3,67	2,8	2,7	2,9	2,5	2,38	2,4
Normal	95,3	96	96,1	96,3	96,7	96,56	97,1

Tabela 7.4: Descritivo das listas de espera para cirurgias de ambulatório

	9 Fev	23 Fev	2 Mar	9 Mar	16 Mar	23 Mar	30 Mar
Número de cirurgias	264	274	265	287	285	295	258
Especialidade cirúrgica (em %)							
Otorrinolaringologia	15,5	19,0	20,8	21,3	20,0	22,4	20,5
C. Geral e Digestiva	36,8	37,6	35,8	37,6	37,9	33,9	29,1
Urologia	3,4	2,9	3,4	3,8	4,6	6,4	7,4
Angiologia e C. Vascular	44,3	40,5	40,0	37,3	37,5	37,3	43,0
Nível de prioridade (em %)							
Urgência Diferida	0,7	0	0	0	0	0,4	0
Muito Prioritária	0	0	0	0	0	0	0
Prioritária	2,3	2,9	3,4	2,8	2,8	2,0	1,9
Normal	97,0	97,1	96,6	97,2	97,2	97,6	98,1

ao Serviço de Angiologia e Cirurgia Vascular, sendo este seguido pelo Serviço de Cirurgia Geral e Digestiva. Urologia é o Serviço de Cirurgia com menor percentagem de cirurgias de ambulatório em lista de espera. Não realizando cirurgias em regime de ambulatório, o Serviço de Cirurgia Torácica não tem cirurgias nestas listas de espera.

Uma vez mais, praticamente todas as cirurgias de ambulatório em lista de espera estão classificadas com nível de prioridade Normal, sendo a percentagem destas superior à percentagem das cirurgias convencionais igualmente classificadas. Neste caso, e para as listas de espera observadas, é inexistente a classificação como Muito Prioritária e raramente uma cirurgia de ambulatório está classificada como Urgência Diferida, em lista de espera.

Os dados relativos às disponibilidades dos cirurgiões não foram disponibilizados pelo hospital, dada a sua fragilidade, e por não constarem de matéria recolhida e sistematizada pelo sistema de informação do hospital.

De igual modo, as disponibilidades dos pacientes não constam de matéria registada pelo sistema de informação do hospital e, como tal, não estão disponíveis.

# Capítulo 8

## Experiência Computacional

A abordagem de solução para o problema de planeamento de cirurgias electivas, proposta na parte II deste trabalho, foi testada com os dados disponibilizados pelo hospital, apresentados no capítulo anterior. Os testes computacionais foram desenvolvidos sobre as sete semanas anteriormente descritas.

No presente capítulo descrevem-se os testes computacionais realizados e apresentam-se os respectivos resultados.

### 8.1 Hipóteses Consideradas

As cirurgias convencionais e as de ambulatório foram planeadas separadamente, em duas fases hierárquicas distintas. Numa primeira fase, são marcadas as cirurgias convencionais, uma vez que são em maior número e correspondem ao planeamento de cinco salas do bloco operatório. Na segunda fase, são planeadas as cirurgias de ambulatório. Os resultados obtidos na fase da marcação das cirurgias convencionais foram utilizados na marcação das cirurgias de ambulatório, obtendo-se desta forma a unificação da marcação dos dois tipos de cirurgias electivas, e a admissibilidade do plano final obtido.

Uma vez delineado o planeamento das cirurgias convencionais, cada cirurgião obtém um horário em que está planeada a realização das suas cirurgias. Estando a realizar cirurgias convencionais, um cirurgião fica naturalmente indisponível para a realização de cirurgias de ambulatório, durante os mesmos períodos. Desta forma, os períodos planeados de realização de cirurgias convencionais, para cada cirurgião, são introduzi-

dos como períodos de indisponibilidade para a realização de cirurgias de ambulatório associadas a esse mesmo cirurgião. Tais períodos de indisponibilidade são reflectidos nos conjuntos de restrições (5.6) e (5.7) do planeamento de cirurgias de ambulatório.

Por outro lado, uma vez definido o planeamento para as cirurgias convencionais, o limite de tempo gasto, diariamente e semanalmente, em cirurgia por cada cirurgião deve ser actualizado. Assim, ao valor inicial dos parâmetros  $T_{hd}^{MAXD}$  e  $T_h^{MAXS}$  deve ser reduzido o tempo em cirurgia, de cada dia e do total da semana, planeado para cada cirurgião.

Não tendo sido possível obter dados relativos à disponibilidade dos cirurgiões, os conjuntos de restrições (5.6) e (5.7) não foram incluídos nos testes realizados para a marcação das cirurgias convencionais.

## 8.2 Especificação dos Parâmetros

Apesar do horário regular do bloco operatório ter início às 8h, verificou-se que nenhuma cirurgia é iniciada antes das 8h30. Os 30 minutos iniciais são utilizados para a preparação do bloco operatório. Desta forma, definiu-se como período de início para a marcação de cirurgias as 8h30, sendo o mesmo terminado às 20h, de 2<sup>a</sup> a 6<sup>a</sup> feira, em dias úteis.

A última semana em teste corresponde à semana da Páscoa, pelo que inclui o feriado de Sexta-Feira Santa. Assim, todas as instâncias incluem cinco dias para marcação de cirurgias ( $|D| = 5$ ), excepto as instâncias da última semana em teste, que apenas incluem quatro dias para marcação ( $|D| = 4$ ).

Os períodos de tempo considerados têm todos a mesma duração de 15 minutos, obtendo-se assim 46 períodos de tempo diários de utilização regular do bloco operatório ( $|T| = 46$ ). O planeamento em períodos de trabalho extraordinário do bloco operatório não é considerado no modelo desenvolvido.

O planeamento das cirurgias convencionais engloba 5 salas de operações ( $|S| = 5$ ), enquanto que o planeamento das cirurgias de ambulatório é obtido para apenas uma sala de operações ( $|S| = 1$ ), totalizando as 6 salas de operações do bloco operatório do

hospital.

A duração de uma cirurgia tem natureza estocástica, isto é, torna-se impossível saber quanto tempo demorará a realização de uma cirurgia antes da mesma ser realizada. Na elaboração de um plano de cirurgia é, por isso, usada uma duração prevista para cada cirurgia. A utilização de durações previstas imprecisas, na elaboração de um plano cirúrgico, pode dar origem a que o mesmo venha a ser desajustado. Tem como consequências a inatividade da sala de operações, o excessivo recurso a horas extraordinárias e o cancelamento de cirurgias. Estas consequências representam custos significativos, quer para o paciente, quer para o hospital.

Nos testes realizados, o tempo previsto para a duração de uma cirurgia foi baseado no valor médio e no valor da mediana obtidos, para o mesmo procedimento cirúrgico, nas cirurgias realizadas no bloco operatório do hospital, entre 1 de Janeiro de 2004 e 28 de Dezembro de 2007. Estes valores poderiam ser ainda segmentados por cirurgião, isto é, considerando os dados do mesmo procedimento cirúrgico realizado pelo mesmo cirurgião. No entanto, a variedade de cirurgiões e de procedimentos cirúrgicos é suficientemente grande para que o número de casos verificados, no registo histórico, em cada combinação cirurgião/procedimento cirúrgico, seja frequentemente reduzido, produzindo assim valores instáveis para o cálculo da duração prevista de cada cirurgia.

Strum *et al.* [SSMV00] concluem que a maior fonte de variabilidade na duração de procedimentos cirúrgicos é o cirurgião. No entanto, Lebowitz [Leb03] afirma que, com excepção dos hospitais muito especializados, como, por exemplo, centros de cirurgias oftalmológicas, será difícil obter, para muitas combinações cirurgião/procedimento, dados históricos suficientes para permitir obter previsões fiáveis para a duração dos procedimentos cirúrgicos. Ora, as observações realizadas vão ao encontro daquilo que Lebowitz refere.

Quando não foi realizado o tipo de procedimento cirúrgico no período dos dados, o tempo previsto da cirurgia é baseado no valor médio ou no valor da mediana de todos os procedimentos cirúrgicos realizados da especialidade cirúrgica dessa cirurgia.

Na duração de cada cirurgia é incluído o tempo da indução da anestesia e do despertar da anestesia, uma vez que, como referido no capítulo 3, no hospital em estudo, os três procedimentos são realizados na sala de operações.

O limite de tempo em operação, diário e semanal, para cada cirurgião foi baseado numa percentagem das horas de trabalho diárias e semanais. Para todos os cirurgiões, o tempo em operação foi limitado a 75% de 8 horas de trabalho diário e 60% de 42 horas de trabalho semanal. Assim, o número máximo de períodos de tempo em operação de cada cirurgião será 24 e 100,8, por dia e por semana, respectivamente.

Uma vez que as cirurgias classificadas como Urgência Diferida têm de ser realizadas na segunda-feira do período em planeamento, o número máximo de períodos de tempo em operação à segunda-feira para um dado cirurgião pode ser superior ao máximo diário, se a soma da duração das cirurgias assim classificadas para esse cirurgião for superior ao limite diário considerado.

Assim, os parâmetros que limitam o número de períodos de tempo, diário e semanal, em operação para cada cirurgião, são definidos da seguinte forma:

$$T_{h1}^{MAXD} = \max \left\{ 24 ; \sum_{c \in C_1^p: h_c=h} t_c \right\}, \forall h \in H \quad (8.1)$$

$$T_{hd}^{MAXD} = 24, \forall d \in D \setminus \{1\}, h \in H \quad (8.2)$$

$$T_h^{MAXS} = 100, \forall h \in H \quad (8.3)$$

As listas de espera para cirurgias convencionais mostraram-se demasiado longas para serem incluídas todas as cirurgias no modelo. As cirurgias convencionais consideradas no conjunto  $C$ , em cada instância testada, formam, então, um subconjunto das respectivas listas de espera. Para permitir estabelecer uma base comparativa com o planeamento obtido pelo hospital, foram primeiramente seleccionadas para integrar o conjunto  $C$  as cirurgias convencionais em lista de espera, constantes do plano do hospital na semana em teste. As restantes cirurgias foram seleccionadas por ordem de nível de prioridade, até atingir o número desejado de cirurgias na instância ( $|C|$ ).

Para cada semana em análise, foram testadas oito instâncias para o planeamento de cirurgias convencionais. As instâncias incluíram 250, 300, 500 ou 1000 cirurgias, com uma duração prevista para cada cirurgia baseada no valor médio, quatro instâncias, e também no valor da mediana, outras quatro instâncias. Para o mesmo tipo de duração prevista para cada cirurgia e para a mesma semana de planeamento, os conjuntos

Tabela 8.1: Valores dos parâmetros utilizados na experiência computacional

Planeamento	$ C $	$ S $	$ T $	$ D $	$ E $	$ H $	$t_c$
Cirurgias convencionais	250, 300, 500, 1000	5	46	4/5	5	entre 36 e 52	média, mediana
Cirurgias de ambulatório	entre 258 e 295	1	46	4/5	4	entre 45 e 52	média, mediana

de cirurgias das instâncias com menor número de cirurgias estão, então, contidos nos conjuntos de cirurgias das instâncias com maior número de cirurgias convencionais consideradas.

No caso do planeamento de cirurgias de ambulatório, sendo as respectivas listas de espera reduzidas, foram consideradas todas as cirurgias em lista de espera para constituírem o conjunto  $C$ . Desta forma, para cada semana em análise, foram desencadeadas duas instâncias, em função das duas possibilidades utilizadas na duração prevista de cada cirurgia (média e mediana).

O número de cirurgiões está dependente das cirurgias que integram a instância em teste, sendo, por isso, variável. Verificou-se que este número variou entre 36 e 52 no caso das instâncias para o planeamento de cirurgias convencionais, e entre 45 e 52 no caso das instâncias para o planeamento de cirurgias de ambulatório.

A tabela 8.1 apresenta, sumariamente, a especificação do valor dos diferentes parâmetros.

Acrescenta-se ainda que, em todas as instâncias disponíveis, foram aplicados os testes de prevenção de impossibilidade, apresentados na secção 6.2, não tendo sido eliminada à partida qualquer instância.

### 8.3 Resultados Obtidos

O modelo em programação linear inteira desenvolvido foi resolvido através do programa ILOG CPLEX, versão 11.0 [ILO07], utilizando a linguagem de modelação ILOG *Con-*

*cert Technology*, versão 2.5 [ILO04]. Todas as heurísticas foram implementadas em linguagem *C++* [DD09]. As experiências computacionais foram realizadas num computador com processador Intel Core 2 Duo, 2.53 GHz, e 4GB de memória RAM.

O modelo matemático foi resolvido no CPLEX com o parâmetro de limite de tempo estipulado em 30 000 segundos, ou seja, 8 horas e 20 minutos. Em contexto real, é difícil considerar a possibilidade do programa estar em execução durante este tempo para dar origem a um plano operativo que será posto em prática na semana seguinte. No entanto, nos testes computacionais foi utilizado este tempo para possibilitar atingir boas soluções a serem comparadas com as soluções obtidas através das metodologias heurísticas.

A abordagem de solução proposta neste trabalho, para o planeamento de cirurgias electivas, foi analisada para o objectivo de rentabilizar o bloco operativo e o de reduzir a lista de espera para cirurgia. As duas fases hierárquicas que compõem o planeamento de cirurgias electivas, planeamento de cirurgias convencionais e de ambulatorio, foram testadas com base nas diferentes metodologias desenvolvidas. Os resultados obtidos são apresentados nas tabelas 8.2 a 8.19.

Estes resultados apresentam-se separados por objectivo em consideração. Assim, na subsecção 8.3.1 encontram-se os resultados obtidos para o problema do planeamento de cirurgias electivas com o objectivo único de rentabilizar o bloco operativo. Na subsecção 8.3.2, apresentam-se os resultados para o mesmo problema, agora com o único objectivo de reduzir a lista de espera para cirurgia.

Dentro de cada uma destas subsecções, apresentam-se os resultados subdivididos por tipo de metodologia seguida na fase de planeamento de cirurgias convencionais: optimização do modelo matemático, heurística construtiva e heurística híbrida. Os testes de cada metodologia foram desenvolvidos sobre todas as instâncias disponíveis. Nos casos em que foi obtida uma solução admissível não óptima, foi aplicada a heurística de melhoramento adequada ao objectivo em questão, e os resultados obtidos juntam-se às tabelas já referidas.

Nas tabelas onde se apresentam os resultados obtidos através da optimização do modelo matemático, quer na fase de planeamento de cirurgias convencionais (8.2 e 8.11), quer na fase de planeamento de cirurgias de ambulatorio (8.3, 8.6, 8.9, 8.12,

8.15 e 8.18), a primeira coluna faz referência à denominação da instância. A segunda e terceira colunas mostram o número de variáveis e de restrições no modelo, respectivamente. A coluna denominada *Tempo RL* indica o tempo decorrido até à obtenção da solução óptima da relaxação linear. O *gap*<sup>1</sup> obtido após decorrer o limite de tempo definido, assim como o tempo necessário até alcançar este mesmo *gap*, são apresentados, respectivamente, na quinta e sexta colunas. Estas tabelas mostram ainda, na coluna denominada *Tempo HM*, o tempo de execução da heurística de melhoramento e, na última coluna, o *gap* final obtido. As colunas relativas ao número de variáveis e restrições obtidas no modelo são incluídas apenas nas tabelas 8.2, 8.3 e 8.6, uma vez que estes valores coincidem com os valores das restantes tabelas, na respectiva fase de planeamento.

Nas tabelas onde se apresentam os resultados obtidos utilizando a heurística construtiva ou a heurística híbrida na fase de planeamento de cirurgias convencionais (8.5, 8.8, 8.14 e 8.17), a primeira coluna faz também referência à denominação da instância. A segunda e terceira colunas mostram, respectivamente, o tempo gasto pela heurística correspondente e o *gap* obtido. Na quarta e quinta colunas, *Tempo HM* e *Gap Final*, encontram-se o tempo de execução da heurística de melhoramento e o *gap* final obtido, respectivamente. Os valores de *gap* incluídos nestas tabelas foram calculados com base nos valores dos limites superiores obtidos com a optimização do modelo matemático, para a instância e objectivo correspondentes.

A denominação das instâncias inclui a referência à semana de planeamento em análise e uma indicação relativa à fase de planeamento: se corresponde ao planeamento das cirurgias convencionais, inclui um  $\mathcal{C}$ ; se corresponde ao planeamento das cirurgias de ambulatório, denota-se com um  $\mathcal{A}$ . A denominação das instâncias contempla ainda o número de cirurgias consideradas para o planeamento e, em índice, uma referência ao tipo de duração prevista para cada cirurgia: o número 1 indica que foi utilizado o valor médio e o número 2 o valor da mediana. Por exemplo, a instância *Sp4C\_300<sub>1</sub>* corresponde à fase de planeamento das cirurgias convencionais da quarta semana de planeamento, onde são consideradas 300 cirurgias cuja duração prevista foi baseada no valor médio. A denominação das instâncias da fase de planeamento de cirurgias de ambulatório inclui também a referência à instância da fase anterior do planeamento.

Para cada objectivo em análise e metodologia utilizada na primeira fase do planea-

---

<sup>1</sup> $Gap = \frac{\text{Limite Superior} - \text{Valor da Melhor Solução Inteira}}{\text{Valor da Melhor Solução Inteira}} \times 100$  (Limite Superior fornecido pelo CPLEX)

mento, apresentam-se três tabelas. As duas primeiras mostram, respectivamente, os resultados obtidos na fase de planeamento de cirurgias convencionais e de ambulatório. A terceira tabela apresenta os resultados agregados das duas fases, correspondendo à totalidade do planeamento de cirurgias electivas. Nesta tabela, encontra-se o tempo total para atingir o plano operativo (coluna *T. Total*), assim como o *gap* desse mesmo plano (*Gap Total*). Este valor de *gap* foi obtido com base na soma dos limites superiores das respectivas soluções, nas duas fases do planeamento, e na soma dos valores objectivo das melhores soluções inteiras nas duas fases de planeamento <sup>2</sup>.

No final de cada tabela 8.2 a 8.19, encontram-se os resultados médios obtidos na metodologia e objectivo em análise, para cada dimensão da instância e tipo de valor utilizado na duração prevista das cirurgias.

Na subsecção 8.3.3, resumem-se algumas considerações genéricas sobre os resultados obtidos.

### 8.3.1 Rentabilizar o Bloco Operatório

Nesta subsecção, apresentam-se os resultados obtidos no planeamento de cirurgias electivas através das três metodologias alternativas, desenvolvidas para a fase de planeamento de cirurgias convencionais, quando se pretende rentabilizar o bloco operativo.

#### 8.3.1.1 Optimização do Modelo Matemático

As tabelas 8.2 e 8.3 mostram, respectivamente, os resultados obtidos, na fase de planeamento de cirurgias convencionais e de ambulatório, através da optimização do modelo matemático desenvolvido no capítulo 5 seguido da heurística de melhoramento apresentada na secção 6.3.1, no caso em que se pretende rentabilizar o bloco operativo.

Estas tabelas confirmam, empiricamente, que o modelo desenvolvido atinge dimensões elevadas em instâncias reais.

$${}^2\text{Gap Total} = \frac{(\text{LS Conv.} + \text{LS Amb.}) - (\text{Valor Obj.Conv.} + \text{Valor Obj.Amb.})}{(\text{Valor Obj.Conv.} + \text{Valor Obj.Amb.})} \times 100$$

(LS Conv. e LS Amb. - limites superiores fornecidos pelo CPLEX na fase de planeamento de cirurgias convencionais e de ambulatório, respectivamente;

Valor Obj.Conv. e Valor Obj.Amb. - valores das melhores soluções inteiras obtidas na fase de planeamento de cirurgias convencionais e de ambulatório, respectivamente)

Tabela 8.2: Rentabilizar o bloco operatório - Modelo matemático - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias convencionais

Instância	Variáveis	Restrições	Tempo RL (seg.)	Gap SI (%)	Tempo até Gap SI (seg.)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 12-16 Fevereiro 2007							
<i>Sp1C_250<sub>1</sub></i>	242 200	11 934	1 571,76	9,91	13 895,50	0	6,55
<i>Sp1C_250<sub>2</sub></i>	243 525	11 934	435,71	5,17	12 865,30	0	5,17
<i>Sp1C_300<sub>1</sub></i>	294 225	11 984	616,66	9,94	6 526,52	0	3,78
<i>Sp1C_300<sub>2</sub></i>	295 800	11 984	595,17	7,55	9 131,55	0	5,76
<i>Sp1C_500<sub>1</sub></i>	503 625	12 184	444,52	3,67	18 743,20	0	3,46
<i>Sp1C_500<sub>2</sub></i>	506 725	12 184	355,71	12,89	9 677,82	0	5,83
<i>Sp1C_1000<sub>1</sub></i>	1 035 500	13 864	746,54	o.m.	-	-	-
<i>Sp1C_1000<sub>2</sub></i>	1 041 525	13 864	672,01	o.m.	-	-	-
Semana de planeamento: 26 Fevereiro - 2 Março 2007							
<i>Sp2C_250<sub>1</sub></i>	240 370	11 698	459,21	7,94	5 592,39	0	6,13
<i>Sp2C_250<sub>2</sub></i>	241 720	11 698	1 704,54	-	30 000	-	-
<i>Sp2C_300<sub>1</sub></i>	293 570	11 984	619,68	-	30 000	-	-
<i>Sp2C_300<sub>2</sub></i>	295 195	11 984	613,91	6,96	8 017,33	0	5,19
<i>Sp2C_500<sub>1</sub></i>	500 845	12 420	363,84	o.m.	-	-	-
<i>Sp2C_500<sub>2</sub></i>	503 620	12 420	678,96	12,17	11 933,2	0	6,36
<i>Sp2C_1000<sub>1</sub></i>	1 030 895	13 864	825,46	o.m.	-	-	-
<i>Sp2C_1000<sub>2</sub></i>	1 037 095	13 864	821,22	o.m.	-	-	-
Semana de planeamento: 5-9 Março 2007							
<i>Sp3C_250<sub>1</sub></i>	242 515	10 518	476,15	3,32	7 291,52	0	2,87
<i>Sp3C_250<sub>2</sub></i>	243 680	10 518	387,33	3,24	16 866,6	0	1,09
<i>Sp3C_300<sub>1</sub></i>	294 315	11 040	556,94	2,93	26 608,9	0	2,81
<i>Sp3C_300<sub>2</sub></i>	295 680	11 040	545,96	1,29	27 924,7	0	1,29
<i>Sp3C_500<sub>1</sub></i>	503 790	11 712	324,34	1,45	22 430,8	0	1,45
<i>Sp3C_500<sub>2</sub></i>	506 255	11 712	425,34	3,18	5 212,18	0	2,97
<i>Sp3C_1000<sub>1</sub></i>	1 032 690	13 628	815,35	o.m.	-	-	-
<i>Sp3C_1000<sub>2</sub></i>	1 038 605	13 628	626,67	o.m.	-	-	-

*Continua na página seguinte*

Instância	Variáveis	Restrições	Tempo RL (seg.)	Gap SI (%)	Tempo até Gap SI (seg.)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 12-16 Março 2007							
<i>Sp4C_250<sub>1</sub></i>	245 975	12 406	459,14	1,06	23 867,4	0	1,06
<i>Sp4C_250<sub>2</sub></i>	247 895	12 406	469,55	1,08	15 352	0	1,08
<i>Sp4C_300<sub>1</sub></i>	298 525	12 692	776,23	5,15	28 327,6	0	5,15
<i>Sp4C_300<sub>2</sub></i>	300 570	12 692	513,31	2,49	6 783,73	0	1,83
<i>Sp4C_500<sub>1</sub></i>	508 650	13 128	1 152,74	1,34	25 254,2	0	1,13
<i>Sp4C_500<sub>2</sub></i>	511 770	13 128	420,55	4,18	19 034,7	0	3,62
<i>Sp4C_1000<sub>1</sub></i>	1 036 100	14 572	859,77	o.m.	-	-	-
<i>Sp4C_1000<sub>2</sub></i>	1 042 670	14 572	689,10	o.m.	-	-	-
Semana de planeamento: 19-23 Março 2007							
<i>Sp5C_250<sub>1</sub></i>	248 375	10 990	472,53	0,96	21 003,5	0	0,96
<i>Sp5C_250<sub>2</sub></i>	250 035	10 990	481,09	4,12	7 844,32	0	4,01
<i>Sp5C_300<sub>1</sub></i>	301 300	11 276	1 761,38	2,58	26 398,9	0	1,81
<i>Sp5C_300<sub>2</sub></i>	303 260	11 276	984,21	1,18	27 524,3	0	1,07
<i>Sp5C_500<sub>1</sub></i>	511 400	12 184	389,27	o.m.	-	-	-
<i>Sp5C_500<sub>2</sub></i>	514 035	12 184	386,27	o.m.	-	-	-
<i>Sp5C_1000<sub>1</sub></i>	1 039 500	14 336	797,54	o.m.	-	-	-
<i>Sp5C_1000<sub>2</sub></i>	1 045 785	14 336	665,83	o.m.	-	-	-
Semana de planeamento: 26-30 Março 2007							
<i>Sp6C_250<sub>1</sub></i>	243 225	10 046	1 751,33	5,38	26 822,4	0	3,68
<i>Sp6C_250<sub>2</sub></i>	245 010	10 046	488,08	7,75	7 473,12	0	5,35
<i>Sp6C_300<sub>1</sub></i>	296 425	10 568	639,76	3,98	14 891,3	0	3,98
<i>Sp6C_300<sub>2</sub></i>	298 460	10 568	593,21	11,33	7 470,93	0	8,17
<i>Sp6C_500<sub>1</sub></i>	505 675	11 948	518,97	o.m.	-	-	-
<i>Sp6C_500<sub>2</sub></i>	508 810	11 948	431,14	o.m.	-	-	-
<i>Sp6C_1000<sub>1</sub></i>	1 033 050	14 100	658,82	o.m.	-	-	-
<i>Sp6C_1000<sub>2</sub></i>	1 039 535	14 100	1 358,69	o.m.	-	-	-

*Continua na página seguinte*

Instância	Variáveis	Restrições	Tempo RL (seg.)	Gap SI (%)	Tempo até Gap SI (seg.)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 2-5 Abril 2007							
<i>Sp7C_250</i> <sub>1</sub>	200 960	8 472	261,02	1,56	8 932,1	0	1,56
<i>Sp7C_250</i> <sub>2</sub>	202 635	8 472	310,88	1,05	25 869,6	0	1,05
<i>Sp7C_300</i> <sub>1</sub>	243 500	8 711	253,42	1,96	19 968,4	0	1,96
<i>Sp7C_300</i> <sub>2</sub>	245 275	8 711	154,93	1,59	28 734,3	0	1,59
<i>Sp7C_500</i> <sub>1</sub>	412 180	9 667	199,34	2,70	17 444,2	0	2,44
<i>Sp7C_500</i> <sub>2</sub>	415 035	9 667	480,75	2,60	2 589,66	0	2,46
<i>Sp7C_1000</i> <sub>1</sub>	833 260	11 490	462,75	o.m.	-	-	-
<i>Sp7C_1000</i> <sub>2</sub>	838 615	11 490	422,89	o.m.	-	-	-

### Resultados médios

<i>C_250</i> <sub>1</sub>	<b>237 660</b>	<b>10 866</b>	<b>778,73</b>	<b>4,31</b>	<b>15 343,54</b>	<b>0</b>	<b>3,26</b>
<i>C_250</i> <sub>2</sub>	<b>239 214</b>	<b>10 866</b>	<b>611,03</b>	<b>3,74</b>	<b>14 378,49</b>	<b>0</b>	<b>2,96</b>
<i>C_300</i> <sub>1</sub>	<b>288 837</b>	<b>11 179</b>	<b>746,30</b>	<b>4,42</b>	<b>20 453,60</b>	<b>0</b>	<b>3,25</b>
<i>C_300</i> <sub>2</sub>	<b>290 606</b>	<b>11 179</b>	<b>571,53</b>	<b>4,63</b>	<b>16 512,41</b>	<b>0</b>	<b>3,56</b>
<i>C_500</i> <sub>1</sub>	<b>492 309</b>	<b>11 892</b>	<b>484,72</b>	<b>2,29</b>	<b>20 968,10</b>	<b>0</b>	<b>2,12</b>
<i>C_500</i> <sub>2</sub>	<b>495 179</b>	<b>11 892</b>	<b>454,10</b>	<b>7,00</b>	<b>9 689,51</b>	<b>0</b>	<b>4,25</b>
<i>C_1000</i> <sub>1</sub>	<b>1 005 856</b>	<b>13 693</b>	<b>738,03</b>	-	-	-	-
<i>C_1000</i> <sub>2</sub>	<b>1 011 976</b>	<b>13 693</b>	<b>750,92</b>	-	-	-	-
	<b>Média global</b>		<b>641,92</b>	<b>4,45</b>	<b>16 224,28</b>	<b>0</b>	<b>3,28</b>

o.m. - *out of memory*

As instâncias que utilizaram o valor da mediana para a duração prevista das cirurgias têm mais variáveis do que as instâncias que utilizaram o valor médio. Esta observação justifica-se pelo facto do valor da mediana da duração das cirurgias ser, em geral, inferior ao valor da respectiva média, tal como referido no capítulo 7. Sendo o valor da mediana inferior ao valor da média, o número de períodos de tempo em que pode ser iniciada uma cirurgia, de modo a que a mesma seja terminada dentro do horário regular do bloco operatório ( $|T_c|$ ), será, naturalmente, maior ou igual, originando, desta forma, um maior número de variáveis  $x_{cstd}$  no modelo.

Tabela 8.3: Rentabilizar o bloco operatório - Modelo matemático - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias de ambulatório

Instância	Variáveis	Restrições	T. RL (seg.)	Gap SI (%)	T. até Gap SI (seg.)	T. HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 12-16 Fevereiro 2007							
$Sp1C\_250_1 + Sp1A\_264_1$	57 768	69 595	2,45	0	11,81	-	-
$Sp1C\_250_2 + Sp1A\_264_2$	57 803	69 630	2,07	0	7,92	-	-
$Sp1C\_300_1 + Sp1A\_264_1$	57 768	69 595	1,92	0	7,72	-	-
$Sp1C\_300_2 + Sp1A\_264_2$	57 803	69 630	1,75	0	19,78	-	-
$Sp1C\_500_1 + Sp1A\_264_1$	57 768	69 595	2,15	0	10,62	-	-
$Sp1C\_500_2 + Sp1A\_264_2$	57 803	69 630	2,42	0	8,42	-	-
Semana de planeamento: 26 Fevereiro - 2 Março 2007							
$Sp2C\_250_1 + Sp2A\_274_1$	60 455	72 056	2,20	0	56,38	-	-
$Sp2C\_300_2 + Sp2A\_274_2$	60 475	72 076	2,37	0	90,34	-	-
$Sp2C\_500_2 + Sp2A\_274_2$	60 475	72 312	2,15	0	12,4	-	-
Semana de planeamento: 5-9 Março 2007							
$Sp3C\_250_1 + Sp3A\_265_1$	58 490	69 610	2,20	0	170,29	-	-
$Sp3C\_250_2 + Sp3A\_265_2$	58 535	69 655	2,09	0	263,14	-	-
$Sp3C\_300_1 + Sp3A\_265_1$	58 490	69 846	2,18	0	27,24	-	-
$Sp3C\_300_2 + Sp3A\_265_2$	58 535	69 891	2,54	0	1 122,04	-	-
$Sp3C\_500_1 + Sp3A\_265_1$	58 490	70 082	2,25	0,62	8,30	0	0,62
$Sp3C\_500_2 + Sp3A\_265_2$	58 535	70 127	2,36	0	125,66	-	-
Semana de planeamento: 12-16 Março 2007							
$Sp4C\_250_1 + Sp4A\_287_1$	63 360	75 682	2,81	0	181,09	-	-
$Sp4C\_250_2 + Sp4A\_287_2$	63 400	75 722	2,43	0,62	1 529,12	0	0,62
$Sp4C\_300_1 + Sp4A\_287_1$	63 360	75 918	2,57	0	213,49	-	-
$Sp4C\_300_2 + Sp4A\_287_2$	63 400	75 958	2,25	0	262,67	-	-
$Sp4C\_500_1 + Sp4A\_287_1$	63 360	76 154	2,36	0	197,51	-	-
$Sp4C\_500_2 + Sp4A\_287_2$	63 400	76 194	2,29	0,62	11,31	0	0,62

*Continua na página seguinte*

Instância	Variáveis	Restrições	T. RL (seg.)	Gap SI (%)	T. até Gap SI (seg.)	T. HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 19-23 Março 2007							
$Sp5C_{250_1} + Sp5A_{285_1}$	62 900	74 512	2,31	0	25,27	-	-
$Sp5C_{250_2} + Sp5A_{285_2}$	62 930	74 542	2,17	0	57,85	-	-
$Sp5C_{300_1} + Sp5A_{285_1}$	62 900	74 512	2,11	0	7,85	-	-
$Sp5C_{300_2} + Sp5A_{285_2}$	62 930	74 542	2,68	0	57,55	-	-
Semana de planeamento: 26-30 Março 2007							
$Sp6C_{250_1} + Sp6A_{295_1}$	65 025	76 175	2,43	0,62	85,11	0	0,62
$Sp6C_{250_2} + Sp6A_{295_2}$	65 060	76 210	2,18	0	362,19	-	-
$Sp6C_{300_1} + Sp6A_{295_1}$	65 025	76 175	2,53	0,62	317,82	0	0,62
$Sp6C_{300_2} + Sp6A_{295_2}$	65 060	76 210	2,25	0	206,20	-	-
Semana de planeamento: 2-5 Abril 2007							
$Sp7C_{250_1} + Sp7A_{258_1}$	45 560	54 700	1,19	0	15,72	-	-
$Sp7C_{250_2} + Sp7A_{258_2}$	45 580	54 720	1,26	0	114,60	-	-
$Sp7C_{300_1} + Sp7A_{258_1}$	45 560	54 700	1,25	0	113,29	-	-
$Sp7C_{300_2} + Sp7A_{258_2}$	45 580	54 720	1,29	0	21,93	-	-
$Sp7C_{500_1} + Sp7A_{258_1}$	45 560	55 267	1,19	0	14,82	-	-
$Sp7C_{500_2} + Sp7A_{258_2}$	45 580	55 287	1,29	0	127,39	-	-
<b>Resultados médios</b>							
$C_{250_1} + A_{-1}$	<b>59 080</b>	<b>70 333</b>	<b>2,23</b>	<b>0,09</b>	<b>77,95</b>	<b>0</b>	<b>0,09</b>
$C_{250_2} + A_{-2}$	<b>58 885</b>	<b>70 080</b>	<b>2,03</b>	<b>0,10</b>	<b>389,14</b>	<b>0</b>	<b>0,10</b>
$C_{300_1} + A_{-1}$	<b>58 851</b>	<b>70 124</b>	<b>2,09</b>	<b>0,10</b>	<b>114,57</b>	<b>0</b>	<b>0,10</b>
$C_{300_2} + A_{-2}$	<b>59 112</b>	<b>70 432</b>	<b>2,16</b>	<b>0</b>	<b>254,36</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
$C_{500_1} + A_{-1}$	<b>56 295</b>	<b>67 775</b>	<b>1,99</b>	<b>0,16</b>	<b>57,81</b>	<b>0</b>	<b>0,16</b>
$C_{500_2} + A_{-2}$	<b>57 159</b>	<b>68 710</b>	<b>2,10</b>	<b>0,13</b>	<b>57,04</b>	<b>0</b>	<b>0,13</b>
	<b>Média global</b>		<b>2,10</b>	<b>0,09</b>	<b>158,48</b>	<b>0</b>	<b>0,09</b>

O número de cirurgias incluídas na fase de planeamento de cirurgias de ambulatório está ao mesmo nível das instâncias de menor dimensão da fase de planeamento de

cirurgias convencionais. Por outro lado, identificando-se que a duração das cirurgias de ambulatório é, em geral, inferior à duração das cirurgias convencionais (como observado no capítulo 7), pelo mesmo motivo apontado no parágrafo anterior, geraria um maior número de variáveis no modelo. No entanto, uma vez que o planeamento de cirurgias de ambulatório envolve apenas uma sala de operações, estas instâncias apresentam um número de variáveis significativamente menor do que no caso das instâncias para o planeamento de cirurgias convencionais.

Pelo contrário, o número de restrições nas instâncias do planeamento de cirurgias de ambulatório é bastante superior ao das instâncias da fase de planeamento de cirurgias convencionais. Esta observação deve-se ao facto de, no planeamento das cirurgias de ambulatório, serem consideradas as restrições (5.6) e (5.7), relativas às indisponibilidades dos cirurgiões ou dos pacientes, que não foram incluídas nos testes realizados para o planeamento de cirurgias convencionais.

No caso das instâncias relativas à fase de planeamento de cirurgias convencionais, o número de restrições é igual nas instâncias em que apenas varia o tipo de valor utilizado para a duração prevista das cirurgias. No caso das instâncias para o planeamento de cirurgias de ambulatório, este número é diferente. Esta diferença justifica-se, novamente, pela inclusão das restrições (5.6) e (5.7) no planeamento de cirurgias de ambulatório, e pelo facto do número de restrições deste tipo depender de  $|T_c|$ . Sendo as únicas restrições a dependerem deste valor, no planeamento de cirurgias convencionais, o número de restrições não se altera com o tipo de valor utilizado para a duração prevista das cirurgias.

Nota-se que, na semana de planeamento de 2 a 5 de Abril de 2007, o número de dias de planeamento (4 dias, tal como referido na secção 8.2) é inferior às restantes semanas de planeamento, pelo que a dimensão destas instâncias é menor, mantendo-se, no entanto, válidas as observações já referidas.

Na fase de planeamento de cirurgias convencionais, a resolução do modelo não conseguiu encontrar uma solução óptima em qualquer das instâncias testadas, dentro do tempo previamente fixado (30 000 segundos). Por outro lado, a optimização do modelo apenas conseguiu obter uma solução inteira admissível em 62,5% das instâncias em teste. Isto não aconteceu nas instâncias em que foram consideradas 1 000 cirurgias convencionais, e em algumas instâncias com 500 cirurgias, por falta de memória do

computador. Na segunda semana de planeamento testada, em duas instâncias, não foi alcançada uma solução inteira admissível, no final do tempo limite. Nestas situações, a abordagem de solução proposta prossegue com a utilização de uma das heurísticas construtiva ou híbrida de modo a tentar obter uma solução admissível para o problema.

Nas restantes instâncias, as soluções inteiras obtidas através da resolução do modelo apresentam um valor médio de *gap* de 4,45%, variando entre 0,96% e 12,89% (quinta e primeira semana de planeamento, respectivamente). A semana de planeamento de 2 a 5 de Abril de 2007, sendo a que deu origem a instâncias de menores dimensões, foi a que obteve melhores resultados médios no teste do modelo. Os piores resultados observados na segunda semana de planeamento, na primeira e na sexta podem justificar-se pela maior percentagem de cirurgias convencionais, classificadas como Urgência Diferida e Muito Prioritárias, presentes nas respectivas instâncias.

A heurística de melhoramento foi, portanto, aplicada em todas estas instâncias. Em todas elas, obteve um tempo de resolução de zero segundos e em 23 casos (66%) conseguiu melhorar o valor do *gap* das soluções obtidas através da optimização do modelo. O valor médio de *gap* obtido após a heurística de melhoramento baixou para 3,28%, variando agora entre 0,96% e 8,17% (quinta e sexta semana de planeamento, respectivamente). O efeito da heurística de melhoramento foi mais visível nas instâncias com maior valor de *gap* na solução da resolução do modelo. Pode ainda acrescentar-se que a heurística de melhoramento melhorou, em média, 24,76%<sup>3</sup> o valor do *gap* das soluções obtidas através da resolução do modelo, tendo em conta apenas as 23 instâncias em que efectivamente esta melhoria se verificou.

Na fase de planeamento de cirurgias de ambulatório, a optimização do modelo originou uma solução óptima na quase totalidade das instâncias testadas (86%), em menos de seis minutos (excepto em duas das instâncias em que demorou 18 e 25 minutos). Nas instâncias em que não foi provada a presença de uma solução óptima, o *gap* obtido foi inferior a 1%, correspondendo sempre a uma unidade na diferença entre o valor do limite superior e o valor objectivo da melhor solução inteira. Foi aplicada a heurística de melhoramento nestas instâncias, no entanto não conseguiu melhorar o *gap* das respectivas soluções. O menor número de variáveis destas instâncias justifica os melhores resultados obtidos nesta fase do planeamento de cirurgias electivas.

---

<sup>3</sup> média de  $\frac{\text{Valor do } gap_{SI} - \text{Valor do } gap_{HM}}{\text{Valor do } gap_{SI}} \times 100$  sobre as 23 instâncias

Tabela 8.4: Rentabilizar o bloco operatório - Modelo matemático - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias electivas

Instância	T. Total (seg.)	Gap Total (%)	Instância	T. Total (seg.)	Gap Total (%)
Semana: 12-16 Fevereiro 2007			Semana: 26 Fevereiro - 2 Março 2007		
$Sp1C_{250_1} + Sp1A_{264_1}$	15 481,5	5,54	$Sp2C_{250_1} + Sp2A_{274_1}$	6 110,2	5,21
$Sp1C_{250_2} + Sp1A_{264_2}$	13 311,0	4,39	$Sp2C_{300_2} + Sp2A_{274_2}$	8 723,9	4,42
$Sp1C_{300_1} + Sp1A_{264_1}$	7 152,8	3,22	$Sp2C_{500_2} + Sp2A_{274_2}$	12 626,7	5,43
$Sp1C_{300_2} + Sp1A_{264_2}$	9 748,2	4,89			
$Sp1C_{500_1} + Sp1A_{264_1}$	19 200,5	2,95			
$Sp1C_{500_2} + Sp1A_{264_2}$	10 044,4	4,96			
Semana: 5-9 Março 2007			Semana: 12-16 Março 2007		
$Sp3C_{250_1} + Sp3A_{265_1}$	7 940,2	2,44	$Sp4C_{250_1} + Sp4A_{287_1}$	24 510,4	0,91
$Sp3C_{250_2} + Sp3A_{265_2}$	17 519,2	0,93	$Sp4C_{250_2} + Sp4A_{287_2}$	17 353,1	1,01
$Sp3C_{300_1} + Sp3A_{265_1}$	27 195,3	2,40	$Sp4C_{300_1} + Sp4A_{287_1}$	29 319,9	4,38
$Sp3C_{300_2} + Sp3A_{265_2}$	29 595,2	1,10	$Sp4C_{300_2} + Sp4A_{287_2}$	7 562,0	1,56
$Sp3C_{500_1} + Sp3A_{265_1}$	22 765,7	1,33	$Sp4C_{500_1} + Sp4A_{287_1}$	26 606,8	0,97
$Sp3C_{500_2} + Sp3A_{265_2}$	5 765,5	2,54	$Sp4C_{500_2} + Sp4A_{287_2}$	19 468,9	3,18
Semana: 19-23 Março 2007			Semana: 26-30 Março 2007		
$Sp5C_{250_1} + Sp5A_{285_1}$	21 503,6	0,82	$Sp6C_{250_1} + Sp6A_{295_1}$	28 661,3	3,23
$Sp5C_{250_2} + Sp5A_{285_2}$	8 385,4	3,40	$Sp6C_{250_2} + Sp6A_{295_2}$	8 325,6	4,55
$Sp5C_{300_1} + Sp5A_{285_1}$	28 170,2	1,54	$Sp6C_{300_1} + Sp6A_{295_1}$	15 851,4	3,49
$Sp5C_{300_2} + Sp5A_{285_2}$	28 568,7	0,91	$Sp6C_{300_2} + Sp6A_{295_2}$	8 272,6	6,92
Semana: 2-5 Abril 2007			<b>Resultados médios</b>		
$Sp7C_{250_1} + Sp7A_{258_1}$	9 210,0	1,34	$C_{250_1} + A_{-1}$	<b>16 202,5</b>	<b>2,78</b>
$Sp7C_{250_2} + Sp7A_{258_2}$	26 296,3	0,90	$C_{250_2} + A_{-2}$	<b>15 198,4</b>	<b>2,53</b>
$Sp7C_{300_1} + Sp7A_{258_1}$	20 336,4	1,67	$C_{300_1} + A_{-1}$	<b>21 337,7</b>	<b>2,78</b>
$Sp7C_{300_2} + Sp7A_{258_2}$	28 912,5	1,35	$C_{300_2} + A_{-2}$	<b>17 340,5</b>	<b>3,02</b>
$Sp7C_{500_1} + Sp7A_{258_1}$	17 659,6	2,09	$C_{500_1} + A_{-1}$	<b>21 558,1</b>	<b>1,83</b>
$Sp7C_{500_2} + Sp7A_{258_2}$	3 199,1	2,11	$C_{500_2} + A_{-2}$	<b>10 220,9</b>	<b>3,64</b>
			<b>Média global</b>	<b>16 895,8</b>	<b>2,80</b>

Pode acrescentar-se ainda que todas as instâncias e todas as semanas de planeamento testadas alcançaram resultados similares na respectiva fase de planeamento.

A tabela 8.4 conjuga os resultados alcançados nas duas fases de planeamento e mostra os resultados finais obtidos para o planeamento de cirurgias electivas. A optimização do modelo na primeira fase do planeamento deu origem a um *gap* total médio de 2,80%, variando entre 0,90% e 6,92% (instâncias  $Sp7C_{250_2} + Sp7A_{258_2}$  e  $Sp6C_{300_2} + Sp6A_{295_2}$ , respectivamente). Os valores médios do *gap* total por dimensão da instância, inscritos no final da tabela, indicam a existência de um equilíbrio deste valor nas diferentes dimensões das instâncias e no tipo de valor utilizado na duração prevista para as cirurgias. O tempo médio para conseguir um plano operativo foi 16 895,8 segundos (4 horas e 42 minutos).

Conclui-se, assim, que a metodologia baseada na resolução do modelo matemático através da utilização de um programa de programação linear inteira, seguida da aplicação da heurística de melhoramento proposta, teve um bom comportamento na obtenção de planos cirúrgicos para o hospital, quando o objectivo é o de rentabilizar a utilização do seu bloco operativo. No entanto, revelou-se demasiado moroso, nomeadamente no fornecimento dos planos de cirurgias convencionais.

### 8.3.1.2 Heurística Construtiva

Descrevem-se, na presente secção, os resultados obtidos para o planeamento de cirurgias electivas, baseados na utilização das heurísticas construtiva e de melhoramento na fase de planeamento de cirurgias convencionais, desenvolvidas nas secções 6.2 e 6.3.1, respectivamente. As tabelas 8.5 e 8.6 compilam, respectivamente, os resultados obtidos nas fases de planeamento de cirurgias convencionais e de ambulatório. Os resultados finais para o planeamento de cirurgias electivas encontram-se na tabela 8.7.

A heurística construtiva conseguiu obter, na fase de planeamento de cirurgias convencionais, uma solução admissível em todas as instâncias testadas e, em todas elas, em zero segundos.

Estas soluções apresentam um valor médio de *gap* de 4,54%, variando entre 1,95% e 11,58%, nas instâncias  $Sp3C_{1000_1}$  e  $Sp1C_{250_2}$ , respectivamente. O valor mais baixo de *gap* foi obtido numa das instâncias de maior dimensão e para a qual a resolução do

Tabela 8.5: Rentabilizar o bloco operativo - Heurística construtiva - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias convencionais

Instância	Tempo HC (seg.)	Gap SHC (%)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 12-16 Fevereiro 2007				
<i>Sp1C_250</i> <sub>1</sub>	0	8,14	0	8,14
<i>Sp1C_250</i> <sub>2</sub>	0	11,58	0	9,10
<i>Sp1C_300</i> <sub>1</sub>	0	6,06	0	6,06
<i>Sp1C_300</i> <sub>2</sub>	0	8,77	0	6,11
<i>Sp1C_500</i> <sub>1</sub>	0	4,33	0	4,33
<i>Sp1C_500</i> <sub>2</sub>	0	6,17	0	3,81
<i>Sp1C_1000</i> <sub>1</sub>	0	3,51	0	3,51
<i>Sp1C_1000</i> <sub>2</sub>	0	5,38	0	3,10
Semana de planeamento: 26 Fevereiro - 2 Março 2007				
<i>Sp2C_250</i> <sub>1</sub>	0	4,85	0	4,85
<i>Sp2C_250</i> <sub>2</sub>	0	4,07	0	4,07
<i>Sp2C_300</i> <sub>1</sub>	0	4,92	0	4,92
<i>Sp2C_300</i> <sub>2</sub>	0	3,81	0	3,81
<i>Sp2C_500</i> <sub>1</sub>	0	4,87	0	4,87
<i>Sp2C_500</i> <sub>2</sub>	0	4,45	0	4,45
<i>Sp2C_1000</i> <sub>1</sub>	0	3,63	0	3,63
<i>Sp2C_1000</i> <sub>2</sub>	0	3,31	0	3,31
Semana de planeamento: 5-9 Março 2007				
<i>Sp3C_250</i> <sub>1</sub>	0	3,44	0	3,44
<i>Sp3C_250</i> <sub>2</sub>	0	4,17	0	4,17
<i>Sp3C_300</i> <sub>1</sub>	0	3,49	0	3,49
<i>Sp3C_300</i> <sub>2</sub>	0	3,41	0	3,41
<i>Sp3C_500</i> <sub>1</sub>	0	2,72	0	2,72
<i>Sp3C_500</i> <sub>2</sub>	0	2,75	0	2,75
<i>Sp3C_1000</i> <sub>1</sub>	0	1,95	0	1,95
<i>Sp3C_1000</i> <sub>2</sub>	0	3,22	0	3,22

*Continua na página seguinte*

Instância	Tempo HC (seg.)	Gap SHC (%)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
<b>Semana de planeamento: 12-16 Março 2007</b>				
<i>Sp4C_250<sub>1</sub></i>	0	8,94	0	8,32
<i>Sp4C_250<sub>2</sub></i>	0	10,24	0	8,95
<i>Sp4C_300<sub>1</sub></i>	0	6,79	0	6,20
<i>Sp4C_300<sub>2</sub></i>	0	5,12	0	3,96
<i>Sp4C_500<sub>1</sub></i>	0	3,68	0	2,93
<i>Sp4C_500<sub>2</sub></i>	0	3,84	0	2,75
<i>Sp4C_1000<sub>1</sub></i>	0	2,46	0	1,73
<i>Sp4C_1000<sub>2</sub></i>	0	3,42	0	2,46
<b>Semana de planeamento: 19-23 Março 2007</b>				
<i>Sp5C_250<sub>1</sub></i>	0	5,82	0	5,82
<i>Sp5C_250<sub>2</sub></i>	0	5,30	0	5,30
<i>Sp5C_300<sub>1</sub></i>	0	5,88	0	5,88
<i>Sp5C_300<sub>2</sub></i>	0	4,89	0	4,89
<i>Sp5C_500<sub>1</sub></i>	0	3,47	0	3,25
<i>Sp5C_500<sub>2</sub></i>	0	2,42	0	2,42
<i>Sp5C_1000<sub>1</sub></i>	0	3,19	0	3,19
<i>Sp5C_1000<sub>2</sub></i>	0	2,25	0	2,25
<b>Semana de planeamento: 26-30 Março 2007</b>				
<i>Sp6C_250<sub>1</sub></i>	0	3,45	0	3,45
<i>Sp6C_250<sub>2</sub></i>	0	7,02	0	7,02
<i>Sp6C_300<sub>1</sub></i>	0	4,09	0	4,09
<i>Sp6C_300<sub>2</sub></i>	0	4,15	0	4,15
<i>Sp6C_500<sub>1</sub></i>	0	4,86	0	4,86
<i>Sp6C_500<sub>2</sub></i>	0	3,81	0	3,81
<i>Sp6C_1000<sub>1</sub></i>	0	3,95	0	3,95
<i>Sp6C_1000<sub>2</sub></i>	0	4,07	0	4,07

*Continua na página seguinte*

Instância	Tempo HC (seg.)	Gap SHC (%)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 2-5 Abril 2007				
<i>Sp7C_250</i> <sub>1</sub>	0	3,32	0	3,32
<i>Sp7C_250</i> <sub>2</sub>	0	3,93	0	3,93
<i>Sp7C_300</i> <sub>1</sub>	0	3,03	0	3,03
<i>Sp7C_300</i> <sub>2</sub>	0	4,34	0	4,34
<i>Sp7C_500</i> <sub>1</sub>	0	3,91	0	3,91
<i>Sp7C_500</i> <sub>2</sub>	0	3,67	0	3,67
<i>Sp7C_1000</i> <sub>1</sub>	0	3,20	0	3,20
<i>Sp7C_1000</i> <sub>2</sub>	0	2,94	0	2,94

---

#### Resultados médios

<i>C_250</i> <sub>1</sub>	<b>0</b>	<b>5,42</b>	<b>0</b>	<b>5,33</b>
<i>C_250</i> <sub>2</sub>	<b>0</b>	<b>6,61</b>	<b>0</b>	<b>6,08</b>
<i>C_300</i> <sub>1</sub>	<b>0</b>	<b>4,89</b>	<b>0</b>	<b>4,81</b>
<i>C_300</i> <sub>2</sub>	<b>0</b>	<b>4,93</b>	<b>0</b>	<b>4,38</b>
<i>C_500</i> <sub>1</sub>	<b>0</b>	<b>3,98</b>	<b>0</b>	<b>3,84</b>
<i>C_500</i> <sub>2</sub>	<b>0</b>	<b>3,87</b>	<b>0</b>	<b>3,38</b>
<i>C_1000</i> <sub>1</sub>	<b>0</b>	<b>3,13</b>	<b>0</b>	<b>3,02</b>
<i>C_1000</i> <sub>2</sub>	<b>0</b>	<b>3,51</b>	<b>0</b>	<b>3,05</b>
Média global	<b>0</b>	<b>4,54</b>	<b>0</b>	<b>4,24</b>

modelo matemático não conseguiu encontrar uma solução admissível, por falta de memória do computador.

Comparando estes resultados com os obtidos através do modelo, é de destacar que a heurística construtiva obteve, instantaneamente, uma solução admissível em 100% das instâncias em teste, enquanto que a optimização do modelo conseguiu uma solução admissível em 62,5% das instâncias num tempo muito superior.

Relativamente à qualidade das soluções obtidas na fase de planeamento de cirurgias convencionais, a heurística construtiva atingiu um valor médio global de *gap* ligeira-

mente superior ao mesmo valor relativo às soluções obtidas através da resolução do modelo, e um pior caso inferior. Comparando individualmente as 35 instâncias em que a resolução do modelo conseguiu obter uma solução admissível, a heurística construtiva teve pior valor de *gap* em 24 (69%), e melhor valor em 11 destas instâncias. Nas instâncias em que a heurística construtiva obteve pior valor de *gap*, a diferença média observada foi de 2,53 pontos percentuais, e naquelas em que obteve melhor valor a diferença foi, em média, 3,36 pontos percentuais.

A heurística de melhoramento foi, então, aplicada em todas as instâncias testadas na fase de planeamento de cirurgias convencionais. Em todas elas obteve um tempo de resolução de zero segundos e em 13 casos (23%) conseguiu melhorar o valor de *gap* obtido nas soluções da heurística construtiva. O valor médio de *gap* obtido após a heurística de melhoramento baixou ligeiramente para 4,24%, variando agora entre 1,73% e 9,10%, para as instâncias *Sp4C\_1000*<sub>1</sub> e *Sp1C\_250*<sub>2</sub>, respectivamente. A heurística de melhoramento reduziu, em média, 22,78% o valor do *gap* obtido nas 13 soluções da heurística construtiva em que a melhoria se verificou.

O desempenho da heurística de melhoramento nas soluções da heurística construtiva foi ligeiramente pior do que o respectivo desempenho nas soluções obtidas através da optimização do modelo, uma vez que aumentou o valor da função objectivo em menos instâncias e a melhoria média foi também inferior.

Relativamente à qualidade das soluções obtidas na fase de planeamento de cirurgias convencionais, o valor médio global de *gap*, assim como o melhor e pior caso, são superiores aos respectivos valores das soluções obtidas, na mesma fase de planeamento, através da resolução do modelo. Fazendo a comparação individual das 35 instâncias em que a optimização do modelo conseguiu obter uma solução admissível, a heurística construtiva originou pior valor de *gap* final em 27 (77%), e melhor valor em 8 destas instâncias. Nas instâncias em que originou pior valor de *gap* final, a diferença média verificada foi de 2,36 pontos percentuais, e naquelas em que obteve melhor valor, a diferença foi, em média, 1,49 pontos percentuais.

Os resultados obtidos na fase de planeamento de cirurgias de ambulatório, através da presente metodologia, encontram-se dentro da mesma linha dos respectivos resultados apresentados na subsecção anterior. Assim, a presente metodologia permitiu a obtenção de uma solução óptima em cerca de 82% das instâncias, em menos de dez minutos (ex-

Tabela 8.6: Rentabilizar o bloco operatório - Heurística construtiva - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias de ambulatório

Instância	Variáveis	Restrições	T. RL (seg.)	Gap SI (%)	T. até Gap SI (seg.)	T. HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 12-16 Fevereiro 2007							
$Sp1C_{250_1} + Sp1A_{264_1}$	57 768	69 595	2,42	0	21,14	-	-
$Sp1C_{250_2} + Sp1A_{264_2}$	57 803	69 630	2,51	0	21,54	-	-
$Sp1C_{300_1} + Sp1A_{264_1}$	57 768	69 595	2,42	0	9,98	-	-
$Sp1C_{300_2} + Sp1A_{264_2}$	57 803	69 630	2,18	0	7,86	-	-
$Sp1C_{500_1} + Sp1A_{264_1}$	57 768	69 595	2,20	0	6,72	-	-
$Sp1C_{500_2} + Sp1A_{264_2}$	57 803	69 630	2,23	0	8,94	-	-
$Sp1C_{1000_1} + Sp1A_{264_1}$	57 768	72 663	2,32	0	3,04	-	-
$Sp1C_{1000_2} + Sp1A_{264_2}$	57 803	72 698	2,14	0	9,16	-	-
Semana de planeamento: 26 Fevereiro - 2 Março 2007							
$Sp2C_{250_1} + Sp2A_{274_1}$	60 455	72 056	2,14	0	211,22	-	-
$Sp2C_{250_2} + Sp2A_{274_2}$	60 475	72 076	2,31	0	17,41	-	-
$Sp2C_{300_1} + Sp2A_{274_1}$	60 455	72 056	2,76	0	195,61	-	-
$Sp2C_{300_2} + Sp2A_{274_2}$	60 475	72 076	2,12	0	26,61	-	-
$Sp2C_{500_1} + Sp2A_{274_1}$	60 455	72 292	2,31	0	164,07	-	-
$Sp2C_{500_2} + Sp2A_{274_2}$	60 475	72 312	1,95	0	22,76	-	-
$Sp2C_{1000_1} + Sp2A_{274_1}$	60 455	73 000	2,40	0	178,12	-	-
$Sp2C_{1000_2} + Sp2A_{274_2}$	60 475	73 020	2,67	0	23,57	-	-
Semana de planeamento: 5-9 Março 2007							
$Sp3C_{250_1} + Sp3A_{265_1}$	58 490	69 610	1,83	0	150,90	-	-
$Sp3C_{250_2} + Sp3A_{265_2}$	58 535	69 655	1,82	0	13,14	-	-
$Sp3C_{300_1} + Sp3A_{265_1}$	58 490	69 846	2,12	0	27,08	-	-
$Sp3C_{300_2} + Sp3A_{265_2}$	58 535	69 891	1,97	0	139,70	-	-
$Sp3C_{500_1} + Sp3A_{265_1}$	58 490	70 082	2,54	0,62	284,42	0	0,62
$Sp3C_{500_2} + Sp3A_{265_2}$	58 535	70 127	1,93	0	122,34	-	-
$Sp3C_{1000_1} + Sp3A_{265_1}$	58 490	71 026	2,26	0	1 467,22	-	-
$Sp3C_{1000_2} + Sp3A_{265_2}$	58 535	71 071	2,06	0	51,84	-	-

*Continua na página seguinte*

Instância	Variáveis	Restrições	T. RL (seg.)	Gap SI (%)	T. até Gap SI (seg.)	T. HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 12-16 Março 2007							
<i>Sp4C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	63 360	75 682	2,15	0	154,55	-	-
<i>Sp4C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	63 400	75 722	2,17	0,62	568,76	0	0,62
<i>Sp4C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	63 360	75 918	2,51	0	34,18	-	-
<i>Sp4C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	63 400	75 958	2,59	0,62	17,64	0	0,62
<i>Sp4C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	63 360	76 154	2,56	0,62	30,87	0	0,62
<i>Sp4C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	63 400	76 194	2,06	0	73,20	-	-
<i>Sp4C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	63 360	76 862	3,10	0	543,69	-	-
<i>Sp4C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	63 400	76 902	3,15	0,62	280,96	0	0,62
Semana de planeamento: 19-23 Março 2007							
<i>Sp5C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	62 900	74 512	2,01	0	8,11	-	-
<i>Sp5C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	62 930	74 542	2,29	0	56,22	-	-
<i>Sp5C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	62 900	74 512	2,36	0	34,12	-	-
<i>Sp5C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	62 930	74 542	2,75	0	304,64	-	-
<i>Sp5C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	62 900	74 984	2,01	0	32,78	-	-
<i>Sp5C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	62 930	75 014	2,11	0	105,50	-	-
<i>Sp5C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	62 900	76 164	2,12	0	9,73	-	-
<i>Sp5C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	62 930	76 194	2,50	0	216,87	-	-
Semana de planeamento: 26-30 Março 2007							
<i>Sp6C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	65 025	76 175	2,71	0,62	118,7	0	0,62
<i>Sp6C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	65 060	76 210	2,82	0	466,93	-	-
<i>Sp6C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	65 025	76 175	2,95	0,62	58,55	0	0,62
<i>Sp6C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	65 060	76 210	2,79	0	446,1	-	-
<i>Sp6C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	65 025	76 883	3,01	0,62	122,62	0	0,62
<i>Sp6C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	65 060	76 918	3,29	0	377,82	-	-
<i>Sp6C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	65 025	78 063	2,73	0,62	82,43	0	0,62
<i>Sp6C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	65 060	78 098	2,78	0,62	693,71	0	0,62

*Continua na página seguinte*

Instância	Variáveis	Restrições	T. RL (seg.)	Gap SI (%)	T. até Gap SI (seg.)	T. HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 2-5 Abril 2007							
<i>Sp7C_250<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	45 560	54 700	1,12	0	98,47	-	-
<i>Sp7C_250<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	45 580	54 720	1,53	0	17,46	-	-
<i>Sp7C_300<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	45 560	54 700	1,31	0	15,99	-	-
<i>Sp7C_300<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	45 580	54 720	1,36	0	16,43	-	-
<i>Sp7C_500<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	45 560	55 267	1,45	0	98,64	-	-
<i>Sp7C_500<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	45 580	55 287	1,51	0	17,94	-	-
<i>Sp7C_1000<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	45 560	56 212	1,37	0	18,81	-	-
<i>Sp7C_1000<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	45 580	56 232	1,33	0	17,25	-	-

### Resultados médios

<i>C_250<sub>1</sub> + A_1</i>	<b>59 080</b>	<b>70 333</b>	<b>2,05</b>	<b>0,09</b>	<b>109,01</b>	<b>0</b>	<b>0,09</b>
<i>C_250<sub>2</sub> + A_2</i>	<b>59 112</b>	<b>70 365</b>	<b>2,21</b>	<b>0,09</b>	<b>165,92</b>	<b>0</b>	<b>0,09</b>
<i>C_300<sub>1</sub> + A_1</i>	<b>59 080</b>	<b>70 400</b>	<b>2,35</b>	<b>0,09</b>	<b>53,64</b>	<b>0</b>	<b>0,09</b>
<i>C_300<sub>2</sub> + A_2</i>	<b>59 112</b>	<b>70 432</b>	<b>2,25</b>	<b>0,09</b>	<b>137,00</b>	<b>0</b>	<b>0,09</b>
<i>C_500<sub>1</sub> + A_1</i>	<b>59 080</b>	<b>70 751</b>	<b>2,30</b>	<b>0,27</b>	<b>105,73</b>	<b>0</b>	<b>0,27</b>
<i>C_500<sub>2</sub> + A_2</i>	<b>59 112</b>	<b>70 783</b>	<b>2,15</b>	<b>0</b>	<b>104,07</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<i>C_1000<sub>1</sub> + A_1</i>	<b>59 080</b>	<b>71 999</b>	<b>2,33</b>	<b>0,09</b>	<b>329,01</b>	<b>0</b>	<b>0,09</b>
<i>C_1000<sub>2</sub> + A_2</i>	<b>59 112</b>	<b>72 031</b>	<b>2,38</b>	<b>0,18</b>	<b>184,77</b>	<b>0</b>	<b>0,18</b>
	<b>Média global</b>		<b>2,25</b>	<b>0,11</b>	<b>148,64</b>	<b>0</b>	<b>0,11</b>

cepto em uma das instâncias em que precisou de cerca de 25 minutos para provar a optimalidade da solução encontrada). Nas instâncias em que não foi possível provar a presença de uma solução óptima, o *gap* final obtido foi inferior a 1%, correspondendo, novamente, a uma unidade na diferença entre o limite superior e o valor objectivo da melhor solução inteira. Nestas instâncias, a heurística de melhoramento não alterou a solução fornecida pela optimização do modelo matemático no planeamento das cirurgias de ambulatório.

Os resultados finais para obtenção do plano operativo resultaram em 3,62% de *gap* total médio, com valores entre 1,49% e 7,67% (instâncias *Sp4C\_1000<sub>1</sub> + Sp4A\_287<sub>1</sub>* e

Tabela 8.7: Rentabilizar o bloco operatório - Heurística construtiva - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias electivas

Instância	T. Total (seg.)	Gap Total (%)	Instância	T. Total (seg.)	Gap Total (%)
Semana: 12-16 Fevereiro 2007			Semana: 26 Fevereiro - 2 Março 2007		
<i>Sp1C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	23,6	6,87	<i>Sp2C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	213,4	4,13
<i>Sp1C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	24,1	7,67	<i>Sp2C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	19,7	3,47
<i>Sp1C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	12,4	5,15	<i>Sp2C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	198,4	4,19
<i>Sp1C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	10,0	5,19	<i>Sp2C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	28,7	3,25
<i>Sp1C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	8,9	3,69	<i>Sp2C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	166,4	4,17
<i>Sp1C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	11,2	3,25	<i>Sp2C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	24,7	3,81
<i>Sp1C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	5,4	3,00	<i>Sp2C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	180,5	3,12
<i>Sp1C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	11,3	2,65	<i>Sp2C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	26,2	2,85
Semana: 5-9 Março 2007			Semana: 12-16 Março 2007		
<i>Sp3C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	152,7	2,92	<i>Sp4C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	156,7	7,03
<i>Sp3C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	15,0	3,54	<i>Sp4C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	570,9	7,65
<i>Sp3C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	29,2	2,97	<i>Sp4C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	36,7	5,26
<i>Sp3C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	141,7	2,90	<i>Sp4C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	20,2	3,46
<i>Sp3C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	287,0	2,42	<i>Sp4C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	33,4	2,60
<i>Sp3C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	124,3	2,35	<i>Sp4C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	75,3	2,35
<i>Sp3C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	1 469,5	1,67	<i>Sp4C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	546,8	1,49
<i>Sp3C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	53,9	2,76	<i>Sp4C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	284,1	2,20
Semana: 19-23 Março 2007			Semana: 26-30 Março 2007		
<i>Sp5C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	10,1	4,92	<i>Sp6C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	121,4	3,04
<i>Sp5C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	58,5	4,48	<i>Sp6C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	469,8	5,95
<i>Sp5C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	36,5	4,98	<i>Sp6C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	61,5	3,58
<i>Sp5C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	307,4	4,15	<i>Sp6C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	448,9	3,54
<i>Sp5C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	34,8	2,78	<i>Sp6C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	125,6	4,25
<i>Sp5C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	107,6	2,07	<i>Sp6C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	381,1	3,26
<i>Sp5C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	11,9	2,73	<i>Sp6C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	85,2	3,47
<i>Sp5C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	219,4	1,93	<i>Sp6C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	696,5	3,58

*Continua na página seguinte*

Instância	T. Total (seg.)	Gap Total (%)	Instância	T. Total (seg.)	Gap Total (%)
Semana: 2-5 Abril 2007			<b>Resultados médios</b>		
<i>Sp7C_250<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	99,6	2,83	<b><i>C_250<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i></b>	<b>111,07</b>	<b>4,53</b>
<i>Sp7C_250<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	19,0	3,34	<b><i>C_250<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i></b>	<b>168,13</b>	<b>5,16</b>
<i>Sp7C_300<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	17,3	2,59	<b><i>C_300<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i></b>	<b>55,99</b>	<b>4,10</b>
<i>Sp7C_300<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	17,8	3,69	<b><i>C_300<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i></b>	<b>139,25</b>	<b>3,74</b>
<i>Sp7C_500<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	100,1	3,34	<b><i>C_500<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i></b>	<b>108,03</b>	<b>3,32</b>
<i>Sp7C_500<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	19,5	3,14	<b><i>C_500<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i></b>	<b>106,23</b>	<b>2,89</b>
<i>Sp7C_1000<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	20,2	2,74	<b><i>C_1000<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i></b>	<b>331,33</b>	<b>2,60</b>
<i>Sp7C_1000<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	18,6	2,52	<b><i>C_1000<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i></b>	<b>187,14</b>	<b>2,64</b>
			<b>Média global</b>	<b>150,9</b>	<b>3,62</b>

*Sp1C\_250<sub>2</sub> + Sp1A\_264<sub>2</sub>*, respectivamente). Estes valores revelam-se superiores aos respectivos valores alcançados quando é utilizada a optimização do modelo como primeiro passo na fase de planeamento de cirurgias convencionais. Outra observação a destacar é o facto do *gap* total médio reduzir com o aumento da dimensão das instâncias. O tempo médio para alcançar o plano operatório final foi 150,9 segundos (2 minutos e 30 segundos).

Relativamente à metodologia anterior, a utilização da heurística construtiva, na primeira fase do planeamento, deu origem a um valor médio de *gap* total superior, tendo, no entanto, utilizado um tempo significativamente mais reduzido.

### 8.3.1.3 Heurística Híbrida

Apresentam-se agora os resultados obtidos, no planeamento de cirurgias electivas, utilizando, na fase de planeamento de cirurgias convencionais, a heurística híbrida desenvolvida na subsecção 6.2.1, com subsequente aplicação da heurística de melhoramento apresentada na subsecção 6.3.1. Estes resultados foram encontrados com o objectivo de rentabilizar a utilização do bloco operatório. Os mesmos encontram-se resumidos nas tabelas 8.8 e 8.9, respectivamente para a fase de planeamento de cirurgias convencionais e de ambulatório. E na tabela 8.10, encontram-se os resultados totais.

À semelhança da heurística construtiva, a heurística híbrida obteve igualmente uma solução admissível em todas as instâncias testadas, para a fase de planeamento de cirur-

Tabela 8.8: Rentabilizar o bloco operatório - Heurística híbrida - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias convencionais

Instância	Tempo HH (seg.)	Gap SHH (%)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 12-16 Fevereiro 2007				
<i>Sp1C_250</i> <sub>1</sub>	1,89	9,14	0	7,89
<i>Sp1C_250</i> <sub>2</sub>	0,44	10,13	0	9,74
<i>Sp1C_300</i> <sub>1</sub>	3,74	7,49	0	6,30
<i>Sp1C_300</i> <sub>2</sub>	1,21	7,42	0	6,70
<i>Sp1C_500</i> <sub>1</sub>	3,08	6,70	0	5,56
<i>Sp1C_500</i> <sub>2</sub>	0,52	4,81	0	3,70
<i>Sp1C_1000</i> <sub>1</sub>	2,06	5,81	0	4,70
<i>Sp1C_1000</i> <sub>2</sub>	0,51	4,06	0	2,88
Semana de planeamento: 26 Fevereiro - 2 Março 2007				
<i>Sp2C_250</i> <sub>1</sub>	2,52	5,90	0	5,54
<i>Sp2C_250</i> <sub>2</sub>	1,10	7,26	0	5,35
<i>Sp2C_300</i> <sub>1</sub>	3,71	5,61	0	5,26
<i>Sp2C_300</i> <sub>2</sub>	1,10	5,65	0	4,27
<i>Sp2C_500</i> <sub>1</sub>	3,56	5,77	0	5,43
<i>Sp2C_500</i> <sub>2</sub>	1,09	5,79	0	4,45
<i>Sp2C_1000</i> <sub>1</sub>	3,56	4,50	0	4,18
<i>Sp2C_1000</i> <sub>2</sub>	1,12	5,05	0	3,74
Semana de planeamento: 5-9 Março 2007				
<i>Sp3C_250</i> <sub>1</sub>	4,33	4,13	0	3,32
<i>Sp3C_250</i> <sub>2</sub>	1,43	10,79	0	8,71
<i>Sp3C_300</i> <sub>1</sub>	2,88	5,09	0	3,60
<i>Sp3C_300</i> <sub>2</sub>	1,47	6,69	0	3,07
<i>Sp3C_500</i> <sub>1</sub>	3,87	4,25	0	2,72
<i>Sp3C_500</i> <sub>2</sub>	1,44	6,81	0	2,53
<i>Sp3C_1000</i> <sub>1</sub>	3,95	3,65	0	1,95
<i>Sp3C_1000</i> <sub>2</sub>	1,42	7,00	0	3,11

*Continua na página seguinte*

Instância	Tempo HH (seg.)	Gap SHH (%)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 12-16 Março 2007				
<i>Sp4C_250</i> <sub>1</sub>	3,24	10,98	0	10,59
<i>Sp4C_250</i> <sub>2</sub>	0,46	9,21	0	8,57
<i>Sp4C_300</i> <sub>1</sub>	3,30	10,87	0	10,48
<i>Sp4C_300</i> <sub>2</sub>	0,45	6,30	0	5,47
<i>Sp4C_500</i> <sub>1</sub>	3,71	5,80	0	4,79
<i>Sp4C_500</i> <sub>2</sub>	0,42	3,95	0	3,40
<i>Sp4C_1000</i> <sub>1</sub>	3,20	4,60	0	3,62
<i>Sp4C_1000</i> <sub>2</sub>	0,39	3,10	0	2,57
Semana de planeamento: 19-23 Março 2007				
<i>Sp5C_250</i> <sub>1</sub>	3,03	9,88	0	7,88
<i>Sp5C_250</i> <sub>2</sub>	0,42	6,62	0	6,02
<i>Sp5C_300</i> <sub>1</sub>	3,09	7,91	0	5,99
<i>Sp5C_300</i> <sub>2</sub>	0,46	5,60	0	5,01
<i>Sp5C_500</i> <sub>1</sub>	3,47	6,38	0	4,68
<i>Sp5C_500</i> <sub>2</sub>	0,48	4,06	0	3,40
<i>Sp5C_1000</i> <sub>1</sub>	3,00	6,25	0	4,37
<i>Sp5C_1000</i> <sub>2</sub>	0,48	2,88	0	2,25
Semana de planeamento: 26-30 Março 2007				
<i>Sp6C_250</i> <sub>1</sub>	4,10	10,48	0	8,98
<i>Sp6C_250</i> <sub>2</sub>	0,48	7,14	0	7,14
<i>Sp6C_300</i> <sub>1</sub>	4,12	10,51	0	8,90
<i>Sp6C_300</i> <sub>2</sub>	0,48	6,12	0	5,42
<i>Sp6C_500</i> <sub>1</sub>	3,10	8,06	0	5,20
<i>Sp6C_500</i> <sub>2</sub>	0,53	5,59	0	4,80
<i>Sp6C_1000</i> <sub>1</sub>	3,09	7,63	0	4,93
<i>Sp6C_1000</i> <sub>2</sub>	0,53	5,83	0	5,05

*Continua na página seguinte*

Instância	Tempo HH (seg.)	Gap SHH (%)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 2-5 Abril 2007				
<i>Sp7C_250</i> <sub>1</sub>	3,77	7,45	0	4,56
<i>Sp7C_250</i> <sub>2</sub>	0,30	5,94	0	3,93
<i>Sp7C_300</i> <sub>1</sub>	1,73	7,86	0	4,97
<i>Sp7C_300</i> <sub>2</sub>	0,29	5,63	0	3,64
<i>Sp7C_500</i> <sub>1</sub>	3,20	7,11	0	4,31
<i>Sp7C_500</i> <sub>2</sub>	0,32	6,90	0	4,77
<i>Sp7C_1000</i> <sub>1</sub>	5,79	5,49	0	4,26
<i>Sp7C_1000</i> <sub>2</sub>	0,33	5,79	0	3,88

<b>Resultados médios</b>				
<i>C_250</i> <sub>1</sub>	<b>3,27</b>	<b>8,28</b>	<b>0</b>	<b>6,97</b>
<i>C_250</i> <sub>2</sub>	<b>0,66</b>	<b>8,16</b>	<b>0</b>	<b>7,07</b>
<i>C_300</i> <sub>1</sub>	<b>3,22</b>	<b>7,91</b>	<b>0</b>	<b>6,50</b>
<i>C_300</i> <sub>2</sub>	<b>0,78</b>	<b>6,20</b>	<b>0</b>	<b>4,80</b>
<i>C_500</i> <sub>1</sub>	<b>3,43</b>	<b>6,30</b>	<b>0</b>	<b>4,67</b>
<i>C_500</i> <sub>2</sub>	<b>0,69</b>	<b>5,42</b>	<b>0</b>	<b>3,87</b>
<i>C_1000</i> <sub>1</sub>	<b>3,52</b>	<b>5,42</b>	<b>0</b>	<b>4,00</b>
<i>C_1000</i> <sub>2</sub>	<b>0,68</b>	<b>4,82</b>	<b>0</b>	<b>3,35</b>
<b>Média global</b>	<b>2,03</b>	<b>6,56</b>	<b>0</b>	<b>5,15</b>

gias convencionais. Estas soluções foram todas obtidas em menos de 6 segundos.

Estas soluções apresentam um valor médio global de *gap* de 6,56%, variando entre 2,88% e 10,98%, nas instâncias *Sp5C\_1000*<sub>2</sub> e *Sp4C\_250*<sub>1</sub>, respectivamente. Verifica-se, novamente, que o valor mais baixo de *gap* foi obtido numa instância de maior dimensão, para a qual a optimização do modelo não conseguiu encontrar qualquer solução admissível, por falta de memória do computador. Os valores do melhor caso e do *gap* médio revelaram-se mais elevados do que os valores correspondentes na hipótese da optimização do modelo e da heurística construtiva. O pior caso é inferior ao obtido tanto na resolução do modelo como na heurística construtiva.

Tabela 8.9: Rentabilizar o bloco operatório - Heurística híbrida - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias de ambulatório

Instância	Tempo RL (seg.)	Gap SI (%)	Tempo até Gap SI (seg.)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 12-16 Fevereiro 2007					
$Sp1C_{250_1} + Sp1A_{264_1}$	2,26	0	17,57	-	-
$Sp1C_{250_2} + Sp1A_{264_2}$	2,17	0	217,46	-	-
$Sp1C_{300_1} + Sp1A_{264_1}$	2,00	0	10,28	-	-
$Sp1C_{300_2} + Sp1A_{264_2}$	2,20	0	12,78	-	-
$Sp1C_{500_1} + Sp1A_{264_1}$	2,10	0	5,91	-	-
$Sp1C_{500_2} + Sp1A_{264_2}$	2,71	0	8,16	-	-
$Sp1C_{1000_1} + Sp1A_{264_1}$	2,45	0	7,41	-	-
$Sp1C_{1000_2} + Sp1A_{264_2}$	3,00	0	11,51	-	-
Semana de planeamento: 26 Fevereiro - 2 Março 2007					
$Sp2C_{250_1} + Sp2A_{274_1}$	2,73	0	74,4	-	-
$Sp2C_{250_2} + Sp2A_{274_2}$	3,04	0	18,85	-	-
$Sp2C_{300_1} + Sp2A_{274_1}$	2,73	0	174,33	-	-
$Sp2C_{300_2} + Sp2A_{274_2}$	2,09	0	14,62	-	-
$Sp2C_{500_1} + Sp2A_{274_1}$	2,48	0	168,61	-	-
$Sp2C_{500_2} + Sp2A_{274_2}$	2,04	0	11,28	-	-
$Sp2C_{1000_1} + Sp2A_{274_1}$	2,18	0	12,20	-	-
$Sp2C_{1000_2} + Sp2A_{274_2}$	2,12	0	51,84	-	-
Semana de planeamento: 5-9 Março 2007					
$Sp3C_{250_1} + Sp3A_{265_1}$	2,56	0	316,96	-	-
$Sp3C_{250_2} + Sp3A_{265_2}$	2,09	0,63	26,38	0	0,63
$Sp3C_{300_1} + Sp3A_{265_1}$	1,97	0	156,02	-	-
$Sp3C_{300_2} + Sp3A_{265_2}$	2,00	0	215,14	-	-
$Sp3C_{500_1} + Sp3A_{265_1}$	2,43	0	158,42	-	-
$Sp3C_{500_2} + Sp3A_{265_2}$	1,90	0	242,83	-	-
$Sp3C_{1000_1} + Sp3A_{265_1}$	2,37	0	113,69	-	-
$Sp3C_{1000_2} + Sp3A_{265_2}$	1,83	0	492,59	-	-

*Continua na página seguinte*

Instância	Tempo RL (seg.)	Gap SI (%)	Tempo até Gap SI (seg.)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 12-16 Março 2007					
<i>Sp4C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	2,73	0	172,91	-	-
<i>Sp4C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	2,40	0,62	232,44	0	0,62
<i>Sp4C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	2,14	0	206,30	-	-
<i>Sp4C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	2,62	0,62	11,43	0	0,62
<i>Sp4C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	2,82	0	26,16	-	-
<i>Sp4C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	2,78	0	15,44	-	-
<i>Sp4C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	2,23	0	29,76	-	-
<i>Sp4C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	2,59	0,62	34,16	0	0,62
Semana de planeamento: 19-23 Março 2007					
<i>Sp5C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	2,42	0	85,75	-	-
<i>Sp5C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	2,25	0	61,64	-	-
<i>Sp5C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	2,11	0	88,26	-	-
<i>Sp5C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	2,63	0	94,49	-	-
<i>Sp5C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	2,51	0	10,78	-	-
<i>Sp5C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	2,78	0	397,91	-	-
<i>Sp5C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	2,67	0	35,8	-	-
<i>Sp5C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	2,76	0	118,53	-	-
Semana de planeamento: 26-30 Março 2007					
<i>Sp6C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	2,84	0,62	174,86	0	0,62
<i>Sp6C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	2,37	0,63	236,36	0	0,63
<i>Sp6C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	3,03	0,62	195,58	0	0,62
<i>Sp6C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	2,48	0	311,69	-	-
<i>Sp6C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	2,82	0,62	43,04	0	0,62
<i>Sp6C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	2,96	0	334,58	-	-
<i>Sp6C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	2,70	0,62	23,09	0	0,62
<i>Sp6C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	2,90	0,63	224,98	0	0,63

*Continua na página seguinte*

Instância	Tempo RL (seg.)	Gap SI (%)	Tempo até Gap SI (seg.)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 2-5 Abril 2007					
<i>Sp7C_250<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	1,25	0	12,34	-	-
<i>Sp7C_250<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	1,51	0	18,92	-	-
<i>Sp7C_300<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	1,25	0	105,54	-	-
<i>Sp7C_300<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	1,37	0	22,6	-	-
<i>Sp7C_500<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	1,28	0	16,29	-	-
<i>Sp7C_500<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	1,31	0	16,16	-	-
<i>Sp7C_1000<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	1,33	0	17,39	-	-
<i>Sp7C_1000<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	1,34	0	147,01	-	-

### Resultados médios

<i>C_250<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i>	<b>2,40</b>	<b>0,09</b>	<b>122,11</b>	<b>0</b>	<b>0,09</b>
<i>C_250<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i>	<b>2,26</b>	<b>0,27</b>	<b>116,01</b>	<b>0</b>	<b>0,27</b>
<i>C_300<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i>	<b>2,18</b>	<b>0,09</b>	<b>133,76</b>	<b>0</b>	<b>0,09</b>
<i>C_300<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i>	<b>2,20</b>	<b>0,09</b>	<b>97,54</b>	<b>0</b>	<b>0,09</b>
<i>C_500<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i>	<b>2,35</b>	<b>0,09</b>	<b>61,32</b>	<b>0</b>	<b>0,09</b>
<i>C_500<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i>	<b>2,35</b>	<b>0</b>	<b>146,62</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<i>C_1000<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i>	<b>2,28</b>	<b>0,09</b>	<b>34,19</b>	<b>0</b>	<b>0,09</b>
<i>C_1000<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i>	<b>2,36</b>	<b>0,18</b>	<b>154,37</b>	<b>0</b>	<b>0,18</b>
<b>Média global</b>	<b>2,30</b>	<b>0,11</b>	<b>108,24</b>	<b>0</b>	<b>0,11</b>

Comparando individualmente estas soluções com as soluções obtidas através do modelo, nas 35 instâncias em que a resolução do modelo obteve uma solução admissível, a heurística híbrida teve pior valor de *gap* em 25 (71%), e melhor valor em 10 destas instâncias. Esta heurística originou, em média, mais 4,98 pontos percentuais no valor do *gap*, nas instâncias com pior valor de *gap*, e, em média, menos 2,72 pontos percentuais no mesmo valor, nas instâncias em que conseguiu melhores resultados.

Numa análise semelhante, relativamente às soluções obtidas através da heurística construtiva, e, portanto, agora sobre todas as instâncias em teste na fase de planeamento de cirurgias convencionais, é possível verificar que a heurística híbrida originou

pior valor de *gap* em 50 instâncias (89%), e melhor valor em apenas 6 instâncias. Nas instâncias em que a heurística híbrida obteve piores resultados, o valor do *gap* foi, em média, superior em 2,4 pontos percentuais, e naquelas em que alcançou melhores resultados, este valor foi, em média, inferior em 1,14 pontos percentuais.

Nota-se que, na heurística híbrida, a parte da solução que é otimizada corresponde exclusivamente à marcação de todas as cirurgias classificadas como Urgência Diferida. No caso da heurística construtiva, esta marcação verifica-se também na totalidade, embora seja realizada através de uma metodologia heurística. Neste sentido, pode, então, dizer-se que esta parte da solução está também otimizada, quando é obtida pela heurística construtiva. O facto da heurística híbrida utilizar, em sequência, duas metodologias distintas no planeamento de cirurgias convencionais, perde o óptimo global, podendo deste modo justificar-se a obtenção de piores resultados médios relativamente à heurística construtiva.

Uma vez que a heurística híbrida gerou uma solução admissível em todas as instâncias testadas para a fase de planeamento de cirurgias convencionais, a heurística de melhoramento foi novamente utilizada em todas elas e obteve sempre, tal como anteriormente, um tempo de resolução de zero segundos. A heurística de melhoramento permitiu melhorar o valor do *gap*, obtido nas soluções da heurística híbrida, em 55 casos (98%). O valor médio de *gap* obtido após a heurística de melhoramento baixou para 5,15%, variando agora entre 1,95% e 10,59%, para as instâncias *Sp3C\_1000<sub>1</sub>* e *Sp4C\_250<sub>1</sub>*, respectivamente. Estes valores revelam-se mais elevados do que os valores correspondentes na optimização do modelo e na heurística construtiva. A heurística de melhoramento melhorou, em média, 22,65% o valor do *gap* obtido nas 55 soluções da heurística híbrida em que a melhoria se verificou.

Apesar da heurística de melhoramento ter aumentado o valor da função objectivo em mais instâncias do que nas duas situações anteriores, a melhoria média foi inferior ao observado no desempenho da mesma heurística sobre as soluções obtidas através da optimização do modelo ou sobre as soluções da heurística construtiva, na mesma fase de planeamento.

Relativamente à qualidade das soluções obtidas no planeamento de cirurgias convencionais, o valor médio de *gap*, assim como o pior caso, são superiores aos respectivos valores das soluções obtidas com a resolução do modelo e com a heurística construtiva.

Tabela 8.10: Rentabilizar o bloco operatório - Heurística híbrida - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias electivas

Instância	T. Total (seg.)	Gap Total (%)	Instância	T. Total (seg.)	Gap Total (%)
Semana: 12-16 Fevereiro 2007			Semana: 26 Fevereiro - 2 Março 2007		
<i>Sp1C_250<sub>1</sub> + Sp1A_264<sub>1</sub></i>	21,7	6,67	<i>Sp2C_250<sub>1</sub> + Sp2A_274<sub>1</sub></i>	79,7	4,72
<i>Sp1C_250<sub>2</sub> + Sp1A_264<sub>2</sub></i>	220,1	8,20	<i>Sp2C_250<sub>2</sub> + Sp2A_274<sub>2</sub></i>	23,0	4,55
<i>Sp1C_300<sub>1</sub> + Sp1A_264<sub>1</sub></i>	16,0	5,35	<i>Sp2C_300<sub>1</sub> + Sp2A_274<sub>1</sub></i>	180,8	4,49
<i>Sp1C_300<sub>2</sub> + Sp1A_264<sub>2</sub></i>	16,2	5,69	<i>Sp2C_300<sub>2</sub> + Sp2A_274<sub>2</sub></i>	17,8	3,64
<i>Sp1C_500<sub>1</sub> + Sp1A_264<sub>1</sub></i>	11,1	4,73	<i>Sp2C_500<sub>1</sub> + Sp2A_274<sub>1</sub></i>	174,7	4,65
<i>Sp1C_500<sub>2</sub> + Sp1A_264<sub>2</sub></i>	11,4	3,16	<i>Sp2C_500<sub>2</sub> + Sp2A_274<sub>2</sub></i>	14,4	3,81
<i>Sp1C_1000<sub>1</sub> + Sp1A_264<sub>1</sub></i>	11,9	4,01	<i>Sp2C_1000<sub>1</sub> + Sp2A_274<sub>1</sub></i>	17,9	3,58
<i>Sp1C_1000<sub>2</sub> + Sp1A_264<sub>2</sub></i>	15,0	2,47	<i>Sp2C_1000<sub>2</sub> + Sp2A_274<sub>2</sub></i>	55,1	3,21
Semana: 5-9 Março 2007			Semana: 12-16 Março 2007		
<i>Sp3C_250<sub>1</sub> + Sp3A_265<sub>1</sub></i>	323,9	2,82	<i>Sp4C_250<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	178,9	8,91
<i>Sp3C_250<sub>2</sub> + Sp3A_265<sub>2</sub></i>	29,9	7,44	<i>Sp4C_250<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	235,3	7,33
<i>Sp3C_300<sub>1</sub> + Sp3A_265<sub>1</sub></i>	160,9	3,06	<i>Sp4C_300<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	211,7	8,83
<i>Sp3C_300<sub>2</sub> + Sp3A_265<sub>2</sub></i>	218,6	2,61	<i>Sp4C_300<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	14,5	4,73
<i>Sp3C_500<sub>1</sub> + Sp3A_265<sub>1</sub></i>	164,7	2,33	<i>Sp4C_500<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	32,7	4,08
<i>Sp3C_500<sub>2</sub> + Sp3A_265<sub>2</sub></i>	246,2	2,17	<i>Sp4C_500<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	18,6	2,91
<i>Sp3C_1000<sub>1</sub> + Sp3A_265<sub>1</sub></i>	120,0	1,67	<i>Sp4C_1000<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	35,2	3,10
<i>Sp3C_1000<sub>2</sub> + Sp3A_265<sub>2</sub></i>	495,8	2,68	<i>Sp4C_1000<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	37,1	2,29
Semana: 19-23 Março 2007			Semana: 26-30 Março 2007		
<i>Sp5C_250<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	91,2	6,64	<i>Sp6C_250<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	181,8	7,69
<i>Sp5C_250<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	64,3	5,08	<i>Sp6C_250<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	239,2	6,15
<i>Sp5C_300<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	93,5	5,08	<i>Sp6C_300<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	202,7	7,63
<i>Sp5C_300<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	97,6	4,25	<i>Sp6C_300<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	314,7	4,61
<i>Sp5C_500<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	16,8	3,99	<i>Sp6C_500<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	49,0	4,53
<i>Sp5C_500<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	401,2	2,90	<i>Sp6C_500<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	338,1	4,11
<i>Sp5C_1000<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	41,5	3,73	<i>Sp6C_1000<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	28,9	4,31
<i>Sp5C_1000<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	121,8	1,93	<i>Sp6C_1000<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	228,4	4,42

*Continua na página seguinte*

Instância	T. Total (seg.)	Gap Total (%)	Instância	T. Total (seg.)	Gap Total (%)
Semana: 2-5 Abril 2007			<b>Resultados médios</b>		
<i>Sp7C_250<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	17,4	3,89	<b><i>C_250<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i></b>	<b>127,8</b>	<b>5,91</b>
<i>Sp7C_250<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	20,7	3,34	<b><i>C_250<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i></b>	<b>118,9</b>	<b>6,01</b>
<i>Sp7C_300<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	108,5	4,23	<b><i>C_300<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i></b>	<b>139,2</b>	<b>5,52</b>
<i>Sp7C_300<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	24,3	3,10	<b><i>C_300<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i></b>	<b>100,5</b>	<b>4,09</b>
<i>Sp7C_500<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	20,8	3,69	<b><i>C_500<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i></b>	<b>67,1</b>	<b>4,00</b>
<i>Sp7C_500<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	17,8	4,07	<b><i>C_500<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i></b>	<b>149,7</b>	<b>3,30</b>
<i>Sp7C_1000<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	24,5	3,65	<b><i>C_1000<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i></b>	<b>40,0</b>	<b>3,44</b>
<i>Sp7C_1000<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	148,7	3,32	<b><i>C_1000<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i></b>	<b>157,4</b>	<b>2,90</b>
			<b>Média global</b>	<b>112,6</b>	<b>4,40</b>

Em relação às 35 instâncias em que a resolução do modelo conseguiu obter uma solução admissível, a heurística híbrida originou pior valor de *gap* final em 28 (80%), e melhor valor em apenas 7 destas instâncias. Nas instâncias em que originou pior valor de *gap* final, a diferença média foi de 3,47 pontos percentuais, e nas que obteve melhor resultado, a diferença foi, em média, 1,28 pontos percentuais.

Relativamente às soluções obtidas para o planeamento de cirurgias convencionais através da heurística construtiva, a heurística híbrida deu origem a um pior valor de *gap* final em 47 (84%), e conseguiu melhor valor em apenas 9 instâncias. Nas instâncias em que originou pior valor de *gap* final, a diferença média foi de 1,28 pontos percentuais, e nas que obteve melhor resultado, a diferença foi, em média, 0,27 pontos percentuais.

Com base na presente metodologia, os resultados obtidos no planeamento de cirurgias de ambulatório são idênticos aos das duas metodologias anteriores. Foi possível obter uma solução óptima em 82% das instâncias, em menos de nove minutos. Nas dez instâncias em que não foi possível provar a optimalidade da melhor solução inteira, o *gap* foi novamente inferior a 1% e com uma unidade de diferença entre o limite superior e o valor objectivo dessa solução. Mais uma vez a heurística de melhoramento não produziu qualquer efeito sobre estas soluções.

A presente metodologia originou um valor médio de *gap* total para o planeamento de cirurgias electivas de 4,4%, com valores entre 1,67% e 8,91% (nas instâncias *Sp3C\_1000<sub>1</sub>+*

$Sp3A_{265_1}$  e  $Sp4C_{250_1} + Sp4A_{287_1}$ , respectivamente). À semelhança do que foi observado para a heurística construtiva, em média, o valor total do *gap* reduz com o aumento da dimensão das instâncias. O tempo médio para obtenção do plano operativo foi, nesta metodologia, de 112,6 segundos (1 minuto e 52 segundos).

Relativamente às duas metodologias anteriores, a heurística híbrida utilizou um tempo na mesma ordem de grandeza da heurística construtiva, apesar de ligeiramente inferior, obtendo, no entanto, um valor médio de *gap* total superior.

### 8.3.2 Reduzir a Lista de Espera para Cirurgia

Apresentam-se, agora, os resultados obtidos no planeamento de cirurgias electivas, com base nas três metodologias desenvolvidas para a fase de planeamento de cirurgias convencionais, quando se considera a redução da lista de espera para cirurgia como objectivo para o planeamento.

#### 8.3.2.1 Optimização do Modelo Matemático

As tabelas 8.11 e 8.12 apresentam, respectivamente, os resultados obtidos na fase de planeamento de cirurgias convencionais e de ambulatório, através da resolução do modelo desenvolvido no capítulo 5 e posterior aplicação da heurística de melhoramento descrita na secção 8.3.2.3, no caso em que se pretende reduzir a lista de espera para cirurgia. Os resultados totais do planeamento de cirurgias electivas encontram-se na tabela 8.13.

Os conjuntos de soluções admissíveis dos modelos desenvolvidos para o planeamento de cirurgias convencionais e de ambulatório, no caso se pretender reduzir a lista de espera para cirurgia, coincidem com os conjuntos de soluções admissíveis dos respectivos modelos na hipótese de rentabilizar a utilização do bloco operativo. Apenas a função objectivo os distingue. Assim, o número de variáveis e restrições dos modelos no planeamento de cirurgias convencionais e de ambulatório, para a redução da lista de espera para cirurgia, coincidem com os respectivos valores apresentados nas tabelas 8.2 e 8.3, pelo que foram omitidos das tabelas 8.11 e 8.12.

As observações referidas na subsecção anterior, sobre a dimensão de ambos os modelos, são, por este motivo, igualmente válidas para o caso em que o objectivo é reduzir

Tabela 8.11: Reduzir a lista de espera para cirurgia - Modelo matemático - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias convencionais

Instância	Tempo RL (seg.)	Gap SI (%)	Tempo até Gap SI (seg.)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 12-16 Fevereiro 2007					
<i>Sp1C_250</i> <sub>1</sub>	373,95	17,47	20 289,2	0	9,55
<i>Sp1C_250</i> <sub>2</sub>	395,70	15,70	6 720,18	0	13,07
<i>Sp1C_300</i> <sub>1</sub>	584,83	9,09	24 352,1	0	5,15
<i>Sp1C_300</i> <sub>2</sub>	489,33	3,47	19 606,9	0	2,96
<i>Sp1C_500</i> <sub>1</sub>	1 009,83	o.m.	-	-	-
<i>Sp1C_500</i> <sub>2</sub>	746,29	o.m.	-	-	-
<i>Sp1C_1000</i> <sub>1</sub>	1 281,14	o.m.	-	-	-
<i>Sp1C_1000</i> <sub>2</sub>	984,57	o.m.	-	-	-
Semana de planeamento: 26 Fevereiro - 2 Março 2007					
<i>Sp2C_250</i> <sub>1</sub>	425,70	3,91	21 803,2	0	2,76
<i>Sp2C_250</i> <sub>2</sub>	414,01	2,15	25 232,8	0	2,15
<i>Sp2C_300</i> <sub>1</sub>	541,15	14,37	13 983	0	8,74
<i>Sp2C_300</i> <sub>2</sub>	543,01	2,53	27 274,7	0	2,01
<i>Sp2C_500</i> <sub>1</sub>	569,01	o.m.	-	-	-
<i>Sp2C_500</i> <sub>2</sub>	631,93	o.m.	-	-	-
<i>Sp2C_1000</i> <sub>1</sub>	1 257,71	o.m.	-	-	-
<i>Sp2C_1000</i> <sub>2</sub>	1 447,91	o.m.	-	-	-
Semana de planeamento: 5-9 Março 2007					
<i>Sp3C_250</i> <sub>1</sub>	441,67	4,89	11 675,3	0	4,89
<i>Sp3C_250</i> <sub>2</sub>	399,77	14,53	12 420,5	0	8,84
<i>Sp3C_300</i> <sub>1</sub>	544,80	5,26	27 954,4	0	4,17
<i>Sp3C_300</i> <sub>2</sub>	542,95	12,09	19 680,60	0	9,09
<i>Sp3C_500</i> <sub>1</sub>	727,74	o.m.	-	-	-
<i>Sp3C_500</i> <sub>2</sub>	650,52	o.m.	-	-	-
<i>Sp3C_1000</i> <sub>1</sub>	1 134,22	o.m.	-	-	-
<i>Sp3C_1000</i> <sub>2</sub>	1 736,43	o.m.	-	-	-

*Continua na página seguinte*

Instância	Tempo RL (seg.)	Gap SI (%)	Tempo até Gap SI (seg.)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 12-16 Março 2007					
<i>Sp4C_250</i> <sub>1</sub>	446,27	1,60	15 315	0	1,60
<i>Sp4C_250</i> <sub>2</sub>	422,89	3,14	11 577,2	0	2,60
<i>Sp4C_300</i> <sub>1</sub>	572,18	5,82	3 444,3	0	5,26
<i>Sp4C_300</i> <sub>2</sub>	609,99	19,88	583,16	0	12,02
<i>Sp4C_500</i> <sub>1</sub>	642,69	o.m.	-	-	-
<i>Sp4C_500</i> <sub>2</sub>	698,46	4,52	11 123,80	0	4,52
<i>Sp4C_1000</i> <sub>1</sub>	1 044,05	o.m.	-	-	-
<i>Sp4C_1000</i> <sub>2</sub>	1 305,10	o.m.	-	-	-
Semana de planeamento: 19-23 Março 2007					
<i>Sp5C_250</i> <sub>1</sub>	413,92	3,21	3 441,05	0	2,66
<i>Sp5C_250</i> <sub>2</sub>	405,02	1,54	15 756,3	0	1,54
<i>Sp5C_300</i> <sub>1</sub>	544,24	5,15	10 810,2	0	4,08
<i>Sp5C_300</i> <sub>2</sub>	515,60	0,97	13 691	0	0,97
<i>Sp5C_500</i> <sub>1</sub>	1 338,86	3,72	6 592,27	0	3,72
<i>Sp5C_500</i> <sub>2</sub>	682,05	3,11	12 915,10	0	2,65
<i>Sp5C_1000</i> <sub>1</sub>	1 207,4	o.m.	-	-	-
<i>Sp5C_1000</i> <sub>2</sub>	834,61	o.m.	-	-	-
Semana de planeamento: 26-30 Março 2007					
<i>Sp6C_250</i> <sub>1</sub>	431,84	12,20	11 068,70	0	10,84
<i>Sp6C_250</i> <sub>2</sub>	405,60	2,16	17 388,1	0	2,16
<i>Sp6C_300</i> <sub>1</sub>	593,29	6,49	29 939,40	0	6,49
<i>Sp6C_300</i> <sub>2</sub>	525,64	3,05	27 575,10	0	3,05
<i>Sp6C_500</i> <sub>1</sub>	1 291,63	o.m.	-	-	-
<i>Sp6C_500</i> <sub>2</sub>	1 219,76	5,16	20 212,5	0	4,67
<i>Sp6C_1000</i> <sub>1</sub>	1 237,76	o.m.	-	-	-
<i>Sp6C_1000</i> <sub>2</sub>	1 008,03	o.m.	-	-	-

*Continua na página seguinte*

Instância	Tempo RL (seg.)	Gap SI (%)	Tempo até Gap SI (seg.)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 2-5 Abril 2007					
<i>Sp7C_250</i> <sub>1</sub>	278,68	1,90	23 052,80	0	1,90
<i>Sp7C_250</i> <sub>2</sub>	265,75	1,23	29 016,30	0	1,23
<i>Sp7C_300</i> <sub>1</sub>	319,04	1,20	27 302,20	0	1,20
<i>Sp7C_300</i> <sub>2</sub>	364,85	3,57	16 121,80	0	3,57
<i>Sp7C_500</i> <sub>1</sub>	309,88	3,35	4 022,61	0	2,78
<i>Sp7C_500</i> <sub>2</sub>	345,59	4,28	11 966,00	0	4,28
<i>Sp7C_1000</i> <sub>1</sub>	662,04	o.m.	-	-	-
<i>Sp7C_1000</i> <sub>2</sub>	441,19	o.m.	-	-	-

#### Resultados médios

<i>C_250</i> <sub>1</sub>	<b>401,72</b>	<b>6,45</b>	<b>15 235,04</b>	<b>0</b>	<b>4,89</b>
<i>C_250</i> <sub>2</sub>	<b>386,96</b>	<b>5,78</b>	<b>16 873,05</b>	<b>0</b>	<b>4,51</b>
<i>C_300</i> <sub>1</sub>	<b>528,50</b>	<b>6,77</b>	<b>19 683,66</b>	<b>0</b>	<b>5,01</b>
<i>C_300</i> <sub>2</sub>	<b>513,05</b>	<b>6,51</b>	<b>17 790,47</b>	<b>0</b>	<b>4,81</b>
<i>C_500</i> <sub>1</sub>	<b>841,38</b>	<b>3,54</b>	<b>5 307,44</b>	<b>0</b>	<b>3,25</b>
<i>C_500</i> <sub>2</sub>	<b>710,66</b>	<b>4,27</b>	<b>14 054,35</b>	<b>0</b>	<b>4,03</b>
<i>C_1000</i> <sub>1</sub>	<b>1 117,76</b>	-	-	-	-
<i>C_1000</i> <sub>2</sub>	<b>1 108,26</b>	-	-	-	-
<b>Média global</b>	<b>701,04</b>	<b>5,96</b>	<b>14 824,00</b>	<b>0</b>	<b>4,62</b>

o.m. - *out of memory*

a lista de espera para cirurgia.

De igual modo ao observado na secção anterior (8.3.1.1), também aqui a resolução do modelo não conseguiu alcançar uma solução óptima em qualquer das instâncias testadas, dentro do tempo previamente estabelecido (30 000 segundos), na fase de planeamento de cirurgias convencionais. Por outro lado, e ainda nesta fase do planeamento, a optimização do modelo apenas conseguiu obter uma solução inteira admissível em 60,7% das instâncias em teste. Isto não aconteceu em todas as instâncias em que foram consideradas 1 000 cirurgias convencionais e em cerca de metade das instâncias que con-

Tabela 8.12: Reduzir a lista de espera para cirurgia - Modelo matemático - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias de ambulatório

Instância	Tempo RL (seg.)	Gap SI (%)	Tempo até Gap SI (seg.)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 12-16 Fevereiro 2007					
$Sp1C_{250_1} + Sp1A_{264_1}$	1,53	0	79,39	-	-
$Sp1C_{250_2} + Sp1A_{264_2}$	1,29	0	29,36	-	-
$Sp1C_{300_1} + Sp1A_{264_1}$	1,23	1,75	70,84	0	1,75
$Sp1C_{300_2} + Sp1A_{264_2}$	1,37	0	31,31	-	-
Semana de planeamento: 26 Fevereiro - 2 Março 2007					
$Sp2C_{250_1} + Sp2A_{274_1}$	1,72	0	8 978,62	-	-
$Sp2C_{250_2} + Sp2A_{274_2}$	1,61	1,69	8,83	0	1,69
$Sp2C_{300_1} + Sp2A_{274_1}$	1,87	0	7,49	-	-
$Sp2C_{300_2} + Sp2A_{274_2}$	1,58	0	10,98	-	-
Semana de planeamento: 5-9 Março 2007					
$Sp3C_{250_1} + Sp3A_{265_1}$	1,48	0	9,78	-	-
$Sp3C_{250_2} + Sp3A_{265_2}$	1,48	0	9,70	-	-
$Sp3C_{300_1} + Sp3A_{265_1}$	1,54	0	10,82	-	-
$Sp3C_{300_2} + Sp3A_{265_2}$	1,44	0	9,58	-	-
Semana de planeamento: 12-16 Março 2007					
$Sp4C_{250_1} + Sp4A_{287_1}$	1,73	0	9,24	-	-
$Sp4C_{250_2} + Sp4A_{287_2}$	1,76	0	8,50	-	-
$Sp4C_{300_1} + Sp4A_{287_1}$	1,92	0	7,55	-	-
$Sp4C_{300_2} + Sp4A_{287_2}$	1,56	0	9,31	-	-
$Sp4C_{500_2} + Sp4A_{287_2}$	1,89	0	9,98	-	-
Semana de planeamento: 19-23 Março 2007					
$Sp5C_{250_1} + Sp5A_{285_1}$	1,47	0	8,55	-	-
$Sp5C_{250_2} + Sp5A_{285_2}$	1,93	0	5,54	-	-

*Continua na página seguinte*

Instância	Tempo RL (seg.)	Gap SI (%)	Tempo até Gap SI (seg.)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
$Sp5C_{300_1} + Sp5A_{285_1}$	1,78	0	13,24	-	-
$Sp5C_{300_2} + Sp5A_{285_2}$	1,79	0	8,94	-	-
$Sp5C_{500_1} + Sp5A_{285_1}$	1,40	0	8,52	-	-
$Sp5C_{500_2} + Sp5A_{285_2}$	1,53	0	9,23	-	-
Semana de planeamento: 26-30 Março 2007					
$Sp6C_{250_1} + Sp6A_{295_1}$	1,62	0	7,46	-	-
$Sp6C_{250_2} + Sp6A_{295_2}$	1,65	0	10,20	-	-
$Sp6C_{300_1} + Sp6A_{295_1}$	2,01	0	5,96	-	-
$Sp6C_{300_2} + Sp6A_{295_2}$	1,70	0	5,01	-	-
$Sp6C_{500_2} + Sp6A_{295_2}$	1,62	0	7,38	-	-
Semana de planeamento: 2-5 Abril 2007					
$Sp7C_{250_1} + Sp7A_{258_1}$	0,97	0	7,63	-	-
$Sp7C_{250_2} + Sp7A_{258_2}$	1,03	0	10,26	-	-
$Sp7C_{300_1} + Sp7A_{258_1}$	0,78	0	4,82	-	-
$Sp7C_{300_2} + Sp7A_{258_2}$	0,98	0	6,43	-	-
$Sp7C_{500_1} + Sp7A_{258_1}$	0,61	0	4,40	-	-
$Sp7C_{500_2} + Sp7A_{258_2}$	0,87	0	6,66	-	-
<b>Resultados médios</b>					
$C_{250_1} + A_{-1}$	<b>1,50</b>	<b>0</b>	<b>1 300,10</b>	-	-
$C_{250_2} + A_{-2}$	<b>1,54</b>	<b>0,24</b>	<b>11,77</b>	<b>0</b>	<b>0,24</b>
$C_{300_1} + A_{-1}$	<b>1,59</b>	<b>0,25</b>	<b>17,25</b>	<b>0</b>	<b>0,25</b>
$C_{300_2} + A_{-2}$	<b>1,49</b>	<b>0</b>	<b>11,65</b>	-	-
$C_{500_1} + A_{-1}$	<b>1,01</b>	<b>0</b>	<b>6,46</b>	-	-
$C_{500_2} + A_{-2}$	<b>1,48</b>	<b>0</b>	<b>8,31</b>	-	-
<b>Média global</b>	<b>1,43</b>	<b>0,10</b>	<b>225,92</b>	<b>0</b>	<b>0,10</b>

sideraram 500 cirurgias convencionais. Ambas as situações por falta de memória do computador. Nestes casos, a abordagem de solução sugere a posterior aplicação de uma

das heurísticas, construtiva ou híbrida, de modo a tentar obter um plano de cirurgias convencionais admissível. Em todas as restantes semanas foi alcançada uma solução inteira admissível dentro do tempo estabelecido.

Nestas instâncias, as soluções inteiras admissíveis obtidas através da optimização do modelo desenvolvido apresentam um valor médio de *gap* de 5,96%, variando entre 0,97% e 19,88% (quinta e quarta semana de planeamento, respectivamente). Relativamente aos valores observados para o objectivo de rentabilizar o bloco operatório, pode verificar-se agora um aumento do valor médio de *gap* em 1,51 pontos percentuais, mostrando, assim, maiores dificuldades de resolução com o objectivo de maximização do número de cirurgias marcadas.

Relativamente aos resultados obtidos através da optimização do modelo, foi novamente a última semana de planeamento a originar os melhores resultados médios no valor do *gap*, nesta fase do planeamento.

Uma vez que não foi obtida uma solução óptima em nenhuma das instâncias da fase de planeamento de cirurgias convencionais, a heurística de melhoramento foi aplicada em todas as instâncias onde a resolução do modelo deu origem a uma solução inteira admissível. Em todas elas, a heurística de melhoramento conseguiu um tempo de resolução de zero segundos, tendo melhorado o valor do *gap* das soluções obtidas com a resolução do modelo em 19 (56%) dessas instâncias. A percentagem média de redução no valor do *gap*, nestas 19 instâncias, foi 23,7%. A heurística de melhoramento, neste caso, melhorou menos instâncias e conseguiu uma percentagem média de redução, no valor do *gap*, inferior relativamente ao desempenho da heurística de melhoramento sobre as soluções obtidas através da optimização do modelo com o objectivo anterior.

A utilização da heurística de melhoramento permitiu, neste caso, baixar o valor médio de *gap* para 4,62%, variando agora entre 0,97% e 13,07% (quinta e primeira semanas de planeamento, respectivamente). Novamente, verifica-se que a heurística de melhoramento conseguiu melhores resultados nas instâncias com maior valor de *gap* na solução obtida através da resolução do modelo.

Na fase de planeamento de cirurgias de ambulatório, a optimização do modelo permitiu alcançar uma solução óptima na quase totalidade das instâncias testadas (94%), em menos de 14 segundos (excepto na primeira semana, em que demorou menos de 80

Tabela 8.13: Reduzir a lista de espera para cirurgia - Modelo matemático - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias electivas

Instância	T. Total (seg.)	Gap Total (%)	Instância	T. Total (seg.)	Gap Total (%)
Semana: 12-16 Fevereiro 2007			Semana: 26 Fevereiro - 2 Março 2007		
$Sp1C_{250_1} + Sp1A_{264_1}$	20 744,1	7,23	$Sp2C_{250_1} + Sp2A_{274_1}$	31 207,5	2,08
$Sp1C_{250_2} + Sp1A_{264_2}$	7 146,5	9,83	$Sp2C_{250_2} + Sp2A_{274_2}$	25 655,6	2,04
$Sp1C_{300_1} + Sp1A_{264_1}$	25 009,0	4,38	$Sp2C_{300_1} + Sp2A_{274_1}$	14 531,6	6,58
$Sp1C_{300_2} + Sp1A_{264_2}$	20 128,9	2,30	$Sp2C_{300_2} + Sp2A_{274_2}$	27 828,7	1,54
Semana: 5-9 Março 2007			Semana: 12-16 Março 2007		
$Sp3C_{250_1} + Sp3A_{265_1}$	12 126,8	3,69	$Sp4C_{250_1} + Sp4A_{287_1}$	15 770,5	1,21
$Sp3C_{250_2} + Sp3A_{265_2}$	12 830,0	6,64	$Sp4C_{250_2} + Sp4A_{287_2}$	12 008,6	1,98
$Sp3C_{300_1} + Sp3A_{265_1}$	28 510,0	3,17	$Sp4C_{300_1} + Sp4A_{287_1}$	4 024,0	4,00
$Sp3C_{300_2} + Sp3A_{265_2}$	20 233,1	6,88	$Sp4C_{300_2} + Sp4A_{287_2}$	1 202,5	9,05
			$Sp4C_{500_2} + Sp4A_{287_2}$	11 832,2	3,56
Semana: 19-23 Março 2007			Semana: 26-30 Março 2007		
$Sp5C_{250_1} + Sp5A_{285_1}$	3 863,5	2,02	$Sp6C_{250_1} + Sp6A_{295_1}$	11 508,0	7,96
$Sp5C_{250_2} + Sp5A_{285_2}$	16 166,9	1,18	$Sp6C_{250_2} + Sp6A_{295_2}$	17 803,9	1,63
$Sp5C_{300_1} + Sp5A_{285_1}$	11 367,7	3,13	$Sp6C_{300_1} + Sp6A_{295_1}$	30 538,7	4,90
$Sp5C_{300_2} + Sp5A_{285_2}$	14 215,5	0,75	$Sp6C_{300_2} + Sp6A_{295_2}$	28 105,8	2,33
$Sp5C_{500_1} + Sp5A_{285_1}$	7 939,7	2,91	$Sp6C_{500_2} + Sp6A_{295_2}$	21 439,6	3,65
$Sp5C_{500_2} + Sp5A_{285_2}$	13 606,4	2,10			
Semana: 2-5 Abril 2007			<b>Resultados médios</b>		
$Sp7C_{250_1} + Sp7A_{258_1}$	23 339,1	1,46	$C_{250_1} + A_{-1}$	<b>16 937,1</b>	<b>3,66</b>
$Sp7C_{250_2} + Sp7A_{258_2}$	29 292,3	0,95	$C_{250_2} + A_{-2}$	<b>17 272,0</b>	<b>3,46</b>
$Sp7C_{300_1} + Sp7A_{258_1}$	27 626,1	0,93	$C_{300_1} + A_{-1}$	<b>20 229,6</b>	<b>3,87</b>
$Sp7C_{300_2} + Sp7A_{258_2}$	16 493,1	2,78	$C_{300_2} + A_{-2}$	<b>18 315,4</b>	<b>3,66</b>
$Sp7C_{500_1} + Sp7A_{258_1}$	4 336,9	2,19	$C_{500_1} + A_{-1}$	<b>6 138,3</b>	<b>2,55</b>
$Sp7C_{500_2} + Sp7A_{258_2}$	12 318,3	3,40	$C_{500_2} + A_{-2}$	<b>14 799,1</b>	<b>3,18</b>
			<b>Média global</b>	<b>17 080,9</b>	<b>3,54</b>

segundos, e na instância  $Sp2C_{250_1} + Sp2A_{274_1}$ , em que demorou cerca de 2 horas e meia para provar a optimalidade da solução). Nas instâncias em que não foi provada a existência de uma solução óptima, o pior *gap* obtido foi 1,75%, e apenas aconteceu em duas instâncias ( $Sp1C_{300_1} + Sp1A_{264_1}$  e  $Sp2C_{250_2} + Sp2A_{274_2}$ ), correspondendo, novamente, a uma diferença de uma unidade entre o valor do limite superior e o valor objectivo da melhor solução inteira encontrada. Contrariamente à fase de planeamento de cirurgias convencionais, a fase de planeamento de cirurgias de ambulatório obteve melhores resultados, e mais rapidamente, no objectivo de maximizar o número de cirurgias marcadas em comparação com a mesma fase na hipótese de rentabilizar o bloco operatório do hospital.

Também aqui os resultados foram similares entre todas as instâncias testadas e todas as semanas de planeamento, na respectiva fase do planeamento de cirurgias electivas.

Analisando os resultados totais para o planeamento de cirurgias electivas, a optimização do modelo na primeira fase do planeamento deu origem a um valor de *gap* total médio de 3,54%, com valores entre 0,75% e 9,83% (instâncias  $Sp5C_{300_2} + Sp5A_{285_2}$  e  $Sp1C_{250_2} + Sp1A_{264_2}$ , respectivamente). Novamente, os resultados mostram uma semelhança dos valores médios do *gap* total em função da dimensão da instância e do tipo de valor utilizado na duração prevista das cirurgias. O tempo médio de obtenção de um plano operatório foi 17 080,9 segundos (4 horas e 45 minutos), sensivelmente o mesmo tempo obtido com a mesma metodologia para o objectivo de rentabilização do bloco operatório. O valor do *gap* total médio foi superior em 0,74 pontos percentuais.

À semelhança do que foi já observado na situação homóloga, no caso do objectivo de rentabilização do bloco operatório (secção 8.3.1.1), conclui-se que a metodologia que integra a optimização do modelo matemático, sucedida da heurística de melhoramento desenvolvida, teve igualmente um bom comportamento no planeamento de cirurgias electivas, considerando apenas o objectivo de reduzir a lista de espera para cirurgia no hospital em estudo.

### 8.3.2.2 Heurística Construtiva

Na tabela 8.14 encontram-se os resultados obtidos, com base nas heurísticas construtiva e de melhoramento (apresentadas, respectivamente, nas secções 6.2 e 6.3.2), para o pla-

Tabela 8.14: Reduzir a lista de espera para cirurgia - Heurística construtiva - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias convencionais

Instância	Tempo HC (seg.)	Gap SHC (%)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 12-16 Fevereiro 2007				
<i>Sp1C_250</i> <sub>1</sub>	0	8,33	0	8,33
<i>Sp1C_250</i> <sub>2</sub>	0	13,07	0	13,07
<i>Sp1C_300</i> <sub>1</sub>	0	10,87	0	10,87
<i>Sp1C_300</i> <sub>2</sub>	0	14,21	0	14,21
<i>Sp1C_500</i> <sub>1</sub>	0	10,45	0	10,45
<i>Sp1C_500</i> <sub>2</sub>	0	14,43	0	12,20
<i>Sp1C_1000</i> <sub>1</sub>	0	6,14	0	6,14
<i>Sp1C_1000</i> <sub>2</sub>	0	7,08	0	4,05
Semana de planeamento: 26 Fevereiro - 2 Março 2007				
<i>Sp2C_250</i> <sub>1</sub>	0	5,68	0	5,68
<i>Sp2C_250</i> <sub>2</sub>	0	3,83	0	3,83
<i>Sp2C_300</i> <sub>1</sub>	0	8,15	0	8,15
<i>Sp2C_300</i> <sub>2</sub>	0	6,84	0	6,84
<i>Sp2C_500</i> <sub>1</sub>	0	7,88	0	5,80
<i>Sp2C_500</i> <sub>2</sub>	0	8,61	0	6,07
<i>Sp2C_1000</i> <sub>1</sub>	0	5,33	0	5,33
<i>Sp2C_1000</i> <sub>2</sub>	0	3,28	0	3,28
Semana de planeamento: 5-9 Março 2007				
<i>Sp3C_250</i> <sub>1</sub>	0	4,89	0	4,89
<i>Sp3C_250</i> <sub>2</sub>	0	5,35	0	5,35
<i>Sp3C_300</i> <sub>1</sub>	0	13,64	0	13,64
<i>Sp3C_300</i> <sub>2</sub>	0	10,87	0	10,87
<i>Sp3C_500</i> <sub>1</sub>	0	8,29	0	6,22
<i>Sp3C_500</i> <sub>2</sub>	0	7,48	0	6,48
<i>Sp3C_1000</i> <sub>1</sub>	0	5,70	0	5,70
<i>Sp3C_1000</i> <sub>2</sub>	0	3,64	0	3,64

*Continua na página seguinte*

Instância	Tempo HC (seg.)	Gap SHC (%)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 12-16 Março 2007				
<i>Sp4C_250</i> <sub>1</sub>	0	4,95	0	4,95
<i>Sp4C_250</i> <sub>2</sub>	0	7,65	0	6,49
<i>Sp4C_300</i> <sub>1</sub>	0	4,17	0	3,63
<i>Sp4C_300</i> <sub>2</sub>	0	5,67	0	4,59
<i>Sp4C_500</i> <sub>1</sub>	0	9,90	0	8,29
<i>Sp4C_500</i> <sub>2</sub>	0	9,48	0	7,44
<i>Sp4C_1000</i> <sub>1</sub>	0	6,14	0	5,68
<i>Sp4C_1000</i> <sub>2</sub>	0	4,44	0	3,60
Semana de planeamento: 19-23 Março 2007				
<i>Sp5C_250</i> <sub>1</sub>	0	12,21	0	12,21
<i>Sp5C_250</i> <sub>2</sub>	0	8,20	0	8,20
<i>Sp5C_300</i> <sub>1</sub>	0	9,09	0	9,09
<i>Sp5C_300</i> <sub>2</sub>	0	5,03	0	5,03
<i>Sp5C_500</i> <sub>1</sub>	0	6,19	0	5,19
<i>Sp5C_500</i> <sub>2</sub>	0	5,94	0	4,98
<i>Sp5C_1000</i> <sub>1</sub>	0	6,61	0	6,14
<i>Sp5C_1000</i> <sub>2</sub>	0	3,20	0	3,20
Semana de planeamento: 26-30 Março 2007				
<i>Sp6C_250</i> <sub>1</sub>	0	3,95	0	3,95
<i>Sp6C_250</i> <sub>2</sub>	0	7,39	0	7,39
<i>Sp6C_300</i> <sub>1</sub>	0	6,49	0	6,49
<i>Sp6C_300</i> <sub>2</sub>	0	7,98	0	7,98
<i>Sp6C_500</i> <sub>1</sub>	0	8,04	0	8,04
<i>Sp6C_500</i> <sub>2</sub>	0	6,67	0	6,67
<i>Sp6C_1000</i> <sub>1</sub>	0	5,86	0	5,86
<i>Sp6C_1000</i> <sub>2</sub>	0	2,88	0	2,88

*Continua na página seguinte*

Instância	Tempo HC (seg.)	Gap SHC (%)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 2-5 Abril 2007				
<i>Sp7C_250<sub>1</sub></i>	0	6,62	0	6,62
<i>Sp7C_250<sub>2</sub></i>	0	6,45	0	6,45
<i>Sp7C_300<sub>1</sub></i>	0	5,66	0	5,66
<i>Sp7C_300<sub>2</sub></i>	0	4,82	0	4,82
<i>Sp7C_500<sub>1</sub></i>	0	8,82	0	5,11
<i>Sp7C_500<sub>2</sub></i>	0	4,84	0	4,84
<i>Sp7C_1000<sub>1</sub></i>	0	4,19	0	4,19
<i>Sp7C_1000<sub>2</sub></i>	0	2,88	0	2,88

---

#### Resultados médios

<i>C_250<sub>1</sub></i>	<b>0</b>	<b>6,66</b>	<b>0</b>	<b>6,66</b>
<i>C_250<sub>2</sub></i>	<b>0</b>	<b>7,42</b>	<b>0</b>	<b>7,25</b>
<i>C_300<sub>1</sub></i>	<b>0</b>	<b>8,29</b>	<b>0</b>	<b>8,22</b>
<i>C_300<sub>2</sub></i>	<b>0</b>	<b>7,92</b>	<b>0</b>	<b>7,76</b>
<i>C_500<sub>1</sub></i>	<b>0</b>	<b>8,51</b>	<b>0</b>	<b>7,01</b>
<i>C_500<sub>2</sub></i>	<b>0</b>	<b>8,21</b>	<b>0</b>	<b>6,95</b>
<i>C_1000<sub>1</sub></i>	<b>0</b>	<b>5,71</b>	<b>0</b>	<b>5,58</b>
<i>C_1000<sub>2</sub></i>	<b>0</b>	<b>3,92</b>	<b>0</b>	<b>3,36</b>
<b>Média global</b>	<b>0</b>	<b>7,08</b>	<b>0</b>	<b>6,60</b>

neamento de cirurgias convencionais, quando se pretende responder à redução da lista de espera para cirurgia. Na tabela 8.15 apresentam-se os resultados obtidos na fase de planeamento de cirurgias de ambulatório e na tabela 8.16 os resultados totais para o planeamento de cirurgias electivas.

À semelhança do que já tinha sido observado para o objectivo de rentabilizar o bloco operatório (secção 8.3.1.2), a heurística construtiva obteve, também para o objectivo agora em análise, um tempo de resolução de zero segundos, em todas as instâncias testadas.

As soluções obtidas na fase de planeamento de cirurgias convencionais apresentam um valor médio de *gap* de 7,08%, variando entre 2,88%, nas instâncias *Sp6C\_1000<sub>2</sub>* e *Sp7C\_1000<sub>2</sub>*, e 14,43%, na instância *Sp1C\_500<sub>2</sub>*. O valor médio obtido e o melhor caso foi superior ao das soluções obtidas através do modelo, no entanto o pior caso foi inferior. Novamente, o melhor caso foi obtido em instâncias de maior dimensão e para as quais a optimização do modelo não conseguiu encontrar uma solução admissível, por falta de memória do computador. Estes valores mostraram-se ainda superiores relativamente aos valores correspondentes, na utilização da heurística construtiva, para o objectivo de rentabilizar a utilização do bloco operatório.

Comparando individualmente as 34 instâncias em que a resolução do modelo conseguiu obter uma solução admissível, a heurística construtiva obteve pior valor de *gap* em 24 (70,6%), melhor valor em 8 (23,5%) e igual valor em 2 destas instâncias. Nas instâncias em que a heurística construtiva originou um pior valor de *gap*, este foi, em média, superior em 4,32 pontos percentuais, e naquelas em que conseguiu melhor valor, a diferença foi, em média, menos 6,56 pontos percentuais.

Apesar de, genericamente, a heurística construtiva ter originado soluções de pior qualidade em relação às obtidas através do modelo, conseguiu obter resposta imediata para todas as soluções em análise, enquanto a optimização do modelo necessitou de um tempo significativamente superior e apenas conseguiu responder a 60,7% das instâncias testadas na fase de planeamento de cirurgias convencionais.

A heurística de melhoramento foi utilizada em todas as instâncias testadas nesta fase do planeamento. Em todas obteve um tempo de resolução de zero segundos e em 17 casos (30%) conseguiu melhorar o valor do *gap* obtido nas soluções da heurística construtiva. O valor médio do *gap*, após a heurística de melhoramento, baixou ligeiramente para 6,60%, variando agora entre 2,88%, nas mesmas instâncias, e 14,21%, na instância *Sp1C\_300<sub>2</sub>*. A heurística de melhoramento permitiu reduzir, em média, 17,77% o valor do *gap* nas 17 soluções em que a melhoria se verificou.

Tal como já tinha sido observado com o objectivo anterior, também neste a heurística de melhoramento produziu melhor efeito nas soluções obtidas com a optimização do modelo do que nas soluções da heurística construtiva, uma vez que nesta última melhorou menos instâncias e a melhoria média foi também inferior.

Tabela 8.15: Reduzir a lista de espera para cirurgia - Heurística construtiva - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias de ambulatório

Instância	Tempo RL (seg.)	Gap SI (%)	Tempo até Gap SI (seg.)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 12-16 Fevereiro 2007					
<i>Sp1C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	1,37	1,75	30,08	0	1,75
<i>Sp1C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	1,50	0	32,14	-	-
<i>Sp1C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	1,45	1,75	14,13	0	1,75
<i>Sp1C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	1,62	0	172,67	-	-
<i>Sp1C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	1,68	1,75	7,88	0	1,75
<i>Sp1C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	1,79	0	159,29	-	-
<i>Sp1C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	1,54	1,75	8,92	0	1,75
<i>Sp1C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	1,79	0	167,97	-	-
Semana de planeamento: 26 Fevereiro - 2 Março 2007					
<i>Sp2C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	1,75	0	9,08	-	-
<i>Sp2C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	1,78	0	8,52	-	-
<i>Sp2C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	2,04	0	8,69	-	-
<i>Sp2C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	1,68	0	20,75	-	-
<i>Sp2C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	2,14	0	8,49	-	-
<i>Sp2C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	1,70	0	7,44	-	-
<i>Sp2C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	1,79	0	14,16	-	-
<i>Sp2C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	1,72	0	8,72	-	-
Semana de planeamento: 5-9 Março 2007					
<i>Sp3C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	1,73	0	10,75	-	-
<i>Sp3C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	1,78	0	6,79	-	-
<i>Sp3C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	1,97	0	6,93	-	-
<i>Sp3C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	1,67	0	5,05	-	-
<i>Sp3C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	1,68	0	11,06	-	-
<i>Sp3C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	1,62	0	7,94	-	-
<i>Sp3C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	1,72	0	13,9	-	-
<i>Sp3C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	1,70	0	5,04	-	-

*Continua na página seguinte*

Instância	Tempo RL (seg.)	Gap SI (%)	Tempo até Gap SI (seg.)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 12-16 Março 2007					
<i>Sp4C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	1,78	0	10	-	-
<i>Sp4C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	1,70	0	10,75	-	-
<i>Sp4C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	1,58	0	7,58	-	-
<i>Sp4C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	1,97	0	8,75	-	-
<i>Sp4C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	1,73	0	7,8	-	-
<i>Sp4C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	2,12	0	7,74	-	-
<i>Sp4C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	1,78	0	7,85	-	-
<i>Sp4C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	1,65	0	8,46	-	-
Semana de planeamento: 19-23 Março 2007					
<i>Sp5C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	1,36	0	8,35	-	-
<i>Sp5C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	1,76	0	8,88	-	-
<i>Sp5C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	1,62	0	9,47	-	-
<i>Sp5C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	1,70	0	7,36	-	-
<i>Sp5C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	1,64	0	8,94	-	-
<i>Sp5C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	1,73	0	6,65	-	-
<i>Sp5C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	1,78	0	10,34	-	-
<i>Sp5C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	1,95	0	9,81	-	-
Semana de planeamento: 26-30 Março 2007					
<i>Sp6C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	1,97	0	7,33	-	-
<i>Sp6C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	1,84	0	11,89	-	-
<i>Sp6C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	2,01	0	5,99	-	-
<i>Sp6C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	1,95	0	5,18	-	-
<i>Sp6C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	1,50	0	10,58	-	-
<i>Sp6C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	2,04	0	8,24	-	-
<i>Sp6C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	1,92	0	8,03	-	-
<i>Sp6C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	1,92	0	7,02	-	-

*Continua na página seguinte*

Instância	Tempo RL (seg.)	Gap SI (%)	Tempo até Gap SI (seg.)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 2-5 Abril 2007					
<i>Sp7C_250<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	0,97	0	8,5	-	-
<i>Sp7C_250<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	1,06	0	6,83	-	-
<i>Sp7C_300<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	1,17	0	20,51	-	-
<i>Sp7C_300<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	0,92	0	6,68	-	-
<i>Sp7C_500<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	0,94	0	3,93	-	-
<i>Sp7C_500<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	0,84	0	6,49	-	-
<i>Sp7C_1000<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	1,11	0	4,87	-	-
<i>Sp7C_1000<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	0,73	0	3,57	-	-

### Resultados médios

<i>C_250<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i>	<b>1,56</b>	<b>0,25</b>	<b>12,01</b>	<b>0</b>	<b>0,25</b>
<i>C_250<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i>	<b>1,63</b>	<b>0</b>	<b>12,26</b>	-	-
<i>C_300<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i>	<b>1,69</b>	<b>0,25</b>	<b>10,47</b>	<b>0</b>	<b>0,25</b>
<i>C_300<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i>	<b>1,64</b>	<b>0</b>	<b>32,35</b>	-	-
<i>C_500<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i>	<b>1,62</b>	<b>0,25</b>	<b>8,38</b>	<b>0</b>	<b>0,25</b>
<i>C_500<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i>	<b>1,69</b>	<b>0</b>	<b>29,11</b>	-	-
<i>C_1000<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i>	<b>1,66</b>	<b>0,25</b>	<b>9,72</b>	<b>0</b>	<b>0,25</b>
<i>C_1000<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i>	<b>1,64</b>	<b>0</b>	<b>30,08</b>	-	-
<b>Média global</b>	<b>1,64</b>	<b>0,13</b>	<b>18,05</b>	<b>0</b>	<b>0,13</b>

Relativamente ao desempenho da heurística de melhoramento sobre as soluções da heurística construtiva no caso do objectivo anterior, a heurística de melhoramento melhorou, com o objectivo de reduzir a lista de espera para cirurgia, mais instâncias, mas obteve uma melhoria média inferior.

Analisando a qualidade das soluções obtidas na fase de planeamento de cirurgias convencionais, o valor médio de *gap*, assim como o melhor e pior casos, são superiores aos respectivos valores das soluções correspondentes, obtidas optimizando o modelo, para o mesmo objectivo em análise. Fazendo a comparação individual das 34 instâncias para as quais a resolução do modelo conseguiu obter uma solução admissível, a heurís-

Tabela 8.16: Reduzir a lista de espera para cirurgia - Heurística construtiva - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias electivas

Instância	T. Total (seg.)	Gap Total (%)	Instância	T. Total (seg.)	Gap Total (%)
Semana: 12-16 Fevereiro 2007			Semana: 26 Fevereiro - 2 Março 2007		
<i>Sp1C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	31,5	6,75	<i>Sp2C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	10,8	4,24
<i>Sp1C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	33,6	9,83	<i>Sp2C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	10,3	2,88
<i>Sp1C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	15,6	8,71	<i>Sp2C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	10,7	6,15
<i>Sp1C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	174,3	10,79	<i>Sp2C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	22,4	5,20
<i>Sp1C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	9,6	8,53	<i>Sp2C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	10,6	4,49
<i>Sp1C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	161,1	9,51	<i>Sp2C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	9,1	4,74
<i>Sp1C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	10,5	5,26	<i>Sp2C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	16,0	4,21
<i>Sp1C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	169,8	3,28	<i>Sp2C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	10,4	2,63
Semana: 5-9 Março 2007			Semana: 12-16 Março 2007		
<i>Sp3C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	12,5	3,69	<i>Sp4C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	11,8	3,72
<i>Sp3C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	8,6	4,05	<i>Sp4C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	12,5	4,90
<i>Sp3C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	8,9	10,17	<i>Sp4C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	9,2	2,77
<i>Sp3C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	6,7	8,20	<i>Sp4C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	10,7	3,52
<i>Sp3C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	12,7	4,83	<i>Sp4C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	9,5	6,42
<i>Sp3C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	9,6	5,07	<i>Sp4C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	9,9	5,82
<i>Sp3C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	15,6	4,51	<i>Sp4C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	9,6	4,50
<i>Sp3C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	6,7	2,93	<i>Sp4C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	10,1	2,90
Semana: 19-23 Março 2007			Semana: 26-30 Março 2007		
<i>Sp5C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	9,7	9,05	<i>Sp6C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	9,3	2,95
<i>Sp5C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	10,6	6,17	<i>Sp6C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	13,7	5,51
<i>Sp5C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	11,1	6,88	<i>Sp6C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	8,0	4,90
<i>Sp5C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	9,1	3,86	<i>Sp6C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	7,1	6,05
<i>Sp5C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	10,6	4,04	<i>Sp6C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	12,1	6,18
<i>Sp5C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	8,4	3,91	<i>Sp6C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	10,3	5,19
<i>Sp5C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	12,1	4,86	<i>Sp6C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	10,0	4,61
<i>Sp5C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	11,8	2,58	<i>Sp6C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	8,9	2,31

*Continua na página seguinte*

Instância	T. Total (seg.)	Gap Total (%)	Instância	T. Total (seg.)	Gap Total (%)
Semana: 2-5 Abril 2007			<b>Resultados médios</b>		
<i>Sp7C_250<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	9,5	5,03	<b><i>C_250<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i></b>	<b>13,6</b>	<b>5,06</b>
<i>Sp7C_250<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	7,9	4,93	<b><i>C_250<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i></b>	<b>13,9</b>	<b>5,47</b>
<i>Sp7C_300<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	21,7	4,35	<b><i>C_300<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i></b>	<b>12,2</b>	<b>6,28</b>
<i>Sp7C_300<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	7,6	3,74	<b><i>C_300<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i></b>	<b>34,0</b>	<b>5,91</b>
<i>Sp7C_500<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	4,9	4,02	<b><i>C_500<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i></b>	<b>10,0</b>	<b>5,50</b>
<i>Sp7C_500<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	7,3	3,85	<b><i>C_500<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i></b>	<b>30,8</b>	<b>5,44</b>
<i>Sp7C_1000<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	6,0	3,35	<b><i>C_1000<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i></b>	<b>11,4</b>	<b>4,47</b>
<i>Sp7C_1000<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	4,3	2,34	<b><i>C_1000<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i></b>	<b>31,7</b>	<b>2,71</b>
			<b>Média global</b>	<b>19,7</b>	<b>5,10</b>

tica construtiva originou pior valor de *gap* final em 25 (73%), melhor valor em 6 (18%) e igual valor em 3 destas instâncias. Nas instâncias em que a heurística construtiva obteve pior resultado final, a diferença média foi de 4,3 pontos percentuais, e nas que conseguiu melhor resultado, esta diferença foi de 3,54 pontos percentuais.

Na fase de planeamento de cirurgias de ambulatório, a optimização do modelo matemático permitiu atingir uma solução óptima em 93% das instâncias testadas, correspondendo a mais instâncias do que no caso do objectivo de rentabilização do bloco operatório. As soluções óptimas foram alcançadas em menos de 21 segundos, com excepção das instâncias da primeira semana de planeamento que precisou de menos de 3 minutos. Nas instâncias em que não foi provada a optimalidade da melhor solução inteira, o *gap* obtido foi 1,75%, que mais uma vez corresponde a uma unidade na diferença entre o valor do limite superior e o valor objectivo da respectiva solução. Também aqui a heurística de melhoramento não alterou estas soluções.

Com base nesta metodologia, e para o objectivo em estudo, o valor médio total de *gap* dos planos operatórios é de 5,10%, novamente superior ao valor correspondente, obtido com a mesma metodologia para o objectivo de rentabilização do bloco operatório. O valor de *gap* total varia agora entre 2,31%, para a instância *Sp6C\_1000<sub>2</sub> + Sp6A\_295<sub>2</sub>*, e 10,79% na instância *Sp1C\_300<sub>2</sub> + Sp1A\_264<sub>2</sub>*. O valor médio de *gap* total mostrou decrescer com o aumento da dimensão das instâncias, com excepção das instâncias com 250 cirurgias. Estas originaram um menor valor médio do que as instâncias das duas

dimensões posteriores. O tempo médio necessário para obter os planos operatórios, com base na heurística construtiva, foi 19,7 segundos, bastante mais reduzido do que no caso do objectivo de rentabilizar o bloco operatório, para a mesma metodologia.

Comparando estes resultados totais com os originados pela utilização do modelo com o mesmo objectivo, pode verificar-se que, à semelhança de conclusões anteriores, apesar do valor médio do *gap* total ser superior em 1,56 pontos percentuais, o tempo necessário para a obtenção destes planos foi significativamente menor.

### 8.3.2.3 Heurística Híbrida

Apresentam-se agora os resultados obtidos no planeamento de cirurgias electivas, quando o planeamento de cirurgias convencionais é realizado através da heurística híbrida (secção 6.2.1) sucedida da heurística de melhoramento (secção 6.3.2), com o objectivo de reduzir a lista de espera para cirurgia. Estes resultados encontram-se resumidos na tabela 8.19 e os respectivos resultados obtidos individualmente nas duas fases do planeamento encontram-se, respectivamente, nas tabelas 8.17 e 8.18.

A heurística híbrida forneceu um plano de cirurgias convencionais admissível em todas as instâncias testadas. Estes planos foram obtidos em menos de 5 segundos, tendo sido na instância  $Sp6C_{250_1}$  que demorou mais tempo (4,75 segundos).

As soluções do planeamento de cirurgias convencionais, obtidas agora pela heurística híbrida, apresentam 8,27% como valor médio de *gap*, verificando uma variação entre 4,03% e 15,61%, respectivamente nas instâncias  $Sp5C_{1000_2}$  e  $Sp3C_{300_1}$ . Estes valores são superiores aos que foram observados para as soluções da mesma fase de planeamento obtidas através da optimização do modelo e da heurística construtiva. Verifica-se, à semelhança do que foi observado nos resultados anteriores das heurísticas, que o melhor caso se deu numa instância de maior dimensão.

Comparando individualmente estas soluções com as obtidas através do modelo na mesma fase de planeamento, nas 34 instâncias em que a optimização do modelo conseguiu uma solução admissível, a heurística híbrida gerou piores resultados em 28 (82%) e melhores resultados em apenas 6 destas instâncias. A heurística híbrida originou, em média, mais 4,86 pontos percentuais, nas instâncias em que obteve valor de *gap* mais alto, e, em média, menos 7,47 pontos percentuais, nas instâncias com melhor valor de

Tabela 8.17: Reduzir a lista de espera para cirurgia - Heurística híbrida - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias convencionais

Instância	Tempo HH (seg.)	Gap SHH (%)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 12-16 Fevereiro 2007				
<i>Sp1C_250</i> <sub>1</sub>	2,76	7,73	0	7,73
<i>Sp1C_250</i> <sub>2</sub>	0,56	6,99	0	6,99
<i>Sp1C_300</i> <sub>1</sub>	2,88	10,87	0	10,87
<i>Sp1C_300</i> <sub>2</sub>	0,61	6,63	0	6,63
<i>Sp1C_500</i> <sub>1</sub>	3,11	11,00	0	7,77
<i>Sp1C_500</i> <sub>2</sub>	0,55	15,00	0	12,20
<i>Sp1C_1000</i> <sub>1</sub>	2,10	9,50	0	6,61
<i>Sp1C_1000</i> <sub>2</sub>	0,49	7,53	0	4,90
Semana de planeamento: 26 Fevereiro - 2 Março 2007				
<i>Sp2C_250</i> <sub>1</sub>	3,86	9,41	0	9,41
<i>Sp2C_250</i> <sub>2</sub>	1,31	4,40	0	4,40
<i>Sp2C_300</i> <sub>1</sub>	2,82	12,43	0	12,43
<i>Sp2C_300</i> <sub>2</sub>	1,29	7,41	0	7,41
<i>Sp2C_500</i> <sub>1</sub>	3,82	8,96	0	6,83
<i>Sp2C_500</i> <sub>2</sub>	1,24	9,13	0	6,57
<i>Sp2C_1000</i> <sub>1</sub>	2,87	6,76	0	6,28
<i>Sp2C_1000</i> <sub>2</sub>	1,23	4,13	0	4,13
Semana de planeamento: 5-9 Março 2007				
<i>Sp3C_250</i> <sub>1</sub>	3,82	6,04	0	5,46
<i>Sp3C_250</i> <sub>2</sub>	1,46	8,24	0	5,35
<i>Sp3C_300</i> <sub>1</sub>	4,31	15,61	0	14,94
<i>Sp3C_300</i> <sub>2</sub>	1,54	14,61	0	11,48
<i>Sp3C_500</i> <sub>1</sub>	2,88	6,73	0	4,72
<i>Sp3C_500</i> <sub>2</sub>	1,44	9,52	0	5,50
<i>Sp3C_1000</i> <sub>1</sub>	4,36	6,64	0	5,70
<i>Sp3C_1000</i> <sub>2</sub>	1,47	7,11	0	4,49

*Continua na página seguinte*

Instância	Tempo HH (seg.)	Gap SHH (%)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 12-16 Março 2007				
<i>Sp4C_250</i> <sub>1</sub>	1,95	9,77	0	7,91
<i>Sp4C_250</i> <sub>2</sub>	0,42	7,07	0	6,49
<i>Sp4C_300</i> <sub>1</sub>	1,98	9,29	0	7,53
<i>Sp4C_300</i> <sub>2</sub>	0,39	5,67	0	5,67
<i>Sp4C_500</i> <sub>1</sub>	3,02	9,36	0	7,77
<i>Sp4C_500</i> <sub>2</sub>	0,41	9,48	0	8,45
<i>Sp4C_1000</i> <sub>1</sub>	1,86	8,04	0	6,61
<i>Sp4C_1000</i> <sub>2</sub>	0,46	4,44	0	4,44
Semana de planeamento: 19-23 Março 2007				
<i>Sp5C_250</i> <sub>1</sub>	2,99	9,04	0	9,04
<i>Sp5C_250</i> <sub>2</sub>	0,43	8,79	0	8,79
<i>Sp5C_300</i> <sub>1</sub>	2,95	8,51	0	8,51
<i>Sp5C_300</i> <sub>2</sub>	0,48	8,29	0	8,29
<i>Sp5C_500</i> <sub>1</sub>	1,91	8,78	0	8,78
<i>Sp5C_500</i> <sub>2</sub>	0,42	5,94	0	5,45
<i>Sp5C_1000</i> <sub>1</sub>	2,96	7,56	0	6,61
<i>Sp5C_1000</i> <sub>2</sub>	0,45	4,03	0	3,61
Semana de planeamento: 26-30 Março 2007				
<i>Sp6C_250</i> <sub>1</sub>	4,75	8,24	0	6,98
<i>Sp6C_250</i> <sub>2</sub>	0,51	7,39	0	6,78
<i>Sp6C_300</i> <sub>1</sub>	4,73	11,30	0	10,67
<i>Sp6C_300</i> <sub>2</sub>	0,52	7,98	0	7,98
<i>Sp6C_500</i> <sub>1</sub>	4,05	8,59	0	7,50
<i>Sp6C_500</i> <sub>2</sub>	0,50	7,18	0	6,67
<i>Sp6C_1000</i> <sub>1</sub>	4,66	8,29	0	5,86
<i>Sp6C_1000</i> <sub>2</sub>	0,50	5,93	0	4,60

*Continua na página seguinte*

Instância	Tempo HH (seg.)	Gap SHH (%)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 2-5 Abril 2007				
<i>Sp7C_250</i> <sub>1</sub>	1,80	11,81	0	8,05
<i>Sp7C_250</i> <sub>2</sub>	0,33	7,84	0	7,14
<i>Sp7C_300</i> <sub>1</sub>	2,75	9,09	0	6,33
<i>Sp7C_300</i> <sub>2</sub>	0,26	4,82	0	4,82
<i>Sp7C_500</i> <sub>1</sub>	1,78	9,47	0	6,94
<i>Sp7C_500</i> <sub>2</sub>	0,29	7,73	0	5,41
<i>Sp7C_1000</i> <sub>1</sub>	1,03	5,85	0	5,29
<i>Sp7C_1000</i> <sub>2</sub>	0,30	5,42	0	3,38

<b>Resultados médios</b>				
<i>C_250</i> <sub>1</sub>	<b>3,13</b>	<b>8,86</b>	<b>0</b>	<b>7,80</b>
<i>C_250</i> <sub>2</sub>	<b>0,72</b>	<b>7,24</b>	<b>0</b>	<b>6,56</b>
<i>C_300</i> <sub>1</sub>	<b>3,20</b>	<b>11,01</b>	<b>0</b>	<b>10,18</b>
<i>C_300</i> <sub>2</sub>	<b>0,73</b>	<b>7,92</b>	<b>0</b>	<b>7,47</b>
<i>C_500</i> <sub>1</sub>	<b>2,94</b>	<b>8,98</b>	<b>0</b>	<b>7,19</b>
<i>C_500</i> <sub>2</sub>	<b>0,69</b>	<b>9,14</b>	<b>0</b>	<b>7,18</b>
<i>C_1000</i> <sub>1</sub>	<b>2,83</b>	<b>7,52</b>	<b>0</b>	<b>6,14</b>
<i>C_1000</i> <sub>2</sub>	<b>0,70</b>	<b>5,51</b>	<b>0</b>	<b>4,22</b>
Média global	<b>1,87</b>	<b>8,27</b>	<b>0</b>	<b>7,09</b>

*gap*.

Numa análise semelhante, relativamente às 56 soluções obtidas com a heurística construtiva, é possível observar-se que a heurística híbrida forneceu piores resultados em 40 instâncias (71%), melhores resultados em 8 (14%) e iguais resultados em 8 instâncias também. As diferenças médias observadas no valor do *gap* foram de 2,19 pontos percentuais nos piores resultados e 2,59 pontos percentuais nos melhores resultados.

A heurística de melhoramento foi, novamente aqui, utilizada em todas as instâncias testadas na fase de planeamento de cirurgias convencionais e obteve, à semelhança das

situações anteriores, zero segundos em todas elas. Esta heurística permitiu melhorar o valor do *gap* em 38 instâncias (68%). Este resultado é superior ao observado na resolução do modelo e na heurística construtiva, para o mesmo objectivo e fase de planeamento, e inferior ao verificado na situação homóloga para o objectivo de rentabilização do bloco operatório. Nestas 38 instâncias, a heurística de melhoramento, melhorou, em média, 19,32% do valor do *gap* obtido com a heurística híbrida. A melhoria média foi inferior ao observado no desempenho da mesma heurística sobre as soluções referidas, excepto no caso da optimização do modelo com o mesmo objectivo.

Relativamente às soluções do planeamento de cirurgias convencionais, o valor médio de *gap* é 7,09%, com valores a variarem entre 3,38% e 14,94%, nas instâncias *Sp7C\_1000<sub>2</sub>* e *Sp3C\_300<sub>1</sub>*, respectivamente. Estes valores mantêm-se mais elevados do que os valores correspondentes para a optimização do modelo e heurística construtiva.

Comparando agora individualmente as soluções, ainda dentro da mesma fase de planeamento, com as respectivas soluções obtidas através do modelo, nas 34 instâncias em que a resolução do modelo conseguiu uma solução admissível, a heurística híbrida originou piores resultados finais em 29 (85%) e melhores resultados finais em apenas 5 destas instâncias. As diferenças médias observadas no valor do *gap* foram de 4,49 pontos percentuais nas instâncias em que obteve pior valor, e 4,32 pontos percentuais naquelas em que obteve melhor valor.

Relativamente às soluções obtidas para o planeamento de cirurgias convencionais, a heurística híbrida originou pior valor de *gap* em 36 instâncias (64%), melhor valor em 11 (20%) e igual valor em 9 instâncias (16%). Nas instâncias em que a heurística híbrida forneceu pior valor de *gap* final, a diferença média foi de 1,45 pontos percentuais, e naquelas em que conseguiu melhor valor, a diferença foi, em média, 2,26 pontos percentuais.

No planeamento de cirurgias de ambulatório, as observações são semelhantes às realizadas para as metodologias anteriores. Assim, a optimização do modelo matemático permitiu atingir uma solução óptima em 96% das instâncias testadas nesta fase de planeamento, em menos de 40 segundos (com excepção, novamente, das instâncias da primeira semana de planeamento que precisaram de menos de 4 minutos). Nas duas instâncias em que não foi provada a optimalidade da melhor solução inteira, a diferença entre o valor do limite superior e o valor objectivo da solução respectiva foi de uma uni-

Tabela 8.18: Reduzir a lista de espera para cirurgia - Heurística híbrida - resultados obtidos para o planeamento de cirurgias de ambulatório

Instância	Tempo RL (seg.)	Gap SI (%)	Tempo até Gap SI (seg.)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 12-16 Fevereiro 2007					
$Sp1C_{250_1} + Sp1A_{264_1}$	1,62	0	173,88	-	-
$Sp1C_{250_2} + Sp1A_{264_2}$	1,37	0	48,09	-	-
$Sp1C_{300_1} + Sp1A_{264_1}$	1,68	0	25,85	-	-
$Sp1C_{300_2} + Sp1A_{264_2}$	1,42	0	21,23	-	-
$Sp1C_{500_1} + Sp1A_{264_1}$	2,23	1,75	32,87	0	1,75
$Sp1C_{500_2} + Sp1A_{264_2}$	1,76	0	208,00	-	-
$Sp1C_{1000_1} + Sp1A_{264_1}$	1,62	1,75	32,68	0	1,75
$Sp1C_{1000_2} + Sp1A_{264_2}$	1,95	0	168,36	-	-
Semana de planeamento: 26 Fevereiro - 2 Março 2007					
$Sp2C_{250_1} + Sp2A_{274_1}$	2,07	0	39,31	-	-
$Sp2C_{250_2} + Sp2A_{274_2}$	1,40	0	8,46	-	-
$Sp2C_{300_1} + Sp2A_{274_1}$	1,86	0	17,6	-	-
$Sp2C_{300_2} + Sp2A_{274_2}$	1,70	0	7,11	-	-
$Sp2C_{500_1} + Sp2A_{274_1}$	2,22	0	6,18	-	-
$Sp2C_{500_2} + Sp2A_{274_2}$	1,73	0	21,81	-	-
$Sp2C_{1000_1} + Sp2A_{274_1}$	2,20	0	8,7	-	-
$Sp2C_{1000_2} + Sp2A_{274_2}$	2,06	0	10,9	-	-
Semana de planeamento: 5-9 Março 2007					
$Sp3C_{250_1} + Sp3A_{265_1}$	1,70	0	7,05	-	-
$Sp3C_{250_2} + Sp3A_{265_2}$	1,62	0	5,33	-	-
$Sp3C_{300_1} + Sp3A_{265_1}$	1,62	0	13,81	-	-
$Sp3C_{300_2} + Sp3A_{265_2}$	1,58	0	8,66	-	-
$Sp3C_{500_1} + Sp3A_{265_1}$	1,84	0	8,92	-	-
$Sp3C_{500_2} + Sp3A_{265_2}$	1,64	0	7,27	-	-
$Sp3C_{1000_1} + Sp3A_{265_1}$	1,23	0	10,05	-	-
$Sp3C_{1000_2} + Sp3A_{265_2}$	1,83	0	7,49	-	-

*Continua na página seguinte*

Instância	Tempo RL (seg.)	Gap SI (%)	Tempo até Gap SI (seg.)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 12-16 Março 2007					
<i>Sp4C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	1,54	0	8,58	-	-
<i>Sp4C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	1,93	0	7,38	-	-
<i>Sp4C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	1,90	0	10,47	-	-
<i>Sp4C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	1,67	0	9,66	-	-
<i>Sp4C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	1,73	0	9,08	-	-
<i>Sp4C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	1,97	0	10,94	-	-
<i>Sp4C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	1,79	0	8,07	-	-
<i>Sp4C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	1,56	0	8,00	-	-
Semana de planeamento: 19-23 Março 2007					
<i>Sp5C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	1,93	0	17,74	-	-
<i>Sp5C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	1,98	0	9,75	-	-
<i>Sp5C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	1,54	0	15,69	-	-
<i>Sp5C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	1,36	0	5,07	-	-
<i>Sp5C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	1,70	0	7,61	-	-
<i>Sp5C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	1,12	0	7,60	-	-
<i>Sp5C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	1,93	0	9,22	-	-
<i>Sp5C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	2,18	0	8,85	-	-
Semana de planeamento: 26-30 Março 2007					
<i>Sp6C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	1,98	0	10,08	-	-
<i>Sp6C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	1,73	0	5,94	-	-
<i>Sp6C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	1,56	0	7,69	-	-
<i>Sp6C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	2,04	0	7,85	-	-
<i>Sp6C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	2,03	0	6,46	-	-
<i>Sp6C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	1,40	0	6,94	-	-
<i>Sp6C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	1,97	0	5,12	-	-
<i>Sp6C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	2,14	0	7,05	-	-

*Continua na página seguinte*

Instância	Tempo RL (seg.)	Gap SI (%)	Tempo até Gap SI (seg.)	Tempo HM (seg.)	Gap Final (%)
Semana de planeamento: 2-5 Abril 2007					
<i>Sp7C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp7A_258</i> <sub>1</sub>	0,92	0	9,14	-	-
<i>Sp7C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp7A_258</i> <sub>2</sub>	0,94	0	5,37	-	-
<i>Sp7C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp7A_258</i> <sub>1</sub>	1,09	0	6,19	-	-
<i>Sp7C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp7A_258</i> <sub>2</sub>	1,14	0	5,63	-	-
<i>Sp7C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp7A_258</i> <sub>1</sub>	0,81	0	4,79	-	-
<i>Sp7C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp7A_258</i> <sub>2</sub>	0,95	0	3,57	-	-
<i>Sp7C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp7A_258</i> <sub>1</sub>	1,03	0	4,95	-	-
<i>Sp7C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp7A_258</i> <sub>2</sub>	0,81	0	5,62	-	-

### Resultados médios

<i>C_250</i> <sub>1</sub> + <i>A</i> <sub>1</sub>	<b>1,68</b>	<b>0</b>	<b>37,97</b>	-	-
<i>C_250</i> <sub>2</sub> + <i>A</i> <sub>2</sub>	<b>1,57</b>	<b>0</b>	<b>12,90</b>	-	-
<i>C_300</i> <sub>1</sub> + <i>A</i> <sub>1</sub>	<b>1,61</b>	<b>0</b>	<b>13,90</b>	-	-
<i>C_300</i> <sub>2</sub> + <i>A</i> <sub>2</sub>	<b>1,56</b>	<b>0</b>	<b>9,32</b>	-	-
<i>C_500</i> <sub>1</sub> + <i>A</i> <sub>1</sub>	<b>1,79</b>	<b>0,25</b>	<b>10,84</b>	<b>0</b>	<b>0,25</b>
<i>C_500</i> <sub>2</sub> + <i>A</i> <sub>2</sub>	<b>1,51</b>	<b>0</b>	<b>38,02</b>	-	-
<i>C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>A</i> <sub>1</sub>	<b>1,68</b>	<b>0,25</b>	<b>11,26</b>	<b>0</b>	<b>0,25</b>
<i>C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>A</i> <sub>2</sub>	<b>1,79</b>	<b>0</b>	<b>30,90</b>	-	-
<b>Média global</b>	<b>1,65</b>	<b>0,06</b>	<b>20,64</b>	<b>0</b>	<b>0,06</b>

dade, originando um valor de *gap* de 1,75%. Novamente, a heurística de melhoramento não alterou nenhuma destas duas soluções.

Em termos de resultados totais obtidos para o planeamento de cirurgias electivas, o valor médio de *gap* total foi 5,46%, com valores entre 2,75%, obtido na instância *Sp7C\_1000*<sub>2</sub>+*Sp7A\_258*<sub>2</sub>, e 11,11%, na instância *Sp3C\_300*<sub>1</sub>+*Sp3A\_265*<sub>1</sub>. O valor médio de *gap* total foi, mais uma vez, superior ao respectivo valor, no caso da utilização da heurística híbrida, para o objectivo de rentabilização do bloco operatório. À semelhança do observado na subsecção anterior, o valor médio de *gap* total diminui com o aumento da dimensão das instâncias, excepto no caso das instâncias de menor dimensão, cujo

Tabela 8.19: Reduzir a lista de espera para cirurgia - Heurística híbrida - resultados obtidos para o planejamento de cirurgias electivas

Instância	T. Total (seg.)	Gap Total (%)	Instância	T. Total (seg.)	Gap Total (%)
Semana: 12-16 Fevereiro 2007			Semana: 26 Fevereiro - 2 Março 2007		
<i>Sp1C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	178,3	5,88	<i>Sp2C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	45,2	6,96
<i>Sp1C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	50,0	5,33	<i>Sp2C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	11,2	3,31
<i>Sp1C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	30,4	8,30	<i>Sp2C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	22,3	9,28
<i>Sp1C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	23,3	5,12	<i>Sp2C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	10,1	5,62
<i>Sp1C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	38,2	6,46	<i>Sp2C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	12,2	5,28
<i>Sp1C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	210,3	9,51	<i>Sp2C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	24,8	5,13
<i>Sp1C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	36,4	5,63	<i>Sp2C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	13,8	4,95
<i>Sp1C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	170,8	3,96	<i>Sp2C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	14,2	3,31
Semana: 5-9 Março 2007			Semana: 12-16 Março 2007		
<i>Sp3C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	12,6	4,12	<i>Sp4C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	12,1	5,91
<i>Sp3C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	8,4	4,05	<i>Sp4C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	9,7	4,90
<i>Sp3C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	19,7	11,11	<i>Sp4C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	14,4	5,69
<i>Sp3C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	11,8	8,64	<i>Sp4C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	11,7	4,33
<i>Sp3C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	13,6	3,68	<i>Sp4C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	13,8	6,02
<i>Sp3C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	10,4	4,32	<i>Sp4C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	13,3	6,59
<i>Sp3C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	15,6	4,51	<i>Sp4C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>1</sub>	11,7	5,23
<i>Sp3C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	10,8	3,61	<i>Sp4C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp4A_287</i> <sub>2</sub>	10,0	3,57
Semana: 19-23 Março 2007			Semana: 26-30 Março 2007		
<i>Sp5C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	22,7	6,75	<i>Sp6C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	16,8	5,17
<i>Sp5C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	12,2	6,61	<i>Sp6C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	8,2	5,06
<i>Sp5C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	20,2	6,45	<i>Sp6C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	14,0	7,98
<i>Sp5C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	6,9	6,32	<i>Sp6C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	10,4	6,05
<i>Sp5C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	11,2	6,79	<i>Sp6C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	12,5	5,77
<i>Sp5C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	9,1	4,29	<i>Sp6C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	8,8	5,19
<i>Sp5C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>1</sub>	14,1	5,23	<i>Sp6C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>1</sub>	11,8	4,61
<i>Sp5C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp5A_285</i> <sub>2</sub>	11,5	2,91	<i>Sp6C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp6A_295</i> <sub>2</sub>	9,7	3,68

*Continua na página seguinte*

Instância	T. Total (seg.)	Gap Total (%)	Instância	T. Total (seg.)	Gap Total (%)
Semana: 2-5 Abril 2007			<b>Resultados médios</b>		
<i>Sp7C_250<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	11,9	6,09	<b><i>C_250<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i></b>	<b>42,8</b>	<b>5,84</b>
<i>Sp7C_250<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	6,6	5,45	<b><i>C_250<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i></b>	<b>15,2</b>	<b>4,96</b>
<i>Sp7C_300<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	10,0	4,85	<b><i>C_300<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i></b>	<b>18,7</b>	<b>7,67</b>
<i>Sp7C_300<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	7,0	3,74	<b><i>C_300<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i></b>	<b>11,6</b>	<b>5,69</b>
<i>Sp7C_500<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	7,4	5,43	<b><i>C_500<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i></b>	<b>15,6</b>	<b>5,63</b>
<i>Sp7C_500<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	4,8	4,29	<b><i>C_500<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i></b>	<b>40,2</b>	<b>5,62</b>
<i>Sp7C_1000<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	7,0	4,22	<b><i>C_1000<sub>1</sub> + A<sub>-1</sub></i></b>	<b>15,8</b>	<b>4,91</b>
<i>Sp7C_1000<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	6,7	2,75	<b><i>C_1000<sub>2</sub> + A<sub>-2</sub></i></b>	<b>33,4</b>	<b>3,40</b>
			<b>Média global</b>	<b>24,2</b>	<b>5,46</b>

*gap* total mostrou ser, em média, inferior ao das instâncias com dimensão seguinte. O tempo médio utilizado para atingir os planos operatórios foi 24,2 segundos, novamente inferior ao respectivo tempo no caso do objectivo de rentabilização do bloco operatório.

Para o mesmo objectivo, a presente metodologia originou um maior valor médio de *gap* total, tendo demorado, em média, cerca de mais 5 segundos a alcançar os planos operatórios do que a heurística construtiva.

### 8.3.3 Observações Gerais

Resumem-se agora algumas considerações finais relativamente aos resultados obtidos na experiência computacional desenvolvida, e apresentados nas duas subsecções anteriores.

A metodologia de resolução baseada na optimização do modelo matemático deu origem, genericamente, a melhores resultados, em termos de qualidade das soluções finais obtidas, medida através de um valor de *gap* total. No entanto, a resolução do modelo mostrou necessitar de um tempo de execução muito elevado e revelou-se limitada na capacidade de obtenção de soluções admissíveis em algumas instâncias, nomeadamente naquelas com maiores dimensões. Portanto, nas instâncias em que o modelo matemático consegue dar origem a uma solução admissível, esta metodologia consegue um melhor valor de *gap* total, embora a diferença para as duas outras metodologias não seja muito significativa.

Por outro lado, quer a heurística construtiva, quer a híbrida, apresentaram tempos de execução significativamente mais baixos, e encontraram uma solução admissível em todas as instâncias testadas. Apesar de, globalmente, as heurísticas terem obtido soluções de pior qualidade do que as encontradas pela resolução do modelo, pode dizer-se que os resultados obtidos se encontram na mesma ordem de grandeza. Acrescenta-se ainda que os melhores resultados, fornecidos pelas heurísticas construtiva e híbrida, se encontram nas instâncias de maiores dimensões.

Comparando entre si as duas heurísticas, a híbrida apresenta, genericamente, soluções com pior qualidade do que as obtidas através da heurística construtiva. No entanto, as diferenças não são muito significativas.

A heurística de melhoramento mostrou ser mais eficiente nas soluções obtidas através da heurística híbrida, seguida das originadas pela optimização do modelo e, menos efectiva, nas soluções da heurística construtiva. Esta observação pode justificar-se pelo facto da utilização do modelo, nas duas primeiras, originar alguns períodos em vazio ao longo do dia, que são facilmente aproveitados pela heurística de melhoramento. Situação que não acontece com tanta facilidade no caso da heurística construtiva.

A fase de planeamento de cirurgias de ambulatório conseguiu uma solução óptima na quase totalidade das instâncias, com qualquer das metodologias seguidas na fase anterior de planeamento. Estas soluções foram obtidas dentro de um tempo relativamente reduzido.

Relativamente aos dois objectivos trabalhados individualmente, o problema mostrou maiores dificuldades de resolução com o objectivo de redução da lista de espera para cirurgia, originando soluções de pior qualidade relativamente ao primeiro objectivo em estudo. Por outro lado, a optimização do modelo não conseguiu obter soluções admissíveis em mais instâncias com o segundo objectivo do que com o primeiro. Esta tendência é invertida se for considerada exclusivamente a fase de planeamento de cirurgias de ambulatório.

Com base na análise aos resultados obtidos, pode concluir-se que a abordagem de solução proposta no presente trabalho teve um comportamento positivo e eficaz no planeamento de cirurgias electivas, para o hospital em estudo.

# Capítulo 9

## Análise e Comparação

No presente capítulo, é desenvolvida uma análise global das soluções obtidas através da abordagem proposta neste trabalho para o planeamento do bloco operatório, bem como da prática em curso no hospital em estudo, à data da realização do mesmo.

Será iniciado com a análise aprofundada de uma solução específica relativa a uma das semanas testadas, seguida de uma análise genérica envolvendo todo o período testado.

### 9.1 Análise de Uma Solução

Inicia-se, então, com a análise da primeira semana em estudo, a semana de 12 a 16 de Fevereiro de 2007. Esta semana foi escolhida de forma arbitrária, tendo as restantes semanas mostrado um comportamento não muito diferente relativamente aos pontos em análise, permitindo retirar conclusões similares. Dentro desta semana de planeamento, foi utilizada para análise a solução final obtida através da instância  $Sp1C_{300_1} + Sp1A_{264_1}$ , para o objectivo de rentabilizar a utilização do bloco operatório. As soluções que se apresentam foram obtidas através da optimização do modelo matemático seguido da heurística de melhoramento, em ambas as fases de planeamento. De igual modo, a instância e metodologia de solução foram também escolhidas de forma arbitrária. Qualquer outra instância ou metodologia permitiria observar situações e conclusões similares.

No dia da definição do plano para a semana em análise, 9 de Fevereiro de 2007

(sexta-feira anterior ao primeiro dia de planeamento), existiam 2 307 pacientes em lista de espera para cirurgia neste hospital, sendo 2 043 para cirurgias convencionais e 264 para cirurgias de ambulatório (mais detalhes sobre a lista de espera para cirurgia, nesta data, constam nas tabelas 7.3 e 7.4).

A instância  $Sp1C_{300_1} + Sp1A_{264_1}$  considerou, para serem incluídas no processo de planeamento, um subconjunto de 300 cirurgias convencionais e o total das cirurgias de ambulatório. A duração prevista para cada cirurgia foi baseada no valor médio obtido para o mesmo procedimento cirúrgico na base de dados providenciada pelo hospital.

No plano desenvolvido pelo hospital, a duração prevista de cada cirurgia é baseada na experiência e sensibilidade do cirurgião proponente.

Começa-se por analisar os planos obtidos para essa semana, quer através da abordagem proposta no presente trabalho, quer do plano desenvolvido pelo hospital em estudo. Seguidamente será analisado o registo operatório desta semana, isto é, o conjunto de cirurgias efectivamente realizadas durante a mesma semana, representando este a produção do bloco operatório nessa semana.

### 9.1.1 Plano Operatório

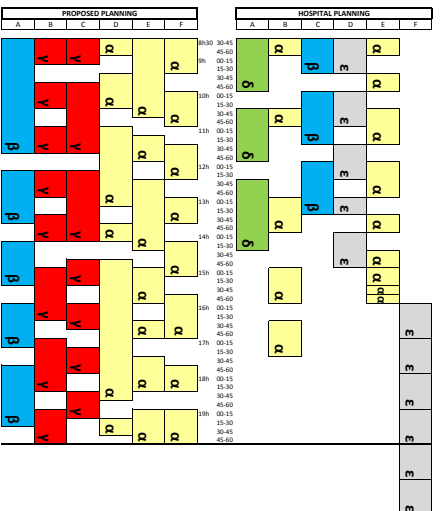
Apresenta-se, então, uma solução obtida através da abordagem proposta no presente trabalho para a semana de planeamento do bloco operatório seleccionada, juntamente com o plano realizado para a mesma semana pelo hospital em estudo.

Ambos os planos são apresentados em diagrama de Gantt na figura 9.1. Esta figura mostra os 5 dias da semana de planeamento. Para cada dia, apresenta-se o plano do hospital em estudo, por cima; e o plano proposto através da abordagem desenvolvida no presente trabalho, em baixo.

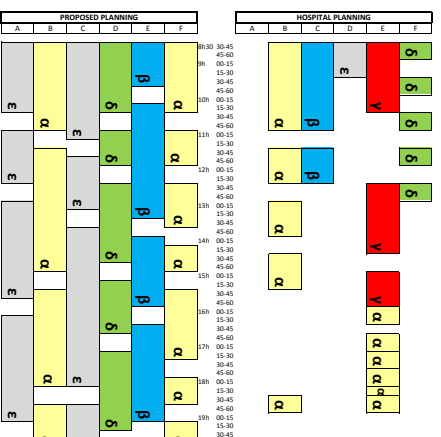
Através da análise da figura 9.1, é possível verificar que o plano operatório proposto obedece às condições indicadas pelo hospital. Este plano apenas utiliza tempo regular do bloco operatório, limitado pela linha a negro no diagrama. Por outro lado, o plano proposto inclui também o tempo necessário para se proceder ao protocolo de higienização da sala de operações, após a realização de cada cirurgia. Este tempo está avaliado

Figura 9.1: Plano do hospital e plano proposto para a semana de 12-16 Fevereiro 2007

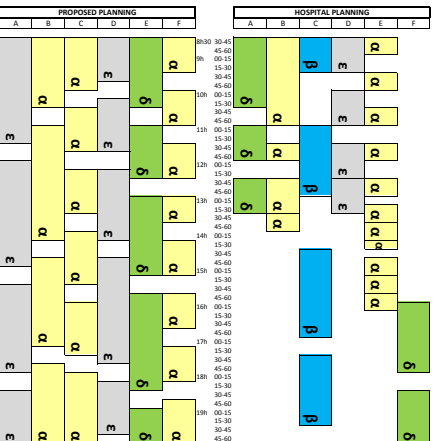
(a) 2ª feira - 12 Fevereiro 2007



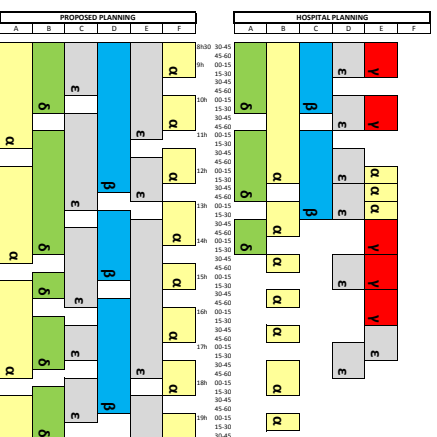
(b) 3ª feira - 13 Fevereiro 2007



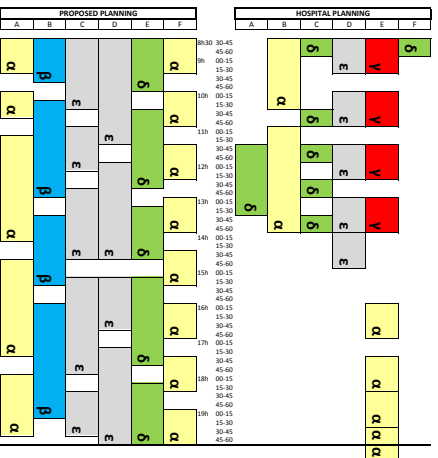
(c) 4ª feira - 14 Fevereiro 2007



(d) 5ª feira - 15 Fevereiro 2007



(e) 6ª feira - 16 Fevereiro 2007



(f) Legenda

- α Cirurgia Geral e Digestiva
- β Cirurgia Torácica
- γ Angiologia e Cirurgia Vasculiar
- δ Otorrinolaringologia
- ε Urologia

em 30 minutos, correspondendo, no diagrama, a dois períodos de tempo em branco, após cada cirurgia. Verifica-se, também, que cada sala, em cada dia, apenas comporta uma especialidade cirúrgica.

No plano operatório do hospital, pode observar-se a existência de marcações de intervenções cirúrgicas, para períodos de tempo extraordinário do bloco operatório, na 2ª feira, sala F. Por outro lado, o tempo para o protocolo de higienização da sala não está evidenciado neste plano. Esta observação poderá justificar-se, se o tempo previsto utilizado no planeamento contemplar o tempo para a higienização da sala de operações.

Pode ainda identificar-se, no plano do hospital, a possibilidade da mesma sala receber mais do que uma especialidade cirúrgica, no mesmo dia. Pode, também, verificar-se que não é contemplado no plano do hospital o requisito necessário para esta mudança de especialidade cirúrgica na sala, isto é, cerca de uma hora para preparação da sala de operações. Acontece na sala E, na 3ª, na 5ª e na 6ª feira, verificando-se, em duplicado, nos dois últimos dias.

A figura 9.1 mostra ainda vários períodos em vazio, no plano do hospital, existindo duas salas para as quais não é planeada qualquer cirurgia, durante todo o dia (sala F na 5ª e na 6ª feira). Esta observação sugere que a subutilização do bloco operatório é admitida ao nível do planeamento do mesmo, e não é apenas decorrente da incerteza inerente à sua actividade. E vem reforçar a afirmação proferida por Barros [Bar05, pg. 278]:

“/.../ embora os hospitais públicos (pertencentes ao SNS) tenham regras estritas sobre o horário de actividade, existem bastantes horas em que o equipamento existente é subutilizado”.

No mesmo diagrama pode verificar-se que, dentro do horário regular do bloco operatório, existem muitos períodos em que não está planeada a ocupação/utilização do mesmo na sua totalidade. Não só o equipamento está a ser subutilizado, como os recursos humanos também o estão a ser, nomeadamente ao nível de enfermeiros e auxiliares de acção médica.

A tabela 9.1 apresenta um resumo de alguns indicadores numéricos que ajudam também a descrever os dois planos em análise. A taxa de ocupação em tempo regular foi obtida através do quociente do número de períodos de tempo marcados em tempo

Tabela 9.1: Indicadores para os planos operatórios de 12-16 Fevereiro 2007

		Plano operatório	
		hospital	proposto
Cirurgias marcadas		131	161
Períodos de tempo marcados	regular	518	1 088
	extraordinário	10	0
	total	528	1 088
Taxa de ocupação em tempo regular		37,54%	78,84%
Taxa de redução da lista de espera		5,68%	6,98%
Cirurgias sem cirurgias marcadas		34,4%	34,4%
Períodos de tempo por cirurgia	mínimo	2	3
	média	12,9	27,2
	máximo	48	98

regular, no plano operatório, pelo total de períodos de tempo disponíveis para marcação ( $|T| \times |S| \times |D|$ ). O número de períodos de tempo marcados não inclui os períodos de higienização da sala de operações após a realização de cada cirurgia (com estes períodos, o valor seria 1 371, resultando uma taxa de ocupação em tempo regular do bloco operatório de 99,35%).

Nota-se que, tendo o modelo em análise uma função objectivo de maximização do número de períodos de tempo marcados, não só a taxa de ocupação do bloco operatório em tempo regular é bastante superior ao do plano do hospital, como também consegue aumentar o número de cirurgias marcadas. Em consequência, o potencial de rentabilização dos recursos humanos, nomeadamente dos cirurgiões, é maior no plano operatório proposto. Embora o número de cirurgiões com cirurgias marcadas no horizonte temporal seja igual nos dois planos, o tempo médio em operação destes cirurgiões no total da semana é, no caso do plano operatório proposto, 6 horas e 48 minutos (27,2 períodos de tempo), enquanto que no plano do hospital o tempo médio em operação no total da semana é menos de metade.

## 9.1.2 Registo Operatório

Para analisar a abordagem proposta no presente trabalho, importa também perceber de que modo o plano operatório proposto se comportaria na realidade. Para tal, desenvolveu-se um pseudo-registo operatório que consiste numa simulação da realização do plano operatório proposto neste trabalho.

O pseudo-registo operatório tem em conta a diferença entre a duração prevista de cada cirurgia, utilizada no desenvolvimento do plano operatório proposto, e a duração real da mesma cirurgia, bem como o impacto desta diferença na exequibilidade do plano proposto. Assim, com recurso à base de dados contendo informação sobre todas as cirurgias realizadas no hospital desde 1 de Janeiro de 2004 a 28 de Dezembro de 2007, foi utilizada a duração real de cada cirurgia marcada, nos casos em que a cirurgia foi realizada até ao final de 2007 e, portanto, constava da base de dados referida.

Algumas hipóteses foram assumidas para o desenvolvimento do pseudo-registo operatório. As cirurgias têm início à hora marcada, excepto nos casos em que uma cirurgia realizada anteriormente na mesma sala tenha durado mais tempo do que o previsto, e obrigado ao atraso das cirurgias posteriores. Outro motivo que pode atrasar o início de uma cirurgia é numa situação em que o cirurgião que a vai realizar está ainda com uma outra cirurgia, noutra sala de operações, no momento em que a mesma deveria começar. O atraso no início de uma cirurgia é admitido, então, apenas em casos de indisponibilidade, quer da sala de operações em que a mesma cirurgia vai ser realizada, quer do cirurgião que vai realizar essa cirurgia.

Não é admitida a possibilidade de ser iniciada uma cirurgia fora do tempo regular do bloco operatório. Quando o atraso na realização de cirurgias numa sala gera uma situação em que uma ou mais cirurgias seriam iniciadas já em horário extraordinário do bloco operatório, estas cirurgias foram anuladas e, por isso, não seriam realizadas. A única excepção a esta hipótese é no caso da cirurgia em questão ter uma prioridade de nível 1, Urgência Diferida, que, por motivos já apresentados, terão de ser realizadas no primeiro dia do horizonte temporal de planeamento, de modo a estarem de acordo com o tempo em espera, clinicamente aceitável, que levou à atribuição deste nível de prioridade, sendo, no caso, 72 horas.

Para o desenvolvimento do pseudo-registo operatório não foi considerada a possibili-

dade real de anulamento de uma cirurgia por incapacidade do paciente no momento em que estava prevista a sua realização, isto é, devido ao facto do paciente não se encontrar em condições para a cirurgia, no momento de realização da mesma. Por outro lado, também não foi considerada a possibilidade de serem realizadas cirurgias não planeadas, ou seja, não constantes do plano. Ambas as possibilidades são situações reais e que são reflectidas no registo operatório do hospital.

Apresenta-se, então, o pseudo-registo operatório obtido para o plano apresentado na subsecção anterior (figura 9.1), relativo à semana de planeamento de 12 a 16 de Fevereiro e à instância  $Sp1C_{300_1} + Sp1A_{264_1}$ , para o objectivo de rentabilizar a utilização do bloco operatório. A este pseudo-registo operatório junta-se o registo operatório, desta mesma semana, realizado pelo hospital. Ambos são apresentados também em diagrama de Gantt, na figura 9.2. À semelhança da figura 9.1, a figura 9.2 apresenta, para cada dia, o registo operatório do hospital em cima, e o pseudo-registo operatório em baixo.

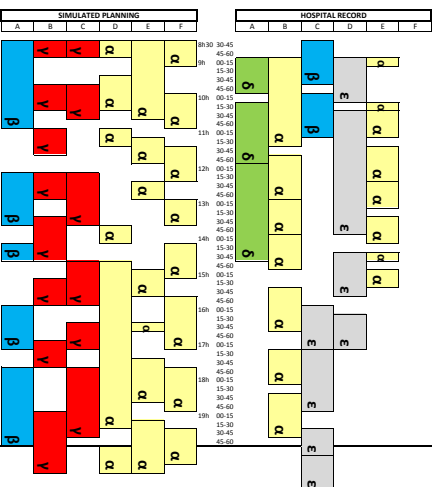
A figura 9.2 mostra que ambos os registos operatórios têm cirurgias a terminar em tempo extraordinário na totalidade dos dias, excepto um. No caso do pseudo-registo operatório, apenas numa situação existe uma cirurgia a ser iniciada em tempo extraordinário, sendo essa situação na 2ª feira, na sala D, e relativa a uma cirurgia classificada como Urgência Diferida. No caso do registo operatório do hospital, esta situação verifica-se mais vezes, não sendo nenhum dos casos relativos a cirurgias com esse nível de prioridade (2ª e 3ª feira, na sala C; e 5ª feira, na sala D). Verifica-se, então, que no caso do hospital em estudo, existe a possibilidade de serem iniciadas cirurgias em horário extraordinário do bloco operatório.

No diagrama relativo ao pseudo-registo operatório, existem alguns períodos de tempo em branco, que representam períodos de inactividade da sala de operações respectiva. Tendo em conta o plano que deu origem a esta simulação, os períodos de tempo, em vazio, são relativos a cirurgias com uma duração real inferior à duração prevista, utilizada para o desenvolvimento do plano, com excepção dos dois períodos em vazio, após a realização de cada cirurgia, que correspondem aos períodos necessários para a higienização da sala de operações. Trata-se de subutilização do bloco operatório gerada pela incerteza inerente à duração das cirurgias.

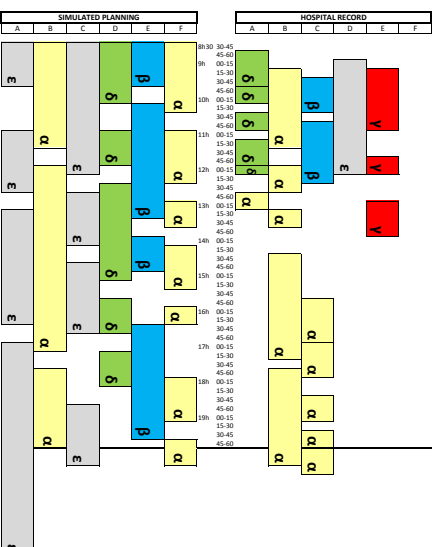
No caso do registo operatório do hospital, os períodos em vazio são em maior número. Neste caso, os mesmos não podem ser atribuídos à diferença na duração das cirurgias,

Figura 9.2: Registro operador e pseudo-registo operador para a semana de 12-16 Fevereiro 2007

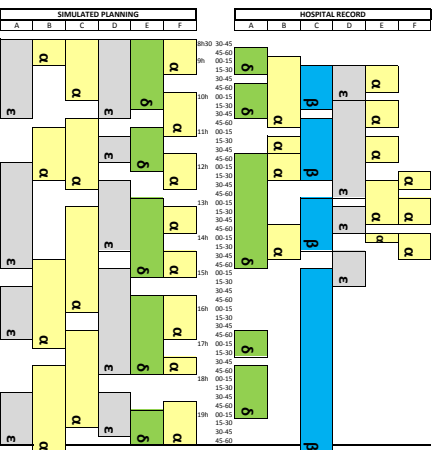
(a) 2ª feira - 12 Fevereiro 2007



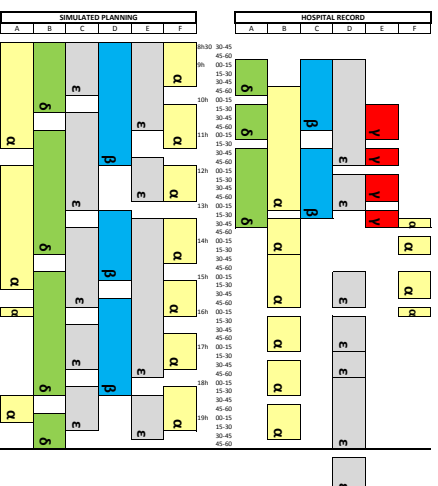
(b) 3ª feira - 13 Fevereiro 2007



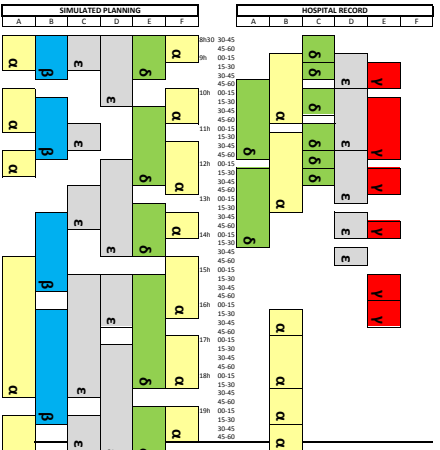
(c) 4ª feira - 14 Fevereiro 2007



(d) 5ª feira - 15 Fevereiro 2007



(e) 6ª feira - 16 Fevereiro 2007



(f) Legenda

- α Cirurgia Geral e Digestiva
- β Cirurgia Torácica
- γ Angiologia e Cirurgia Vasculiar
- δ Otorrinolaringologia
- ε Urologia

uma vez que a diferença verificada entre a duração real e a duração prevista para cada cirurgia é, no caso do hospital, positiva para a totalidade da semana, correspondendo este valor a 67 períodos de tempo. No caso do plano proposto, este balanço é negativo (-19).

Significa, então, que, neste caso, o hospital sub-avaliou a duração das cirurgias planeadas e, portanto, não só a justificação dada para a ausência de períodos planeados para o protocolo de higienização da sala é colocada em causa, como os períodos em vazio não podem ser atribuídos a esta componente aleatória do planeamento.

Confirma-se, então, neste caso, a subutilização da capacidade instalada no bloco operatório, e exemplifica-se, mais uma vez, a afirmação proferida por Barros [Bar05].

No registo do hospital, pode ainda verificar-se a utilização da mesma sala por mais do que uma especialidade cirúrgica, no mesmo dia (sala C na 2<sup>a</sup> feira e salas A e C na 3<sup>a</sup> feira). Contrariamente ao observado no plano operatório do hospital, observa-se algum tempo em vazio entre a utilização das duas especialidades cirúrgicas, na mesma sala.

A tabela 9.2 apresenta agora, para os registos operatórios, os mesmos indicadores numéricos indicados na tabela 9.1 para os planos operatórios.

Acrescenta-se, na tabela 9.2, informação sobre o motivo da diferença verificada entre o número de períodos de tempo utilizados nos registos operatórios, face ao número de períodos de tempo marcados no plano respectivo, em termos percentuais, no número de períodos de tempo. Esta diferença deve-se a três factores: duração real da cirurgia distinta da duração prevista no plano; cirurgias canceladas; e cirurgias realizadas que não tinham sido contempladas no plano, e que constam do registo operatório do hospital.

## 9.2 Análise Global

A solução analisada na secção anterior teve, nos testes computacionais da metodologia utilizada, um comportamento ao nível médio em relação às instâncias testadas. De facto, a instância obteve, no planeamento de cirurgias convencionais, um *gap* de 3,78%, sendo a média dos valores obtidos nesta fase do planeamento, para o objectivo

Tabela 9.2: Indicadores para os registos operatórios de 12-16 Fevereiro 2007

		Registo operatório	
		hospital	proposto
Cirurgias realizadas		127	154
Períodos de tempo utilizados	regular	590	991
	extraordinário	16	42
	total	606	1 033
Motivo para a diferença face ao plano	duração	28,9%	34,5%
	cancelamentos	33,2%	65,5%
	não planeadas	37,9%	-
Taxa de ocupação em tempo regular		42,75%	71,81%
Taxa de redução da lista de espera		5,47%	6,68%
Cirurgiões sem cirurgias realizadas		36,1%	36,1%
Períodos de tempo por cirurgião	mínimo	1	3
	média	15,2	26,5
	máximo	54	97

de rentabilizar a utilização do bloco operatório e com a mesma metodologia de solução, de 3,28%; e uma solução óptima na fase de planeamento de cirurgias de ambulatório. Originou, assim, um *gap* total de 3,22%.

Deste modo, pode concluir-se que a solução analisada na secção anterior é representativa das restantes instâncias e semanas de planeamento testadas, para o objectivo de rentabilizar a utilização do bloco operatório. As observações referidas na secção anterior são, portanto, generalizáveis às restantes instâncias e semanas de planeamento testadas, para o mesmo objectivo.

Assim, com o objectivo de rentabilização do bloco operatório, e com base nas sete semanas de planeamento estudadas, a abordagem proposta no presente trabalho apresenta uma taxa de ocupação potencial média do bloco operatório, em tempo regular, de 79,0%, 79,2% e 78,6%, seguindo as três metodologias propostas para a primeira fase de planeamento, respectivamente, optimização do modelo matemático, heurística construtiva e heurística híbrida (tabelas 9.3, 9.4 e 9.5). Correspondem, respectivamente, a uma taxa de redução potencial média da lista de espera, para intervenções cirúrgicas no hospital, de 7,42%, 6,97% e 6,98% (tabelas 9.3, 9.4 e 9.5). Estes valores vêm melhorar

Tabela 9.3: Rentabilizar o bloco operatório - Modelo matemático - plano operatório

Instância	Períodos marcados			Taxa	Cirurgias marcadas			Taxa
	Conv.	Amb.	Total	ocupação	Conv.	Amb.	Total	redução
Semana de planeamento: 12-16 Fevereiro 2007								
$Sp1C_{250_1} + Sp1A_{264_1}$	885	162	1 046	75,87%	132	39	171	7,41%
$Sp1C_{250_2} + Sp1A_{264_2}$	889	160	1 049	76,01%	128	40	168	7,28%
$Sp1C_{300_1} + Sp1A_{264_1}$	927	161	1 088	78,84%	122	39	161	6,98%
$Sp1C_{300_2} + Sp1A_{264_2}$	903	160	1 063	77,03%	133	40	173	7,50%
$Sp1C_{500_1} + Sp1A_{264_1}$	955	164	1 119	81,09%	115	38	153	6,63%
$Sp1C_{500_2} + Sp1A_{264_2}$	927	162	1 089	78,91%	125	39	164	7,11%
$Sp1C_{1000_1} + Sp1A_{264_1}$	-	-	-	-	-	-	-	-
$Sp1C_{1000_2} + Sp1A_{264_2}$	-	-	-	-	-	-	-	-
Média da semana	914	162	1 076	77,96%	126	39	165	7,15%
Semana de planeamento: 26 Fevereiro - 2 Março 2007								
$Sp2C_{250_1} + Sp2A_{274_1}$	897	158	1 055	76,45%	126	41	167	7,40%
$Sp2C_{250_2} + Sp2A_{274_2}$	-	-	-	-	-	-	-	-
$Sp2C_{300_1} + Sp2A_{274_1}$	-	-	-	-	-	-	-	-
$Sp2C_{300_2} + Sp2A_{274_2}$	906	158	1 064	77,10%	126	40	166	7,35%
$Sp2C_{500_1} + Sp2A_{274_1}$	-	-	-	-	-	-	-	-
$Sp2C_{500_2} + Sp2A_{274_2}$	927	160	1 087	78,77%	118	40	158	7,00%
$Sp2C_{1000_1} + Sp2A_{274_1}$	-	-	-	-	-	-	-	-
$Sp2C_{1000_2} + Sp2A_{274_2}$	-	-	-	-	-	-	-	-
Média da semana	910	159	1 069	77,44%	123	40	164	7,25%
Semana de planeamento: 5-9 Março 2007								
$Sp3C_{250_1} + Sp3A_{265_1}$	907	160	1 067	77,32%	132	40	172	7,79%
$Sp3C_{250_2} + Sp3A_{265_2}$	914	158	1 072	77,68%	139	41	180	8,15%
$Sp3C_{300_1} + Sp3A_{265_1}$	924	161	1 085	78,62%	126	39	165	7,47%
$Sp3C_{300_2} + Sp3A_{265_2}$	929	159	1 088	78,84%	130	40	170	7,70%
$Sp3C_{500_1} + Sp3A_{265_1}$	967	160	1 127	81,67%	114	39	153	6,93%
$Sp3C_{500_2} + Sp3A_{265_2}$	944	159	1 103	79,93%	121	40	161	7,29%
$Sp3C_{1000_1} + Sp3A_{265_1}$	-	-	-	-	-	-	-	-
$Sp3C_{1000_2} + Sp3A_{265_2}$	-	-	-	-	-	-	-	-
Média da semana	931	160	1 090	79,01%	127	40	167	7,55%

*Continua na página seguinte*

Instância	Períodos marcados			Taxa	Cirurgias marcadas			Taxa
	Conv.	Amb.	Total	ocupação	Conv.	Amb.	Total	redução
Semana de planejamento: 12-16 Março 2007								
<i>Sp4C_250<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	940	162	1 102	79,86%	126	39	165	7,55%
<i>Sp4C_250<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	927	160	1 087	78,77%	132	40	172	7,87%
<i>Sp4C_300<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	912	162	1 074	77,83%	119	39	158	7,23%
<i>Sp4C_300<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	928	160	1 088	78,84%	126	40	166	7,59%
<i>Sp4C_500<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	974	162	1 136	82,32%	111	39	150	6,86%
<i>Sp4C_500<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	939	160	1 099	79,64%	120	40	160	7,32%
<i>Sp4C_1000<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sp4C_1000<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	-	-	-	-	-	-	-	-
Média da semana	937	161	1 098	79,54%	122	40	162	7,40%
Semana de planejamento: 19-23 Março 2007								
<i>Sp5C_250<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	936	163	1 099	79,64%	129	38	167	7,76%
<i>Sp5C_250<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	898	162	1 060	76,81%	136	39	175	8,14%
<i>Sp5C_300<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	938	164	1 102	79,86%	126	38	164	7,62%
<i>Sp5C_300<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	933	162	1 095	79,35%	129	39	168	7,81%
<i>Sp5C_500<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sp5C_500<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sp5C_1000<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sp5C_1000<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	-	-	-	-	-	-	-	-
Média da semana	926	163	1089	78,91%	130	39	169	7,83%
Semana de planejamento: 26-30 Março 2007								
<i>Sp6C_250<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	925	160	1 085	78,62%	123	39	162	7,42%
<i>Sp6C_250<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	897	159	1 056	76,52%	135	40	175	8,02%
<i>Sp6C_300<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	930	160	1 090	78,99%	118	39	157	7,19%
<i>Sp6C_300<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	881	159	1 040	75,36%	134	40	174	7,97%
<i>Sp6C_500<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sp6C_500<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sp6C_1000<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sp6C_1000<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	-	-	-	-	-	-	-	-
Média da semana	908	160	1 068	77,37%	128	39	167	7,65%

*Continua na página seguinte*

Instância	Períodos marcados			Taxa	Cirurgias marcadas			Taxa
	Conv.	Amb.	Total	ocupação	Conv.	Amb.	Total	redução
Semana de planeamento: 2-5 Abril 2007								
<i>Sp7C_250<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	767	130	897	81,25%	92	31	123	5,71%
<i>Sp7C_250<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	759	130	889	80,53%	100	31	131	6,08%
<i>Sp7C_300<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	767	130	897	81,25%	93	31	124	5,75%
<i>Sp7C_300<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	757	130	887	80,34%	100	31	131	6,08%
<i>Sp7C_500<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	779	130	909	82,34%	86	31	117	5,43%
<i>Sp7C_500<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	771	130	901	81,61%	93	31	124	5,75%
<i>Sp7C_1000<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sp7C_1000<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	-	-	-	-	-	-	-	-
Média da semana	767	130	897	81,22%	94	31	125	5,80%
<b>Resultados médios</b>	<b>929</b>	<b>161</b>	<b>1 090</b>	<b>78,97%</b>	<b>124</b>	<b>39</b>	<b>164</b>	<b>7,42%</b>

os apresentados pelo hospital, para o período em estudo, no pressuposto de que são igualmente concretizáveis, tal como verificado na secção anterior.

As taxas de ocupação potencial do bloco operatório, em tempo regular, são calculadas, tal como referido na secção 9.1.1, através do quociente do número de períodos marcados em tempo regular, no plano operatório, pelo total de períodos de tempo disponíveis para marcação no horizonte temporal de planeamento ( $|T| \times |S| \times |D|$ ). A taxa de redução potencial da lista de espera para cirurgia é obtida pelo quociente do número de cirurgias marcadas no plano operatório pelo número de cirurgias em lista de espera à data do planeamento. Uma vez que a última semana consta de quatro dias de planeamento, menos um dia do que nas restantes semanas em teste, a taxa de redução potencial média da lista de espera, para cada metodologia seguida na primeira fase de planeamento e objectivo considerado, trata-se de uma média ponderada, de modo a permitir a comparação com as restantes semanas. No cálculo da taxa de ocupação potencial média do bloco operatório, em tempo regular, não é necessária a ponderação uma vez que o cálculo da taxa já contempla os dias de planeamento.

Tendo em conta a dimensão das listas de espera para cirurgia no hospital, nas semanas testadas, e que a taxa de ocupação máxima aceitável para um bloco operatório se encontra nos 85% [JAL06], trata-se de medidas de desempenho globais muito signi-

Tabela 9.4: Rentabilizar o bloco operatório - Heurística construtiva - plano operatório

Instância	Períodos marcados			Taxa ocupação	Cirurgias marcadas			Taxa redução
	Conv.	Amb.	Total		Conv.	Amb.	Total	
Semana de planeamento: 12-16 Fevereiro 2007								
<i>Sp1C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	872	161	1 033	74,86%	117	39	156	6,76%
<i>Sp1C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	857	160	1 017	73,70%	120	40	160	6,94%
<i>Sp1C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	907	161	1 068	77,39%	114	39	153	6,63%
<i>Sp1C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	900	160	1 060	76,81%	119	40	159	6,89%
<i>Sp1C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	947	164	1 111	80,51%	109	38	147	6,37%
<i>Sp1C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	945	162	1 107	80,22%	113	39	152	6,59%
<i>Sp1C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	968	164	1 132	82,03%	108	38	146	6,33%
<i>Sp1C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	969	162	1 131	81,96%	108	39	147	6,37%
Média da semana	921	162	1 082	78,43%	114	39	153	6,61%
Semana de planeamento: 26 Fevereiro - 2 Março 2007								
<i>Sp2C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	908	158	1 066	77,25%	123	41	164	7,26%
<i>Sp2C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	909	158	1 067	77,32%	127	41	168	7,44%
<i>Sp2C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	915	158	1 073	77,75%	119	41	160	7,09%
<i>Sp2C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	918	158	1 076	77,97%	125	41	166	7,35%
<i>Sp2C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	944	158	1 102	79,86%	109	41	150	6,64%
<i>Sp2C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	944	158	1 102	79,86%	113	41	154	6,82%
<i>Sp2C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	963	158	1 121	81,23%	106	41	147	6,51%
<i>Sp2C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	966	158	1 124	81,45%	107	41	148	6,55%
Média da semana	933	158	1 091	79,09%	116	41	157	6,96%
Semana de planeamento: 5-9 Março 2007								
<i>Sp3C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	902	160	1 062	76,96%	129	40	169	7,65%
<i>Sp3C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	887	158	1 045	75,72%	134	41	175	7,92%
<i>Sp3C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	918	161	1 079	78,19%	123	39	162	7,33%
<i>Sp3C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	910	159	1 069	77,46%	125	40	165	7,47%
<i>Sp3C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	955	160	1 115	80,80%	111	39	150	6,79%
<i>Sp3C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	946	159	1 105	80,14%	114	40	154	6,97%
<i>Sp3C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	975	161	1 136	82,32%	104	39	143	6,47%
<i>Sp3C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	963	159	1 122	81,30%	104	40	144	6,52%
Média da semana	932	160	1 092	79,11%	118	40	158	7,14%

*Continua na página seguinte*

Instância	Períodos marcados			Taxa	Cirurgias marcadas			Taxa
	Conv.	Amb.	Total	ocupação	Conv.	Amb.	Total	redução
Semana de planejamento: 12-16 Março 2007								
<i>Sp4C_250<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	877	162	1 039	75,29%	114	39	153	7,00%
<i>Sp4C_250<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	860	160	1 020	73,91%	122	40	162	7,41%
<i>Sp4C_300<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	903	162	1 065	77,17%	114	39	153	7,00%
<i>Sp4C_300<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	909	160	1 069	77,46%	125	40	165	7,55%
<i>Sp4C_500<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	957	160	1 117	80,94%	107	40	147	6,72%
<i>Sp4C_500<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	947	160	1 107	80,22%	117	40	157	7,18%
<i>Sp4C_1000<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	984	160	1 144	82,90%	102	40	142	6,50%
<i>Sp4C_1000<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	975	160	1 135	82,25%	101	40	141	6,45%
Média da semana	927	161	1 087	78,77%	113	40	153	6,98%
Semana de planejamento: 19-23 Março 2007								
<i>Sp5C_250<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	893	164	1 057	76,59%	122	38	160	7,44%
<i>Sp5C_250<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	887	162	1 049	76,01%	129	39	168	7,81%
<i>Sp5C_300<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	902	163	1 065	77,17%	116	38	154	7,16%
<i>Sp5C_300<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	899	161	1 060	76,81%	126	39	165	7,67%
<i>Sp5C_500<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	953	163	1 116	80,87%	107	38	145	6,74%
<i>Sp5C_500<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	951	162	1 113	80,65%	116	39	155	7,21%
<i>Sp5C_1000<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	972	164	1 136	82,32%	101	38	139	6,46%
<i>Sp5C_1000<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	977	162	1 139	82,54%	104	39	143	6,65%
Média da semana	929	163	1 092	79,12%	115	39	154	7,14%
Semana de planejamento: 26-30 Março 2007								
<i>Sp6C_250<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	927	160	1 087	78,77%	119	40	159	7,28%
<i>Sp6C_250<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	883	159	1 042	75,51%	121	40	161	7,38%
<i>Sp6C_300<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	929	160	1 089	78,91%	116	40	156	7,15%
<i>Sp6C_300<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	915	159	1 074	77,83%	127	40	167	7,65%
<i>Sp6C_500<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	946	160	1 106	80,14%	106	39	145	6,64%
<i>Sp6C_500<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	946	159	1 105	80,07%	115	40	155	7,10%
<i>Sp6C_1000<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	963	160	1 123	81,38%	102	39	141	6,46%
<i>Sp6C_1000<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	959	159	1 118	81,01%	106	40	146	6,69%
Média da semana	934	160	1 093	79,20%	114	40	154	7,04%

*Continua na página seguinte*

Instância	Períodos marcados			Taxa	Cirurgias marcadas			Taxa
	Conv.	Amb.	Total	ocupação	Conv.	Amb.	Total	redução
Semana de planeamento: 2-5 Abril 2007								
<i>Sp7C_250<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	754	130	884	80,07%	90	31	121	5,61%
<i>Sp7C_250<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	738	130	868	78,62%	98	31	129	5,99%
<i>Sp7C_300<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	759	130	889	80,53%	90	31	121	5,61%
<i>Sp7C_300<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	737	130	867	78,53%	96	31	127	5,89%
<i>Sp7C_500<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	768	130	898	81,34%	84	31	115	5,34%
<i>Sp7C_500<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	762	130	892	80,80%	89	31	120	5,57%
<i>Sp7C_1000<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	782	130	912	82,61%	80	31	111	5,15%
<i>Sp7C_1000<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	781	130	911	82,52%	83	31	114	5,29%
Média da semana	760	130	890	80,63%	89	31	120	5,56%
<b>Resultados médios</b>	<b>932</b>	<b>161</b>	<b>1 093</b>	<b>79,19%</b>	<b>114</b>	<b>40</b>	<b>154</b>	<b>6,97%</b>

ficativas para o bloco operatório do hospital em estudo.

No caso da utilização do objectivo de reduzir a lista de espera para cirurgia, a taxa de ocupação potencial média do bloco operatório, em tempo regular, obtida nas sete semanas de planeamento estudadas, é de 64,0%, 59,8% e 59,7%, para cada uma das metodologias propostas para a primeira fase do planeamento, respectivamente, optimização do modelo matemático, heurística construtiva e heurística híbrida (tabelas 9.6, 9.7 e 9.8). Correspondem, respectivamente, a uma taxa de redução potencial média da lista de espera, para intervenções cirúrgicas no hospital, de 11,65%, 12,02% e 11,98% (tabelas 9.6, 9.7 e 9.8).

Dando resposta à função objectivo utilizada, as taxas de redução da lista de espera são, neste caso, superiores às obtidas para o objectivo de rentabilizar a utilização do bloco operatório, sendo inferiores as taxas de ocupação do mesmo. Mostra, claramente, a natureza conflituosa dos dois objectivos em estudo.

Também neste caso os resultados vêm melhorar os apresentados pelo hospital, quer ao nível do desempenho do bloco operatório, quer na conseqüente redução da lista de espera para cirurgia.

Tabela 9.5: Rentabilizar o bloco operatório - Heurística híbrida - plano operatório

Instância	Períodos marcados			Taxa ocupação	Cirurgias marcadas			Taxa redução
	Conv.	Amb.	Total		Conv.	Amb.	Total	
Semana de planejamento: 12-16 Fevereiro 2007								
$Sp1C_{250_1} + Sp1A_{264_1}$	874	161	1 035	75,00%	118	39	157	6,81%
$Sp1C_{250_2} + Sp1A_{264_2}$	852	160	1 012	73,33%	120	39	159	6,89%
$Sp1C_{300_1} + Sp1A_{264_1}$	905	161	1 066	77,25%	114	39	153	6,63%
$Sp1C_{300_2} + Sp1A_{264_2}$	895	160	1 055	76,45%	119	40	159	6,89%
$Sp1C_{500_1} + Sp1A_{264_1}$	936	164	1 100	79,71%	106	38	144	6,24%
$Sp1C_{500_2} + Sp1A_{264_2}$	946	162	1 108	80,29%	113	39	152	6,59%
$Sp1C_{1000_1} + Sp1A_{264_1}$	957	164	1 121	81,23%	105	38	143	6,20%
$Sp1C_{1000_2} + Sp1A_{264_2}$	971	162	1 133	82,10%	108	39	147	6,37%
Média da semana	917	162	1 079	78,17%	113	39	152	6,58%
Semana de planejamento: 26 Fevereiro - 2 Março 2007								
$Sp2C_{250_1} + Sp2A_{274_1}$	902	158	1 060	76,81%	122	41	163	7,22%
$Sp2C_{250_2} + Sp2A_{274_2}$	898	158	1 056	76,52%	124	41	165	7,31%
$Sp2C_{300_1} + Sp2A_{274_1}$	912	158	1 070	77,54%	118	41	159	7,04%
$Sp2C_{300_2} + Sp2A_{274_2}$	914	158	1 072	77,68%	124	41	165	7,31%
$Sp2C_{500_1} + Sp2A_{274_1}$	939	158	1 097	79,49%	107	41	148	6,55%
$Sp2C_{500_2} + Sp2A_{274_2}$	944	158	1 102	79,86%	111	41	152	6,73%
$Sp2C_{1000_1} + Sp2A_{274_1}$	958	158	1 116	80,87%	104	41	145	6,42%
$Sp2C_{1000_2} + Sp2A_{274_2}$	962	158	1 120	81,16%	106	41	147	6,51%
Média da semana	929	158	1 087	78,74%	115	41	156	6,89%
Semana de planejamento: 5-9 Março 2007								
$Sp3C_{250_1} + Sp3A_{265_1}$	903	160	1 063	77,03%	130	40	170	7,70%
$Sp3C_{250_2} + Sp3A_{265_2}$	850	158	1 008	73,04%	128	41	169	7,65%
$Sp3C_{300_1} + Sp3A_{265_1}$	917	161	1 078	78,12%	123	39	162	7,33%
$Sp3C_{300_2} + Sp3A_{265_2}$	913	159	1 072	77,68%	128	40	168	7,61%
$Sp3C_{500_1} + Sp3A_{265_1}$	955	161	1 116	80,87%	112	39	151	6,84%
$Sp3C_{500_2} + Sp3A_{265_2}$	948	157	1 105	80,07%	114	41	155	7,02%
$Sp3C_{1000_1} + Sp3A_{265_1}$	975	161	1 136	82,32%	105	39	144	6,52%
$Sp3C_{1000_2} + Sp3A_{265_2}$	964	157	1 121	81,23%	107	41	148	6,70%
Média da semana	928	159	1 087	78,80%	118	40	158	7,17%

*Continua na página seguinte*

Instância	Períodos marcados			Taxa	Cirurgias marcadas			Taxa
	Conv.	Amb.	Total	ocupação	Conv.	Amb.	Total	redução
Semana de planejamento: 12-16 Março 2007								
<i>Sp4C_250<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	859	162	1 021	73,99%	111	39	150	6,86%
<i>Sp4C_250<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	863	160	1 023	74,13%	124	39	163	7,46%
<i>Sp4C_300<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	868	162	1 030	74,64%	109	39	148	6,77%
<i>Sp4C_300<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	896	160	1 056	76,52%	125	40	165	7,55%
<i>Sp4C_500<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	940	162	1 102	79,86%	111	39	150	6,86%
<i>Sp4C_500<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	941	160	1 101	79,78%	118	40	158	7,23%
<i>Sp4C_1000<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	966	162	1 128	81,74%	108	39	147	6,72%
<i>Sp4C_1000<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	974	160	1 134	82,17%	105	40	145	6,63%
Média da semana	913	161	1 074	77,85%	114	39	153	7,01%
Semana de planejamento: 19-23 Março 2007								
<i>Sp5C_250<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	876	163	1 039	75,29%	123	38	161	7,48%
<i>Sp5C_250<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	881	162	1 043	75,58%	128	39	167	7,76%
<i>Sp5C_300<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	901	163	1 064	77,10%	122	38	160	7,44%
<i>Sp5C_300<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	898	162	1 060	76,81%	127	39	166	7,72%
<i>Sp5C_500<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	940	164	1 104	80,00%	112	38	150	6,97%
<i>Sp5C_500<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	942	161	1 103	79,93%	115	39	154	7,16%
<i>Sp5C_1000<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	961	164	1 125	81,52%	108	38	146	6,79%
<i>Sp5C_1000<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	977	162	1 139	82,54%	105	39	144	6,69%
Média da semana	922	163	1 085	78,60%	118	38	156	7,25%
Semana de planejamento: 26-30 Março 2007								
<i>Sp6C_250<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	880	160	1 040	75,36%	111	39	150	6,87%
<i>Sp6C_250<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	882	159	1 041	75,43%	120	40	160	7,33%
<i>Sp6C_300<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	888	160	1 048	75,94%	107	39	146	6,69%
<i>Sp6C_300<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	904	159	1 063	77,03%	123	40	163	7,47%
<i>Sp6C_500<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	943	160	1 103	79,93%	105	39	144	6,60%
<i>Sp6C_500<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	937	159	1 096	79,42%	111	40	151	6,92%
<i>Sp6C_1000<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	954	160	1 114	80,72%	100	40	140	6,41%
<i>Sp6C_1000<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	950	159	1 109	80,36%	102	40	142	6,50%
Média da semana	917	160	1 077	78,03%	110	40	150	6,85%

*Continua na página seguinte*

Instância	Períodos marcados			Taxa	Cirurgias marcadas			Taxa
	Conv.	Amb.	Total	ocupação	Conv.	Amb.	Total	redução
Semana de planeamento: 2-5 Abril 2007								
<i>Sp7C_250<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	745	130	875	79,26%	96	31	127	5,89%
<i>Sp7C_250<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	738	130	868	78,62%	99	31	130	6,03%
<i>Sp7C_300<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	745	130	875	79,26%	95	31	126	5,85%
<i>Sp7C_300<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	742	130	872	78,99%	98	31	129	5,99%
<i>Sp7C_500<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	765	130	895	81,07%	86	31	117	5,43%
<i>Sp7C_500<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	754	130	884	80,07%	90	31	121	5,61%
<i>Sp7C_1000<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	774	130	904	81,88%	83	31	114	5,29%
<i>Sp7C_1000<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	774	130	904	81,88%	86	31	117	5,43%
Média da semana	755	130	885	80,13%	92	31	123	5,69%
<b>Resultados médios</b>	<b>924</b>	<b>161</b>	<b>1 085</b>	<b>78,62%</b>	<b>115</b>	<b>39</b>	<b>154</b>	<b>6,98%</b>

Estes valores mostram novamente que as três metodologias propostas para a primeira fase de planeamento originam resultados dentro da mesma ordem de grandeza. No entanto, verifica-se que a heurística construtiva conseguiu, nas instâncias testadas, melhor taxa de ocupação potencial média do bloco operatório e melhor taxa de redução potencial média da lista de espera, quando é considerado o respectivo objectivo no planeamento. No plano oposto encontra-se a heurística híbrida, quando o objectivo é rentabilizar o bloco operatório, e a optimização do modelo matemático, quando o objectivo é reduzir a lista de espera para cirurgia.

Os valores objectivo, a taxa de ocupação potencial em tempo regular do bloco operatório e a taxa de redução potencial da lista de espera para cirurgia, de cada solução obtida através da abordagem proposta, constam nas tabelas 9.3 a 9.8. São separados por metodologia seguida na primeira fase do planeamento, e pelo objectivo em optimização.

Estas tabelas permitem verificar que tanto a taxa de ocupação potencial média do bloco operatório como a taxa de redução potencial da lista de espera para cirurgia são tendencialmente mais elevadas quanto maior é a dimensão da instância em teste (para o mesmo tipo de duração prevista para cada cirurgia), quando é optimizado o objectivo correspondente. A introdução de mais cirurgias no planeamento permite uma maior fle-

Tabela 9.6: Reduzir lista de espera para cirurgia - Modelo matemático - plano operatório

Instância	Períodos marcados			Taxa	<b>Cirurgias marcadas</b>			Taxa
	Conv.	Amb.	Total	ocupação	Conv.	Amb.	Total	redução
Semana de planejamento: 12-16 Fevereiro 2007								
$Sp1C_{250_1} + Sp1A_{264_1}$	751	122	874	63,33%	178	57	235	10,19%
$Sp1C_{250_2} + Sp1A_{264_2}$	708	124	832	60,29%	176	58	234	10,14%
$Sp1C_{300_1} + Sp1A_{264_1}$	758	123	881	63,84%	194	57	251	10,88%
$Sp1C_{300_2} + Sp1A_{264_2}$	773	124	897	65,00%	203	58	261	11,31%
$Sp1C_{500_1} + Sp1A_{264_1}$	-	-	-	-	-	-	-	-
$Sp1C_{500_2} + Sp1A_{264_2}$	-	-	-	-	-	-	-	-
$Sp1C_{1000_1} + Sp1A_{264_1}$	-	-	-	-	-	-	-	-
$Sp1C_{1000_2} + Sp1A_{264_2}$	-	-	-	-	-	-	-	-
Média da semana	748	123	871	63,12%	188	57	245	10,63%
Semana de planejamento: 26 Fevereiro - 2 Março 2007								
$Sp2C_{250_1} + Sp2A_{274_1}$	800	119	919	66,59%	181	59	240	10,63%
$Sp2C_{250_2} + Sp2A_{274_2}$	806	118	924	66,96%	186	59	245	10,85%
$Sp2C_{300_1} + Sp2A_{274_1}$	766	118	884	64,06%	183	60	243	10,76%
$Sp2C_{300_2} + Sp2A_{274_2}$	771	119	890	64,49%	199	60	259	11,47%
$Sp2C_{500_1} + Sp2A_{274_1}$	-	-	-	-	-	-	-	-
$Sp2C_{500_2} + Sp2A_{274_2}$	-	-	-	-	-	-	-	-
$Sp2C_{1000_1} + Sp2A_{274_1}$	-	-	-	-	-	-	-	-
$Sp2C_{1000_2} + Sp2A_{274_2}$	-	-	-	-	-	-	-	-
Média da semana	786	118	904	65,53%	187	60	247	10,93%
Semana de planejamento: 5-9 Março 2007								
$Sp3C_{250_1} + Sp3A_{265_1}$	763	119	882	63,91%	184	60	244	11,05%
$Sp3C_{250_2} + Sp3A_{265_2}$	758	120	878	63,62%	181	60	241	10,91%
$Sp3C_{300_1} + Sp3A_{265_1}$	777	119	896	64,93%	192	60	252	11,41%
$Sp3C_{300_2} + Sp3A_{265_2}$	778	119	897	65,00%	187	60	247	11,18%
$Sp3C_{500_1} + Sp3A_{265_1}$	-	-	-	-	-	-	-	-
$Sp3C_{500_2} + Sp3A_{265_2}$	-	-	-	-	-	-	-	-
$Sp3C_{1000_1} + Sp3A_{265_1}$	-	-	-	-	-	-	-	-
$Sp3C_{1000_2} + Sp3A_{265_2}$	-	-	-	-	-	-	-	-
Média da semana	769	119	888	64,37%	186	60	246	11,14%

*Continua na página seguinte*

Instância	Períodos marcados			Taxa	<b>Cirurgias marcadas</b>			Taxa
	Conv.	Amb.	Total	ocupação	Conv.	Amb.	Total	redução
<b>Semana de planejamento: 12-16 Março 2007</b>								
<i>Sp4C_250<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	804	119	923	66,88%	188	60	248	11,34%
<i>Sp4C_250<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	782	119	901	65,29%	192	60	252	11,53%
<i>Sp4C_300<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	771	120	891	64,57%	190	60	250	11,44%
<i>Sp4C_300<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	779	119	898	65,07%	183	60	243	11,12%
<i>Sp4C_500<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sp4C_500<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	726	119	845	61,23%	221	60	281	12,85%
<i>Sp4C_1000<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sp4C_1000<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	-	-	-	-	-	-	-	-
Média da semana	772	119	892	64,61%	195	60	255	11,66%
<b>Semana de planejamento: 19-23 Março 2007</b>								
<i>Sp5C_250<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	793	119	912	66,09%	188	60	248	11,53%
<i>Sp5C_250<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	786	119	905	65,58%	195	60	255	11,85%
<i>Sp5C_300<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	775	120	895	64,86%	196	60	256	11,90%
<i>Sp5C_300<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	770	119	889	64,42%	207	60	267	12,41%
<i>Sp5C_500<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	736	119	855	61,96%	215	60	275	12,78%
<i>Sp5C_500<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	718	119	837	60,65%	226	60	286	13,30%
<i>Sp5C_1000<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sp5C_1000<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	-	-	-	-	-	-	-	-
Média da semana	763	119	882	63,93%	205	60	265	12,30%
<b>Semana de planejamento: 26-30 Março 2007</b>								
<i>Sp6C_250<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	773	119	892	64,64%	166	60	226	10,35%
<i>Sp6C_250<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	801	119	920	66,67%	185	60	245	11,22%
<i>Sp6C_300<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	748	119	867	62,83%	185	60	245	11,22%
<i>Sp6C_300<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	787	119	906	65,65%	197	60	257	11,77%
<i>Sp6C_500<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sp6C_500<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	721	119	840	60,87%	214	60	274	12,55%
<i>Sp6C_1000<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sp6C_1000<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	-	-	-	-	-	-	-	-
Média da semana	766	119	885	64,04%	189	60	249	11,65%

*Continua na página seguinte*

Instância	Períodos marcados			Taxa	<b>Cirurgias marcadas</b>			Taxa
	Conv.	Amb.	Total	ocupação	Conv.	Amb.	Total	redução
Semana de planeamento: 2-5 Abril 2007								
<i>Sp7C_250<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	624	96	720	65,22%	158	48	206	9,56%
<i>Sp7C_250<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	623	95	718	65,04%	163	48	211	9,79%
<i>Sp7C_300<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	618	95	713	64,58%	166	48	214	9,93%
<i>Sp7C_300<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	585	96	681	61,68%	168	48	216	10,02%
<i>Sp7C_500<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	588	96	684	61,96%	180	48	228	10,58%
<i>Sp7C_500<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	564	95	659	59,69%	187	48	235	10,90%
<i>Sp7C_1000<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sp7C_1000<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	-	-	-	-	-	-	-	-
Média da semana	600	96	696	63,03%	170	48	218	10,13%
<b>Resultados médios</b>	<b>765</b>	<b>120</b>	<b>885</b>	<b>64,04%</b>	<b>195</b>	<b>60</b>	<b>254</b>	<b>11,65%</b>

xibilidade de escolha das cirurgias mais convenientes para responder ao objectivo em consideração. Esta observação permite concluir que, para o caso da utilização das metodologias heurísticas como primeiro passo no planeamento de cirurgias convencionais, é mais favorável a consideração de um conjunto maior de cirurgias para o planeamento, porque origina melhores resultados potenciais. E como foi visto no capítulo anterior, nestes casos, o tempo de execução não é penalizado porque os tempos das heurísticas construtivas e híbridas são reduzidos e não crescentes com a dimensão das instâncias em teste. No caso da optimização do modelo matemático, não é possível reproduzir conclusões semelhantes porque a optimização do mesmo não conseguiu encontrar soluções admissíveis para as instâncias de maior dimensão, não conseguindo, por isso, tirar partido desta opção.

A observação de base do parágrafo anterior mostra algumas excepções (quatro para o objectivo de maximização da utilização do bloco operatório; e cinco para o de maximização do número de cirurgias marcadas). No caso do objectivo de rentabilização do bloco operatório, destacam-se as instâncias *Sp7C\_250<sub>2</sub> + Sp7A\_258<sub>2</sub>* e *Sp7C\_300<sub>2</sub> + Sp7A\_258<sub>2</sub>* que foram reincidentes nesta excepção. A segunda instância originou uma taxa de ocupação potencial em tempo regular do bloco operatório inferior à respectiva taxa originada pela primeira instância, nas opções de optimização do modelo e da heurística construtiva (ver tabelas 9.3 e 9.4, respectivamente). Para o objectivo de redução da lis-

Tabela 9.7: Reduzir lista de espera para cirurgia - Heur. construtiva - plano operatório

Instância	Períodos marcados			Taxa	<b>Cirurgias marcadas</b>			Taxa
	Conv.	Amb.	Total	ocupação	Conv.	Amb.	Total	redução
Semana de planejamento: 12-16 Fevereiro 2007								
<i>Sp1C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	720	122	844	61,16%	180	57	237	10,27%
<i>Sp1C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	660	124	784	56,81%	176	58	234	10,14%
<i>Sp1C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	687	124	811	58,77%	184	57	241	10,45%
<i>Sp1C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	651	124	775	56,16%	183	58	241	10,45%
<i>Sp1C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	678	122	800	57,97%	201	57	258	11,18%
<i>Sp1C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	645	124	769	55,72%	205	58	263	11,40%
<i>Sp1C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>1</sub>	688	122	810	58,70%	228	57	285	12,35%
<i>Sp1C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp1A_264</i> <sub>2</sub>	660	124	784	56,81%	247	58	305	13,22%
Média da semana	674	123	797	57,76%	201	57	258	11,18%
Semana de planejamento: 26 Fevereiro - 2 Março 2007								
<i>Sp2C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	762	118	880	63,77%	176	60	236	10,45%
<i>Sp2C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	774	119	893	64,71%	183	60	243	10,76%
<i>Sp2C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	722	119	841	60,94%	184	60	244	10,81%
<i>Sp2C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	720	119	839	60,80%	190	60	250	11,07%
<i>Sp2C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	710	119	829	60,07%	207	60	267	11,82%
<i>Sp2C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	701	119	820	59,42%	214	60	274	12,13%
<i>Sp2C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>1</sub>	688	118	806	58,41%	225	60	285	12,62%
<i>Sp2C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp2A_274</i> <sub>2</sub>	669	119	788	57,10%	244	60	304	13,46%
Média da semana	718	119	837	60,65%	203	60	263	11,64%
Semana de planejamento: 5-9 Março 2007								
<i>Sp3C_250</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	761	119	880	63,77%	184	60	244	11,05%
<i>Sp3C_250</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	751	119	870	63,04%	187	60	247	11,18%
<i>Sp3C_300</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	676	119	795	57,61%	176	60	236	10,68%
<i>Sp3C_300</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	689	119	808	58,55%	184	60	244	11,05%
<i>Sp3C_500</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	717	119	836	60,58%	209	60	269	12,18%
<i>Sp3C_500</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	690	119	809	58,62%	216	60	276	12,49%
<i>Sp3C_1000</i> <sub>1</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>1</sub>	690	119	809	58,62%	228	60	288	13,04%
<i>Sp3C_1000</i> <sub>2</sub> + <i>Sp3A_265</i> <sub>2</sub>	665	119	784	56,81%	247	60	307	13,90%
Média da semana	705	119	824	59,70%	204	60	264	11,95%

*Continua na página seguinte*

Instância	Períodos marcados			Taxa	<b>Cirurgias marcadas</b>			Taxa
	Conv.	Amb.	Total	ocupação	Conv.	Amb.	Total	redução
Semana de planejamento: 12-16 Março 2007								
<i>Sp4C_250<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	757	119	876	63,48%	182	60	242	11,07%
<i>Sp4C_250<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	747	119	866	62,75%	185	60	245	11,21%
<i>Sp4C_300<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	768	120	888	64,35%	193	60	253	11,57%
<i>Sp4C_300<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	745	119	864	62,61%	196	60	256	11,71%
<i>Sp4C_500<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	698	119	817	59,20%	205	60	265	12,12%
<i>Sp4C_500<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	679	119	798	57,83%	215	60	275	12,58%
<i>Sp4C_1000<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	691	119	810	58,70%	229	60	289	13,22%
<i>Sp4C_1000<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	659	119	778	56,38%	250	60	310	14,18%
Média da semana	718	119	837	60,66%	207	60	267	12,21%
Semana de planejamento: 19-23 Março 2007								
<i>Sp5C_250<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	691	119	810	58,70%	172	60	232	10,79%
<i>Sp5C_250<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	716	120	836	60,58%	183	60	243	11,30%
<i>Sp5C_300<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	712	119	831	60,22%	187	60	247	11,48%
<i>Sp5C_300<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	734	119	853	61,81%	199	60	259	12,04%
<i>Sp5C_500<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	719	119	838	60,72%	212	60	272	12,65%
<i>Sp5C_500<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	700	119	819	59,35%	221	60	281	13,06%
<i>Sp5C_1000<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	690	119	809	58,62%	228	60	288	13,39%
<i>Sp5C_1000<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	664	119	783	56,74%	250	60	310	14,41%
Média da semana	703	119	822	59,59%	207	60	267	12,39%
Semana de planejamento: 26-30 Março 2007								
<i>Sp6C_250<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	789	119	908	65,80%	177	60	237	10,86%
<i>Sp6C_250<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	746	120	866	62,75%	176	60	236	10,81%
<i>Sp6C_300<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	745	119	864	62,61%	185	60	245	11,22%
<i>Sp6C_300<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	722	119	841	60,94%	188	60	248	11,36%
<i>Sp6C_500<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	709	119	828	60,00%	199	60	259	11,86%
<i>Sp6C_500<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	697	119	816	59,13%	210	60	270	12,37%
<i>Sp6C_1000<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	695	120	815	59,06%	222	60	282	12,92%
<i>Sp6C_1000<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	680	119	799	57,90%	243	60	303	13,88%
Média da semana	723	119	842	61,02%	200	60	260	11,91%

*Continua na página seguinte*

Instância	Períodos marcados			Taxa	<b>Cirurgias marcadas</b>			Taxa
	Conv.	Amb.	Total	ocupação	Conv.	Amb.	Total	redução
Semana de planeamento: 2-5 Abril 2007								
<i>Sp7C_250<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	585	95	680	61,59%	151	48	199	9,23%
<i>Sp7C_250<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	572	95	667	60,42%	155	48	203	9,42%
<i>Sp7C_300<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	577	95	672	60,87%	159	48	207	9,61%
<i>Sp7C_300<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	573	95	668	60,51%	166	48	214	9,93%
<i>Sp7C_500<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	555	95	650	58,88%	176	48	224	10,39%
<i>Sp7C_500<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	545	95	640	57,97%	186	48	234	10,86%
<i>Sp7C_1000<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	537	95	632	57,25%	191	48	239	11,09%
<i>Sp7C_1000<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	514	95	609	55,16%	208	48	256	11,88%
Média da semana	557	95	652	59,08%	174	48	222	10,30%
<b>Resultados médios</b>	<b>705</b>	<b>120</b>	<b>825</b>	<b>59,78%</b>	<b>205</b>	<b>60</b>	<b>265</b>	<b>12,02%</b>

ta de espera para cirurgia, realçam-se as instâncias  $Sp3C_250_1 + Sp3A_265_1$  e  $Sp3C_300_1 + Sp3A_265_1$ , assim como  $Sp3C_250_2 + Sp3A_265_2$  e  $Sp4C_300_2 + Sp4A_287_2$ , igualmente reincidentes nesta excepção. Em ambos os pares, verificou-se novamente que a segunda instância deu origem a uma taxa de redução potencial da lista de espera para cirurgia inferior à respectiva taxa originada pela primeira instância, quando foram utilizadas as heurísticas construtiva e híbrida no início da primeira fase do planeamento (tabelas 9.7 e 9.8, respectivamente).

Em sentido inverso, e em consequência das observações anteriores, pode ser igualmente observado nas tabelas em análise que as taxas referidas tendem a decrescer com o aumento da dimensão das instâncias, quando é considerado o objectivo alternativo ao correspondente a cada uma dessas taxas. Isto é, quando as soluções são obtidas em resposta ao objectivo de rentabilização do bloco operatório, a taxa de redução da lista de espera para cirurgia tende a diminuir com o aumento da dimensão das instâncias. E quando as soluções são obtidas com base na maximização do número de cirurgias marcadas, a taxa de ocupação potencial do bloco operatório em tempo regular tende a diminuir com o aumento da dimensão das instâncias. Mais uma vez é, assim, colocada em evidência a natureza conflituosa dos dois objectivos em estudo.

As instâncias com maior dimensão são aquelas que mais contribuem para aumentar

Tabela 9.8: Reduzir a lista de espera para cirurgia - Heurística híbrida - plano operatório

Instância	Períodos marcados			Taxa	<b>Cirurgias marcadas</b>			Taxa
	Conv.	Amb.	Total	ocupação	Conv.	Amb.	Total	redução
Semana de planejamento: 12-16 Fevereiro 2007								
$Sp1C_{250_1} + Sp1A_{264_1}$	729	122	851	61,67%	181	57	238	10,32%
$Sp1C_{250_2} + Sp1A_{264_2}$	725	124	849	61,52%	186	58	244	10,58%
$Sp1C_{300_1} + Sp1A_{264_1}$	687	122	809	58,62%	184	57	241	10,45%
$Sp1C_{300_2} + Sp1A_{264_2}$	713	124	837	60,65%	196	58	254	11,01%
$Sp1C_{500_1} + Sp1A_{264_1}$	697	122	819	59,35%	206	57	263	11,40%
$Sp1C_{500_2} + Sp1A_{264_2}$	645	124	769	55,72%	205	58	263	11,40%
$Sp1C_{1000_1} + Sp1A_{264_1}$	683	122	805	58,33%	227	57	284	12,31%
$Sp1C_{1000_2} + Sp1A_{264_2}$	655	124	779	56,45%	245	58	303	13,13%
Média da semana	692	123	815	59,04%	204	57	261	11,32%
Semana de planejamento: 26 Fevereiro - 2 Março 2007								
$Sp2C_{250_1} + Sp2A_{274_1}$	726	118	844	61,16%	170	60	230	10,19%
$Sp2C_{250_2} + Sp2A_{274_2}$	769	119	888	64,35%	182	60	242	10,72%
$Sp2C_{300_1} + Sp2A_{274_1}$	683	120	803	58,19%	177	60	237	10,50%
$Sp2C_{300_2} + Sp2A_{274_2}$	715	120	835	60,51%	189	60	249	11,03%
$Sp2C_{500_1} + Sp2A_{274_1}$	703	118	821	59,49%	205	60	265	11,74%
$Sp2C_{500_2} + Sp2A_{274_2}$	697	120	817	59,20%	213	60	273	12,09%
$Sp2C_{1000_1} + Sp2A_{274_1}$	683	118	801	58,04%	223	60	283	12,53%
$Sp2C_{1000_2} + Sp2A_{274_2}$	663	119	782	56,67%	242	60	302	13,37%
Média da semana	705	119	824	59,70%	200	60	260	11,52%
Semana de planejamento: 5-9 Março 2007								
$Sp3C_{250_1} + Sp3A_{265_1}$	761	120	881	63,84%	183	60	243	11,00%
$Sp3C_{250_2} + Sp3A_{265_2}$	762	119	881	63,84%	187	60	247	11,18%
$Sp3C_{300_1} + Sp3A_{265_1}$	669	120	789	57,17%	174	60	234	10,59%
$Sp3C_{300_2} + Sp3A_{265_2}$	697	119	816	59,13%	183	60	243	11,00%
$Sp3C_{500_1} + Sp3A_{265_1}$	721	120	841	60,94%	212	60	272	12,31%
$Sp3C_{500_2} + Sp3A_{265_2}$	706	119	825	59,78%	218	60	278	12,58%
$Sp3C_{1000_1} + Sp3A_{265_1}$	693	119	812	58,84%	228	60	288	13,04%
$Sp3C_{1000_2} + Sp3A_{265_2}$	665	119	784	56,81%	245	60	305	13,81%
Média da semana	709	119	829	60,05%	204	60	264	11,94%

*Continua na página seguinte*

Instância	Períodos marcados			Taxa	<b>Cirurgias marcadas</b>			Taxa
	Conv.	Amb.	Total	ocupação	Conv.	Amb.	Total	redução
<b>Semana de planejamento: 12-16 Março 2007</b>								
<i>Sp4C_250<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	740	119	859	62,25%	177	60	237	10,84%
<i>Sp4C_250<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	743	119	862	62,46%	185	60	245	11,21%
<i>Sp4C_300<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	744	119	863	62,54%	186	60	246	11,25%
<i>Sp4C_300<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	735	119	854	61,88%	194	60	254	11,62%
<i>Sp4C_500<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	707	119	826	59,86%	206	60	266	12,17%
<i>Sp4C_500<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	671	119	790	57,25%	213	60	273	12,49%
<i>Sp4C_1000<sub>1</sub> + Sp4A_287<sub>1</sub></i>	691	119	810	58,70%	227	60	287	13,13%
<i>Sp4C_1000<sub>2</sub> + Sp4A_287<sub>2</sub></i>	653	119	772	55,94%	248	60	308	14,09%
Média da semana	711	119	830	60,11%	205	60	265	12,10%
<b>Semana de planejamento: 19-23 Março 2007</b>								
<i>Sp5C_250<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	717	119	836	60,58%	177	60	237	11,02%
<i>Sp5C_250<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	711	119	830	60,14%	182	60	242	11,25%
<i>Sp5C_300<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	717	119	836	60,58%	188	60	248	11,53%
<i>Sp5C_300<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	705	119	824	59,71%	193	60	253	11,76%
<i>Sp5C_500<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	691	119	810	58,70%	205	60	265	12,32%
<i>Sp5C_500<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	698	119	817	59,20%	220	60	280	13,02%
<i>Sp5C_1000<sub>1</sub> + Sp5A_285<sub>1</sub></i>	687	120	807	58,48%	227	60	287	13,34%
<i>Sp5C_1000<sub>2</sub> + Sp5A_285<sub>2</sub></i>	662	119	781	56,59%	249	60	309	14,37%
Média da semana	699	119	818	59,25%	205	60	265	12,33%
<b>Semana de planejamento: 26-30 Março 2007</b>								
<i>Sp6C_250<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	762	120	882	63,91%	172	60	232	10,63%
<i>Sp6C_250<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	756	119	875	63,41%	177	60	237	10,86%
<i>Sp6C_300<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	716	119	835	60,51%	178	60	238	10,90%
<i>Sp6C_300<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	722	119	841	60,94%	188	60	248	11,36%
<i>Sp6C_500<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	715	120	835	60,51%	200	60	260	11,91%
<i>Sp6C_500<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	696	119	815	59,06%	210	60	270	12,37%
<i>Sp6C_1000<sub>1</sub> + Sp6A_295<sub>1</sub></i>	699	119	818	59,28%	222	60	282	12,92%
<i>Sp6C_1000<sub>2</sub> + Sp6A_295<sub>2</sub></i>	668	119	787	57,03%	239	60	299	13,70%
Média da semana	717	119	836	60,58%	198	60	258	11,83%

*Continua na página seguinte*

Instância	Períodos marcados			Taxa	<b>Cirurgias marcadas</b>			Taxa
	Conv.	Amb.	Total	ocupação	Conv.	Amb.	Total	redução
Semana de planeamento: 2-5 Abril 2007								
<i>Sp7C_250<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	582	95	677	61,32%	149	48	197	9,14%
<i>Sp7C_250<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	571	95	666	60,33%	154	48	202	9,37%
<i>Sp7C_300<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	577	95	672	60,87%	158	48	206	9,56%
<i>Sp7C_300<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	573	96	669	60,60%	166	48	214	9,93%
<i>Sp7C_500<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	552	95	647	58,61%	173	48	221	10,26%
<i>Sp7C_500<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	544	95	639	57,88%	185	48	233	10,81%
<i>Sp7C_1000<sub>1</sub> + Sp7A_258<sub>1</sub></i>	532	95	627	56,79%	189	48	237	11,00%
<i>Sp7C_1000<sub>2</sub> + Sp7A_258<sub>2</sub></i>	514	95	609	55,16%	207	48	255	11,83%
Média da semana	556	95	651	58,94%	173	48	221	10,24%
<b>Resultados médios</b>	<b>704</b>	<b>120</b>	<b>823</b>	<b>59,67%</b>	<b>204</b>	<b>60</b>	<b>264</b>	<b>11,98%</b>

o valor da taxa de ocupação potencial média do bloco operatório e da taxa de redução potencial média da lista de espera, resultantes da utilização das heurísticas construtiva ou híbrida na primeira fase do planeamento. Nestas instâncias, a optimização do modelo matemático não conseguiu obter uma solução admissível, e, por este motivo, as instâncias de maior dimensão não contribuem para o valor médio das taxas referidas, para esta metodologia. Esta é uma razão para a diferença das conclusões observadas na presente secção e na secção 8.3.3. Comparando as taxas de ocupação potencial média do bloco operatório e as taxas de redução potencial média da lista de espera, quando é considerado o respectivo objectivo no planeamento, apenas tendo em conta as instâncias para as quais a optimização do modelo conseguiu encontrar uma solução admissível, pode verificar-se a mesma tendência observada no capítulo anterior. Neste caso, os valores para as taxas de ocupação potencial média do bloco operatório são 78,97%, 78,05% e 77,37%, respectivamente para a optimização do modelo matemático, heurística construtiva e heurística híbrida; e as taxas de redução potencial média da lista de espera passam a ser 11,65%, 11,43% e 11,38%, quando o objectivo é o de reduzir a lista de espera para cirurgia.

Assim, quando a optimização do modelo matemático consegue encontrar um plano operatório, este é, em média, de melhor qualidade do que o respectivo plano obtido com base numa das heurísticas desenvolvidas, apesar da diferença não ser significativa.

No entanto, a otimização do modelo matemático não consegue encontrar resposta nas instâncias que potencialmente dão origem a melhores soluções, que são aquelas com maior dimensão.

Por outro lado, observa-se ainda que, embora tendencialmente se verifique uma relação de ordem negativa entre o valor do *gap* total e o valor da taxa de ocupação do bloco operatório ou de redução da lista de espera para cirurgia, esta ordem não é obrigatória. Tome-se como exemplo os resultados obtidos com a otimização do modelo matemático na primeira fase do planeamento, para o objectivo de rentabilização do bloco operatório, nas instâncias  $Sp1C\_300_2 + Sp1A\_264_2$  e  $Sp1C\_500_2 + Sp1A\_264_2$ . A primeira obteve um *gap* total de 4,89%, dando origem a uma taxa de ocupação potencial do bloco operatório de 78,84%; os respectivos valores, na segunda instância, foram 4,96% e 78,91% (valores incluídos nas tabelas 8.4 e 9.3).



**Parte IV**  
**Conclusões**



# Capítulo 10

## Conclusões e Trabalho Futuro

Apresentam-se agora as conclusões deste trabalho e apontam-se pistas para trabalho futuro.

### 10.1 Conclusões

A saúde potencial pode ser percebida como uma possibilidade para uma maior ausência de doença, para um maior bem-estar ou para uma maior aptidão funcional.

De acordo com as orientações do Plano Nacional de Saúde 2004-2010, para se desenvolverem com eficiência e de uma forma participada e informada as intervenções necessárias para melhorar o estado de saúde dos portugueses, é necessário promover mudanças na cultura, nos hábitos de trabalho e nas formas de responsabilização. Para tal, são abordadas orientações estratégicas sob três perspectivas: centrar a mudança na cidadania, capacitar o sistema de saúde para a inovação e reorientar o sistema de saúde.

“Uma cidadania iluminada manifesta-se, em parte, através de escolhas informadas que respeitem as necessidades de racionalização e racionamento, para permitir a sustentabilidade do sistema de saúde. Estas escolhas passam por responsabilidades por parte do legislador em garantir a saúde pública, criando condições de acesso aos cuidados considerados prioritários pela sociedade.” [Dir04]

A fim de que os utentes possam ser melhor atendidos em tempo útil, de uma forma eficaz e humanizada, foi o presente trabalho idealizado e elaborado. A perspectiva em estudo é de colaboração íntima e imediata ao nível da Investigação Operacional na área da Saúde. Trabalha-se o planeamento do bloco operatório, uma área muito solicitada e à qual é urgente apresentar uma resposta de maior eficiência, eficácia e de bem-estar para todos.

Com o presente trabalho, pretende-se dar início a um diálogo entre a Investigação Operacional e o planeamento de cirurgias no bloco operatório. Procura-se uma resposta inovadora que contribua para a celeridade de soluções mais ajustadas, com vista a uma melhoria da qualidade de vida do cidadão.

Perante as tão anunciadas listas de espera para cirurgia, procurou-se uma solução equilibrada e resolutiva para satisfação do problema. Trata-se de um primeiro contributo da Investigação Operacional, realizado em Portugal, nesta área específica do bloco operatório e de que temos conhecimento. Procuram-se soluções concretas dentro da realidade portuguesa.

Outros trabalhos nesta área têm vindo a ser desenvolvidos noutros países, ajustados às suas próprias realidades.

Tratando-se de uma situação inovadora, deparou-se com um diálogo motivador entre a Investigação Operacional e o bloco operatório. A recolha de dados e percepção das especificidades do problema revelaram-se fundamentais para o desenrolar do trabalho. Período extenso, mas que permitiu objectivar o problema com mais detalhe e realidade, possibilitando o início de um diálogo eficaz e resolutivo. A generosidade do hospital, através da cedência de dados, foi um passo importante, sem o qual o presente trabalho teria necessariamente um rumo diferente e menos fundamentado.

Concretizada esta etapa do trabalho, e uma vez compreendido o problema, o mesmo é formulado através de um modelo em programação linear inteira em que podem ser considerados vários objectivos. Foram trabalhados dois objectivos individualmente. O primeiro pretende dar resposta à rentabilização do bloco operatório e o segundo à redução das listas de espera para cirurgia. São objectivos sociais e administrativos, que não têm em conta interesses exclusivos dos trabalhadores do bloco operatório, nomeadamente dos cirurgiões.

Tendo-se observado que o modelo atinge dimensões muito elevadas em instâncias reais, desenvolveu-se uma abordagem de solução que envolve a divisão hierárquica do planeamento em duas fases, e a utilização de heurísticas construtivas e de melhoramento criadas para o efeito.

A abordagem de solução desenvolvida foi testada com dados que abrangem sete semanas de funcionamento do bloco operatório, para o ano de 2007, momento do início do presente trabalho. Os resultados mostraram um bom comportamento das metodologias de solução propostas para os dois objectivos em estudo.

Em seguida procedeu-se à análise da realidade concreta das soluções finais obtidas. Verificou-se, então, que as soluções, obedecendo às condições indicadas pelo hospital, vão ainda mais além do verificado até esse momento. Estas soluções consideram situações que até ao momento do estudo ainda não foram contempladas.

Conclui-se que as soluções obtidas neste estudo mostraram ser realizáveis, isto é, concretizáveis na prática. Naturalmente, poderão surgir outros condicionalismos que serão ultrapassáveis. Poderão, ainda, existir algumas condições que, na realidade, se respeitam, mas que não foram reflectidas no modelo e abordagem desenvolvidas.

Tal concretização melhora o desempenho do bloco operatório, respondendo, assim, à necessidade de resolução das listas de espera para cirurgia e da eficiência no funcionamento da capacidade instalada no bloco operatório do hospital.

Relativamente às três metodologias apresentadas, observou-se que, quando consegue obter uma solução admissível, a optimização do modelo matemático é a que origina soluções mais próximas da solução óptima. No entanto, a capacidade de obter soluções admissíveis é limitada às instâncias de menor dimensão. Por outro lado, o tempo utilizado por esta metodologia revelou-se demasiado extenso. As heurísticas construtiva e híbrida, apesar de originarem valores de *gap* ligeiramente superiores, conseguem encontrar soluções para as instâncias de maior dimensão e o tempo de resolução é substancialmente menor. As instâncias de maior dimensão são aquelas que potenciam um maior valor ao nível da taxa potencial de ocupação do bloco operatório e de redução da lista de espera para cirurgia.

As heurísticas desenvolvidas perspectivam melhores possibilidades para proceder a alterações durante a realização do plano (*on-line*). Por outro lado, uma vez que o plano não é cumprido na totalidade, devido à natureza estocástica do problema, não se justifica a utilização de mais tempo para procurar a optimalidade no planeamento. Pelos motivos apresentados, aconselha-se a utilização da heurística construtiva na fase de planeamento de cirurgias convencionais.

Os investimentos previstos no sistema de saúde deverão contemplar o providenciar ao cidadão um atendimento de qualidade, em tempo útil, com efectividade, humanidade e custos sustentáveis ao longo do tempo.

## 10.2 Trabalho Futuro

O desenvolvimento deste trabalho deixa, desde já, propostas para uma inovação crescente e motivadora na procura de melhores resultados, cada vez mais adequados à realidade concreta que se apresenta em movimento contínuo.

Surge em primeiro lugar a integração da capacidade das unidades de recobro no planeamento do bloco operatório, no caso desta capacidade se revelar um recurso escasso do hospital, face à melhoria na produtividade do bloco operatório gerada pela abordagem proposta neste trabalho.

A consideração do tempo em horário de serviço dos cirurgiões é outra possibilidade importante a ser analisada. Trata-se de uma componente que tem em conta os interesses dos cirurgiões e que é, sem dúvida, essencial à qualidade do serviço prestado por estes. O modelo desenvolvido já contempla esta possibilidade, mas não foi operacionalizada.

Outras características da qualidade das escalas dos cirurgiões são ainda pontos que podem ser estudados. Por exemplo, será vantajoso que, no mesmo dia, o cirurgião opere, na medida do possível, na mesma sala de operações, isto é, que a mudança de sala para um cirurgião não seja excessiva quando desnecessária. Outra questão a ter em conta na qualidade da escala de um cirurgião é o intercalar sucessivo da realização de cirurgias convencionais e de ambulatório. Constituirá, porventura, uma melhor escala quando o cirurgião opera um conjunto de cirurgias convencionais em consecutivo e, da mesma forma, um conjunto de cirurgias de ambulatório.

Outro aspecto de relevo é a possibilidade de considerar uma percentagem indicadora para a produção semanal de cada uma das especialidades cirúrgicas. Esta percentagem pode ser um dado estratégico do hospital, oriundo de uma primeira fase do planeamento do bloco operatório (designada na literatura por *case mix planning*).

Será também oportuna a consideração de uma abordagem multicritério ao problema. Poderão ser testadas as duas funções objectivo estudadas individualmente, as outras duas apresentadas neste trabalho mas não testadas computacionalmente, bem como outras que venham a revelar-se de interesse para o planeamento do bloco operatório.

Por outro lado, mostrar-se-á relevante o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão, que permitirá a visualização de todo este trabalho, possibilitando um diálogo mais assertivo e disponível com a Saúde.

Paralelamente, fica também a proposta de aprofundamento do estudo do problema tendo em conta a natureza estocástica que lhe é inerente, nomeadamente ao nível da duração das cirurgias e do cancelamento de cirurgias constantes do plano, motivado pela indisponibilidade física do paciente para a realização da operação.

Todo o trabalho futuro deve implicar uma continuidade, num olhar aprofundado e detalhado sobre condicionalismos presentes no planeamento hospitalar.

Com base na análise do Plano Nacional de Saúde para 2004-2010, surge ainda a oportunidade de um trabalho similar no planeamento de consultas de ambulatório. Trata-se de uma área a requerer uma atenção particular para encontrar uma resposta adequada.

Fica, assim, desde já, um ponto de partida de propostas inovadoras para trabalhos futuros, contribuindo deste modo para um sistema de saúde onde a pessoa humana seja mais valorizada em qualquer dos seus papéis.



# Parte V

## Anexos



# Anexo A

## Horário de Serviço dos Cirurgiões

Em algumas circunstâncias, para além do tempo em operação de cada cirurgião, importa a forma como esse mesmo tempo é distribuído ao longo do dia. Antecipadamente, deve ser tido em consideração o tempo em permanência de cada cirurgião, isto é, o intervalo de tempo entre o início da primeira cirurgia e o final da última cirurgia, em cada dia, e para cada cirurgião. Isto pode ser introduzido no modelo através de uma nova função objectivo de minimização da parte não útil desse tempo.

São agora propostas novas variáveis e restrições que possibilitam a consideração no modelo da minimização do número de períodos de tempo em permanência de cada cirurgião.

São, então, considerados dois conjuntos de variáveis adicionais:

$$\bar{v}_{htd} = \begin{cases} 1, & \text{se o cirurgião } h \text{ inicia uma cirurgia no período } t \text{ ou anterior, no dia } d \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (h \in H, t \in T, d \in D)$$

$$\underline{v}_{htd} = \begin{cases} 1, & \text{se o cirurgião } h \text{ termina uma cirurgia no período } t \text{ ou posterior, no dia } d \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (h \in H, t \in T, d \in D)$$

Consideram-se, assim, as seguintes restrições de ligação entre as variáveis de decisão do modelo,  $x_{cstd}$ , e as variáveis adicionais  $\bar{v}_{htd}$  e  $\underline{v}_{htd}$ :

$$\sum_{\substack{c \in C: \\ h_c = h, t \in T_c}} \sum_{s \in S} x_{cst1} \leq \bar{v}_{ht1} \leq \bar{v}_{h,t+1,1}, \quad \forall h \in H, t \in T \setminus \{|T|\} \quad (\text{A.1})$$

$$\sum_{\substack{c \in C^n: \\ h_c = h, t \in T_c}} \sum_{s \in S} x_{cstd} \leq \bar{v}_{htd} \leq \bar{v}_{h,t+1,d}, \quad \forall h \in H, t \in T \setminus \{|T|\}, d \in D \setminus \{1\} \quad (\text{A.2})$$

$$\sum_{\substack{c \in C: \\ h_c = h, t_c \leq t}} \sum_{s \in S} x_{c,s,t-t_c+1,1} \leq \underline{v}_{ht1} \leq \underline{v}_{h,t-1,1}, \quad \forall h \in H, t \in T \setminus \{1\} \quad (\text{A.3})$$

$$\sum_{\substack{c \in C^n: \\ h_c = h, t_c \leq t}} \sum_{s \in S} x_{c,s,t-t_c+1,d} \leq \underline{v}_{htd} \leq \underline{v}_{h,t-1,d}, \quad \forall h \in H, t \in T \setminus \{1\}, d \in D \setminus \{1\} \quad (\text{A.4})$$

O número de períodos de tempo em permanência de cada cirurgião em cada dia é, então, dado pela expressão

$$\sum_{t \in T} \bar{v}_{htd} \underline{v}_{htd}, \quad \forall h \in H, d \in D \quad (\text{A.5})$$

Assim, surge um novo objectivo que minimiza o número de períodos em permanência do conjunto dos cirurgiões no horizonte temporal de planeamento, através da seguinte função objectivo:

$$\sum_{h \in H} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} \bar{v}_{htd} \underline{v}_{htd} \quad (\text{A.6})$$

As expressões (A.5) são expressões quadráticas que poderão ser linearizadas. A linearização destas expressões origina um problema de programação linear inteira de dimensão muito superior.

**Exemplo.** O presente exemplo pretende ilustrar uma solução admissível. Considere-se uma situação com  $|T| = 13$ . Para simplificação, analisa-se o número de períodos de tempo em permanência para um dado cirurgião  $h \in H$  num dia  $d \in D$ . Considerem-se as cirurgias  $c = 1, 2, 3$  marcadas para o cirurgião  $h$ , isto é,  $h_1 = h_2 = h_3 = h$ , cujas durações são 3, 2, 2 períodos de tempo, respectivamente ( $t_1 = 3, t_2 = 2, t_3 = 2$ ). Admita-se que as cirurgias estão marcadas para serem iniciadas nos períodos 2, 5 e 10, respectivamente, e para alguma sala de operações  $s \in S$ . Assim,  $x_{1,s,2,d} = x_{2,s,5,d} = x_{3,s,10,d} = 1$  e

$x_{cstd} = 0, \forall t \in T \setminus \{2, 5, 10\}, c \in C^m : h_c = h, s \in S$ . Desta forma, o cirurgião  $h$  tem marcados 10 períodos em permanência.

Atendendo aos conjuntos de restrições (A.1) - (A.4), vem

$$\begin{array}{cccc}
0 \leq \bar{v}_{h1d} \leq \bar{v}_{h2d} & 1 \leq \bar{v}_{h2d} \leq \bar{v}_{h3d} & 0 \leq \bar{v}_{h3d} \leq \bar{v}_{h4d} & 0 \leq \bar{v}_{h4d} \leq \bar{v}_{h5d} \\
1 \leq \bar{v}_{h5d} \leq \bar{v}_{h6d} & 0 \leq \bar{v}_{h6d} \leq \bar{v}_{h7d} & 0 \leq \bar{v}_{h7d} \leq \bar{v}_{h8d} & 0 \leq \bar{v}_{h8d} \leq \bar{v}_{h9d} \\
0 \leq \bar{v}_{h9d} \leq \bar{v}_{h10d} & 1 \leq \bar{v}_{h10d} \leq \bar{v}_{h11d} & 0 \leq \bar{v}_{h11d} \leq \bar{v}_{h12d} & 0 \leq \bar{v}_{h12d} \leq \bar{v}_{h13d} \\
\\
0 \leq \underline{v}_{h2d} \leq \underline{v}_{h1d} & 0 \leq \underline{v}_{h3d} \leq \underline{v}_{h2d} & 1 \leq \underline{v}_{h4d} \leq \underline{v}_{h3d} & 0 \leq \underline{v}_{h5d} \leq \underline{v}_{h4d} \\
1 \leq \underline{v}_{h6d} \leq \underline{v}_{h5d} & 0 \leq \underline{v}_{h7d} \leq \underline{v}_{h6d} & 0 \leq \underline{v}_{h8d} \leq \underline{v}_{h7d} & 0 \leq \underline{v}_{h9d} \leq \underline{v}_{h8d} \\
0 \leq \underline{v}_{h10d} \leq \underline{v}_{h9d} & 1 \leq \underline{v}_{h11d} \leq \underline{v}_{h10d} & 0 \leq \underline{v}_{h12d} \leq \underline{v}_{h11d} & 0 \leq \underline{v}_{h13d} \leq \underline{v}_{h12d}
\end{array}$$

Resulta, então, que

$$\begin{aligned}
0 \leq \bar{v}_{h1d} \leq 1, \bar{v}_{h2d} = \bar{v}_{h3d} = \dots = \bar{v}_{h13d} = 1 \\
\underline{v}_{h1d} = \underline{v}_{h2d} = \dots = \underline{v}_{h10d}, 0 \leq \underline{v}_{h12d}, \underline{v}_{h13d} \leq 1
\end{aligned}$$

Esquemáticamente,

$t$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\sum_c \sum_s x_{cstd}$	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
$\bar{v}_{htd}$	0/1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$\underline{v}_{htd}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0/1	0/1

Uma vez que se pretende a minimização do número de períodos em permanência dos cirurgiões,  $\bar{v}_{h1d} = \underline{v}_{h12d} = \underline{v}_{h13d} = 0$ , o que está de acordo com a forma como foram definidas as variáveis adicionais, e a expressão (A.5) toma o valor 10.

□

O número de períodos em permanência dos cirurgiões não foi considerado nos testes e análises desenvolvidos e apresentados na parte III da presente tese, uma vez que no

hospital em estudo não é tido em consideração no acto do planeamento das cirurgias electivas.

# Anexo B

## Número de Variáveis e Restrições

No presente anexo, mostra-se que o modelo apresentado no capítulo 5 tem um número de variáveis na ordem de  $o(|C| \times |S| \times |T| \times |D|)$  e de restrições na ordem de  $o(|C| \times |T| \times |D|)$ .

(*Ordem das variáveis do modelo*). Na tabela seguinte, encontram-se os conjuntos de variáveis considerados no modelo, e um majorante para o número de variáveis de cada um desses conjuntos.

Tabela B.1: Estudo da ordem das variáveis do modelo

(5.16)	$x_{cst1} \in \{0, 1\}$ , $\forall c \in C_1^p$ , $s \in S$ , $t \in T_c$	$ C  S  T $	$C_1^p \subseteq C$ , $T_c \subseteq T$
(5.17)	$x_{cstd} \in \{0, 1\}$ , $\forall c \in C^n$ , $s \in S$ , $t \in T_c$ , $d \in D$	$ C  S  T  D $	$C^n \subseteq C$ , $T_c \subseteq T$
(5.18)	$y_{j\text{sd}} \in \{0, 1\}$ , $\forall j \in E$ , $s \in S$ , $d \in D$	$ E  S  D $	

Tem de haver pelo menos um dia disponível para a marcação de cirurgias, caso contrário o horizonte temporal de planeamento é inexistente. Assim,  $|D| \geq 1$  e, então,  $|C| \times |S| \times |T| \times |D| \geq |C| \times |S| \times |T|$ , e o conjunto de variáveis (5.17) domina o conjunto de variáveis (5.16).

Por outro lado, o número de cirurgias para marcação é pelo menos igual ao número de especialidades cirúrgicas, isto é,  $|C| \geq |E|$ , e, uma vez que  $|T| \geq 1$ , logo  $|C| \times |T| \geq |E|$ . Então  $|C| \times |S| \times |T| \times |D| \geq |E| \times |S| \times |D|$  e o conjunto de variáveis (5.17) domina o conjunto de variáveis (5.18).

Uma vez que o conjunto de variáveis (5.17) domina os conjuntos de variáveis (5.16) e (5.18), conclui-se, assim, que o número de variáveis do modelo é na ordem de  $o(|C| \times$

$|S| \times |T| \times |D|$ ).

(*Ordem das restrições do modelo*). Na tabela seguinte, encontra-se o domínio de aplicação para os índices de cada um dos conjuntos de restrições do modelo, e um majorante para o número de restrições em cada um desses conjuntos.

Tabela B.2: Estudo da ordem das restrições do modelo

(5.1)	$\forall c \in C_1^p$	$ C $	$C_1^p \subseteq C$
(5.2)	$\forall c \in C_2^p$	$ C $	$C_2^p \subseteq C$
(5.3)	$\forall c \in C \setminus (C_1^p \cup C_2^p)$	$ C $	$C \setminus (C_1^p \cup C_2^p) \subseteq C$
(5.4)	$\forall s \in S, t \in T$	$ S  T $	
(5.5)	$\forall s \in S, t \in T, d \in D \setminus \{1\}$	$ S  T  D $	$D \setminus \{1\} \subseteq D$
(5.6)	$\forall c \in C_1^p, t \in T_c$	$ C  T $	$C_1^p \subseteq C, T_c \subseteq T$
(5.7)	$\forall c \in C^n, t \in T_c, d \in D$	$ C  T  D $	$C^n \subseteq C, T_c \subseteq T$
(5.8)	$\forall s \in S, d \in D$	$ S  D $	
(5.9)	$\forall j \in E, s \in S$	$ E  S $	
(5.10)	$\forall j \in E, s \in S, d \in D \setminus \{1\}$	$ E  S  D $	$D \setminus \{1\} \subseteq D$
(5.11)	$\forall h \in H, t \in T$	$ H  T $	
(5.12)	$\forall h \in H, d \in D \setminus \{1\}, t \in T$	$ H  D  T $	$D \setminus \{1\} \subseteq D$
(5.13)	$\forall h \in H$	$ H $	
(5.14)	$\forall d \in D \setminus \{1\}, h \in H$	$ D  H $	$D \setminus \{1\} \subseteq D$
(5.15)	$\forall h \in H$	$ H $	

Uma vez que o número de dias e períodos de tempo para a marcação das cirurgias é pelo menos um, isto é,  $|D| \geq 1$  e  $|T| \geq 1$ , conclui-se, então, que:

- $|C| \times |T| \times |D| \geq |C| \times |T| \geq |C|$  e o conjunto de restrições (5.7) domina os conjuntos de restrições (5.1), (5.2), (5.3) e (5.6).
- $|S| \times |T| \times |D| \geq |S| \times |T|$  e  $|S| \times |T| \times |D| \geq |S| \times |D|$ , e o conjunto de restrições (5.5) domina os conjuntos de restrições (5.4) e (5.8).
- $|E| \times |S| \times |D| \geq |E| \times |S|$  e o conjunto de restrições (5.10) domina o conjunto de restrições (5.9).
- $|H| \times |D| \times |T| \geq |D| \times |H| \geq |H|$  e  $|H| \times |D| \times |T| \geq |H| \times |T|$ . O conjunto de restrições (5.12) domina, assim, os conjuntos de restrições (5.11), (5.13), (5.14) e (5.15).

A análise resume-se agora aos conjuntos de restrições (5.5), (5.7), (5.10) e (5.12).

Assumindo que o número de cirurgias para marcação é pelo menos igual ao número de salas disponíveis para marcar essas mesmas cirurgias, isto é,  $|C| \geq |S|$ , então,  $|C| \times |T| \times |D| \geq |S| \times |T| \times |D|$ . O conjunto de restrições (5.7) domina, assim, o conjunto de restrições (5.5).

Por outro lado, o número de cirurgias para marcação é pelo menos igual ao número de cirurgiões que as realizam, isto é,  $|C| \geq |H|$ . Então,  $|C| \times |T| \times |D| \geq |H| \times |D| \times |T|$  e o conjunto de restrições (5.7) domina o conjunto de restrições (5.12).

Sendo o número de cirurgias a marcar pelo menos igual ao número de especialidades cirúrgicas, isto é,  $|C| \geq |E|$ , e assumindo que o número de períodos de tempo diários disponíveis, em cada sala, é pelo menos igual ao número de salas disponíveis para marcação, isto é,  $|T| \geq |S|$ , conclui-se que  $|C| \times |T| \times |D| \geq |E| \times |S| \times |D|$ . O conjunto de restrições (5.7) domina, então, o conjunto de restrições (5.10).

O conjunto de restrições (5.7) domina, assim, os conjuntos de restrições (5.5), (5.10) e (5.12), que, por sua vez, já dominavam todos os outros conjuntos de restrições.

Conclui-se, desta forma, que o número de restrições do modelo é na ordem de  $o(|C| \times |T| \times |D|)$ .

Nota-se que o conjunto de restrições que define a ordem das restrições do modelo (conjunto de restrições (5.7)) apenas é incluído na sua totalidade, nos testes computacionais realizados, no planejamento das cirurgias de ambulatório.

Resumo das hipóteses consideradas:

$|D| \geq 1$  O número de dias do horizonte temporal é pelo menos um.

$|T| \geq 1$  O número de períodos de tempo para a marcação das cirurgias é pelo menos um.

$|C| \geq |E|$  O número de cirurgias a marcar é pelo menos igual ao número de especialidades cirúrgicas. No limite, existe uma cirurgia para marcar em cada especialidade cirúrgica.

$|C| \geq |S|$  O número de cirurgias a marcar é pelo menos igual ao número de salas disponíveis para a marcação das mesmas cirurgias.

$|C| \geq |H|$  O número de cirurgias a marcar é pelo menos igual ao número de cirurgiões. No limite, cada cirurgião tem apenas uma cirurgia para marcar no horizonte temporal considerado.

$|T| \geq |S|$  O número de períodos de tempo disponíveis, em cada sala e em cada dia, para marcar cirurgias é pelo menos igual ao número de salas.

## Anexo C

# Resultados Preliminares para o Desenvolvimento da Heurística de Melhoramento para Rentabilizar o Bloco Operatório

No presente anexo, mostram-se os resultados obtidos nos testes computacionais desenvolvidos sobre as várias versões do terceiro passo da heurística de melhoramento, apresentadas na secção 6.3.

Na primeira e segunda colunas da tabela C.1 indicam-se, respectivamente, a instância testada e o *gap* obtido após a utilização de um *solver* de programação linear inteira (ILOG CPLEX, versão 11.0). A terceira coluna indica a versão utilizada. As colunas seguintes registam o número de trocas realizadas em cada repetição, para a possibilidade de troca de duas e três cirurgias marcadas. *Tempo H* indica o tempo de execução da heurística de melhoramento; e a última coluna apresenta o *gap* final obtido. No final da tabela encontram-se os resultados médios alcançados em cada versão da heurística.

As versões da heurística referidas na terceira coluna da tabela têm a seguinte relação:

- v1 troca duas cirurgias marcadas em consecutivo por uma cirurgia não marcada cuja duração é igual à soma da duração das duas cirurgias marcadas, acrescida do tempo em vazio entre as duas cirurgias marcadas;
- v2 troca três cirurgias marcadas em consecutivo por uma cirurgia não marcada cuja

duração é igual à soma da duração das três cirurgias marcadas, acrescida do tempo em vazio entre cada par de cirurgias;

**v3** troca duas cirurgias marcadas em consecutivo por uma cirurgia não marcada cuja duração é igual ou inferior à soma da duração das duas cirurgias marcadas, acrescida do tempo em vazio entre as duas cirurgias marcadas, desde que a troca melhore o valor da função objectivo;

**v4** troca três cirurgias marcadas em consecutivo por uma cirurgia não marcada cuja duração é igual ou inferior à soma da duração das três cirurgias marcadas, acrescida do tempo em vazio entre cada par de cirurgias, desde que a troca melhore o valor da função objectivo;

**v5**  $v1 + v2$ ;

**v6**  $v3 + v4$ .

Tabela C.1: Resultados obtidos no estudo preliminar da heurística de melhoramento

Instância	Gap SI	Versão	n <sup>o</sup> trocas $k = 2$			n <sup>o</sup> trocas $k = 3$		Tempo H (seg.)	Gap Final
		Heurística	1 <sup>a</sup> it	2 <sup>a</sup> it	3 <sup>a</sup> it	1 <sup>a</sup> it	2 <sup>a</sup> it		
Semana de planeamento: 12-16 Fevereiro 2007									
<i>Sp1C_250</i> <sub>1</sub>	9,91%	v1	5	0	-	-	-	0	6,19
		v2	-	-	-	0	-	0	7,16
		v3	5	0	-	-	-	0,001	6,55
		v4	-	-	-	1	0	0	7,16
		v5	5	0	0	0	-	0,001	6,19
		v6	5	0	0	0	-	0,001	6,55
<i>Sp1C_250</i> <sub>2</sub>	5,17%	v1	-	0	-	-	-	0	5,17
		v2	-	-	-	0	-	0	5,17
		v3	0	-	-	-	-	0	5,17
		v4	-	-	-	0	-	0	5,17
		v5	0	-	-	0	-	0,001	5,17
		v6	0	-	-	0	-	0,001	5,17
<i>Sp1C_300</i> <sub>1</sub>	9,94%	v1	4	1	0	-	-	0	4,34
		v2	-	-	-	1	0	0	5,02
		v3	7	1	0	-	-	0	3,78
		v4	-	-	-	2	0	0	4,79
		v5	4	1	0	0	-	0,001	4,34
		v6	7	1	0	0	-	0,002	3,78
<i>Sp1C_300</i> <sub>2</sub>	7,55%	v1	2	0	-	-	-	0	5,88
		v2	-	-	-	0	-	0	6,23
		v3	3	0	-	-	-	0	5,76
		v4	-	-	-	0	-	0,001	6,23
		v5	2	0	0	0	-	0,001	5,88
		v6	3	0	0	0	-	0,002	5,76

*Continua na página seguinte*

Instância	Gap SI	Versão	n <sup>o</sup> trocas $k = 2$			n <sup>o</sup> trocas $k = 3$		Tempo H (seg.)	Gap Final
		Heurística	1 <sup>a</sup> it	2 <sup>a</sup> it	3 <sup>a</sup> it	1 <sup>a</sup> it	2 <sup>a</sup> it		
<i>Sp1C_500<sub>1</sub></i>	3,67%	v1	1	0	-	-	-	0	3,46
		v2	-	-	-	0	-	0	3,67
		v3	1	0	-	-	-	0	3,46
		v4	-	-	-	0	-	0,001	3,67
		v5	1	0	-	0	-	0,001	3,46
		v6	1	0	-	0	-	0,002	3,46
<i>Sp1C_500<sub>2</sub></i>	12,89%	v1	4	0	-	-	-	0	6,28
		v2	-	-	-	0	-	0	7,1
		v3	8	0	-	-	-	0	5,83
		v4	-	-	-	0	-	0,001	7,1
		v5	4	0	-	0	-	0,002	6,28
		v6	8	0	-	0	-	0,001	5,83

---

Semana de planeamento: 26 Fevereiro - 2 Março 2007

---

<i>Sp2C_250<sub>1</sub></i>	7,94%	v1	2	0	-	-	-	0	6,13
		v2	-	-	-	0	-	0	6,37
		v3	2	0	-	-	-	0	6,13
		v4	-	-	-	0	-	0,001	6,37
		v5	2	0	-	0	-	0,001	6,13
		v6	2	0	-	0	-	0,002	6,13
<i>Sp2C_300<sub>2</sub></i>	6,96%	v1	2	0	-	-	-	0	5,3
		v2	-	-	-	0	-	0	5,42
		v3	3	0	-	-	-	0	5,19
		v4	-	-	-	1	0	0,001	5,3
		v5	2	0	-	0	-	0,001	5,3
		v6	3	9	-	0	-	0,003	5,19
<i>Sp2C_500<sub>2</sub></i>	12,17%	v1	5	0	-	-	-	0	6,25

*Continua na página seguinte*

Instância	Gap SI	Versão	n <sup>o</sup> trocas $k = 2$			n <sup>o</sup> trocas $k = 3$		Tempo H (seg.)	Gap Final
		Heurística	1 <sup>a</sup> it	2 <sup>a</sup> it	3 <sup>a</sup> it	1 <sup>a</sup> it	2 <sup>a</sup> it		
		v2	-			0		0	7,41
		v3	6	1	0	-		0	6,36
		v4	-			2	0	0,001	6,94
		v5	5	0		0		0,002	6,25
		v6	6	1	0	0		0,003	6,36

Semana de planeamento: 5-9 Março 2007

<i>Sp3C_250</i> <sub>1</sub>	3,32%	v1	2	0		-		0	2,87
		v2	-			0		0	2,98
		v3	2	0		-		0	2,87
		v4	-			0		0	2,98
		v5	2	0		0		0,001	2,87
		v6	2	0		0		0,002	2,87
<i>Sp3C_250</i> <sub>2</sub>	3,24%	v1	0			-		0	1,65
		v2	-			0		0,001	1,65
		v3	2	0		-		0	1,09
		v4	-			0		0,001	1,65
		v5	0			0		0,001	1,65
		v6	2	0		0		0,001	1,09
<i>Sp3C_300</i> <sub>1</sub>	2,93%	v1	0			-		0	2,93
		v2	-			0		0	2,93
		v3	1	0		-		0	2,81
		v4	-			0		0,001	2,93
		v5	0			0		0,002	2,93
		v6	1	0		0		0,002	2,81
<i>Sp3C_300</i> <sub>2</sub>	1,29%	v1	0			-		0	1,29
		v2	-			0		0	1,29

*Continua na página seguinte*

Instância	Gap SI	Versão	n <sup>o</sup> trocas $k = 2$			n <sup>o</sup> trocas $k = 3$		Tempo H (seg.)	Gap Final
		Heurística	1 <sup>a</sup> it	2 <sup>a</sup> it	3 <sup>a</sup> it	1 <sup>a</sup> it	2 <sup>a</sup> it		
		v3	0			-		0	1,29
		v4	-			0		0,001	1,29
		v5	0			0		0,001	1,29
		v6	0			0		0,001	1,29
<i>Sp3C_500<sub>1</sub></i>	1,45%	v1	0			-		0	1,45
		v2	-			0		0	1,45
		v3	0			-		0	1,45
		v4	-			0		0,001	1,45
		v5	0			0		0,001	1,45
		v6	0			0		0,002	1,45
<i>Sp3C_500<sub>2</sub></i>	3,18%	v1	0			-		0	2,97
		v2	-			0		0	2,97
		v3	0			-		0	2,97
		v4	-			0		0,001	2,97
		v5	0			0		0,002	2,97
		v6	0			0		0,002	2,97

---

### Resultados médios

---

<b>v1</b>	<b>1,8</b>	<b>0,1</b>	<b>0</b>	<b>-</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4,1</b>
<b>v2</b>	<b>-</b>			<b>0,1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4,5</b>
<b>v3</b>	<b>2,7</b>	<b>0,2</b>	<b>0</b>	<b>-</b>		<b>0</b>	<b>4,0</b>
<b>v4</b>	<b>-</b>			<b>0,4</b>	<b>0</b>	<b>0,001</b>	<b>4,4</b>
<b>v5</b>	<b>1,8</b>	<b>0,1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		<b>0,001</b>	<b>4,1</b>
<b>v6</b>	<b>2,7</b>	<b>0,2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		<b>0,002</b>	<b>4,0</b>

---

# Referências Bibliográficas

- [AXP10] Vincent Augusto, Xiaolan Xie, and Viviana Perdomo. Operating theatre scheduling with patient recovery in both operating rooms and recovery beds. *Computers & Industrial Engineering*, 58(2):231–238, 2010.
- [Bar05] Pedro Pita Barros. *Economia da saúde - conceitos e comportamentos*. Edições Almedina, Coimbra, 2005.
- [Bar08] Pedro Pita Barros. As listas de espera para intervenção cirúrgica em Portugal. *iprisverbis*, 4, 2008.
- [BC97a] John T. Blake and Michael W. Carter. Surgical process management – a conceptual framework. *Surgical Services Management*, 3(9):31–37, 1997.
- [BC97b] John T. Blake and Michael W. Carter. Surgical process scheduling – a structured review. *Journal of the Society for Health Systems*, 5(3):17–30, 1997.
- [BC02] John T. Blake and Michael W. Carter. A goal programming approach to strategic resource allocation in acute care hospitals. *European Journal of Operational Research*, 140(3):541–561, 2002.
- [BD02] John T. Blake and Joan Donald. Mount Sinai Hospital uses integer programming to allocate operating room time. *Interfaces*, 32(2):63–73, 2002.
- [BD04] Jeroen Beliën and Erik Demeulemeester. Integer programming for building robust surgery schedules. Technical Report OR 0446, Department of Applied Economics, Katholieke Universiteit Leuven, 2004.
- [BD07] Jeroen Beliën and Erik Demeulemeester. Building cyclic master surgery schedules with leveled resulting bed occupancy. *European Journal of Operational Research*, 176(2):1185–1204, 2007.

- [BD08] Jeroen Beliën and Erik Demeulemeester. A branch-and-price approach for integrating nurse and surgery scheduling. *European Journal of Operational Research*, 189(3):652–668, 2008.
- [BDC06] Jeroen Beliën, Erik Demeulemeester, and Brecht Cardoen. Visualizing the demand for various resources as a function of the master surgery schedule: a case study. *Journal of Medical Systems*, 30(5):343–350, 2006.
- [BDC09] Jeroen Beliën, Erik Demeulemeester, and Brecht Cardoen. A decision support system for cyclic master surgery scheduling with multiple objectives. *Journal of Scheduling*, 12(2):1094–6136, 2009.
- [BDD02] John T. Blake, Franklin Dexter, and Joan Donald. Operating room managers’ use of integer programming for assigning block time to surgical groups: a case study. *Anesthesia & Analgesia*, 94(1):143–148, 2002.
- [Bol76] Duncan Boldy. A review of the application of mathematical programming to tactical and strategic health and social services problems. *Operational Research Quarterly*, 27(2):439–448, 1976.
- [Cal05] Murray V. Calichman. Creating an optimal operating room schedule. *AORN Journal*, 81(3):580–588, 2005.
- [CDB09a] Brecht Cardoen, Erik Demeulemeester, and Jeroen Beliën. Optimizing a multiple objective surgical case sequencing problem. *International Journal of Production Economics*, 119(2):354–366, 2009.
- [CDB09b] Brecht Cardoen, Erik Demeulemeester, and Jeroen Beliën. Sequencing surgical cases in a day-care environment: an exact branch-and-price approach. *Computers & Operations Research*, 36(9):2660–2669, 2009.
- [CDB10] Brecht Cardoen, Erik Demeulemeester, and Jeroen Beliën. Operating room planning and scheduling: a literature review. *European Journal of Operational Research*, 201(3):921–932, 2010.
- [COPB<sup>+</sup>91] Michael W. Carter, Linda L. O’Brien-Pallas, John T. Blake, Linda McGillis, and Sharon Zhu. Simulation, scheduling, and operating rooms. In James G. Anderson, editor, *Proceedings of the 1992 Simulation in Health Care and Social Services Conference*, pages 28–32, San Diego CA, 1991. Society for Computer Simulation.

- [CV03] Tugba Cayirli and Emre Veral. Outpatient scheduling in health care: a review of the literature. *Production and Operations Management*, 12(4):519–549, 2003.
- [DD09] Paul J. Deitel and Harvey M. Deitel. *C++ How to Program*. Prentice Hall, 7 edition, 2009.
- [Dex00] Franklin Dexter. A strategy to decide whether to move the last case of the day in operating room to another empty operating room to decrease overtime labour cost. *Anesthesia & Analgesia*, 91(4):925–928, 2000.
- [DG03] Brian Denton and Diwakar Gupta. A sequential bounding approach for optimal appointment scheduling. *IIE Transactions*, 35(11):1003–1016, 2003.
- [Dir01] Direcção-Geral da Saúde, editor. *Cirurgia de ambulatório: recomendações para o seu desenvolvimento*. Direcção-Geral da Saúde, Lisboa, 2001.
- [Dir04] Direcção-Geral da Saúde, editor. *Plano Nacional de Saúde 2004-2010: mais saúde para todos*. Direcção-Geral da Saúde, Lisboa, 2004.
- [DT02] Franklin Dexter and Rodney D. Traub. How to schedule elective surgical cases into specific operating rooms to maximize the efficiency of use of operating room time. *Anesthesia & Analgesia*, 94(4):933–942, 2002.
- [DvOvH<sup>+</sup>09] Brian Denton, Jeroen M. van Oostrum, Mark van Houdenhoven, Albert P. M. Wagelmans, and Geert Kazemier. Implementing a master surgical scheduling approach in a regional hospital. *Interfaces*, 39(6):549–551, 2009.
- [DVV07] Brian Denton, James Viapiano, and Andrea Vogl. Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty. *Health Care Management Science*, 10(1):13–24, 2007.
- [FCM09] Hongying Fei, Chengbin Chu, and Nadine Meskens. Solving a tactical operating room planning problem by a column-generation-based heuristic procedure with four criteria. *Annals of Operations Research*, 166(1):91–108, 2009.

- [FCMA08] Hongying Fei, Chengbin Chu, Nadine Meskens, and Abdelhakim Artiba. Solving surgical cases assignment problem by a branch-and-price approach. *International Journal of Production Economics*, 112(1):96–108, 2008.
- [FMCC09] Hongying Fei, Nadine Meskens, Catherine Combes, and Chengbin Chu. The endoscopy scheduling problem: a case study with two specialised operating rooms. *International Journal of Production Economics*, 120(2):452–462, 2009.
- [GC03] Alain Guinet and Sondes Chaabane. Operating theatre planning. *International Journal of Production Economics*, 85(1):69–81, 2003.
- [GGH96] Yigal Gerchak, Diwakar Gupta, and Mordechai Henig. Reservation planning for elective surgery under uncertain demand for emergency surgery. *Management Science*, 42(3):321–334, 1996.
- [GJ79] Michael R. Garey and David S. Johnson. *Computers and intractability: a guide to the theory of NP-completeness*. W. H. Freeman, São Francisco, 1979.
- [HdML03] Vernon Ning Hsu, Renato de Matta, and Chung-Yee Lee. Scheduling patients in an ambulatory surgical center. *Naval Research Logistics*, 50(3):218–238, 2003.
- [Hea05] Health Care Financial Management Association. Achieving operating room efficiency through process integration. Technical report, Health Care Financial Management Association, 2005.
- [HS85] William L. Hughes and Soliman Y. Soliman. Short-term case mix management with linear programming. *Hospital & Health Services Administration*, 30(1):52–60, 1985.
- [HWvHK08] Erwin Hans, Gerhard Wullink, Mark van Houdenhoven, and Geert Kazemier. Robust surgery loading. *European Journal of Operational Research*, 185(3):1038–1050, 2008.
- [ILO04] ILOG, Incline Village, Nevada. *ILOG CONCERT 2.0 User’s Manual*, 2004.
- [ILO07] ILOG, Incline Village, Nevada. *ILOG CPLEX 11.0 User’s Manual*, 2007.

- [JAL06] Aïda Jebali, Atidel B. Hadj Alouane, and Pierre Ladet. Operating room scheduling. *International Journal of Production Economics*, 99(1):52–62, 2006.
- [JWH<sup>+</sup>05] Ramesh Jonnalagadda, Errol R. Walrond, Seetharaman Hariharan, M. Walrond, and C. Prasad. Evaluation of the reasons for cancellations and delays of surgical procedures in a developing country. *International Journal of Clinical Practice*, 59(6):716–720, 2005.
- [KKF09] Ahmet B. Keha, Ketan Khowala, and John W. Fowler. Mixed integer programming formulations for single machine scheduling problems. *Computers & Industrial Engineering*, 56(1):357–367, 2009.
- [KSMB03] Paul C. Kuo, Rebecca A. Schroeder, Samuel Mahaffey, and R. Randall Bollinger. Optimization of operating room allocation using linear programming techniques. *Journal of the American College of Surgeons*, 197(6):889–895, 2003.
- [Leb03] Philip Lebowitz. Schedule the short procedure first to improve OR efficiency. *AORN Journal*, 78(4):651–659, 2003.
- [LGX09] Mehdi Lamiri, Frédéric Grimaud, and Xiaolan Xie. Optimization methods for a stochastic surgery planning problem. *International Journal of Production Economics*, 120(2):400–410, 2009.
- [LL00] Eugene Litvak and Michael C. Long. Cost and quality under managed care: irreconcilable differences? *The American Journal of Managed Care*, 6(3):305–312, 2000.
- [LX06] Mehdi Lamiri and Xiaolan Xie. Operating rooms planning using lagrangean relaxation technique. In *Proceeding of the 2006 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, pages 176–181, Shanghai, China, 2006.
- [LXDG08] Mehdi Lamiri, Xiaolan Xie, Alexandre Dolgui, and Frédéric Grimaud. A stochastic model for operating room planning with elective and emergency demand for surgery. *European Journal of Operational Research*, 185(3):1026–1037, 2008.

- [LXZ08] Mehdi Lamiri, Xiaolan Xie, and Shuguang Zhang. Column generation approach to operating theater planning with elective and emergency patients. *IIE Transactions*, 40(9):838–852, 2008.
- [MD06] Eric Marcon and Franklin Dexter. Impact of surgical sequencing on post anesthesia care unit staffing. *Health Care Management Science*, 9(1):87–98, 2006.
- [Min05] Ministério da Saúde, editor. *Manual de inscritos para cirurgia - processo de gestão do utente*. Ministério da Saúde, 2005.
- [Min08] Ministério da Saúde. Portaria nº 45/2008. In *Diário da República*, number 10 in 1ª série, pages 526–536. INCM, 2008.
- [Min09] Ministério da Saúde. Portaria nº 132/2009. In *Diário da República*, number 21 in 1ª série, pages 660–758. INCM, 2009.
- [MKS03a] Eric Marcon, Saïd Kharraja, and Gérard Simonnet. The operating theatre planning by the follow-up of the risk of no realization. *International Journal of Production Economics*, 85(1):83–90, a 2003.
- [MKS<sup>+</sup>03b] Eric Marcon, Saïd Kharraja, Nicole Smolski, Brigitte Luquet, and Jean Paul Viale. Determining the number of beds in the postanesthesia care unit: a computer simulation flow approach. *Anesthesia & Analgesia*, 96(5):1415–1423, b 2003.
- [MM78] James M. Magerlein and James B. Martin. Surgical demand scheduling: a review. *Health Services Research*, 13(4):418–433, 1978.
- [MY10a] Daiki Min and Yuehwern Yih. An elective surgery scheduling problem considering patient priority. *Computers & Operations Research*, 37(6):1091–1099, 2010.
- [MY10b] Daiki Min and Yuehwern Yih. Scheduling elective surgery under uncertainty and downstream capacity constraints. *European Journal of Operational Research*, 2010. Accepted manuscript.
- [OCD09] OCDE, editor. *OCDE Health Data 2009*. OCDE, 2009.
- [OE03] Seyfettin Noyan Ogulata and Rizvan Erol. A hierarchical multiple criteria mathematical programming approach for scheduling general surgery

- operations in large hospitals. *Journal of Medical Systems*, 27(3):259–270, 2003.
- [Org04] Organização Mundial de Saúde, editor. *Classificação internacional das doenças, 9ª revisão, Modificação Clínica*. Organização Mundial de Saúde, Genebra, 2004.
- [Ozk95] Irem Ozkarahan. Allocation of surgical procedures to operating rooms. *Journal of Medical Systems*, 19(4):333–352, 1995.
- [Ozk00] Irem Ozkarahan. Allocation of surgeries to operating rooms by goal programming. *Journal of Medical Systems*, 24(6):339–378, 2000.
- [PB94] William P. Pierskalla and David J. Brailer. Applications of operations research in health care delivery. In S.M. Pollock, M.H. Rothkopf, and A. Barnett, editors, *Operations Research and The Public Sector*, volume 6 of *Handbooks in OR & MS*, chapter 13, pages 469–505. Elsevier B.V., Amesterdão, 1994.
- [PK08] Dinh-Nguyen Pham and Andreas Klinkert. Surgical case scheduling as a generalized job shop scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 185(3):1011–1025, 2008.
- [PP05] Marie Persson and Jan A. Persson. Optimization modeling of hospital operating room planning using a logistic perspective. In *Proceeding of the Sixteenth Annual Conference of POMS*, Chicago, 2005.
- [PP09] Marie Persson and Jan A. Persson. Health economic modeling to support surgery management at a Swedish hospital. *Omega*, 37(4):853–863, 2009.
- [Pre02] Presidência do Conselho de Ministros. Resolução do conselho de ministros nº 100/2002. In *Diário da República*, number 121 in 1ª série, pages 4718–4719. INCM, 2002.
- [Prz86] Zbigniew H. Przasnyski. Operating room scheduling: a literature review. *AORN Journal*, 44(1):67–79, 1986.
- [RT89] Walter A. Robbins and Naronk Tuntiwongpiboon. Linear programming is a useful tool in case-mix management. *Healthcare Financial Management*, 43(6):114–116, 1989.

- [SBA07] Pablo Santibáñez, Mehmet Begen, and Derek Atkins. Surgical block scheduling in a system of hospitals: an application to resource and wait list management in a British Columbia health authority. *Health Care Management Science*, 10(3):269–282, 2007.
- [SBZF05] Boris G. Sobolev, Peter M. Brown, David Zelt, and Mark FitzGerald. Priority waiting lists: is there a clinically ordered queue? *Journal of Evaluation in Clinical Practice*, 11(4):408–410, 2005.
- [SDSSD88] Vicki L. Smith-Daniels, Sharon B. Schweikhart, and Dwight E. Smith-Daniels. Capacity management in health care services: review and future research directions. *Decision Sciences*, 19(4):889–919, 1988.
- [SPS07] SPSS Inc., Chicago. *SPSS 16.0 Base User's Guide*, 2007.
- [SSMV00] David P. Strum, Allan R. Sampson, Jerrold H. May, and Luis G. Vargas. Surgeon and type of anesthesia predict variability in surgical procedure times. *Anesthesiology*, 92(5):1454–1466, 2000.
- [STM97] David Sier, Patrick Tobin, and Cathryn McGurk. Scheduling surgical procedures. *Journal of the Operational Research Society*, 48(9):884–891, 1997.
- [Sto09] Storm Software, 2009. <http://stormsoftware.net/>.
- [SW92] Jorge P. Sousa and Laurence A. Wolsey. A time indexed formulation of non-preemptive single machine scheduling problems. *Mathematical Programming*, 54(3):353–367, 1992.
- [TT09] Angela Testi and Elena Tanfani. Tactical and operational decisions for operating room planning: efficiency and welfare implications. *Health Care Management Science*, 12(4):363–373, 2009.
- [TTT07] Angela Testi, Elena Tanfani, and Giancarlo Torre. A three-phase approach for operating theatre schedules. *Health Care Management Science*, 10(2):163–172, 2007.
- [VAB05] Jan M. H. Vissers, Ivo J. B. F. Adan, and Jos A. Bekkers. Patient mix optimization in tactical cardiothoracic surgery planning: a case study. *IMA Journal of Management Mathematics*, 16(3):281–304, 2005.

- [vdLHH<sup>+</sup>06] Marieke van der Lans, Erwin W. Hans, Johann L. Hurink, Gerhard Wullink, Mark van Houdenhoven, and Geert Kazemier. Anticipating urgent surgery in operating room departments. Technical Report WP-158, University of Twente, 2006.
- [VM06] Rafael Velásquez and Maria Teresa Melo. A set packing approach for scheduling elective surgical procedures. In *Operations Research Proceedings 2005*, pages 425–430. Springer Berlin Heidelberg, 2006.
- [vOvHH<sup>+</sup>08] Jeroen M. van Oostrum, Mark van Houdenhoven, Johann L. Hurink, Erwin W. Hans, Gerhard Wullink, and Geert Kazemier. A master surgical scheduling approach for cyclic scheduling in operating room departments. *OR Spectrum*, 30(2):355–374, 2008.