Pontifícia Universidade Católica
do Rio de Janeiro

César David López Díaz

Programação de Salas de Cirurgia para pacientes eletivos utilizando um modelo de programação inteira

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Silvio Hamacher

Co-orientador: Prof. Fabricio Oliveira

Rio de Janeiro
Abril de 2015

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

Pontifícia Universidade Católica
do Rio de Janeiro

César David López Díaz

Programação de Salas de Cirurgia para pacientes eletivos utilizando um modelo de programação inteira

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Silvio Hamacher
Orientador
Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. Fabricio Oliveira
Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. Evandro Tinoco Mesquita
UFF

Prof. Luciana de Souza Pessoa
Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 13 de abril de 2015.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

César David López Díaz

Graduou-se em Engenharia de Produção (Universidad Tecnológica de Pereira) em 2012. Depois de graduado ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio para obtenção do título de Mestre. Durante a graduação, estagiou em empresa do ramo de produção de roupas para homem, atuando nas áreas de Planejamento e Controle da Produção e Gestão de Inventários. Atualmente trabalha no campo da consultoria empresarial.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

Ficha Catalográfica

López Díaz, César David

Programação de Salas de Cirurgia para pacientes eletivos utilizando um modelo de programação inteira / César David López Díaz; orientador: Silvio Hamacher; co-orientador: Fabricio Oliveira. – 2015.

82 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2015.

Inclui referências bibliográficas

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Programação Linear Inteira. 3. Programação de Salas de Cirurgia. 4. Incerteza. 5. Simulação. I. Hamacher, Silvio. II. Oliveira, Fabricio. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. IV. Título.

CDD: 658.5

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

À minha família, pela boa educação, amor e apoio.

Agradecimentos

Agradeço a minha mãe Consuelo Diaz pelo amor e o apoio psicológico, moral e econômico; porque sem sua ajuda tivesse sido impossível viver esta experiência.

Agradeço a meu pai Jorge e a minha irmã Laura por estar sempre presentes e dispostos a colaborar.

Agradeço aos meus amigos Juan Simon Obando e Daniel Arias que além de vivermos juntos esta experiência foram minha família durante os dois anos de formação.

A minha namorada Suzannah Morjaria por ser minha guia e me motivar sempre a não desistir, graças a sua paciência e amor foi possível culminar este processo.

Aos meus orientadores Silvio Hammacher e Fabricio Oliveira pela dedicação, compromisso e profissionalismo para me orientar nas diferentes etapas que levou desenvolver esta dissertação.

À CAPES e à PUC-Rio pelos recursos e infraestrutura disponibilizados para realizar este mestrado.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

Resumo

Diaz, César David López; Hamacher, Silvio (Orientador); Oliveira, Fabricio (Co-orientador). **Programação de Salas de Cirurgia para pacientes eletivos utilizando um modelo de programação inteira**, 2015. 82p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

As despesas anuais em saúde para a maioria dos países são crescentes. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), em 2011 o Brasil gastou aproximadamente 10% do produto interno bruto em saúde. Consequentemente, incrementar a eficiência na prestação de serviços médicos está se tornando cada vez mais importante. Em um hospital as salas de cirurgia representam um dos principais centros de custos e de rendimentos. As salas de cirurgia são um aspecto difícil de gerenciar devido à prioridade das partes envolvidas no processo, nomeadamente, pacientes, cirurgiões, staff, pessoal administrativo, e a escassez de recursos como leitos, salas de cirurgia, equipamentos especiais, etc. A presente dissertação aborda um problema real de programação de salas de cirurgia para pacientes eletivos de um hospital em Lisboa, onde é proposta uma reformulação do modelo de PLI proposto por Marques et al. (2012). Esta reformulação é baseada no problema da mochila, com o objetivo de encontrar soluções mais eficientes em termos computacionais. De acordo com os testes realizados, uma modificação no modelo que quebre sua simetria além de fornecer uma solução mais eficiente computacionalmente, melhora a solução original pois diminui o gap inicial de 782,59% para 2,25%. Também foi proposto um modelo de simulação no que foram criados vários cenários para avaliar a incerteza envolvida, nos quais a duração média das cirurgias foi submetida a valores majorados. Esta simulação pode servir como ferramenta de apoio na tomada de decisões, pois de acordo com o grau de conservadorismo de quem toma as decisões, podem ser estabelecidas políticas de programação das Salas de Cirurgia.

Palavras-chave

Programação Linear Inteira; Programação de Salas de Cirurgia; Incerteza; Simulação.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

Abstract

Diaz, César David López; Hamacher, Silvio (Advisor). **Operating Room scheduling to elective patients, an integer programming model**, 2015. 82p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

For most countries annual health expenditures are increasing. According to the World Health Organization (WHO), in 2011, Brazil expends about 10% of its gross domestic product on health. Hence, improving health care efficiency is becoming increasingly important. Within a hospital, the Operating Rooms represent a major cost and incomes center. Operating Rooms are a difficult aspect to manage because many stakeholders involved in the process, namely, patients, surgeons, staff, hospital manager, and the scarcity of resources like beds, operating rooms, especial equipment, etc. This dissertation deals with a real problem of operating rooms programming for elective patients in a Lisbon hospital. For this problem, we propose a reformulation of the integer programming model proposed by Marques et al. (2012). This reformulation is based on the knapsack problem, in order to find a more efficient solution in terms of time. According to tests carried out, a reformulation in the model that breaks symmetry, computationally provides a more efficient solution and enhance the original solution because it reduces the initial gap from 782.59% to 2.25%. In addition, a simulation model was proposed to create various scenarios to assess the involved uncertainty, mainly due to surgery duration variation. This simulation can serve as a support tool in decision-making, according to the degree of conservatism of the decision maker, Operating Rooms scheduling policies can be established.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

Keywords

Integer Programming; Operating Room Scheduling; Uncertainty; Simulation.

Sumário

1 Introdução 13

1.1. Objetivo 14

1.2. Metodologia 15

1.3. Estrutura do Trabalho 15

2 Planejamento e programação em assistência médica 17

2.1. Planejamento e programação em Salas de Cirurgia (SCs) 18

2.1.1. Problemas do planejamento de SCs 19

2.1.2. Estratégias para o planejamento de SCs 21

2.2. Características dos pacientes 22

2.3. Medidas de desempenho 23

2.4. Considerações finais 24

3 Pesquisa Operacional na programação de SCs 25

3.1. Programação Matemática 25

3.2. Considerando Incertezas em Modelos de Programação Matemática 26

3.3. Simulação 28

3.4. Heurísticas 29

3.5. Outros métodos 30

3.6. Considerações Finais. 31

4 Descrição do problema 32

4.1. Análise da informação. 33

4.2. O modelo de Programação Linear Inteira (PLI) 40

4.2.1. Abordagem do modelo 43

5 Aprimoramento modelo de programação de SCs 45

5.1. Simetria do modelo 45

5.2. Parâmetro de controle 51

5.3. Testes para a estimação do parâmetro . 53

6 Análise de resultados 61

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

7 Incerteza na duração 66

8 Conclusões 72

Referências bibliográficas 74

ANEXOS 79

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

Lista de figuras

Figura 2.1– Processo de planejamento cirúrgico. Baseado em Santibáñez et al. (2007) 20
Figura 2.2– Problema de programação de uma única SC. Baseado em Erdogan et al. (2011) 24
Figura 4.1– Problema de programação de uma única SC. 35
Figura 4.2 – Porcentagem de cirurgias em lista de espera por especialidade. 37
Figura 4.3– Relação entre cirurgiões de cada especialidade e a duração média das cirurgias em lista de espera. 39
Figura 5.1–. Variáveis de excesso no modelo (2)-(14). 48
Figura 7.1- Distribuição uniforme. 68
Figura 7.2- Distribuição triangular. 68

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

Lista de tabelas

Tabela 4.1- Exemplo da base de dados utilizada para o caso de estudo. 34
Tabela 4.2– Especialidades cirúrgicas. 34
Tabela 4.3– Distribuição das cirurgias em lista de espera por prioridades. 35
Tabela 4.4– Distribuição das cirurgias e do tempo por prioridade. 36
Tabela 4.5 - Duração total em períodos das cirurgias em lista de espera para cada especialidade. 38
Tabela 4.6– Distribuição dos cirurgiões por especialidade. 39
Tabela 4.7– Classificação dos cirurgiões por especialidade. 39
Tabela 5.1– Duração *Du* estimada por especialidade de todas as cirurgias em lista de espera. 47
Tabela 5.2–Máximo número de períodos alocáveis por semana. 47
Tabela 5.3– Número de SCs disponíveis semanalmente para cada especialidade. 50
Tabela 5.4 – Disponibilidade semanal para alocação das especialidades cirúrgicas nas SCs. 50
Tabela 5.5 – Número de SCs disponíveis de terça-feira a sexta-feira. 52
Tabela 5.6– Parâmetro de controle fornecido pelo Teste 1. 53
Tabela 5.7– Parâmetro de controle fornecido pelo Teste 2. 54
Tabela 5.8– Parâmetro de controle fornecido pelo Teste 3. 54
Tabela 5.9– Parâmetro de controle fornecido pelo Teste 4. 55
Tabela 5.10– Parâmetro de controle fornecido pelo Teste 5. 55
Tabela 5.11– Parâmetro de controle fornecido pelo Teste 6. 56
Tabela 5.12– Parâmetro de controle fornecido pelo Teste 7. 56
Tabela 5.13– Parâmetro de controle fornecido pelo Teste 8. 57
Tabela 5.14–Resumo de equações excluídas dos testes 1 a 8. 57
Tabela 5.15– Resultado de testes para avaliação do melhor modelo para representar o parâmetro de controle. 58
Tabela 5.16– Parâmetro de controle fornecido pelo Teste 9. 59
Tabela 5.17– Parâmetro de controle fornecido pelo Teste 10. 60
Tabela 5.18– Resultados segundo estágio. 60

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

Tabela 6.1– Resultados Teste O_1 para um tempo de execução de 3600 segundos. 61
Tabela 6.2– Número de cirurgias programadas por prioridade. 62
Tabela 6.3– Número de períodos ocupados por prioridade. 62
Tabela 6.4– Número de cirurgiões alocados em cada teste. 63
Tabela 6.5– Número de cirurgiões alocados por especialidade. 63
Tabela 6.6– Número de cirurgias e duração média por dia. 64
Tabela 6.7– Média de cirurgiões alocada por dia. 64
Tabela 7.1–Número de cirurgias programadas para perturbações da duração média. 67
Tabela 7.2- Número estimado de cirurgias não realizadas, para uma distribuição uniforme com variação positiva e negativa. 68
Tabela 7.3– Número estimado de cirurgias não realizadas, para uma distribuição uniforme com variação positiva. 69
Tabela 7.4– Número estimado de cirurgias não realizadas, para uma distribuição triangular com variação positiva e negativa. 69
Tabela 7.5– Número estimado de cirurgias não realizadas, para uma distribuição triangular com variação positiva. 70

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

1
Introdução

Segundo a Organização Mundial de Saúde (World Health Organization, 2011), no Brasil o gasto total em saúde para o ano 2011 representou aproximadamente 10% do produto interno bruto, enquanto outros países como Estados Unidos gastam mais do que 13%. De acordo com Olsen & Young (2010). O custo anual estimado do desperdício sistêmico é 765 bilhões de dólares, portanto, as oportunidades para diminuir o gasto para incrementar a eficiência dos serviços de saúde não são desprezíveis. Consequentemente, o aspecto gerencial de fornecer serviços médicos está tornando-se cada vez mais importante, onde os hospitais querem reduzir custos e aumentar seus lucros, mas também objetivam elevar o nível de satisfação dos pacientes e o desempenho das Salas de Cirurgia (SCs). Segundo Cardoen et al. (2010), estas representam o maior centro de custos e rendimentos dentro do hospital. Gerenciar as SC é uma tarefa difícil devido às diferentes prioridades e preferências das partes envolvidas dentro dos processos realizados ali, mas também devido à escassez dos recursos mais dispendiosos.

O aumento da eficiência nas SCs pode incrementar a produtividade em termos do número de cirurgias realizadas, contribuindo assim à redução das cirurgias em lista de espera. Os custos relacionados à manutenção de um paciente em lista de espera para uma cirurgia são altos. Adicionalmente, de acordo com a Direção Geral de Saúde de Portugal (2004), reduzir as cirurgias em lista de espera é uma das prioridades do Serviço Nacional de Saúde (SNS), (Marques et al, 2012).

Devido à grande incerteza na duração das cirurgias, a programação de SCs pode ser muito desafiante. Uma duração maior que a média de uma cirurgia

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

resulta em um atraso não só no começo da próxima cirurgia, mas também nas demais cirurgias programadas no dia. Atrasos no começo das cirurgias também resultam em custos diretos associados ao tempo extra do staff quando a última cirurgia do dia é concluída após a hora programada, (Denton et al, 2007).

Com o objetivo de dar solução ao problema de programação de Salas de Cirurgia, Marques et al. (2012) realizaram uma abordagem de um estudo de caso de um hospital geral em Lisboa, incorporado ao Serviço Nacional em Saúde, para o caso de pacientes eletivos e o que trabalha com uma estratégia de planejamento de programação de Salas de Cirurgias por blocos. Com o objetivo de incrementar a eficiência das SCs, deve ser realizada uma programação semanal das cirurgias a serem realizadas, na que deve definir-se, a sala, a hora, e o dia da semana em que as cirurgias deverão ser executadas. Para realizar esta abordagem, eles propõem um modelo de programação linear Inteiro (PLI), baseado no problema da mochila, para realizar uma programação que cumpre com as políticas de funcionamento do hospital, levando em conta a incerteza envolvida no planejamento e programação das SCs. A partir da solução proposta por Marques et al. (2012), nesta dissertação procura-se primeiramente realizar uma análise do modelo matemático proposto, com o intuito de propor uma solução viável e mais eficiente em termos computacionais e, em seguida, realizar uma análise estatística da informação, com o objetivo de estabelecer políticas que permitam diminuir o impacto da incerteza envolvida neste tipo de problemas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

1.1. Objetivo

O principal objetivo desta dissertação é reformular um modelo de programação linear inteira com o intuito de alcançar uma solução de melhor qualidade e ao mesmo tempo criar políticas que permitam diminuir o impacto da incerteza dentro do processo, utilizando a simulação como técnica de apoio.

Para realizar esta dissertação foi utilizado como base o modelo desenvolvido por Marques et al. (2012), que propõe a alocação de cirurgias a SCs para um período determinado, dentro de um horizonte de tempo semanal. Uma análise

detalhada do modelo foi realizada e a partir da análise, foi proposta uma reformulação, que diminui o espaço de busca e dá uma solução mais eficiente em termos de tempo. Por outro lado, um modelo de simulação foi desenvolvido com o objetivo de criar e avaliar cenários da variação da incerteza na duração média das cirurgias e assim definir uma política que permita diminuir o erro entre as cirurgias programadas e as realmente executadas.

1.2. Metodologia

Neste trabalho inicialmente foi usada uma metodologia descritiva baseada em ferramentas estatísticas e após foi utilizada uma metodologia analítica dos resultados obtidos na fase descritiva onde se implementou também um processo de simulação. Como ferramentas de apoio foram utilizados o pacote básico de Excel, o complemento do solver e o AIMMS 3.13, CPLEX 12.4.

Este estudo foi realizado baseado em dados reais referentes a um hospital de Lisboa, Portugal. A base de dados usada foi uma mostra de 300 cirurgias em lista de espera para a semana do 12 a 16 de fevereiro do 2007.

1.3. Estrutura do Trabalho

Esta dissertação está organizada em 8 capítulos, sendo este primeiro dedicado à introdução e à apresentação do objetivo principal. O Capítulo 2 procura contextualizar o leitor dentro do planejamento e programação de SCs, onde são explicados conceitos do planejamento e programação em assistência médica. O Capítulo 3 tem como objetivo fazer um resumo das abordagens propostas por diferentes autores para dar solução ao problema do planejamento e programação de SCs.

No Capítulo 4, é realizada uma descrição detalhada do estudo de caso. Após é realizada uma análise do modelo de PLI proposto por Marques et al. (2012). No Capítulo 5, é proposta uma reformulação do modelo, na qual são realizados dez

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

testes com o objetivo de avaliar a melhor solução. No Capítulo 6, são analisados os resultados dos dez testes realizados no Capítulo 5. Após esta análise de resultados, no Capítulo 7 é proposto um processo de simulação baseado nos resultados do Capítulo 5. O processo busca fornecer uma ferramenta de apoio na tomada de decisões para estabelecer políticas de programação de acordo com o grau de conservadorismo de quem toma as decisões. O Capitulo 8 finaliza com as conclusões do caso e recomendações para possíveis estudos futuros.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

2
Planejamento e programação em assistência médica

Segundo Erdogan et al. (2011), em 2007 o gasto total atingido em assistência médica nos Estados Unidos foi de US $2.3 trilhões e continua aumentando com a taxa de crescimento mais rápida da história. Durante a década passada, como resposta aos múltiplos desafios i.e. (o aumento da população idosa, a aparição de novas doenças e restrições orçamentárias mais rigorosas), as organizações de assistência médica têm sido pressionadas para fornecer cirurgias de alta qualidade com o menor custo possível. Portanto, os hospitais estão sempre à procura de melhorar o cuidado aos pacientes e ao mesmo tempo reduzir os custos de operação. O desenho e realização de um melhor sistema de planejamento e programação de SCs é uma importante área de estudo, que tem como objeto reduzir os altos custos e melhorar o acesso aos serviços nos sistemas de Assistência Médica, (Erdogan et al, 2011; Fei et al, 2010). Para Cardoen et al. (2010), o planejamento é descrito como o processo de reconciliação entre o fornecimento e a demanda de serviços médicos, pois as decisões tomadas estão diretamente relacionadas à determinação da capacidade. Por outro lado, a programação tenta definir a sequência e tempo alocado às atividades de uma operação.

Blake (2011) expõe que o conceito de planejamento é familiar para a maioria dos estudantes e praticantes da Pesquisa Operacional e as ciências administrativas. O planejamento da capacidade é o processo de especificar um nível de capacidade necessário para atender a demanda de maneira custo-eficiente. As atividades de planejamento da capacidade geralmente são classificadas de acordo ao intervalo de tempo: longo prazo (estratégico), médio prazo (tático), curto prazo (operacional). Dentro da literatura vários autores apresentam diferenças na hora de definir os conceitos envolvidos em cada um dos níveis de decisão mencionados. Boldy (1976) considera o termo “estratégico” para ser aplicado a estudos preocupados com aspectos mais amplos no planejamento da

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

saúde como o equilíbrio entre hospitais e recursos da comunidade, programas para a prevenção e controle de doenças ou o crescimento populacional. Smith-Daniels et al. (1988) definem planejamento da capacidade em assistência médica como "decisões que tratam a aquisição e alocação de três tipos de recursos: força de trabalho, equipamento e instalações." Eles mencionam também que as decisões de planejamento da capacidade em assistência médica são tomadas em relação ao tempo: no longo prazo o planejamento envolve decisões com relação à aquisição de instalações e equipamento principal; no médio prazo envolve decisões com relação à força de trabalho, tempo extra e subcontratação e no curto prazo envolve atividades de programação para alocar capacidade a tarefas ou pacientes.

2.1. Planejamento e programação em Salas de Cirurgia (SCs)

Enfrentando a crescente demanda em assistência médica, a ajuda limitada do governo e aumento da concorrência, os hospitais estão mais e mais cientes da necessidade de usar seus recursos da maneira mais eficiente possível. As SCs estão entre os recursos mais críticos, pois representam os custos mais altos dentro dos hospitais. Por esta razão, as atividades de planejamento e programação de SCs tornaram-se uma das maiores prioridades para os hospitais (Lamiri et al, 2008). Alguns autores afirmam que, em concordância com o anteriormente exposto, os níveis de decisão para o planejamento de SCs devem ser diferenciados. De acordo com Watchel & Dexter (2008), decisões estratégicas requerem anos de planejamento antes da aplicação e mudam permanentemente a funcionalidade das SCs. Decisões táticas para incrementar o tempo total ou a capacidade das SCs podem alterar a quantidade de assistências clínicas fornecidas por um hospital. Tais decisões são tomadas uma ou talvez duas vezes por ano.

Um aumento na capacidade de uma SC pode surgir de duas formas, seja por conta de um aumento no número de salas físicas disponíveis, ou um aumento no número de horas disponibilizadas por dia nas SCs existentes. Em contraste com as decisões táticas e estratégicas, as decisões operacionais não afetam o número ou tipos de procedimentos cirúrgicos realizados em termos de capacidade. A tomada de decisões operacionais pode ser considerada em dois estágios: 1)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

aproximadamente a cada três meses, os planos de staff são ajustados para equilibrar as cargas de trabalho antecipadamente. Estas decisões incluem a alocação do staff para casa sala e o número de horas por dia que o staff estará disponível em cada SC por dia. 2) Mais próximo ao dia da cirurgia, as decisões operacionais se concentram em reduzir o tempo sobre-utilizado.

De acordo com a revisão de literatura de Blake (2011), o planejamento da capacidade para SCs difere do planejamento da capacidade geral, porque virtualmente não existem modelos no nível estratégico. A literatura em planejamento de SCs trata questões de médio e curto prazo, onde é assumido que os recursos físicos na SC são fixos. Neste contexto, o planejamento da capacidade gira em torno dos métodos para determinar políticas que têm como objetivo fazer o melhor uso dos recursos fixos. Assim, a maior parte dos modelos dentro do contexto do planejamento da capacidade em SCs pode ser classificada como alocação de recursos e decisões de programação (Blake, 2011).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

2.1.1. Problemas do planejamento de SCs

Segundo Testi & Tànfani (2009), o planejamento de atividades cirúrgicas não é uma tarefa fácil devido ao grande número de variáveis de decisão que devem ser consideradas. Portanto, a categoria geral do planejamento das SCs pode estar constituída por dois problemas inter-relacionados. O primeiro é compartilhar o tempo total disponível de uma SC entre as diferentes subespecialidades cirúrgicas, o que é conhecido como o Master Surgical Schedule Problem (MSSP). O segundo é o problema de alocar um subconjunto de pacientes pertencentes à lista de espera em cada bloco de tempo, isso é chamado como Surgical Case Assigment Problem (SCAP). Beliën et al. (2005) propõem três níveis de decisão. Em primeiro lugar, o frequentemente chamado Case Mix Planning (CMP), onde se decide como a disponibilidade do tempo de uma SCs é dividida entre os diferentes cirurgiões (ou grupos cirúrgicos). A segunda etapa envolve o desenvolvimento de um Master Surgery Schedule (MSS). Da primeira etapa é conhecido **quanto** tempo da SCs obtém cada cirurgião. Na segunda etapa, é determinado **quando** os cirurgiões obtêm esse tempo. Esta etapa pode ser situada

no nível tático da administração hospitalar. Poucos artigos trataram esta etapa da programação de SCs. A terceira etapa envolve o planejamento detalhado de cada caso eletivo. Esta etapa tem um foco mais operacional, uma vez que ocorre em uma base diária e inclui decisões operacionais de programação como alocação de casos às SCs, determinação da ordem e a hora de início e fim dos casos, a reserva de equipamento especializado, etc. Segundo Marques et al. (2012), este nível operacional é referido à programação de casos *eletivos.* Nesta fase, cada caso é programado para uma SC e dia específicos (algumas vezes referido a agendamento antecipado). Então, ou cada cirurgia é programada para um período específico em um dia, ou simplesmente as cirurgias programadas para um mesmo dia são ordenadas (agendamento de alocação).

Para Santibáñez et al. (2007), as decisões nas três fases mencionadas anteriormente estão altamente inter-relacionadas e não podem ser vistas separadamente (Figura 2.1), embora não necessariamente ao mesmo tempo, especialmente pela complexidade do problema total e o momento e horizonte de planejamento de cada fase.

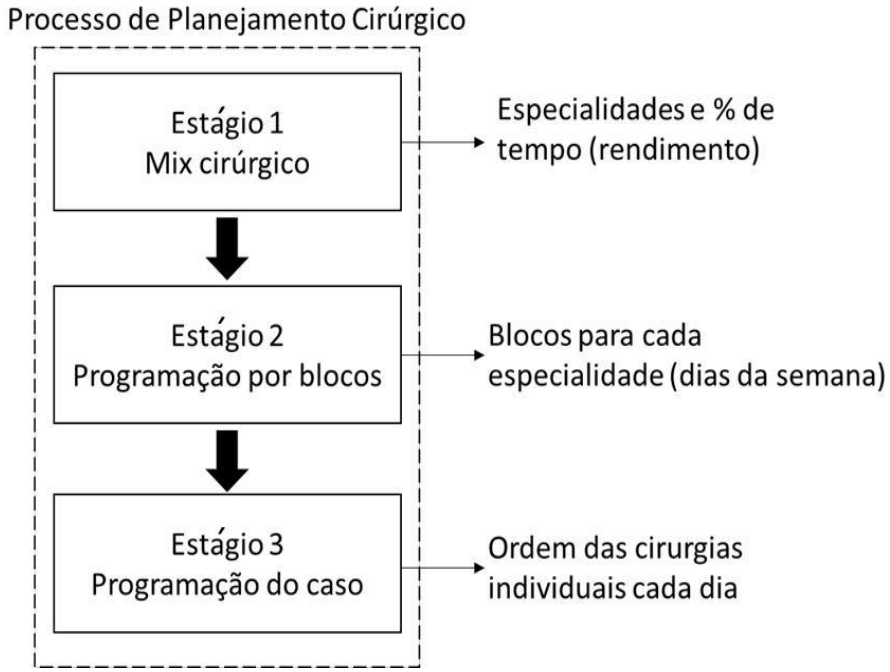


Figura 2.1– Processo de planejamento cirúrgico. Baseado em Santibáñez et al. (2007)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

2.1.2.
Estratégias para o planejamento de SCs

De acordo com a literatura, vários autores têm focado em dar solução ao problema do planejamento de SCs, onde a maioria dos pesquisadores classificam três principais estratégias de planejamento:

- *Programação aberta*: foi designada por Dexter et al. (2003) como "Qualquer dia de trabalho", em que os cirurgiões podem escolher qualquer dia de trabalho para realizar um caso. Outros autores, como Denton et al. (2007), dizem que dentro dos sistemas de Programação Aberta a intenção é acomodar todos os pacientes. Os cirurgiões assumem casos até o dia da cirurgia e todos os casos são programados nas SCs. Cirurgias individuais são alocadas nas SCs para criar uma programação prévia ao dia da cirurgia;
- *Programação por blocos:* sob um sistema Programação por Blocos cada cirurgião ou equipe cirúrgica é alocado em uma SC particular com uma programação periódica (tipicamente semanal ou mensal). Os cirurgiões agendam casos no tempo alocado para eles sujeito à condição que a duração média dos casos encaixe dentro do período de tempo programado (Denton et al, 2003);
- *Programação por blocos modificado:* a estratégia de Programação por Blocos descrita anteriormente pode ser modificada em duas maneiras diferentes para fornecer mais flexibilidade: assim, são reservadas algumas horas de abertura da SC com antecedência enquanto outras são deixadas abertas ou blocos não usados de tempo são liberados em algum momento acordado, e.g. 72 horas antes da cirurgia, (Fei et al, 2009);

Cardoen et al. (2010) realizam uma categorização diferente da categorização por níveis estratégico, tático e operacional. Eles propõem níveis de decisão de acordo à forma como eles são direcionados, i.e., sobre quem é aplicada a decisão. Eles propõem uma tomada de decisões baseada na disciplina, no cirurgião e no paciente. Tudo isso com o objetivo de evitar os três níveis básicos apresentados em Beliën etal. (2005), pois para Cardoen et al. (2010) não há uma clara definição

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

dos três níveis de decisão tradicionais (estratégico, táctico, operacional) e em segundo lugar a classificação bidimensional de planejamento e programação fornece mais detalhes sobre o tipo exato de decisão a tomar; esta classificação consiste em associar parâmetros como data, tempo, sala e capacidade a cada um dos níveis de decisão (disciplina, cirurgião e paciente). No nível disciplina as decisões são tomadas para uma especialidade médica ou um departamento como um todo. No nível cirurgião, para cada cirurgião o planejador tem que definir em que dia e em que SC deve realizar as cirurgias. Após os níveis disciplina e cirurgião, encontra-se o nível paciente. Sobre este nível, as decisões são tomadas para um paciente individual ou um tipo de paciente. Embora os tipos de paciente possam representar a diferença entre, pacientes eletivos ou não-eletivos, eles podem referir-se também a tipos de procedimentos cirúrgicos.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

2.2. Características dos pacientes

Na literatura são considerados dois tipos principais de pacientes para a programação de SCs, eletivos e não eletivos. A característica principal dos pacientes eletivos, ao contrário dos pacientes não eletivos, é que a cirurgia pode ser agendada antecipadamente. A maioria dos pesquisadores de planejamento e programação de SC focam-se sobre o caso de pacientes eletivos. Isto pode ser devido ao exposto por Beliën et al. (2009), os quais afirmam que em contraste aos casos não eletivos, os casos eletivos são intervenções cirúrgicas que são planejadas de antemão. Obviamente, casos não eletivos contribuem dramaticamente à enorme quantidade de variabilidade na ocupação de leitos, porém, uma parte importante da variância pode ser controlada aplicando políticas de programação bem pensadas para os casos eletivos. Porém, outros autores como Lamiri et al. (2009) afirmam que muitos hospitais usam as mesmas SCs para fornecer o serviço para as duas categorias de pacientes. Estes dois grupos de pacientes têm diferentes requisitos para o serviço, mas têm que compartilhar o mesmo conjunto de recursos, especificamente as SCs. Portanto, o planejamento de atividades cirúrgicas deve levar em conta a natureza incerta da demanda das cirurgias de emergência, pois o adiamento de procedimentos ou o uso de horas

extras pode diminuir a qualidade do serviço e gerar custos adicionais para o hospital.

Segundo Cardoen et al. (2010), embora muitos pesquisadores não indiquem que tipo de paciente eletivo eles estão considerando, alguns distinguem entre pacientes internados e ambulatoriais. Internado se refere a pacientes hospitalizados que tem que pernoitar, enquanto que ambulatoriais tipicamente entram e saem do hospital no mesmo dia. Ao considerar pacientes não eletivos, uma distinção pode ser feita entre cirurgia urgente e de emergência, com base na capacidade de resposta à chegada do paciente (e.g. o tempo de espera até o começo da cirurgia). A cirurgia de emergência tem que ser realizada o mais rapidamente possível, enquanto que a urgência refere-se a pacientes não eletivos que estão suficientemente estáveis, portanto sua cirurgia possivelmente pode ser adiada por um período curto de tempo.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

2.3. Medidas de desempenho

De acordo com Cardoen et al. (2010), vários critérios de desempenho são usados para avaliar os procedimentos de planejamento e programação de SCs. Embora eles distingam oito medidas de desempenho principais, nomeadamente *waiting time, throughput, utilization, leveling, makespan, patient deferrals, financial measures e preferences*, somente as três primeiras têm sido amplamente estudadas dentro da literatura. Longas listas de espera estão entre as reclamações mais comuns na assistência médica em geral, o que justifica os muitos estudos encaminhados a diminuir o *waiting time* para os pacientes. O segundo objetivo, o *throughput*, é fortemente relacionado ao *waiting time* do paciente, pois a maioria dos trabalhos classificados com *throughput* foca-se no incremento do número de pacientes tratados, o que obviamente conduz indiretamente a *waiting times* mais curtos. O terceiro objetivo largamente estudado é *utilization*, especialmente a taxa de utilização das SCs. Por um lado *utilization* deve ser maximizada porque a subutilização representa custos desnecessários. Por outro lado, uma SC que é totalmente ocupada e sem um tempo de buffer é muito instável e apresenta grandes custos de incerteza.

Erdogan et al. (2011) proporcionam um exemplo ilustrado (Figura 2) de um problema de programação para uma SC. No exemplo o programador seleciona a hora de início de cada cirurgia e é possível visualizar um cenário aonde se vêm representadas algumas medidas como o *waiting time, idling* e *overtime.*

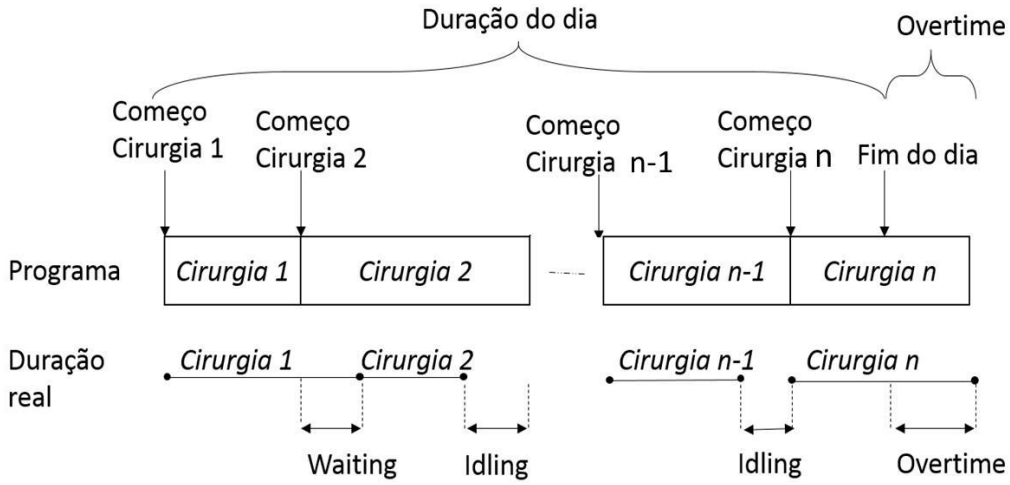


Figura 2.2– Problema de programação de uma única SC. Baseado em Erdogan et al. (2011)

2.4. Considerações finais

Durante o Capítulo 2 vimos os problemas e as variáveis envolvidas na prestação de serviços médicos, especificamente, o planejamento e programação de SCs. Este capíulo buscou contextualizar o leitor dentro das problemáticas atuais e também as estratégias e indicadores de desempenho utilizados para o planejamento da assistência médica. No Capítulo 3 serão apresentados um conjunto de técnicas de Pesquisa Operacional com as que vários autores abordaram os problemas apresentados ao longo do Capítulo 2.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

3
Pesquisa Operacional na programação de SCs

No capítulo a seguir será apresentada a revisão bibliográfica dos principais métodos que têm sido mais utilizados no campo do planejamento e programação de SCs. A maior parte da revisão foi realizada em base em artigos científicos, pois ali se encontram as principais aplicações dentro do campo da saúde, especificamente para nosso estudo de caso, o planejamento e programação de SCs.

3.1.
Programação Matemática

Dentro da literatura disponível muitas abordagens sobre como dar solução ao problema de SCs baseiam-se em programação matemática, tipicamente programação linear inteira (PLI). Porém, esse tipo de problema frequentemente é NP-Difícil, o que representa um desafio para aplicações práticas. Marques et al. (2012) propõem um modelo de PLI, que procura programar cirurgias eletivas de uma lista de espera sobre um horizonte de tempo semanal com o objetivo de maximizar o uso das SCs para um hospital em Lisboa, mas esse modelo é altamente complexo e atinge uma grande dimensão em casos reais. Portanto uma heurística de melhoramento é desenvolvida para melhorar as soluções não ótimas.

Testi et al. (2007) desenvolveram e implementaram em um hospital público da Itália, uma abordagem hierárquica de três fases para a programação semanal de SCs. Nas duas primeiras fases eles propõem dois modelos de PLI, o primeiro modelo tem como objetivo determinar o número de sessões a serem programadas semanalmente para cada sala e o segundo tem como objetivo resolver o problema de Master Surgical Schedule mencionado no capítulo anterior. Outros autores tratam estes problemas por separado, porém utilizando a técnica de PLI. Vissers et al. (2005), desenvolvem um plano mestre que define para cada dia da semana o

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

número de horas disponíveis e o número de pacientes operados de cada categoria. Santibáñez et al. (2007), apresentam um modelo de PLI mista para programar blocos cirúrgicos para cada especialidade em SCs.

De acordo com a literatura encontrada, no nível operacional a PLI não é muito usada devido à complexidade que envolvem estes problemas, alguns autores como Marques et al. (2012) e Cardoen et al. (2009) tentaram aborda-lo misturando duas técnicas, PLI e algumas heurísticas para conseguir uma solução do problema computacionalmente viável.

3.2. Considerando Incertezas em Modelos de Programação Matemática

Conforme Cardoen et al. (2010), um dos maiores problemas associados ao desenvolvimento de programações de SCs é a incerteza inerente aos serviços cirúrgicos. Abordagens de planejamento e programação determinísticas ignoram tal incerteza ou variabilidade, enquanto que abordagens estocásticas tratam explicitamente de incorporá-la.

Dois tipos de incerteza bem direcionados na literatura são incerteza na chegada de pacientes e incerteza na duração das cirurgias. A primeira trata alguns temas como, por exemplo, a chegada imprevisível dos pacientes de emergência ou o atraso de cirurgiões no começo de uma sessão, enquanto que a segunda representa desvio entre a duração planejada e a duração real das atividades relacionadas com os processos cirúrgicos. Nesta dissertação só trataremos a incerteza na duração, pois o escopo do nosso estudo somente envolve pacientes eletivos.

Dentre os artigos encontrados na literatura que abordam problemas de planejamento e programação de SCs sob incerteza, uma das técnicas utilizadas é a programação estocástica, embora estes problemas muitas vezes sejam inviáveis ou difíceis de resolver computacionalmente. Lamiri et al. (2009), consideram em seu trabalho o problema de planejamento como um problema de programação

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

estocástica com o fim de minimizar os custos de tempo extra esperados e os custos relacionados com os pacientes. Um método quase exato que combina simulação Monte Carlo e PLI mista é apresentado. Apesar de dar melhores resultados em relação a algumas heurísticas e meta heurísticas propostas, o método de Lamiri et al. (2009) é computacionalmente mais complexo.

Denton et al. (2007) descrevem um modelo de otimização estocástica e algumas heurísticas que protegem a programação de SCs da incerteza envolvida na duração das cirurgias. Eles focam-se nos efeitos da sequência das cirurgias e a programação de tempos de início das cirurgias. Eles também mostram que uma simples regra de sequência baseada na variância da duração da cirurgia pode ser usada para gerar reduções substanciais no tempo de espera dos cirurgiões, SCs ociosas e custos de tempo extra.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

Ao contrário do observado sobrea aplicação de programação estocástica, os autores que buscam resolver o problema de programação de SCs utilizando a programação robusta são relativamente poucos. Beliën et al. (2005) definem a programação robusta como um caminho alternativo à maneira de tratar com incerteza na programação de SCs, muitas vezes trabalhada usando programação estocástica. Eles também sumarizam no seu trabalho que a programação de SCs robusta está preocupada com a construção de programas que são protegidos contra a ocorrência de eventos inesperados. Um programa robusto é capaz de absorver um nível de eventos imprevistos sem uma reprogramação. Portanto, uma programação robusta busca maximizar a estabilidade do programa. Uma revisão mais profunda em programação robusta sobre as técnicas para programação de projetos pode ser encontrada em Herroelen & Leus (2004).

Denton et al. (2010) apresentam modelos de otimização estocásticos para a alocação de cirurgias a SCs sobre um dia determinado de cirurgia. Eles descrevem dentro de seu trabalho dos tipos de modelos. O primeiro é um problema de programação estocástica de dois estágios e o segundo é sua contraparte robusta, onde o objetivo é minimizar o máximo custo associado a um conjunto de incertezas na duração das cirurgias. Eles encontram como resultado que o método

robusto é muito mais rápido que resolver o modelo de recurso estocástico e tem o benefício de limitar o pior caso.

3.3. Simulação

A simulação pode ser definida como a técnica que imita a operação de um sistema do mundo real à medida que ele evolui ao longo do tempo. Um modelo de simulação geralmente assume a forma de um conjunto de suposições sobre a operação do sistema, expressado como relações lógicas ou matemáticas entre os objetos de interesse no sistema. Em contraste com as soluções matemáticas exatas disponíveis com a maioria dos modelos analíticos, o processo de simulação envolve executar ou correr o modelo através do tempo, normalmente em um computador, para gerar amostras representativas das medidas de desempenho (Winston, 2004)

A maior vantagem da simulação é que sua teoria é relativamente simples. Em geral, métodos de simulação são mais fáceis de aplicar do que métodos analíticos. Enquanto que modelos analíticos podem requerer muitas hipóteses simplificadoras, os modelos de simulação têm poucas restrições desse tipo, permitindo assim muito mais flexibilidade em representar um sistema real. Porém, deve ser enfatizado que a simulação não é uma técnica de otimização. A maioria das vezes é usada para analisar questões do tipo “e se”. Simulação também em alguns casos pode chegar a ser muito custosa computacionalmente.

Devido à fácil aplicação da simulação, o número de trabalhos encontrados na literatura em assistência médica e especialmente no planejamento e programação de SCs é bastante grande. Ballard & Kuhl (2006) projetam um modelo de simulação discreto para ajudar um hospital a avaliar a eficiência atual de uma SC, o potencial de capacidade máxima de uma sala e como a mudança do conjunto de procedimentos cirúrgicos realizados afeta o desempenho da SC.

Everett (2002) propõe um modelo de simulação para apoio à decisão na gestão e programação de casos de cirurgia eletivos no sistema de hospitais

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

públicos. Este modelo representa grande utilidade nas decisões táticas na programação dia-a-dia da lista de espera e a alocação de pacientes aos hospitais. O modelo também pode ser usado como uma ferramenta operacional para conciliar a disponibilidade do hospital e a necessidade do paciente e também pode ser usado para fazer relatórios sobre o desempenho do sistema.

Persson & Persson (2010) usam simulação de eventos discretos e modelagem de otimização para estudar o impacto da incerteza na chegada de pacientes e na duração de cirurgias, sujeito à diferentes políticas de gestão em relação à alocação do tempo de SC. O experimento mostra que o desempenho da SC pode ser melhorado significativamente com a aplicação de uma política diferente em reservar capacidade da SC para casos de emergência, junto com uma política para incrementar o pessoal em tempo de espera.

Como é possível observar nos trabalhos mencionados anteriormente a principal função da simulação é acompanhar os procedimentos que envolvem o planejamento e programação de SCs e a partir dos resultados avaliarem possíveis cenários do que poderia acontecer se as variáveis do sistema fossem mudadas. Outros exemplos de aplicações práticas de simulação em SCs podem ser encontradas em Wullink et al. (2007), Sciomachen et al. (2005) e Tyler et al. (2003).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

3.4. Heurísticas

Na maioria dos trabalhos em planejamento e programação de SCs, as heurísticas são utilizadas como métodos de apoio ou complemento a outros problemas (e.g. PLI, programação estocástica, simulação, etc) que computacionalmente são difíceis de resolver. Um exemplo pode ser encontrado em Denton et al. (2010), onde eles utilizam uma heurística com o objetivo de estimar um parâmetro incerto dentro da parte de programação robusta. Porém, existem alguns autores que desenvolvem heurísticas como o método principal para solucionar problemas dentro de suas pesquisas.

Krempels & Panchenko (2006) criam um sistema semi-automatizado onde dividem a programação de SCs em quatro subproblemas: preferência baseada na alocação de turnos, preferência baseada na construção de equipes em um turno, preferência baseada na alocação de tarefas (operações) a uma equipe e alocação de salas a operações. Para cada um destes problemas é criada uma heurística que como resultado gera uma proposta para a programação de SCs.

Van der Lans et al. (2006) desenvolveram um teste onde são comparadas várias heurísticas para determinar a maneira mais adequada de antecipar o comportamento das cirurgias de urgência, considerando dois níveis de planejamento. No nível tático estudam a alocação da folga disponibilizada para casos de emergência em uma SC, e no nível operacional experimentam com a sequência dos casos eletivos nas SCs, onde a folga para os casos de emergência é alocada. Tudo isto, com objetivo de minimizar o tempo de espera e tempo extra das cirurgias e ao mesmo tempo maximizar a utilização das SCs.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

3.5. Outros métodos

Além dos métodos mencionados anteriormente, existem outros métodos que têm sido aplicados em uma escala menor para dar solução aos problemas no planejamento e programação de SCs. Dentro destes métodos se encontra programação por metas, análise por envoltória de dados, etc.

Ozkarahan (2000) propõe um modelo de programação por metas que pode produzir os horários que melhor atendem as necessidades do hospital. Esta abordagem envolve classificar os requerimentos para um dia particular com base nas restrições de bloco, utilização da sala, preferências do cirurgião e recursos de cuidados intensivos. Outra aplicação de programação por metas é encontrada em Arenas et al. (2002), onde um modelo de programação por metas é desenvolvido com o fim de estudar a possibilidade de diminuir o tempo de permanência de um paciente em uma lista de espera.

O’Neill & Dexter (2007) apresentam um caso de estudo para mostrar como os resultados da análise por envoltória de dados estão ligados à análise financeira para propósitos de decidir que especialidades cirúrgicas devem ser fornecidas com mais recursos e ajuda institucional.

3.6. Considerações Finais.

No Capítulo 3 foi apresentado o conjunto de técnicas de Pesquisa Operacional mais utilizadas para dar solução aos problemas de planejamento e programação de SCs. Como podemos ver no Capítulo 4, nesta dissertação foi utilizado o método de PLI para realizar a programação das SCs de um hospital público em Lisboa e para tratar o problema da incerteza na duração das cirurgias no Capítulo 6 foi realizado um modelo de simulação com o objetivo de analisar os resultados quando a duração média das cirurgias é sometida a perturbações.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

4
Descrição do problema

Esta dissertação foca-se no problema de programação de SCs de um hospital público em Lisboa, no qual são realizadas aproximadamente 5000 cirurgias por ano divididas em cinco especialidades cirúrgicas. Para realizar estes procedimentos o hospital conta com seis SCs, das quais cinco estão reservadas para realizar cirurgias em regime de internamento e uma para cirurgias ambulatórias. Todas as salas podem realizar qualquer procedimento, pois todas as salas possuem os mesmos equipamentos básicos e os equipamentos especializados podem ser deslocados entre elas, porém, devido à fragilidade dos equipamentos, estes devem ser deslocados o menos possível. Todas as SCs também estão equipadas com uma equipe fixa de enfermeiros durante a jornada de funcionamento, que começa às 8:30 e acaba às 20:00 de segunda a sexta-feira. Na prática, o hospital aloca SCs às especialidades. Devido aos protocolos de limpeza e preparação o hospital não permite o intercâmbio de especialidades cirúrgicas em uma SC dentro do mesmo dia, pois estes protocolos requereriam uma hora de inatividade da SC. Cada vez que uma cirurgia é finalizada, são realizados protocolos de limpeza e desinfeção que demoram em média 30 minutos.

As cirurgias podem ser de dois tipos, urgências ou eletivas, porém o escopo deste projeto só atinge cirurgias eletivas. Existe uma lista de espera agendada, na qual, cada paciente tem um cirurgião alocado previamente. Devido a magnitude do problema, neste trabalho somente serão consideradas as cirurgias convencionais, as quais fazem referência a pacientes em regime de internamento e não ambulatoriais (o tempo de permanência do paciente no hospital desde a entrada até a saída é menos do que 24 horas).

Cirurgias eletivas têm um nível de prioridade associado que define a devida data de realização. Quatro níveis são possíveis (Ministério de Saúde, 2008): urgência adiada (a cirurgia deve ser realizada em um prazo máximo de 72 horas);

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

prioridade alta (a cirurgia deve ser realizada em um prazo máximo de 15 dias); prioridade (a cirurgia deve ser realizada em um prazo máximo de 2 meses); e normal (a cirurgia deve ser realizada em um prazo máximo de 1 ano).

Os pacientes são transferidos desde uma unidade hospitalar para uma SC e depois são levados a uma unidade de recuperação. Para realizar os procedimentos de indução e acordar é preciso um anestesista, um enfermeiro anestesista, staff auxiliar e equipamentos. Como estes procedimentos acontecem todos na sala de cirurgia, o tempo de execução é incluído na duração total da cirurgia.

O planejamento cirúrgico é desenvolvido sobre uma base semanal e é finalizado à sexta-feira para a semana seguinte. O planejamento é inicialmente empreendido individualmente para cada especialidade cirúrgica.. Mudanças sobre o planejamento podem acontecer durante a semana e devem necessariamente ser propostas até às 12 horas do dia anterior.

Maximizar a utilização dos recursos, em particular as SCs, é prioridade do hospital. Nesse sentido, o objetivo central é incrementar os retornos sobre os recursos físicos instalados e ao mesmo tempo aumentar a eficiência e a eficácia no atendimento do hospital.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

4.1. Análise da informação.

Inicialmente, será realizada uma análise de forma a se ter uma visão geral do problema, em seguida, será realizada uma análise mais detalhada dos aspectos envolvidos. A base de dados considerada é uma mostra aleatória de 300 cirurgias em lista de espera. A base de dados inicial apresenta uma estrutura conforme exemplo a seguir (Tabela 4.1).

Tabela 4.1- Exemplo da base de dados utilizada para o caso de estudo.

Numero	Prioridade	Especialidade	Médico	Dur. per
1	3	5	12	18
2	4	5	11	18
3	3	2	8	16
4	3	2	8	16
5	1	1	22	16
6	3	1	22	14
7	3	1	22	14
8	4	4	32	13
9	3	2	8	13
10	3	2	8	13

A primeira coluna desta tabela representa simplesmente um número ordinal associado a um procedimento em lista de espera; a segunda representa a prioridade para completar a cirurgia (quanto menor o valor, mais prioritária é a cirurgia); a terceira coluna representa a especialidade cirúrgica (ver Tabela 4.2); a quarta representa o médico alocado para executar a cirurgia e a quinta coluna a duração da cirurgia em períodos de tempo tendo em conta que no presente estudo de caso um dia de trabalho está representado por 46 períodos de 15 minutos.

Tabela 4.2– Especialidades cirúrgicas.

Ordinal	Código	Especialidade
1	1120100	Cirurgia Geral e Digestiva
2	1120420	Cirurgia Torácica
3	1120500	Angiologia e Cirurgia Vascular
4	1120900	Otorrinolaringologia
5	1121100	Urologia

A seguir serão apresentadas várias tabelas, as que têm como objetivo mostrar a relação entre cada uma das colunas da Tabela 4.1 com as demais colunas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

Tabela 4.3– Distribuição das cirurgias em lista de espera por prioridades.

Prioridade	Número de cirurgias	% Núm. Cirurgias	Tempo (períodos)	% Tempo
1	20	6,6%	102	6,5%
2	1	0,3%	3	0,1%
3	75	25%	494	31,8%
4	204	68%	955	61,4%
Total	300	100%	1553	100%

A Tabela 4.3 mostra a distribuição das cirurgias por prioridade em termos de número de cirurgias representadas nas colunas 2 e 3, e em termos de tempo representado nas colunas 4 e 5.

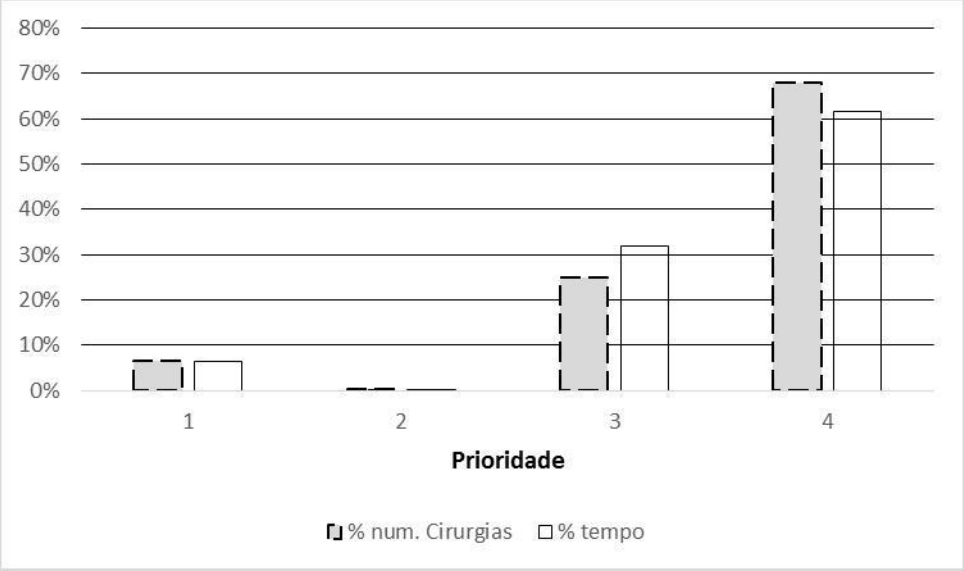


Figura 4.1– Problema de programação de uma única SC.

Como é possível observar na Figura 4.1 a maioria das cirurgias estão concentradas entre as prioridades 3 e 4, somando o 93,27% do tempo total o que é visto como uma vantagem à hora de realizar a programação das SCs, pois somente o 6,73% está restringido pela criticidade dos procedimentos a serem realizados no curto prazo. Neste gráfico também é possível observar que o número de cirurgias realizadas apresenta valores de porcentagens similares com relação ao total.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

Tabela 4.4– Distribuição das cirurgias e do tempo por prioridade.

Prioridade	Especialidade	Núm. Cirurgias	% Núm. Cirurgias	Duração	%Duração
1	1	11	3,6%	61	3,9%
	2	1	0,3%	5	0,3%
	3	8	2,6%	35	2,3%
2	1	1	0,3%	3	0,2%
3	1	48	16%	255	16,4%
	2	14	4,6%	143	9,2%
	5	13	4,3%	96	6,2%
4	1	60	20%	211	13,6%
	2	11	3,6%	74	4,8%
	3	20	6,6%	60	3,9%
	4	29	9,6%	180	11,6%
	5	84	28%	430	27,7%
Total Geral		300	100,00%	1553	100,00%

A Tabela 4.4 apresenta uma descrição detalhada por especialidade dos dados apresentados na Tabela 4.3. Tal tabela mostra a relação entre a prioridade e a especialidade cirúrgica e, de acordo com a mesma, a única especialidade em comum entre todas as prioridades é a especialidade 1, embora não exista um padrão de comportamento que defina o porquê desta relação. Também podemos dizer que a especialidade 1 é a que tem maior número de cirurgias realizadas, seguido pela especialidade 5 (ver Gráfico 4.2). Nesta tabela, as porcentagens de cirurgias realizadas e a duração média delas apresentam valores similares.

A Figura 4.2 nos permite concluir que as especialidades 1 e 5 representam a maior parte das cirurgias realizadas, com 40% e 32,33%, respectivamente, uma vez que somam um total de 72,33%. As especialidades 2,3 e 4 representam o restante 27,67%.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

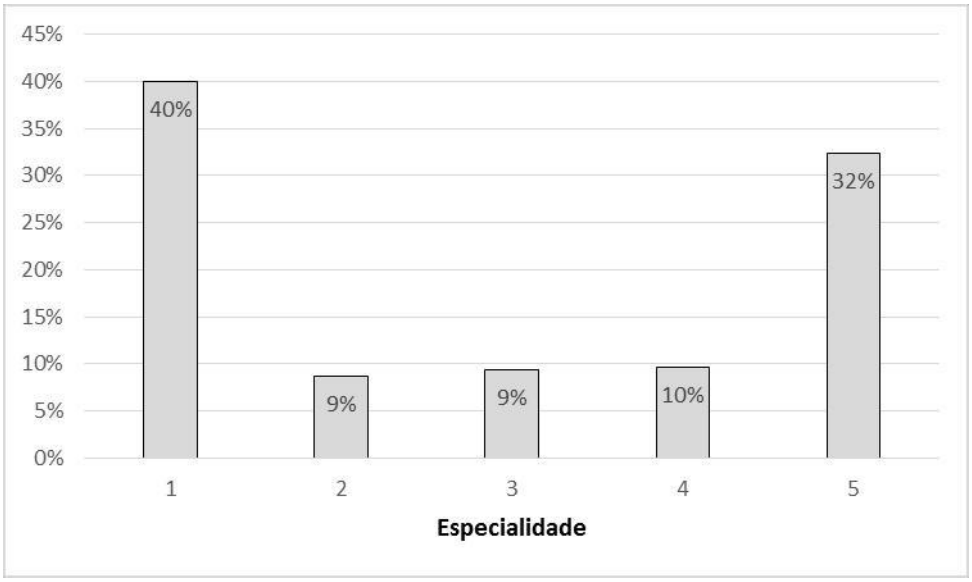


Figura 4.2 – Porcentagem de cirurgias em lista de espera por especialidade.

Com objetivo de realizar uma análise da duração mais próxima a realidade do processo ajustaremos o parâmetro duração utilizando a formula apresentada a seguir:

Σ Σ (1)

Onde;

Duração$_i$: Duração média da cirurgia i

Núm. Cirurgias: Total de cirurgias realizadas.

O número 2 da equação 1 representa o número de períodos necessários para realizar os processos de desinfeção e limpeza da SC utilizada depois de realizar a cirurgia i. A Equação 1 implica que a cada cirurgia realizada deve se incrementar 2 períodos ao tempo total que levará executar essas cirurgias. Assim sendo, de acordo com a Tabela 4.3, o tempo total necessário para realizar as 300 cirurgias

Du$_i$ dado pela Equação 1 é Σ .

No Anexo 1 encontra-se a tabela que relaciona o tempo total alocado por prioridade para cada cirurgião e o tempo total alocado para cada um deles. Alguns

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

dos cirurgiões têm grande número de cirurgias alocadas como no caso dos cirurgiões 12, 22, 8, entre outros e, pelo contrário, existem outros com poucas cirurgias alocadas como os cirurgiões 1, 40 e 42, o que cria uma grande dispersão dos dados. O caso do cirurgião 36 para a prioridade 1 deve ser examinado detalhadamente à hora de realizar a programação, pois possivelmente não consiga realizar as cirurgias dentro da jornada normal de 46 períodos por dia.

As especialidades 1 e 5 são as maiores demandas, acumulando o total de 69,39% da duração *Du* das cirurgias em lista de esperas. Por outro lado, a especialidade menos demandada é especialidade 3 com 7,01% da duração *Du* das cirurgias em lista de espera (ver Tabela 4.5).

Tabela 4.5 - Duração total em períodos das cirurgias em lista de espera para cada especialidade.

Especialidade	Du	% Duração
1	771	35,8%
2	274	12,7%
3	151	7%
4	238	11,1%
5	719	33,4%
Total	2153	100%

A Tabela 4.6 relaciona a especialidade aos cirurgiões. Ali pode ser observado como a distribuição dos cirurgiões por especialidade mantém proporções similares às da duração mostrada na Tabela 4.5 (ver Figura 4.3). . Uma característica importante a ser considerada na programação é que os cirurgiões não podem se sobrepor entre especialidades, ou seja, cada cirurgião somente realiza cirurgias de uma especialidade (ver Tabela 4.7).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

Tabela 4.6– Distribuição dos cirurgiões por especialidade.

Especialidade	Núm. Cirurgiões	% Cirurgiões
1	18	40,9%
2	4	9,1%
3	4	9,1%
4	7	15,9%
5	11	25%
Total	44	100%

A Tabela 4.6 mostra o número de cirurgiões alocados às cirurgias de cada especialidade e Tabela 4.7 mostra quais são esses cirurgiões.

Tabela 4.7– Classificação dos cirurgiões por especialidade.

Especialidade	Cirurgiões
1	1, 3, 4, 9, 17, 19, 20, 22, 24,25, 27, 28, 29, 30, 34, 37, 39, 41
2	5, 8, 14, 15
3	35, 36, 38, 43
4	7, 10, 26 , 31, 32, 33, 40
5	2, ,6, 11, 12, 13, 16, 18, 21, 23, 42, 44

A Figura 4.3 mostra a relação por especialidade das distribuições do número de cirurgiões e a duração das cirurgias em lista de espera. Como é possível observar no gráfico ambas curvas apresentam comportamentos similares.

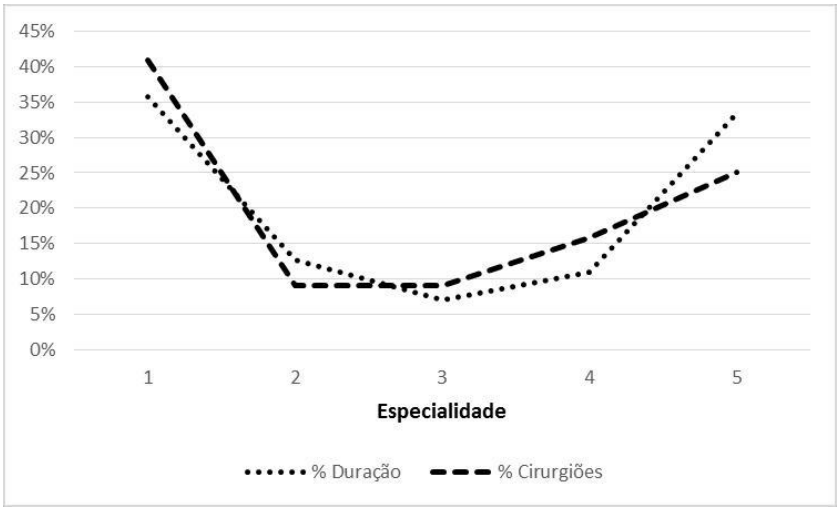


Figura 4.3– Relação entre cirurgiões de cada especialidade e a duração média das cirurgias em lista de espera.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

4.2.
O modelo de Programação Linear Inteira (PLI)

O modelo apresentado a seguir é o modelo utilizado por Marques et al. (2012) para dar solução ao problema descrito no Capítulo 4. O objetivo de apresentar este modelo consiste em uma reformulação do modelo que seja mais eficiente e eficaz em termos de tempo computacionais.

Para realizar a programação semanal, toda sexta-feira, é realizada uma seleção por ordem de prioridade de um conjunto de cirurgias C em lista de espera. Este conjunto de cirurgias C está dividido em diversos subconjuntos. Os subconjuntos C_1^{PR} *e* C_2^{PR} representam os conjuntos de cirurgia classificados com prioridade 1 e prioridade 2 respectivamente, O conjunto C/C_1^{PR} representa todas as cirurgias que não são classificadas como prioridade 1. Existe também outros tipos de subconjuntos de *C*, os quais são definidos por especialidade $j \in J$, onde *J* representa o conjunto das especialidades cirúrgicas realizadas no hospital. Este subconjunto de *C* por especialidade *J* está representado por C_j^{SP}. Para realizar estas cirurgias se dispõe de um conjunto de cirurgiões *H* e um conjunto de SCs disponíveis para realizar as cirurgias *R*. As cirurgias podem ser programadas em qualquer um dos dias do conjunto *D*. O conjunto *T* representa o número de períodos disponíveis a cada dia para serem programados, isto quer dizer que neste o modelo o tempo terá uma representação discreta. Seja γ o número de períodos correspondentes a 30 minutos necessários para limpar e desinfetar a sala depois de cada cirurgia.

Para realizar as cirurgias *C* conta-se com um conjunto de cirurgiões *H*, cada cirurgião é alocado previamente a uma cirurgia *c* e são representados pelo conjunto h_c *H*. Cada cirurgia tem uma duração média estimada P_c, a qual representa o número de períodos de 15 minutos necessários para realizar a cirurgia c. O tempo extra não é considerado dentro do planejamento, consequentemente, é criado um subconjunto *Tc T* de maneira que a cirurgia *c* somente pode iniciar no começo de qualquer período de tempo em T_c . Os limites de tempo de operação diários e semanais para cada cirurgião h_c *H* são representados respectivamente

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

por e . Para cada cirurgião *h*, pode diferir entre dias. O parâmetro reflete a impossibilidade para cada cirurgia *cC* de iniciar no começo do período *t* T_c no dia *d* *D* devido a indisponibilidade do paciente ou do cirurgião. Este parâmetro tem o valor 0 quando o cirurgião ou o paciente não estão disponíveis para iniciar a cirurgia no começo do período *t* no dia *d*; no caso contrário tem o valor de 1. Para todas as cirurgias com prioridade urgência adiada ($c\ C_1^{PR}$), ,

As variáveis de decisão usadas no modelo são:

{

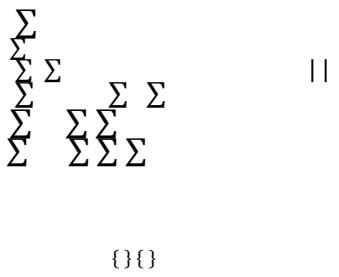
Variáveis adicionais foram consideradas para registrar em uma base diária a especialidade cirúrgica alocada para cada sala:

{

A formulação do modelo de PLI usado para representar o problema de programação de casos eletivos dentro do contexto deste caso de estudo é dada por:

$$\sum \quad \sum \Sigma \Sigma$$
$$\Sigma \Sigma \Sigma \quad \Sigma \Sigma \quad \Sigma$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB



{}{}

No modelo apresentado, a função objetivo (2) maximiza o número de períodos programados na semana, ou seja, a ocupação das SCs. O conjunto de restrições (3) garante que todas as cirurgias com prioridade 1 sejam realizadas na segunda-feira devido à criticidade destes procedimentos. O conjunto de restrições (4) força às cirurgias de prioridade 2 a serem programadas durante o planejamento da semana. De acordo com Marques et al. (2012), neste modelo pode se observar que não é garantido que todas as cirurgias com nível de prioridade 1 e 2 possam ser programadas dentro de seus respetivos períodos. Porém, tanto a experiência prática, como o número de cirurgias deste tipo usualmente encontradas em lista de espera e sua distribuição por especialidade cirúrgica, mostram que tais imposições geralmente não tornam o problema infactível. Usando uma variável de folga nas restrições (3) e (4) com os correspondentes termos de penalidade na função objetivo, o modelo poderia ser mudado facilmente com o fim de incluir explicitamente isto. A opção de programação obrigatória para as cirurgias com prioridade 2 surge como um meio para facilitar o planejamento da seguinte semana. As restrições (5) declaram que as cirurgias com prioridade 3 ou 4 podem ser programadas ou não durante a semana.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

As restrições (6) garantem que as cirurgias não se sobreponham na mesma sala. Estas restrições também impõem períodos vazios para limpar a sala depois de cada cirurgia. Restrições (7) representam a disponibilidade dos cirurgiões ou dos pacientes para serem programados em determinados períodos. Cabe ressaltar que esta restrição pode ser considerada de maneira implícita, sendo substituída por um parâmetro de controle de geração de variáveis *x*. O conjunto de restrições (8) impede a alocação de mais de uma especialidade cirúrgica por dia dentro da mesma SC. As restrições (9) estabelecem a ligação para as variáveis e , onde o parâmetro *T* faz a função de Big-M. As restrições (10) asseguram que os cirurgiões não se sobreponham entre cirurgias para o mesmo período de tempo no mesmo dia. Dentro duma situação real, os cirurgiões podem trocar SCs. Por um lado, esta troca é possível porque as salas estão fisicamente localizadas uma do lado da outra. Por outro lado, a permissão para os cirurgiões trocarem de SCs permite trabalhar em outra SCs durante os períodos de higiene na sala prévia. Esta é também a razão pela qual o tempo de limpeza não está incorporado na duração das cirurgias. Os conjuntos de restrições (11) e (12) representam o limite de tempo de operações diário e semanal para cada cirurgião. O número de períodos disponível para cada sala e o número de horas que pode trabalhar um cirurgião por dia podem ser aumentados na segunda feira com o fim de realizar todas as cirurgias com prioridade 1. Finalmente, as restrições (13) e (14) expressam o domínio das variáveis.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

4.2.1. Abordagem do modelo

O problema de programação de SCs para pacientes eletivos foi dividido em duas fazes, pois, o modelo (2)-(14) possui grande porte para instâncias reais. A divisão do problema foi feita de acordo com a natureza das cirurgias, ou seja, elas podem ser ou convencionais ou ambulatórias. Como as cirurgias convencionais representam cerca de 85% das cirurgias em lista de espera do hospital, foram alocadas para o planejamento cinco SCs gerando assim um problema de grande porte. Para a programação das cirurgias ambulatórias foi alocada uma SC. A divisão do problema de programação do caso eletivo em duas fases hierárquicas

como se descreveu anteriormente permite que a dimensão do problema global seja reduzida (Marques et al, 2012). Devido ao fato que somente a primeira fase constitui a maior dificuldade à hora de encontrar uma solução ótima, esta dissertação somente aborda o caso de cirurgias em regime de internamento, pois a intenção de nossa proposta é justamente conseguir, mediante uma reformulação do modelo de PLI atual, solucionar de maneira rápida o problema de programação de SCs de maneira prática em termos de tempo. Segundo os testes realizados no trabalho desenvolvido por Marques et al. (2012), a segunda fase atinge a solução ótima rapidamente, assim a reformulação possa ser aplicada ali, estabeleceu-se que as considerações feitas neste trabalho não se estenderiam à segunda fase.

A abordagem original da solução proposta por Marques et al. (2012) sugere a criação de uma heurística que melhora a solução obtida pelo solver de programação linear dentro do tempo limite, definido como 30000 segundos (8 horas aproximadamente). Porém, a heurística não será considerada e o foco será voltado exclusivamente à formulação matemática do modelo matemático.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

5
Aprimoramento modelo de programação de SCs

Com o objetivo de alcançar uma solução mais eficiente computacionalmente, neste capítulo será tratado o problema da simetria envolvida no modelo proposto por Marques et al. (2012). Para tratar este problema, foi realizada uma análise da simetria envolvida nas especialidades cirúrgicas. A partir dessa análise, foi proposto um modelo de PLI adicional, o qual tem como objetivo criar um parâmetro de controle de geração de variáveis que quebre a simetria do modelo.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

5.1.
Simetria do modelo

Segundo Sherali & Smith (2001), muitas vezes existe uma simetria natural inerente aos problemas de otimização discretos que, propagada para o modelo, pode prejudicar o desempenho de métodos baseados no algoritmo branch-and-bound.

De acordo com Margot (2003), um modelo de PLI é simétrico se suas variáveis podem ser permutadas sem mudar a estrutura do problema. Modelos de PLI frequentemente aparecem quando se formulam problemas clássicos de otimização combinatória (programação de trabalhos em paralelo em maquinas idênticas, construção de códigos, etc). Inclusive, para problemas relativamente modestos em tamanho, modelos de PLI com grandes grupos de simetria são difíceis de resolver usando os algoritmos tradicionais de branch-and-bound ou branch-and-cut.

Uma maneira de tratar a simetria é removê-la ou reduzi-la, fixando variáveis e adicionando desigualdades para cortar parte da região factível, enquanto se garante que a solução ótima do problema original é ainda factível. Embora

algumas vezes esta seja uma abordagem eficiente, usualmente envolve experimentação empírica.

Denton et al. (2010) realizam uma abordagem do problema de simetria nos modelos de PLI aplicado à programação de SCs, nesta abordagem eles propõem quebrar a simetria correspondente as SCs, que no caso têm a mesma duração da sessão planejada.

Para o estudo de caso considerado neste trabalho, é possível evidenciar, de maneira simples, a simetria correspondente ao conjunto de especialidades cirúrgicas, pois no modelo apresentado elas têm a mesma quantidade de tempo disponível para serem alocadas às SCs dentro do horizonte de tempo semanal. Essa disponibilidade de tempo semanal, a que chamaremos W_j, está dada pela formula apresentada a seguir:

Onde:

r_c, d_c e t_c representam a cardinalidade dos subconjuntos r, d e t, correspondentes a SC, dias da semana e períodos por dia respectivamente.

De acordo com a Equação (15) a disponibilidade de tempo semanal é portanto, períodos disponíveis para realizar a programação de cada especialidade. Isto significa que, se somente fosse programada uma especialidade, ela teria como recurso disponível 1125 períodos. Embora, na prática isto não seja possível, à hora de gerar as variáveis , para cada especialidade são criadas =25 variáveis, as que são avaliadas para 46 períodos a cada dia, criando consequentemente 1125 possíveis soluções do modelo que não todas são necessárias, pois o parâmetro *Dur. LE* (que representa a somatória da duração das cirurgias em lista de espera por especialidade) tem uma distribuição assimétrica. Por outro lado, devido à restrição (8) do modelo (2)-(14), somente pode ser alocada uma especialidade em cada sala, portanto, o solver não

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

precisa avaliar todas as possíveis combinações entre diferentes especialidades para um mesmo dia, para melhor entendimento foi realizada a Tabela 5.1.

Tabela 5.1– Duração *Du* estimada por especialidade de todas as cirurgias em lista de espera.

Especialidade	W	Dur. LE	Diferença
1	1125	771	354
2	1125	274	851
3	1125	151	974
4	1125	238	887
5	1125	719	406
Total	5625	2153	3472

Na Tabela 5.1 a segunda coluna representa o número de períodos máximo disponível para cada especialidade. A terceira coluna representa o tempo total em períodos necessário para realizar todas as cirurgias em listas de espera para cada especialidade e a quinta a diferença entre a segunda e a terceira colunas. Segundo a Tabela 5.1, podemos dizer que o modelo está avaliando 3472 soluções que não precisam ser avaliadas, as quais removidas podem melhorar o desempenho do algoritmo de busca por soluções ótimas.

Um caso mais extremo seria o caso onde a alocação das especialidades às SCs é um dado de entrada, onde cada especialidade é fixada a uma sala cada dia, de acordo com as proporções da duração das cirurgias em lista de espera por especialidade (ver Tabela 5.2).

Tabela 5.2–Máximo número de períodos alocáveis por semana.

Especialidade	W	Dur. Max	Diferença
1	1125	403	722
2	1125	143	982
3	1125	79	1046
4	1125	124	1001
5	1125	376	749
Total	5625	1125	4500

É possível notar que o total da coluna 3 é igual a W, o que significa que os valores da coluna três da Tabela 5.2 são o ponto crítico, ou seja, o número

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

máximo de períodos que em teoria realmente podem ser alocados a cada especialidade cirúrgica. Como podemos observar, segundo a coluna 4, o modelo está avaliando 4500 possíveis soluções a mais desnecessariamente.

A Figura 5.1 mostra a relação entre o número de possíveis períodos a serem alocados por semana para cada especialidade W_j, a somatória por especialidade dos períodos em lista de espera *Dur. LE* e o número máximo de períodos disponíveis que realmente podem ser alocados a cada semana *Dur. Max*. Como pode ser observado, a curva que representa o parâmetro W_j é linear e se encontra acima da curva *Dur. LE* e *Dur. Max*, o que se traduz em um falso excesso de recurso disponível (Períodos disponíveis por semana para cada especialidade cirúrgica). Portanto, à hora de resolver o modelo gera-se um excesso de variáveis que não são necessárias. Na Figura 5.1 este excesso está representado pelo espaço entre a curva W_j e *Dur. Max*.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

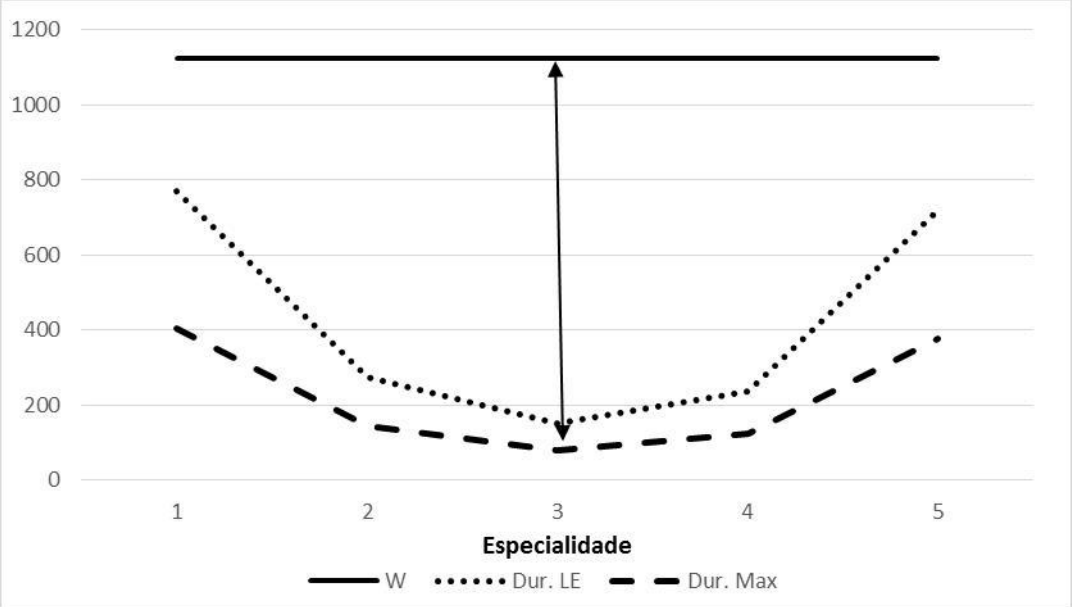


Figura 5.1–. Variáveis de excesso no modelo (2)-(14).

De acordo com a Equação 15 o número máximo de períodos disponíveis para alocar uma especialidade cirúrgica está representa por:

A partir desta equação podemos dizer que o número máximo de possíveis SCs disponíveis dentro de uma semana para cada especialidade cirúrgica está representado por

Portanto,

—

De acordo com a Equação 17, o número máximo de SCs disponíveis (Sj) para cada especialidade é 25.

Se tomamos a Equação 17 e trocamos o parâmetro W_j por $Dur.\ LE_j$, temos o número de SCs necessário para realizar todas as cirurgias em lista de espera de cada especialidade SLE_j:

———

Se tomamos a Equação 17 e trocamos W_j por $Dur.\ Max_j$, temos o número máximo de SCs que realmente podem ser alocadas a cada especialidade SM_j:

———

Os resultados de trocar o parâmetro para cada especialidade cirúrgica na Equação 17 são apresentados na Tabela 5.3.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

Tabela 5.3– Número de SCs disponíveis semanalmente para cada especialidade.

Especialidade	S	SLE	SM	Média
1	25	17	9	13
2	25	6	3	5
3	25	3	2	3
4	25	5	3	4
5	25	16	8	12
Total	125	48	25	36

Nas colunas 2, 3 e 4 aparecem os valores correspondentes às equações 17, 18 e 19. Na coluna 5 é simplesmente a média entre os valores de coluna 2 e a coluna 3, este cálculo foi realizado com o objetivo de comparar resultados após a solução do modelo.

Como mencionamos anteriormente, no modelo apresentado é possível identificar facilmente a simetria envolvida na especialidade cirúrgica. Embora, não seja tão facilmente identificável, é possível que existam outras formas de simetria em outros conjuntos como as SCs e os dias da semana. A Tabela 5.4 simula a disponibilidade de SCs para cada especialidade cirúrgica dentro de um horizonte de tempo semanal.

Tabela 5.4 – Disponibilidade semanal para alocação das especialidades cirúrgicas nas SCs.

Dia	1					2					3					4					5					
Esp\sala	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	S
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	25
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	25
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	25
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	25
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	25
Soma dia	25					25					25					25					25					
Sala	1	2	3	4	5																					
Soma sala	25	25	25	25	25																					

Quando a tabela tem um valor de 1 quer dizer que a especialidade *j* poderia ser alocada na SC *r* no dia *d* e um valor de 0 caso contrário. Como a tabela simula a disponibilidade máxima para cada especialidade todos os valores são iguais a 1.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

Como pode ser observado todos os totais (soma dia, soma sala e S_j) são simétricos pois para cada índice apresentam o mesmo valor. Soma dia é o número de salas disponíveis para todas as especialidades em um dia; soma sala é o número de especialidades que podem ser alocadas em cada sala durante a semana e S_j como tinha sido explicado anteriormente é o número de salas disponíveis para cada especialidade durante a semana.

5.2. Parâmetro de controle

Com o objetivo de quebrar a simetria, foi proposto criar e incluir no modelo de PLI um parâmetro de controle para a geração de variáveis . Para a criação deste parâmetro, um modelo de PLI adicional é proposto. Como a simetria envolvida no modelo (2)-(14) não pode ser abordada intuitivamente, foram realizados dez testes, divididos em dois estágios. No primeiro estágio realizaram-se os testes 1 a 8, os quais têm como objetivo principal determinar o conjunto de restrições a serem incluídas. A partir do melhor resultado obtido no primeiro estágio, no segundo estágio foram realizados dois testes adicionais (teste 9 e 10), os quais têm como objetivo determinar qual dos parâmetros, número de SCs necessário para realizar todas as cirurgias em lista de espera de cada especialidade

SLE_j ou número máximo de SCs que realmente podem ser alocadas a cada especialidade SM_j ou $Média_j$ fornece a melhor solução. O modelo de programação linear inteiro é apresentado a seguir:

$$\sum\sum\sum \quad \sum \quad \sum\sum \quad \sum \qquad \text{———}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

$$\sum\sum \quad \sum\sum \quad \{ \quad \}$$

No modelo (20)-(27), a função objetivo 20 maximiza o número de SCs disponíveis para alocar as especialidades cirúrgicas dentro de um horizonte de tempo semanal. As restrições 21 garantem a possibilidade do modelo realizar todas as combinações possíveis entre especialidades cirúrgicas e SCs para o dia um. Devido a que as cirurgias com prioridade um obrigatoriamente têm que ser realizadas no dia um (ver Equação 3), o modelo (2)-(14) se torna menos flexível, portanto, é melhor permitir a geração de todas as variáveis para o dia 1 e assim não comprometer a factibilidade do modelo. Ou seja, as cirurgias com prioridade 1 não estão incluídas nesta parte do processo, o que quer dizer que os valores dos parâmetros apresentados na Tabela 5.3 devem ser alterados (ver Tabela 5.5).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

Tabela 5.5 – Número de SCs disponíveis de terça-feira a sexta-feira.

Especialidade	S	SLE	SM	Média
1	20	15	7	11
2	20	6	3	4
3	20	2	1	2
4	20	5	2	4
5	20	16	7	12
Total	100	44	20	32

O conjunto de restrições (22) garante que todas as SCs estejam disponíveis todos os dias ao menos para uma das especificidades cirúrgicas. O conjunto de restrições (23) busca quebrar a simetria correspondente à especialidade. A princípio, para esta restrição, pode ser utilizado qualquer um dos parâmetros apresentados na Tabela 5.5. O conjunto de restrições (24) impõe que a disponibilidade de SCs por dia seja equitativa. As restrições (25) e (26) procuram hierarquizar a alocação de especialidades por dia e por SC. As restrições (27) expressam o domínio da variável de decisão.

5.3.
Testes para a estimação do parâmetro .

Para determinar o parâmetro de controle do modelo, os testes foram divididos em dois estágios. O primeiro estágio, tem como objetivo determinar o conjunto de restrições que melhor quebram a simetria envolvida no problema. O primeiro ensaio experimental do modelo foi executado considerando o parâmetro *Média* apresentado na Tabela 5.5. Para executar este modelo foi utilizado o como ferramenta de apoio o suplemento do Solver de Excel, Microsoft Office 2013. O modelo é executado e o parâmetro obtido a partir do primeiro teste é apresentado a seguir:

Tabela 5.6– Parâmetro de controle fornecido pelo Teste 1.

Dia	1					2					3					4					5					
Esp\sala	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Médiaj
1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	11
2	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	4
3	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
4	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3
5	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	12
Soma dia	25					8					8					8					8					
Sala	1	2	3	4	5																					
Soma sala	13	11	11	11	11																					

Como pode ser observado na Tabela 5.6, com a criação do parâmetro de controle se quebra a simetria associada à especialidade cirúrgica, como foi observado na Tabela 5.4. Por outro lado os valores, soma dia e soma sala diminuíram seu valor. No entanto, estes ainda continuam sendo simétricos. Os resultados da aplicação do parâmetro de controle no modelo (2)-(14) serão apresentados em quadro resumo ao final da apresentação dos testes.

Para a realização do segundo teste, foram excluídos o conjunto de restrições representado pela Equação 26, que aparentemente, é responsável pela simetria entre as Salas de Cirurgia.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

Tabela 5.7– Parâmetro de controle fornecido pelo Teste 2**.**

Dia	1					2					3					4					5					
Esp\sala	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Médiaj
1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	11
2	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	4
3	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
4	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
5	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	12
Soma dia	25					9					9					8					6					
Sala	1	2	3	4	5																					
Soma sala	12	11	10	9	15																					

Diferente do Teste 1, os valores “soma dia” e “soma sala” têm valores assimétricos, portanto se quebra a simetria dos dias e das salas. Porém, é preciso avaliar estes resultados no modelo (2)-(14) e assim definir qual deve ser o modelo adequado para gerar o parâmetro de controle que fornece a melhor solução.

Para realizar o Teste 3, foi removido o conjunto de restrições representado pela Equação 25, que buscam hierarquizar a alocação por dia. Neste teste foram incluídas novamente as restrições representadas pela Equação 26. Como pode ser observado na Tabela 5.8, a simetria envolvida nos dias e na sala de cirurgia foi levemente quebrada.

Tabela 5.8– Parâmetro de controle fornecido pelo Teste 3.

Dia	1					2					3					4					5					
Esp\sala	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Médiaj
1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	11
2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	4
3	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2
4	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3
5	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	12
Soma dia	25					8					7					8					9					
Sala	1	2	3	4	5																					
Soma sala	12	12	11	11	11																					

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

No Teste 4 são excluídas as restrições representadas pelas equações 25 e 26, obtendo o resultado apresentado na Tabela 5.9. Neste teste, os valores "soma dia" voltam ser simétricos e pelo contrário os valores "soma sala" se tornam assimétricos.

Tabela 5.9– Parâmetro de controle fornecido pelo Teste 4.

Dia	1					2					3					4					5					
Esp\sala	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Médiaj
1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	11
2	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4
3	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
4	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
5	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	12
Soma dia	25					8					8					8					8					
Sala	1	2	3	4	5																					
Soma sala	16	12	10	9	10																					

O Teste 5 é realizado excluindo as restrições 24 e adicionando novamente as restrições 25 e 26. Como pode ser observado, os valores das somas na Tabela 5.10 são exatamente iguais aos valores do primeiro teste, mas a distribuição da disponibilidade das salas de cirurgia é diferente.

Tabela 5.10– Parâmetro de controle fornecido pelo Teste 5.

Dia	1					2					3					4					5					
Esp\sala	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Médiaj
1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	11
2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	4
3	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
4	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	3
5	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	12
Soma dia	25					8					8					8					8					
Sala	1	2	3	4	5																					
Soma sala	13	11	11	11	11																					

Para o Teste 6 foram excluídos o conjunto de restrições 24 e 26. Como pode ser observado na Tabela 5.11, apesar resultado obtido no Teste 6 manter simetria

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

nos dias, a distribuição entre eles está concentrada somente em algumas especialidades, como no caso da especialidade um nos dias 4 e 5.

Tabela 5.11– Parâmetro de controle fornecido pelo Teste 6.

Dia	1					2					3					4					5					
Esp\sala	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Médiaj
1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
2	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
3	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
4	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
5	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	12
Soma dia	25					8					8					8					8					
Sala	1	2	3	4	5																					
Soma sala	13	13	10	10	11																					

No Teste 7 foi considerado o conjunto de restrições 26 e excluídos o conjunto de restrições 24 e 25. De maneira similar ao teste anterior, a disponibilidade das salas está concentrada para alguns dias, somente em algumas especialidades, com a diferença que os valores de soma dia não são simétricos.

Tabela 5.12– Parâmetro de controle fornecido pelo Teste 7.

Dia	1					2					3					4					5					
Esp\sala	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Médiaj
1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
2	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
3	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
4	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	3
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	12
Soma dia	25					7					8					6					11					
Sala	1	2	3	4	5																					
Soma sala	12	12	12	12	9																					

Para o Teste 8, além das restrições 24 e 26, foram excluídas também a restrição 25. O Teste 8 presenta um fenômeno particular, como pode observado na Tabela 5.13. Neste teste, todas as salas estão fixadas para a especialidade 1 no dia 5, o que significa que no dia 5 somente poderão ser realizadas cirurgias da

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

especialidade 1. Por outro lado, nos dias 2 e 3, todas as especialidades têm várias alternativas para serem alocadas.

Tabela 5.13– Parâmetro de controle fornecido pelo Teste 8.

Dia	1					2					3					4					5					
Esp\sala	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Médiaj
1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	11
2	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
3	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
4	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	12
Soma dia	25					11					10					6					5					
Sala	1	2	3	4	5																					
Soma sala	12	12	11	11	11																					

Na Tabela 5.14 apresentada a seguir, são resumidos os testes 1 a 8, descrevendo os resultados e as restrições excluídas do modelo (20)-(27) para cada teste.

Tabela 5.14–Resumo de equações excluídas dos testes 1 a 8.

Teste	Tabela	Equações excluídas
1	4.13	-
2	4.14	26
3	4.15	25
4	4.16	25, 26
5	4.17	24
6	4.18	24, 26
7	4.19	24, 25
8	4.20	24, 25, 26

Os testes 1 a 8 foram implementados no modelo de PLI (2)-(14) por meio do parâmetro . Com o objetivo de comparar os resultados, além dos oito testes realizados também se realizou um teste com o modelo utilizando as condições originais do modelo. Os testes foram executados em um computador Intel Core i7 3.30 GHz com 24,0 GB RAM. e como ferramenta de apoio para resolver o modelo de PLI o AIMMS 3.13. Para executar os testes foi utilizado um tempo limite de 900 segundos (15 minutos).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

Tabela 5.15– Resultado de testes para avaliação do melhor modelo para representar o parâmetro de controle.

	Original	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6	Teste 7	Teste 8
Restrições	11765	11765	11765	11765	11765	11765	11765	11765	11765
Variáveis	289321	289253	289253	289253	289253	289253	289253	289253	289253
Iterações	128078	243144	190453	212929	418760	261158	186805	185801	285361
Nós	0	53	12	20	301	39	0	0	17
Melhor limite pl	935,74	929,17	935,74	935,74	932,52	926,69	921,58	927,68	919,21
Melhor solução	104	877	885	882	893	877	104	875	859
Gap	799,76%	4,76%	5,42%	6,09%	4,43%	5,67%	786,13%	6,02%	7,01%
Tempo de solução	919,39	921,76	919,16	901,51	919,72	919,13	919,53	919,27	900,47

De acordo com os resultados obtidos nos oito testes, podemos afirmar de maneira geral que a premissa de que o problema tem uma simetria envolvida é verdadeira, pois os resultados mostram que quebrar a simetria das especialidades torna o modelo mais fácil de resolver. Como podemos observar na Tabela 5.5, os oito testes melhoram os resultados obtidos com a proposta do modelo original.

Os testes de 1 a 4 são equivalentes aos testes de 5 a 8, com a diferença que os primeiros têm incluídas as restrições representadas pela Equação 24, a qual garante uma distribuição homogênea entre dias, das salas disponíveis para cada especialidade. Como podemos observar, as soluções fornecidas pelos testes de 1 a 4 são melhores que sua parte equivalente nos testes de 5 a 8, isto pode ser devido a que, por um lado, o modelo disponibiliza maior número de salas para um mesmo dia e por outro lado fixa algumas salas para uma especialidade em um mesmo dia, o que torna o modelo muito rígido para alguns dias e muito flexível em outros, deteriorando o valor da relaxação linear fornecido pela solução inicial.

Os testes 1, 2, 3 e 4 apresentam soluções muito similares, mas consideramos que o Teste 4 fornece a melhor de todas as soluções, porque além de ter a melhor das soluções inteiras, a relaxação linear está muito próxima da relaxação do modelos sob as condições iniciais.

O segundo estágio dos testes consiste em determinar qual é o parâmetro que melhor quebra a simetria das especialidades. Lembrando que este parâmetro será

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

incluído nas Equações (23) e (24). Para determinar qual é o melhor parâmetro, realizamos 2 testes adicionais nos quais trocamos o parâmetro $Média_j$ do modelo pelos parâmetros número de SCs necessário para realizar todas as cirurgias em lista de espera de cada especialidade SLE_j e número máximo de SCs que realmente podem ser alocadas a cada especialidade SM_j. Estes testes são realizados utilizando o mesmo conjunto de restrições do Teste 2, pois este foi o teste que forneceu a melhor solução sem alterar os valores da relaxação linear. Os testes deste estágio foram realizados sob as mesmas condições do estágio 1, ou seja o tempo limite de execução foi de 900 segundos (15 minutos) e foram realizados no mesmo computador.

Para o Teste 9, trocamos o parâmetro $Média_j$, utilizado no primeiro estágio pelos resultados do parâmetro SLE_j apresentados na Tabela 5.5. Como pode ser observado no Teste 9, simplesmente foi aumentado o número de salas disponíveis para cada especialidade cirúrgica na semana, mantendo as mesmas proporções do parâmetro $Média_j$.

Tabela 5.16– Parâmetro de controle fornecido pelo Teste 9.

Dia	1					2					3					4					5					
Esp\sala	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	SLEj
1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	15
2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	6
3	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2
4	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	16
Soma dia	25					11					11					11					11					
Sala	1	2	3	4	5																					
Soma sala	22	14	13	10	10																					

Para o Teste 10, trocamos o parâmetro $Média_j$, do primeiro estágio pelo parâmetro SM_j apresentado na Tabela 5.5. Como o parâmetro SM_j representa o número máximo de salas realmente disponíveis para cada especialidade, o modelo fixa uma sala a uma especialidade cirúrgica para cada dia.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

Tabela 5.17– Parâmetro de controle fornecido pelo Teste 10.

Dia	1					2					3					4					5					
Esp\sala	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	SMj
1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	7
2	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
3	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
4	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
5	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	7
Soma dia	25					5					5					5					5					
Sala	1	2	3	4	5																					
Soma sala	9	9	9	9	9																					

Os resultados da aplicação do parâmetro de controle yc_{jrd}, baseado nos resultados dos Testes 9 e 10 são apresentados a seguir:

Tabela 5.18– Resultados segundo estágio.

	Teste 2	Teste 9	Teste10
Restrições	11765	11765	11765
Variáveis	289253	289256	289241
Iterações	190453	133203	513316
Nós	12	0	1544
Melhor limite pl	935,74	935,74	925,13
Melhor solução	885	104	902
Gap	5,42%	799,76%	2,56%
Tempo de solução	919,16	900,48	920,36

Como podemos observar na Tabela 5.18, apesar do Teste 10 apresentar um valor menor na relaxação linear é o teste que fornece a melhor solução de todos os testes realizados até agora. Por outro lado, o Teste 9 fornece uma das piores soluções em relação aos outros testes realizados.

No Capítulo 5 foi apresentado um conjunto de testes que busca definir o modelo adequado para gerar o melhor parâmetro que quebre simetria do modelo (2)-(14). De acordo com os resultados do primeiro estágio o Teste 4 apresentou a melhor solução, a qual foi melhorada pelo resultado do Teste 10. No Capítulo 6 será apresentado o analise de resultados dos testes realizados neste capítulo.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

6
Análise de resultados

O principal objetivo deste capítulo é realizar uma análise dos resultados fornecidos pelos testes 1 a 10 realizados no Capítulo 5 e compará-los com os resultados do modelo sob as condições iniciais proposto por Marques et al. (2012). Porém, para um tempo de execução de 900 segundos, o modelo original atingiu um gap de 799,76%, ou seja, somente conseguiu programar 21 cirurgias, o que não permite comparar resultados. Um teste adicional O_1 foi realizado. Para este teste o tempo de execução do modelo original de Marques et al. (2012) foi modificado de 900 segundos para 3600 segundos e assim poder comparar os resultados. Na Tabela 6.1, pode ser observado que o Teste O_1 fornece um gap menor que o fornecido no Teste Original apresentado na Tabela 5.15, o que permite comparar o modelo proposto por Marques et al. (2012) com os testes realizados. Note-se que para os demais testes manteve-se o tempo máximo de execução de 900 segundos.

Tabela 6.1– Resultados Teste O_1 para um tempo de execução de 3600 segundos.

	Teste 3600
Restrições	11765
Variáveis	289321
Iterações	385016
Nós	44
Melhor limite pl	935,74
Melhor solução	881
Gap	6,21%
Tempo de solução	3619,58

A Tabela 6.2 mostra o número de cirurgias programadas por prioridade para todos os testes realizados. Como as cirurgias de prioridade 1 e 2 têm que ser realizadas obrigatoriamente, em todos os testes foram programadas o 100% destas cirurgias. Como podemos observar na tabela. Os Testes 7 e 8 forneceram o maior número de cirurgias programadas. Dos testes que conseguiram programar as

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

quatro prioridades o Teste O_1 programou o menor número de cirurgias. O Teste 10, que forneceu a melhor solução no capítulo anterior, programou 130 cirurgias, ou seja, oito cirurgias mais que o Teste O_1.

Tabela 6.2– Número de cirurgias programadas por prioridade.

	Teste										
Prioridade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	O_1
1	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	34	33	37	35	29		36	35		34	32
4	77	69	65	73	78		75	76		75	69
Total Geral	132	123	123	129	128	21	132	132	21	130	122

Em relação ao número de períodos ocupados pode-se observar na Tabela 6.3 que os valores para as prioridades 3 e 4 apresentam uma maior dispersão em relação ao número de cirurgias programadas. Ao contrário do número de cirurgias, entre os testes que conseguiram programar as quatro prioridades, o Teste 8 apresenta o menor número de períodos ocupados, o que indica que foram programadas mais cirurgias com uma duração média menor e, portanto, diminuiu a porcentagem de ocupação da sala. O Teste 10 apresenta o maior número de períodos ocupados, 21 períodos mais que o Teste O_1 equivalentes a 5 horas e 15 minutos.

Tabela 6.3– Número de períodos ocupados por prioridade.

	Teste										
Prioridade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	O_1
1	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101
2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	305	292	335	304	269		284	263		320	310
4	478	489	443	485	504		487	492		478	467
Total Geral	887	885	882	893	877	104	875	859	104	902	881

As prioridades 1, 3 e 4 foram distribuídas entre todas as salas de cirurgia disponíveis, ou seja, cada uma das salas de cirurgia realizará pelo menos uma vez uma cirurgia com estas prioridades. As cirurgias com prioridade 2 foram

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

programadas somente em uma sala de cirurgia devido a que em lista de espera somente há uma cirurgia com prioridade 2 (Anexo 2).

De acordo com a Tabela 6.4, o Teste 8 alocou o maior número de cirurgiões a cirurgias e o Teste O_1 junto aos testes 1 e 3 o menor. Isto pode estar relacionado ao fato que o Teste 8 alocou um maior número de cirurgias com uma duração média menor.

Tabela 6.4– Número de cirurgiões alocados em cada teste.

Teste	Núm. Cirurgiões
1	35
2	36
3	35
4	37
5	37
6	10
7	38
8	39
9	10
10	38
O_1	35

A Tabela 6.5 mostra detalhadamente quantos cirurgiões foram alocados para cada especialidade. Novamente, o Teste 8 apresenta um dado atípico para especialidade 1, onde o número de cirurgiões alocados está acima da média. O Teste 10 consegue alocar 3 cirurgiões a mais que o teste O_1.

Tabela 6.5– Número de cirurgiões alocados por especialidade.

	Teste										
Especialidade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	O_1
1	10	13	13	13	13	6	13	16	6	16	11
2	4	4	4	4	4	1	4	4	1	4	4
3	4	4	3	4	4	3	4	3	3	4	4
4	6	5	6	6	6		6	6		4	6
5	11	10	9	10	10		11	10		10	10
Total Geral	35	36	35	37	37	10	38	39	10	38	35

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

Conforme pode ser visto no Anexo 3, os cirurgiões 12, 17, 22 e 36 são aqueles que têm mais cirurgias alocadas para serem realizadas durante a semana. Entre estes, se encontra distribuído aproximadamente 25% das cirurgias que foram programadas. Os cirurgiões que têm maior número de períodos ocupados são 8, 12 e 22, os quais representam aproximadamente 30% dos períodos ocupados durante a semana (ver Anexo 4). Apesar que os cirurgiões 17 e 36 têm muitas cirurgias alocadas, estas são de curta duração, portanto, estes cirurgiões não ocupam muitos períodos na programação.

Na Tabela 6.6, a segunda coluna mostra o número médio de cirurgias alocadas por dia e a terceira coluna a somatória das cirurgias alocadas para cada dia. Nesta tabela pode ser observado como o dia 1 é um dia atípico, pois é o dia no qual se programam mais cirurgias, mas a duração dessas cirurgias é inferior à duração das cirurgias realizadas nos outros 4 dias.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

Tabela 6.6– Número de cirurgias e duração média por dia.

Dia	Núm. C	Dur. Média
1	31	149
2	22	187
3	25	182
4	25	181
5	24	184

De acordo com a Tabela 6.7, o número médio de cirurgiões alocados por dia é 14, sendo que o dia um apresenta um valor inferior aos outros. Isto é causado porque as cirurgias de prioridade um, obrigatoriamente têm que ser realizadas no dia um, portanto, existe uma solução fixa para este dia e não é possível melhorar esta solução.

Tabela 6.7– Média de cirurgiões alocada por dia.

Dia	Média
1	12
2	14
3	16
4	15
5	15

No Capítulo 6 foram analisados e comparados os resultados dos testes realizados no Capítulo 5. De acordo com estes resultados pode se dizer que quebrar a simetria no modelo é de grande utilidade para alcançar uma solução mais eficiente computacionalmente em relação ao Teste O_1, sem afetar drasticamente a forma na qual foi realizada a programação para cada teste. Em relação ao número de cirurgias programadas por especialidade e por prioridade, com exceção do Teste 6, os testes 1 a 8 apresentam valores similares (ver tabelas 6.2 e 6.5) e em relação ao número de cirurgiões alocados às salas de cirurgia, todos os testes que conseguiram programar as quatro prioridades apresentam valores superiores aos valores do Teste O_1 (ver Tabela 6.4). No Capítulo 7 será proposto um modelo de simulação, com o objetivo de analisar a sensibilidade da programação das SCs, quando são utilizados valores majorados da duração média das cirurgias.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

7
Incerteza na duração

Após propor uma maneira de tornar mais rápido o modelo de PLI, foi realizada uma abordagem sobre o tratamento da incerteza envolvida no processo de programação de SCs, especialmente no que se refere a duração das cirurgias. Devido à patologia e fisiologia de cada paciente a duração das cirurgias é um parâmetro incerto. Consequentemente, a ocorrência de atrasos pode inviabilizar a execução das cirurgias conforme o programado.

De acordo com o Capítulo 4, para realizar a programação das SCs, foi utilizado o parâmetro , o que representa a duração média de cada cirurgia. Para as cirurgias que não têm um registro de duração, foi utilizado como referência o valor esperado da especialidade. Como a programação das SCs é realizada tomando como referência a durabilidade média, à hora de executar as cirurgias podem existir valores para a duração efetiva tanto acima quanto abaixo desse valor médio. Quando esses valores estão acima de média, significa que as próximas cirurgias a serem realizadas começarão atrasadas, o que eventualmente pode levar a cancelamentos de algumas cirurgias. Já os casos onde as durações são inferiores à média não representam problemas, pois a programação das cirurgias posteriores não é modificada.

Uma forma possível de se proteger do problema de cancelamento de cirurgias é considerar maiores valores para a duração de referência prevista para todas as cirurgias e assim criar uma margem de segurança. Com isto, espera-se realizar uma programação que, apesar de possuir menos procedimentos agendados seja mais robusta a variações na duração dos procedimentos e, portanto, apresentando menos cirurgias canceladas.

Um modelo de simulação é proposto, onde o valor médio das cirurgias é alterado, ao multiplica-lo por uma margem de segurança Z. Devido à natureza do

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

problema esta margem somente será positiva, pois quando a duração real é inferior à duração média não existem atrasos, portanto, não é afetada a programação. Para este estudo de caso esta programação será de 110%, 120% e 130%. Para cada margem de segurança é executado o modelo (2)-(14). Os resultados obtidos são avaliados para diferentes cenários, nos quais foram utilizadas as distribuições uniforme e triangular. Tudo isto com o intuito de analisar os impactos de utilizar valores majorados da duração em relação à média.

Na Tabela 7.1 é possível observar que, como era de se esperar, quanto maior é a margem de segurança da duração média das cirurgias, menor número de cirurgias e períodos, podem ser programados.

Tabela 7.1–Número de cirurgias programadas para perturbações da duração média.

Z(%)	Núm. Cirurgias	Núm. Períodos
100	121	888
110	114	828
120	109	783
130	102	741

A partir das programações obtidas considerando maiores margem de segurança foi desenvolvido um processo de simulação para avaliar o número esperado de cirurgias canceladas. Para tal, foram utilizados dois tipos de distribuições estatísticas para representar a incerteza na duração do procedimento. A primeira delas é a distribuição uniforme (ver Figura 7.1) e a segunda a distribuição triangular (ver Figura 7.2).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

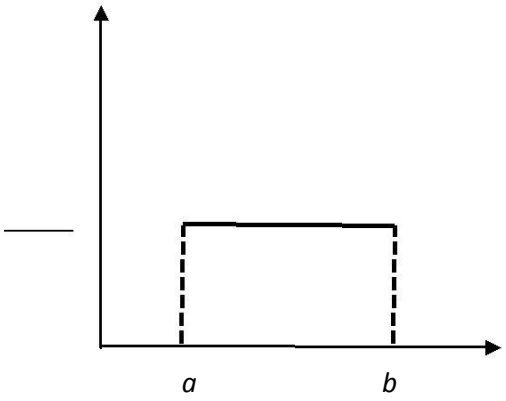


Figura 7.1- Distribuição uniforme.

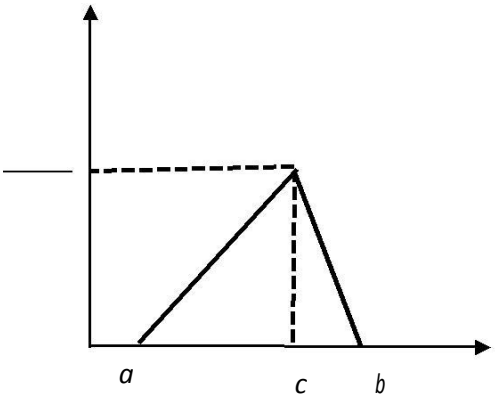


Figura 7.2- Distribuição triangular.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

O objetivo das distribuições é gerar aleatoriamente possíveis valores da média da duração das cirurgias e assim determinar qual seria o valor estimado de cirurgias não realizadas ao final da semana.

Tabela 7.2- Número estimado de cirurgias não realizadas, para uma distribuição uniforme com variação positiva e negativa.

Z(%)	(-0.2,+0.8)	(-0.3,+0.7)	(-0.4,+0.6)	(-0.5,+0.5)
100	14	10	8	6
110	10	4	2	1
120	5	3	3	2
130	3	1	0	0

Os números que aparecem na primeira linha representam o intervalo de variação da média, por exemplo, no caso da coluna 2 o limite inferior está representado por e o limite superior está representado por

. Isto quer dizer que os valores das durações podem variar entre menos 0.2 e mais 0.8 o valor de referência (no caso, a média). Como pode ser visto na Tabela 7.1 quanto maior é o valor da variação do limite superior, maior é o número estimado de cirurgias não realizadas.

Tabela 7.3– Número estimado de cirurgias não realizadas, para uma distribuição uniforme com variação positiva.

Z(%)	(0, 1)	(0, 0.8)	(0, 0.6)	(0, 0.4)
100	20	17	14	9
110	21	15	7	1
120	15	13	4	2
130	11	5	1	0

Como o fator crítico é a variação positiva das cirurgias, realizamos outros testes variando os valores entre a média e um valor maior. Como este tipo de variação é mais crítico que o anterior, o número estimado de cirurgias que não vão ser realizadas é maior.

Tabela 7.4– Número estimado de cirurgias não realizadas, para uma distribuição triangular com variação positiva e negativa.

Z(%)	(-0.2,+0.8)	(-0.3,+0.7)	(-0.4,+0.6)	(-0.5,+0.5)
100	11	9	8	5
110	10	7	6	2
120	7	4	4	2
130	5	3	2	1

Como a distribuição triangular toma o valor médio como o valor mais provável, o desvio dos dados é menor, por tanto o número estimado de cirurgias não realizadas é menor que na distribuição uniforme.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

Tabela 7.5– Número estimado de cirurgias não realizadas, para uma distribuição triangular com variação positiva.

Z(%)	(0, 1)	(0, 0.8)	(0, 0.6)	(0, 0.4)
100	16	16	12	9
110	14	12	8	5
120	12	10	5	2
130	9	6	3	1

Como podemos ver, a Tabela 7.5 expressa um caso mais pessimista que o caso da Tabela 7.4, pois o número estimado de cirurgias não realizadas é o mais alto devido à distribuição ser tendenciosa à direita.

De acordo com os testes de simulação, quando o modelo é executado utilizando a média das cirurgias, no pior dos cenários são canceladas 20 cirurgias para a distribuição uniforme e 16 para a distribuição triangular. Em termos de porcentagem estes valores representam 17% e 13% das cirurgias programadas. No mesmo cenário, quando a média é submetida a uma margem de segurança de 1.3 a porcentagem de cirurgias canceladas para a distribuição uniforme é 11% e para a distribuição triangular é 9%. De maneira geral, pode se observar nas tabelas que quanto maior é a margem de segurança Z, menor é o número de cirurgias canceladas.

Na Tabela 7.3, na segunda coluna pode ser observado um caso atípico onde após ser alterada a média com a margem de segurança de 110%, o número de cirurgias canceladas, aumenta em vez de diminuir. Isto, pode ser devido a duas hipóteses. A primeira delas é que quando as cirurgias de longa duração são alocadas no começo do dia e as de curta duração no final, existe uma maior probabilidade de cancelar mais cirurgias. A segunda hipótese pode ser devido a que se para cada dia, em uma mesma SC são alocadas somente cirurgias de longa duração, aumentam as chances de cancelamento.

Devido a não se ter dados históricos da duração das cirurgias, não foi possível comparar os resultados obtidos neste capítulo ao caso real, porém este modelo de simulação pode servir como ferramenta de apoio à tomada de decisões, pois de acordo com o grau de conservadorismo de quem toma as decisões, podem

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

ser estabelecidas políticas de programação das SCs que levem em consideração a incerteza na duração das cirurgias.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

8
Conclusões

Esta dissertação teve como objetivo propor uma reformulação para o problema de programação semanal das SCs de um hospital público em Lisboa, com o objetivo de alcançar uma modelagem mais eficiente em termos computacionais. Além disso, foi proposto um modelo de simulação para avaliar o impacto da incerteza envolvida na duração das cirurgias e as premissas de se considerar valores médios como referência para a definição da programação.

Foi realizada uma análise descritiva da informação envolvida no processo de programação de SCs, na qual foi avaliada a relação entre os cirurgiões, pacientes, procedimento, especialidades, dias da semana e SCs. A partir destes resultados foi possível observar que a especialidade cirúrgica envolve certa simetria em relação aos dias e às salas de cirurgia, o que pode dificultar o processo de solução.

Para abordar este problema, foi proposta uma reformulação do modelo na qual foi analisada a criação de um parâmetro de controle de geração das variáveis que foi abordado em dois estágios. A partir dos dez testes realizados pode se concluir que a adesão do parâmetro permite cumprir com um dos objetivos desta dissertação pois, devido a isto, foi possível encontrar uma solução mais eficiente que a fornecida pelo modelo original, pois para um período de 900 segundos o modelo original somente alcançou um gap de 799,76% e o melhor dos testes (Teste 10) alcançou um gap de 2,56%. Conforme os resultados indicam, pode se concluir que a política de fixar as especialidades cirúrgicas às salas de cirurgia por dia fornece melhores soluções de maneira mais eficiente em termos computacionais. Na análise de resultados pode se observar que incluir o parâmetro de controle além de encontrar uma solução mais eficiente, a solução do modelo original é melhorada, pois no Teste 10 são programadas 6 cirurgias a mais, ou seja 16 períodos de 15 minutos a mais que o modelo original.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

O modelo de simulação foi criado com o intuito de analisar o impacto de utilizar valores majorados em relação à média da duração das cirurgias. Segundo os resultados deste modelo, pode se dizer que para qualquer margem de segurança, independentemente da distribuição utilizada, o número de cirurgias canceladas será menor que o número de cirurgias canceladas utilizando o valor médio. Além disso, quanto maior for a margem de segurança menor número de cirurgias será cancelado, porém, deve ser encontrado um equilíbrio entre o número de cirurgias programadas e o número de cirurgias não realizadas.

Como esta dissertação se limitou a reformular o modelo proposto por Marques et al. (2012) e a analisar a incerteza da duração das cirurgias, recomenda-se para trabalhos futuros incluir a incerteza dentro do modelo de PLI e criar cenários ajustados à realidade do problema. Por outro lado, recomenda-se também realizar uma análise das políticas de alocação de cirurgias a cirurgiões, para poder avaliar como isso afeta os resultados fornecidos pelo modelo. Outro tema que pode ser abordado futuramente é a análise da sequência das cirurgias, pois um bom entendimento desta sequência pode levar a mais uma reformulação do modelo que permita reduzir o número de cirurgias canceladas. Finalmente, recomenda-se aplicar a metodologia à instancias de hospitais locais (Brasil, Rio de Janeiro) e observar se as regras de restrição apresentam um comportamento similar, realizando os ajustes que se façam necessários.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

Referências bibliográficas

ARENAS, M.; BILBAO, A.; CABALLERO, R.; Gomez, T.; Rodriguez, M. V.; Ruiz, F. Analysis via goal programming of the minimum achievable stay in surgical waiting lists. **Journal of the Operational Research Society**, p. 387-396, 2002.

BALLARD, S. M.; KUHL, M. E. The use of simulation to determine maximum capacity in the surgical suite operating room. In **Simulation Conference, 2006. WSC 06**. **Proceedings of the Winter. IEEE**, p. 433-438, 2006.

BELIËN, J.; DEMEULEMEESTER, E.; CARDOEN, B. Building cyclic master surgery schedules with leveled resulting bed occupancy: A case study. **DTEW Research Report 0571**, p. 1-32, 2005.

BELIËN, J.; DEMEULEMEESTER, E.; CARDOEN, B. A decision support system for cyclic master surgery scheduling with multiple objectives. **Journal of Scheduling**, v. 12, n. 2, p. 147-161, 2009.

BLAKE, J. T. Capacity planning in operating rooms. **Handbook of Healthcare Delivery Systems, CRC Press, Boca Raton**, p. 34-1, 2011.

BOLDY, D. A review of the application of mathematical programming to tactical and strategic health and social services problems. **Operational Research Quarterly**, p. 439-448, 1976.

CARDOEN, B.; DEMEULEMEESTER, E.; BELIËN, J. Optimizing a multiple objective surgical case sequencing problem. **International Journal of Production Economics**, v. 119, n. 2, p. 354-366, 2009.

CARDOEN, B.; DEMEULEMEESTEr, E.; BELIËN, J. Operating room planning and scheduling: A literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 201, n. 3, p. 921-932, 2010.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

DENTON, B.; VIAPIANO, J.; VOGL, A. Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty. **Health Care Management Science**, v. 10, n. 1, p. 13-24, 2007.

DENTON, B. T.; Miller, A. J.; BALASUBRAMANIAN, H. J.; HUSCHKA, T. R. Optimal allocation of surgery blocks to operating rooms under uncertainty. **Operations Research**, v. 58, n. (4-part-1), p. 802-816, 2010.

DEXTER, F.; TRAUB, R. D.; MACARIO, A. 2003. How to release allocated operating room time to increase efficiency: predicting which surgical service will have the most underutilized operating room time. **Anesthesia & Analgesia**, v. 96, n. 2, p. 507-512, 2003.

Direção Geral de Saúde. Plano Nacional de Saúde 2004–2010: mais saúde para todos. **Direção Geral de Saúde**, Lisboa. 2004

ERDOGAN, S. A.; DENTON, B. T.; COCHRAN, J. J.; COX, L. A.; KESKINOCAK, P.; KHAROUFEH, J. P.; SMITH, J. C. Surgery planning and scheduling. **Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science**, 2011.

EVERETT, J. E. A decision support simulation model for the management of an elective surgery waiting system. **Health Care Management Science**, v. 5, n. 2, p. 89-95, 2002.

FEI, H.; CHU, C.; MESKENS, N. 2009. Solving a tactical operating room planning problem by a column-generation-based heuristic procedure with four criteria. **Annals of Operations Research**, v. 166, n. 1, p. 91-108, 2009.

FEi, H.; MESKENS, N.; CHU, C. A planning and scheduling problem for an operating theatre using an open scheduling strategy. **Computers & Industrial Engineering**, v. 58, n. 2, p. 221-230, 2010.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

HERROELEN, W.; LEUS, R. Robust and reactive project scheduling: a review and classification of procedures. **International Journal of Production Research**, v. 42, n. 8, p. 1599-1620, 2004.

KREMPELS, K. H.; PANCHENKO, A. An approach for automated surgery scheduling. **In Proceedings of the 6th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling**, 2006.

LAMIRI, M.; Xie, X.; DOLGUI, A.; GRIMAUD, F. A stochastic model for operating room planning with elective and emergency demand for surgery. **European Journal of Operational Research**, v. 185, n. 3, p. 1026-1037, 2008.

LAMIRI, M.; GRIMAUD, F.; XIE, X. Optimization methods for a stochastic surgery planning problem. **International Journal of Production Economics**, v. 120, n. 2, p. 400-410, 2009.

MARQUES, I.; CAPTIVO, M. E.; PATO, M. V. An integer programming approach to elective surgery scheduling. **OR Spectrum**, v. 34, n. 2, p. 407-427, 2012.

MARGOT, F. Exploiting orbits in symmetric ILP. **Mathematical Programming**, v. 98, n. (1-3), p. 3-21, 2003.

Ministério de Saúde. Regulação administrativa ("Portaria") nb 45/2008. Em: **Diário da República**, no. 10 nas series 1. INCM, p. 526–536, 2008.

OLSEN, L.; YOUNG, P. L. The Healthcare Imperative: Lowering Costs and Improving Outcomes: Workshop Series Summary. **National Academies Press**, 2010.

OZKARAHAN, I. Allocation of surgeries to operating rooms by goal programing. **Journal of Medical Systems**, v. 24, n. 6, p. 339-378, 2000.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

O'NEILL, L.; DEXTER, F. Tactical increases in operating room block time based on financial data and market growth estimates from data envelopment analysis. **Anesthesia & Analgesia**, v. 104, n. 2, p. 355-368, 2007.

PERSSON, M. J.; PERSSON, J. A. Analysing management policies for operating room planning using simulation. **Health Care Management Science**, v. 13, n. 2, p. 182-191, 2010.

SANTIBÁÑEZ, P.; BEGEN, M.; ATKINS, D. 2007. 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**, v. 10, n. 3, p. 269-282, 2007.

SCIOMACHEN, A.; TANFANI, E.; TESTI, A. Simulation models for optimal schedules of operating theatres. **International Journal of Simulation**, v. 6, n. (12-13), p. 26-34, 2005.

SHERALI, H. D.; SMITH, J. C. Improving discrete model representations via symmetry considerations. **Management Science**, v. 47, n. 10, p. 1396-1407, 2001.

SMITH-DANIELS, V. L.; SCHWEIKHART, S. B.; SMITH-DANIELS, D. E. Capacity Management in Health Care Services: Review and Future Research Directions. **Decision Sciences**, v. 19, n. 4, p. 889-919, 1988.

TESTI, A.; TANFANI, E.; TORRE, G. 2007. A three-phase approach for operating theatre schedules. **Health Care Management Science**, v. 10, n. 2, p. 163-172, 2007.

TESTI, A.; TÀNFANI, E. Tactical and operational decisions for operating room planning: Efficiency and welfare implications. **Health Care Management Science**, v. 12, n. 4, p. 363-373, 2009.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

TYLER, D. C.; PASQUARIELLO, C. A.; CHEN, C. H. (2003). Determining optimum operating room utilization. **Anesthesia & Analgesia**, v. 96, n. 4, p. 1114-1121, 2003.

VAN DER LANS, M.; HANS, E. W.; HURINK, J. L.; WULLINK, G.; VAN HOUDENHOVEN, M.; KAZEMIER, G. Anticipating urgent surgery in operating room departments. **BETA working paper WP-158, ISSN**: p. 1386-9213, 2006.

VISSERS, J. M. H.; ADAN, I. J.; BEKKERS, J. A. 2005. Patient mix optimization in tactical cardiothoracic surgery planning: a case study. **IMA Journal of Management Mathematics**, v. 16, n. 3, p. 281-304, 2005.

WACHTEL, R. E.; DEXTER, F. Tactical increases in operating room block time for capacity planning should not be based on utilization. **Anesthesia & Analgesia**, v. 106, n. 1, p. 215-226, 2008.

WINSTON, W. L.; GOLDBERG, J. B. Operations research: applications and algorithms (Vol. 3). **Boston: Duxbury press**, 2004.

World Health Organization. **World Health Organization**. Fonte: http://www.who.int/healthaccounts/documentation/system_of_health_accounts_2011/en/, 2011.

WULLINK, G.; VAN HOUDENHOVEN, M.; HANS, E. W.; VAN OOSTRUM, J. M.; VAN DER LANS, M.; KAZEMIER, G. Closing emergency operating rooms improves efficiency. **Journal of Medical Systems**, v. 31, n. 6, p. 543-546, 2007.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

ANEXOS

ANEXO 1

Médico	1	2	3	4	Total
1				6	6
2			4	67	71
3			7	21	28
4	6		8	23	37
5				15	15
6				47	47
7				37	37
8	7		154	26	188
9	27		11	3	41
10				11	11
11				43	43
12			34	252	286
13				18	18
14			10	20	30
15			7	35	42
16				13	13
17	6	5	78	9	98
18			20	47	67
19			11	4	15
20			5	7	11
21				64	64
22	18		121	59	197
23			63	30	93
24	5		14	5	24
25	21		17	15	54
26				29	29
27			10	13	23
28				12	12
29			5	56	61
30			17	34	51
31				32	32
32				100	100
33				23	23
34			39	29	68
35	5			30	35
36	42			30	72
37				19	19
38	4			5	9
39				15	15
40				5	5

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

41			10		10
42				4	4
43				35	35
44				12	12
Total Geral	142	5	644	1363	2153

ANEXO 2.

	Teste										
Prioridade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	O_1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	3	3	3	3	3		3	3		3	3
4	5	5	5	5	5		5	5		5	5
Total Geral	12	12	12	12	12	4	12	12	4	12	12

ANEXO 3

	Teste											
Cirurgião	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	O_1	Média
1								1		1		1
2	4	3	4	4	2		3	2		2	2	3
3		1	1	1	1		3	3		2	1	2
4	2	1	3	2	2	1	2	3	1	2	1	2
5	1	1	1	1	1		1	1		1	1	1
6	3	2	2	3	3		3	2		3	3	3
7	3	2	1	1	2		1	2		1	4	2
8	8	9	9	8	6	1	7	4	1	7	9	6
9	6	7	7	6	6	5	8	8	5	6	6	6
10	1		1	1	1		1	1		1	1	1
11	2	2	2	2	1		2	2		2	1	2
12	9	10	10	9	9		8	6		8	9	9
13	1	2	1	2	1		2	1		1	1	1
14	3	3	3	3	3		3	3		3	3	3
15	5	6	6	4	6		6	3		6	6	5
16	1	1		1	1		1	1		1	1	1
17	9	9	8	9	9	2	9	10	2	9	7	8
18	4	3	2	5	3		3	2		3	3	3
19								2		1		2
20		1	1	1	1		1	1		1	1	1

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

21	6	3	4	5	5		6	4		3	5	5
22	9	8	8	9	7	1	7	7	1	8	7	7
23	5	4	5	6	5		6	4		5	5	5
24	2	1	2	1	1	1	2	3	1	1	2	2
25	3	3	3	4	3	2	4	5	2	4	2	3
26	2	2	2	1	2		2	1		2	3	2
27								2		1		2
28		1	1	2	1		1	2		1		1
29		2	2	3	4		4	7		4		4
30	2	4	4	4	4		2	4		4	4	4
31	2	1	2	2	1		3	2			3	2
32	4	7	7	3	6		6	5		5	7	6
33	3	3	2	1	2		2	3			3	2
34	3	3	3	7	2		4	8		4	3	4
35	7	6	5	6	7	1	6	6	1	5	6	5
36	9	7	7	7	10	6	7	7	6	11	7	8
37	1											1
38	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2
41	1	1	1	1	1		1	1		1	1	1
42	1						1					1
43	7	1		1	6		1			7	1	3
44	1	1	1	1	1		1	1		1	1	1
Total Geral	132	123	123	129	128	21	132	132	21	130	122	108

ANEXO 4.

	Teste											
Cirurgião	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	O_1	Média
1								4		4		4
2	24	22	24	26	17		22	17		17	16	21
3		5	2	5	5		9	9		7	5	6
4	6	4	10	6	6	4	6	10	4	6	4	6
5	13	13	13	13	13		13	13		13	13	13
6	21	16	16	21	21		21	16		21	21	19
7	21	18	9	9	18		9	18		9	24	15
8	82	100	101	85	67	5	67	44	5	83	100	67
9	19	24	24	23	23	18	25	25	18	23	23	22
10	9		9	9	9		9	9		9	9	9
11	24	24	24	24	18		24	24		24	6	21
12	89	91	89	83	81		86	60		88	93	84
13	10	14	10	14	10		14	10		10	10	11
14	24	24	24	24	24		24	24		24	24	24
15	27	32	32	22	32		32	17		32	32	29
16	6	6		6	6		6	6		6	6	6

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB

17	50	52	44	52	52	7	52	55	7	52	42	42
18	28	23	17	32	23		22	18		23	22	23
19								8		4		6
20		5	5	5	5		5	5		5	5	5
21	37	23	29	33	33		37	29		24	33	31
22	100	91	98	97	83	16	75	87	16	98	88	77
23	42	38	46	50	46		49	34		46	46	44
24	6	3	6	3	3	3	5	10	3	3	6	5
25	22	22	22	26	22	17	26	30	17	26	17	22
26	11	16	16	8	16		16	8		16	19	14
27								8		4		6
28		5	5	9	5		5	9		5		6
29		10	10	15	20		20	31		20		18
30	22	35	35	35	35		22	35		35	35	32
31	15	10	15	15	10		21	16			21	15
32	37	49	50	29	48		43	44		42	51	44
33	18	18	12	6	12		12	18			18	14
34	16	16	15	32	11		20	35		20	16	20
35	21	18	15	18	21	3	18	18	3	15	18	15
36	38	32	32	32	41	29	32	32	29	44	32	34
37	3											3
38	5	5	5	5	5	2	5	5	2	5	5	4
41	8	8	8	8	8		8	8		8	8	8
42	2						2					2
43	21	3		3	18		3			21	3	10
44	10	10	10	10	10		10	10		10	10	10
Total Geral	887	885	882	893	877	104	875	859	104	902	881	741

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312429/CB