

ARTIGO ORIGINAL

Modelagem e otimização aplicadas no agendamento de cirurgias ortopédicas

CT GUSTAVO CARNEIRO *1

CF (Md) VÂNIA GISELDA DÁVILA *2

CF (Md) ANA PAULA MOREIRA ALVES MACHADO *3

CC (S) TATIANA DORNELLAS *4

LAURA BAHIANSE *5

VIRGILIO JOSÉ MARTINS FERREIRA FILHO *6

EDILSON FERNANDES DE ARRUDA *7

Resumo

O trabalho abordou o planejamento de cirurgias ortopédicas com uso de programação matemática. Objetiva retratar a importância dos distintos setores envolvidos no gerenciamento cirúrgico em um plano semanal de alocação de cirurgias, calculando-se os tempos semanais utilizados para realização de cirurgias e a quantidade de procedimentos realizados ao longo da semana, equilibrando as vagas em leitos para a recuperação de pacientes no período pós-operatório. Primeiramente foi apresentada a modelagem matemática para resolução do problema e, na sequência, os experimentos computacionais, contendo todos os cenários utilizados pelo uso da programação. Apresentou-se o tempo total de utilização de sala cirúrgica destinado à realização de cirurgias ao longo da semana, a quantidade total de cirurgias realizadas no período, e a divisão de leitos alocados pela modelagem implementada para cada uma das subespecialidades ortopédicas em estudo. A partir de trabalhos na literatura que colaboram com o planejamento proposto neste estudo, reforçou-se a importância do emprego da programação matemática em pesquisas que abordam o uso da sala cirúrgica, a partir de uma modelagem que objetive maximizar o tempo de salas operatórias para realização de cirurgias, e que contemple o balanceamento no uso desse espaço. Conclui-se que para diminuição do tempo de espera em filas, a estruturação do planejamento elaborado pela modelagem matemática deve contemplar o fluxo de entrada e saída de pacientes das salas cirúrgicas, mantendo o equilíbrio em todos os estágios do processo, e visando a superar a quantidade mínima de procedimentos cirúrgicos para atendimento à demanda estipulada.

Palavras-chave: Planejamento; Computação Matemática; Centros Cirúrgicos.

Abstract

The work addressed to the planning of orthopedic surgeries using mathematical programming. It aims to portray the importance of the different sectors involved in surgical management in a weekly surgery allocation plan, calculating the weekly times used to perform surgeries and the number of procedures performed throughout the week and balancing the vacancies in beds for recovery of patients in the postoperative period. Firstly, the mathematical modeling was presented to solve

Submetido em: 1/7/2022

Aprovado em: 27/9/2022

*1 Oficial do Corpo da Armada graduado em Ciências Navais pela Escola Naval. Atualmente cursa mestrado em Engenharia de Produção no Programa de Engenharia de Produção (PEP) da COPPE – UFRJ. Encontra-se adido ao Centro Tecnológico da Marinha no Rio de Janeiro (CTMRJ) e vinculado ao Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV). Telefone: (21) 99222-7391. E-mail: gustavo.carneiro@pep.ufrj.br / gustavo.carneiro@marinha.mil.br

*2 Médica. Especialista em Traumatologia-Ortopedia. Chefe da Clínica de Traumatologia-Ortopedia do Hospital Naval Marcílio Dias

*3 Médica. Portadora do Título de Especialista (TEA/SBA) pela Sociedade Brasileira de Anestesiologia. Chefe da Clínica de Anestesiologia do Hospital Naval Marcílio Dias

*4 Enfermeira. Especialista em Enfermagem em Centro Cirúrgico, Recuperação Anestésica e Centro de Material e Esterilização. Encarregada da Seção de Enfermagem para o Conjunto Cirúrgico do Hospital Naval Marcílio Dias

*5 Doutora em Engenharia de Sistema e Computação pelo Programa de Engenharias de Sistemas e Computação (PESC) da COPPE – UFRJ. Professora Associada dos Programas de Engenharia de Sistemas e Computação (PESC) e Engenharia de Transportes (PET) da COPPE

*6 Doutor em Engenharia de Produção pelo Programa de Engenharia de Produção da COPPE – UFRJ. Atualmente é membro do Comitê Científico da Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional e Professor do Programa de Engenharia de Produção da COPPE

*7 Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas. Tem experiência na área de Engenharia de Produção com ênfase em Pesquisa Operacional. Professor na Universidade de Southampton no Reino Unido

the problem, followed by the computational experiments containing all the scenarios used by programming. The total amount of time of use of the operating room for surgeries throughout the week, the total number of surgeries performed in the period, and the division of beds allocated by the model implemented for each orthopedic subspecialty under study were presented. Based on works in the literature that corroborate the planning proposed in this study, the importance of employing mathematical programming in research that addresses the use of the operating room was reinforced based on modeling that aims to maximize the time of operating rooms to perform surgeries, and that contemplates the balance in the use of this space. It is concluded that in order to reduce the waiting time in queues, the structuring of the planning elaborated by the mathematical modeling must contemplate the flow of patients in and out of the operating rooms, keeping balance at all stages of the process, and aiming to overcome the number minimum of surgical procedures to meet the stipulated demand.

Keywords: Planning; Mathematical Computing; Surgericenters

INTRODUÇÃO

Situado no município do Rio de Janeiro, o hospital de grande porte objeto deste estudo é referência na realização de cirurgias em diversas especialidades médicas, entre as quais a ortopedia. Seu público-alvo é composto por pessoas que necessitam de procedimentos cirúrgicos nas sete subespecialidades ortopédicas atendidas: joelho, ombro, mão, quadril, pé, coluna e infantil. As cirurgias eletivas são realizadas de segunda a sexta-feira, e o tempo médio disponibilizado para cada sala cirúrgica contabiliza doze horas diárias.

Neste estudo, serão abordados os casos eletivos, os quais requerem agendamento prévio. Em seu planejamento, o hospital apresenta diferentes tempos de espera para a realização de procedimentos cirúrgicos em cada uma das subespecialidades ortopédicas oferecidas. A Figura 1 ilustra o fluxo cirúrgico no setor, desde a chegada do paciente ao hospital, passando pela triagem, até a alta hospitalar.

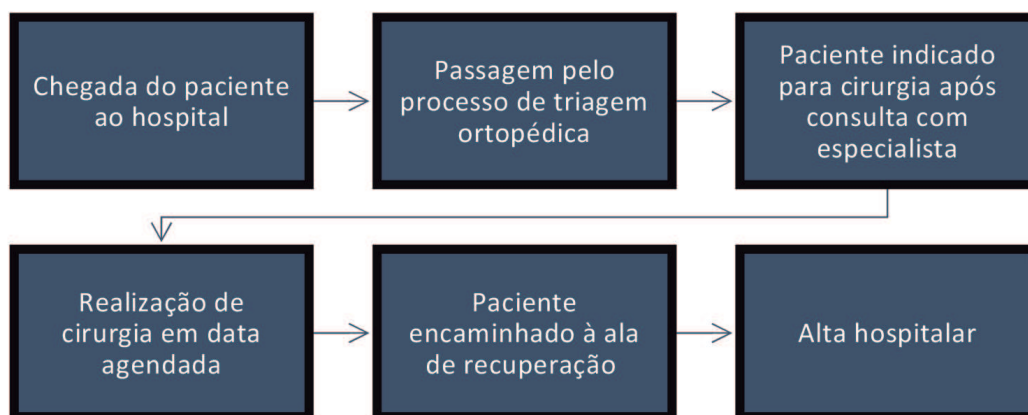
O presente artigo apresenta uma modelagem para alocação semanal e concomitante de cirurgias e leitos para a recuperação de pacientes no período pós-operatório, a fim de garan-

tir a exequibilidade do plano cirúrgico, analogamente à abordagem defendida por Siqueira *et al.*¹. Por intermédio da programação matemática, otimizou-se o tempo destinado à realização dos procedimentos operatórios e foram calculadas as quantidades de cirurgias a serem realizadas em cada subespecialidade ortopédica, de modo a suprir a demanda e ocasionar a diminuição de filas e tempos de espera no longo prazo. O número ideal de vagas em leitos para cada subespecialidade também foi obtido e objetiva equilibrar o fluxo de pacientes a montante e a jusante.

Elevada quantidade de pesquisas tratam o agendamento de cirurgias com foco nas salas operatórias e deixam em segundo plano outros importantes fatores que estão relacionados ao centro cirúrgico-hospitalar², entre os quais podem ser citados o número de profissionais necessários para a preparação de todo o teatro cirúrgico, as vagas para a acomodação de pacientes nos períodos pré e pós-operatórios, além da quantidade necessária de material para atendimento à logística de cirurgias.

Conforme Wang *et al.*³, as salas cirúrgicas representam fontes significativas de recursos na administração de um

Figura 1 – Fluxo cirúrgico do paciente na ortopedia



hospital. Sendo assim, elevado número de estudos que abordam o planejamento de cirurgias foram realizados nos últimos anos, o que evidencia diferentes visões e perspectivas acerca desse assunto em ambientes hospitalares.⁴

Os indicadores de desempenho apontam que, em diversos hospitais, existe margem para melhorias quando o assunto envolve a alocação de salas cirúrgicas,⁵ obtendo-se melhor aplicação de recursos financeiros e maior satisfação de pacientes,⁶ além de evitar desequilíbrios entre a capacidade médico-hospitalar e a demanda de todo o público que necessita dos serviços, a fim de diminuir o tempo de espera para a realização dos procedimentos.

No gerenciamento cirúrgico, destacam-se dois principais tipos de cirurgias: as eletivas, cujo agendamento prévio é necessário para sua realização, e aquelas consideradas urgentes ou emergenciais, as não eletivas, cujo atendimento ao paciente deve ser realizado em algumas horas, ou até mesmo imediatamente após a chegada ao hospital.⁴

Com isso, o estudo em questão apresenta uma metodologia para o planejamento de cirurgias eletivas. Os casos não eletivos contêm inúmeros desafios para os pesquisadores devido à impossibilidade de previsão de chegadas de pacientes. Apesar da existência de diferentes políticas para o compartilhamento ou separação de salas entre cirurgias eletivas e não eletivas, políticas híbridas são mais recomenda-

das ao elencar diferentes vantagens e desvantagens para cada situação hospitalar.⁷ Vale ressaltar que o hospital em questão mantém salas cirúrgicas capacitadas com materiais e profissionais para os atendimentos tanto eletivos quanto emergenciais ou urgentes.

A fim de obter a eficácia de um planejamento elaborado, todas as etapas precedentes e subsequentes às cirurgias devem receber a devida importância,⁸ como a quantidade adequada de equipes médicas relacionadas aos procedimentos anestésicos e cirúrgicos, número de profissionais capacitados para a preparação cirúrgica, incluindo arrumação e limpeza de salas operatórias, quantidades suficientes de vagas para acomodação dos pacientes nas alas de recuperação no período pós-operatório, de forma a atender as demandas observadas e evitar atrasos ou cancelamentos nos procedimentos agendados. O planejamento deve contemplar todos esses fatores a fim de possibilitar uma melhor estratégia para todo o sistema envolvido.⁹

Para uma análise detalhada do processo, desde a chegada do paciente ao hospital até sua fase de recuperação, importantes pesquisas como a de Bovim *et al.*¹⁰ representam a metodologia do gerenciamento cirúrgico em três diferentes fases: início na ala pré-operatória, onde se realiza a preparação do paciente antes da cirurgia, posterior passagem pela sala cirúrgica, e término na ala de recuperação, quando o paciente recebe os cuidados médicos necessários antes da alta hospitalar.

Pela motivação em uma pesquisa que aborda o planejamento de cirurgias ortopédicas, o estudo objetivou, através do emprego da programação matemática, projetar semanalmente procedimentos cirúrgicos e alocar vagas em leitos nas alas de recuperação, de modo a maximizar o uso das salas operatórias e equilibrar a quantidade de vagas destinadas à recuperação dos pacientes em cada uma das subespecialidades ortopédicas.

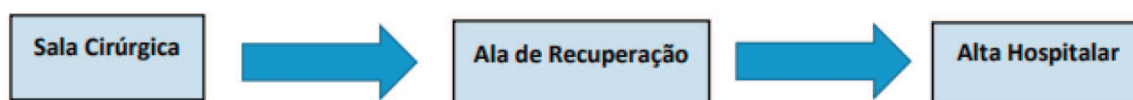
MÉTODO

A seção referente ao método utilizado neste trabalho divide-se em duas subseções: primeiramente foi apresentado o modelo matemático proposto para resolução do problema, e na sequência, os experimentos computacionais, contendo todos os cenários utilizados pelo uso da programação para geração de resultados.

Modelo matemático

A modelagem empregada abrange o processo desde a chegada do paciente à sala de cirurgia até sua destinação à ala de recuperação. Buscou-se otimizar todo o espaço necessário para o atendimento às demandas cirúrgicas, maximizando o tempo de utilização das salas operatórias, necessário para que anestesistas e cirurgiões realizem seus procedimentos de forma mais eficiente. A Figura 2 ilustra todos os estágios envolvidos na realização do planejamento cirúrgico contemplado pelo modelo matemático.

Figura 2 – Estágios envolvidos na realização do planejamento cirúrgico



ARQUIVOS BRASILEIROS DE MEDICINA NAVAL
Modelagem e otimização aplicadas no agendamento de cirurgias ortopédicas

As Tabelas 1 e 2 apresentam, respectivamente, os parâmetros e variáveis de decisão utilizados na modelagem, a fim de manter exequível o planejamento proposto.

Tabela 1 – Parâmetros do modelo matemático

Parâmetros	Definição
$S = \{1, \dots, N_s\}$	Conjunto de subespecialidades ortopédicas
$R = \{1, \dots, N_r\}$	Conjunto de salas cirúrgicas disponíveis
$D = \{1, \dots, N_d\}$	Conjunto de dias disponíveis para realização de cirurgias
Tc_s	Tempo, em horas, de realização de cirurgia da subespecialidade $s \in S$
$Prep$	Tempo, em horas, necessário para a preparação de cirurgias
R_s	Tempo, em dias, de recuperação em leito hospitalar da cirurgia da subespecialidade $s \in S$
H	Total de horas disponíveis diariamente em cada sala para realização de cirurgias
M	Parâmetro arbitrariamente grande que limita a quantidade de cirurgias realizadas nas subespecialidades
$\int_{s,d}$	Intervalo de tempo, em dias, desde a última realização da cirurgia da subespecialidade $s \in S$, medido no dia d
Dem_s	Demanda semanal de cirurgias da subespecialidade $s \in S$
$Leitos$	Quantidade de leitos hospitalares disponibilizados para acomodação de pacientes na ala de recuperação cirúrgica
$B_{r,d}$	Parâmetro binário cujo valor é igual a 1, caso a sala $r \in R$ seja utilizada no dia $d \in D$, ou igual a 0, caso contrário
$W_{s,d}$	Parâmetro binário cujo valor é igual a 1, caso a cirurgia da subespecialidade $s \in S$ seja realizada no dia $d \in D$, ou igual a 0, caso contrário

Tabela 2 – Variáveis de decisão do modelo matemático

Variáveis	Definição
$X_{s,r,d}$	Número de cirurgias da subespecialidade $s \in S$, realizadas na sala $r \in R$, no dia $d \in D$
Z_s	Número de leitos na ala de recuperação alocados pelo modelo matemático para subespecialidade $s \in S$

Apresenta-se na Equação (1) a Função Objetivo (FO) do problema:

$$\text{Maximizar } \sum_{s \in S} \sum_{r \in R} \sum_{d \in D} (Tc|s * x_{s,r,d}), (1)$$

Visou-se, dessa forma, maximizar o tempo total utilizado para cirurgias, com o objetivo de garantir que procedimentos cirúrgicos mais longos não sejam ignorados em favorecimento aos mais curtos, o que aconteceria se fosse maximizada a quantidade total de cirurgias.

A primeira restrição da modelagem, representada pela expressão (2), estabelece que o tempo gasto em cada sala, equivalente à soma dos tempos de cirurgia e preparação cirúrgica, não seja maior que o total de H horas disponíveis diariamente para realização de cirurgias em cada sala disponibilizada. O parâmetro $B_{r,d}$ no lado direito da expressão garante que cirurgias somente serão planejadas em uma dada sala no dia em que ela estiver disponível:

$$\sum_{s \in S} (Tc|s + Prep) \leq B_{r,d} * H, \forall r \in R, \forall d \in D. (2)$$

A realização de cirurgias eletivas obedece a um mapa semanal, de tal maneira que somente se pode realizar cirurgias de uma determinada subespecialidade ortopédica s em um dado dia d quando houver planejamento médico da subespecialidade s definido. Dessa maneira, a restrição (3) estabelece que as cirurgias da subespecialidade $s \in S$ somente ocorrerão no dia $d \in D$ se houver devido planejamento da equipe médica responsável. O parâmetro $W_{s,d}$ na desigualdade evita a realização de cirurgias da subespecialidade s nos dias em que não existir planejamento da equipe médica responsável por essa subespecialidade. O parâmetro M no lado direito da restrição é um valor inteiro positivo arbitrariamente grande ("big M ") que

funciona como limitante para quantidade de cirurgias da subespecialidade $s \in S$ no dia $d \in D$.

$$\sum_{r \in R} x_{s,r,d} \leq W_{s,d} * M, \forall s \in S, \forall d \in D. (3)$$

Para um gerenciamento no longo prazo das filas de pacientes em todas as subespecialidades ortopédicas, com objetivo de evitar que elas cresçam de maneira indevida, estabeleceu-se que a quantidade mínima de cirurgias realizadas ao longo da semana em cada subespecialidade $s \in S$ deve superar a demanda semanal de cirurgias na respectiva subespecialidade, representada na Tabela 1 pelo parâmetro Dem_s . A restrição em questão está formulada pela expressão (4) e permite a diminuição de filas em todas as subespecialidades:

$$\sum_{r \in R} \sum_{d \in D} x_{s,r,d} \geq Dem_s, \forall s \in S. (4)$$

A fim de obter um planejamento viável, torna-se necessária uma modelagem também para gerenciar leitos hospitalares de recuperação cirúrgica. Dessa forma, foi considerada no modelo a variável de decisão z_s , que indica a quantidade de leitos alocados pela modelagem para cada subespecialidade $s \in S$. Os parâmetros R_s e $\int_{s,d}$ indicam, respectivamente, o tempo (em dias) de recuperação em leito hospitalar no período pós-operatório na subespecialidade $s \in S$, e o tempo (em dias) desde a última realização de cirurgia da respectiva subespecialidade, medido no dia $d \in D$, conforme indicação na Tabela 1. Dessa forma, a quinta restrição (5) garante que a quantidade de cirurgias realizadas em um dado dia d na subespecialidade $s \in S$ não seja maior que a quantidade de leitos livres para a respectiva subespecialidade no dia. O lado direito da restrição calcula a quantidade de pacientes da

subespecialidade s que deixam os leitos de internação no intervalo temporal de $\int_{s,d}$ dias:

$$\sum_{r \in R} x_{s,r,d} \leq$$

Para obtenção do parâmetro $\int_{s,d}$, considera-se o intervalo de tempo, em dias, desde a última cirurgia da subespecialidade $s \in S$ medido no dia $d \in D$.

Em complemento à restrição apresentada pela expressão (5), a inequação (6) garante que a quantidade de cirurgias em um determinado dia $d \in D$ não exceda a capacidade dos leitos destinados para cada subespecialidade $s \in S$. Isso pode ocorrer quando grande intervalo entre cirurgias sucessivas faz com que o lado direito da restrição (5) exceda a capacidade máxima dos leitos da subespecialidade $s \in S$, representada pela variável z_s .

$$\sum_{r \in R} x_{s,r,d} \leq z_s, \forall s \in S, \forall d \in D. (6)$$

A restrição (7) estabelece que o total de leitos alocados pelo modelo matemático para cada subespecialidade $s \in S$ não seja maior que o total de leitos presentes na ala de recuperação hospitalar, representado pelo parâmetro $Leitos$, conforme apresentado na Tabela 1:

$$\sum_{s \in S} z_s \leq Leitos. (7)$$

Para finalizar a modelagem em questão, as restrições (8) e (9) garantem que as variáveis de decisão $x_{s,r,d}$ e z_s , as quais representam as quantidades de cirurgias e leitos, respectivamente, calculadas pelo modelo implementado, conforme apresentado na Tabela 2, pertencem ao conjunto dos números inteiros positivos.

$$x_{s,r,d} \in Z_+, \forall s \in S, \forall r \in R, \forall d \in D. (8)$$

$$z_s \in Z_+, \forall s \in S. (9)$$

Experimentos computacionais

A partir de observações realizadas no hospital durante um espaço temporal igual a seis meses, visou-se analisar qual o melhor cenário para a demanda de cirurgias no período semanal entre as diferentes subespecialidades ortopédicas. Foram consideradas oito situações, utilizando diferentes quantidades para o número de salas cirúrgicas disponíveis para ortopedia $S = \{1, 2, 3\}$, e distintos valores para o tempo, em horas, necessário para preparação cirúrgica, $Prep = \{0,5 ; 1\}$.

Para o primeiro cenário, considerado como base, foi disponibilizada uma sala cirúrgica e utilizado o tempo igual a uma hora para preparação de cirurgias. Partindo da instân-

cia base, foram realizadas alterações nos diferentes parâmetros citados a fim de compor os dados para os casos seguintes. A quantidade de leitos disponibilizados para o setor ortopédico na ala de recuperação cirúrgica foi representada pelo parâmetro *Leitos*, e as demandas semanais de cirurgias elencadas nos cenários em cada uma das subespecialidades ortopédicas, representadas pelo parâmetro Dem_s , conforme a Tabela 1. Correspondendo às médias de valores observados no hospital durante o período de coleta de informações.

A Tabela 3 apresenta os cenários do problema distribuídos pelos seguintes dados: quantidade de salas disponíveis durante os cinco dias

úteis da semana, quantidade de leitos disponibilizadas para ortopedia na ala de recuperação cirúrgica, tempo de preparação cirúrgica, número de salas cirúrgicas disponíveis em cada um dos dias. O aumento de uma unidade na quantidade de leitos no último cenário em relação aos anteriores foi necessário para comportar o número de cirurgias realizadas neste caso.

As Tabelas 4 e 5 na seqüência apresentam, respectivamente, as demandas semanais de cirurgias por subespecialidade, representadas pelo parâmetro Dem_s , o tempo, em horas, de realização de cirurgia por subespecialidade (parâmetro Tc_s), além do tempo, em dias, de recuperação cirúrgica em leito hospitalar por subespecialidade (parâmetro R_s).

Tabela 3 – Cenários apresentados

Cenário	Quantidade de salas disponíveis	Nº de leitos disponíveis para recuperação do paciente (<i>Leitos</i>)	Tempo, em horas, de preparação cirúrgica (<i>Prep</i>)	Quantidade de salas por dia da semana				
				2ª feira	3ª feira	4ª feira	5ª feira	6ª feira
1	1	16	1	1	1	1	1	1
2	1	16	0,5	1	1	1	1	1
3	1 e 2	16	1	1	1	1	2	1
4	1 e 2	16	0,5	1	1	1	2	1
5	1 e 2	16	1	1	2	1	2	1
6	1 e 2	16	0,5	1	2	1	2	1
7	1, 2 e 3	16	1	1	2	1	3	1
8	1, 2 e 3	17	0,5	1	2	1	3	1

Tabela 4 – Demanda semanal de cirurgias por subespecialidade ortopédica (parâmetro Dem_s)

Subespecialidade ortopédica	Demanda média semanal de cirurgias
Joelho	5
Ombro	4
Mão	2
Quadril	2
Pé	2
Coluna	1
Infantil	1

ARQUIVOS BRASILEIROS DE MEDICINA NAVAL
Modelagem e otimização aplicadas no agendamento de cirurgias ortopédicas

Tabela 5 – Tempos de cirurgia e de recuperação em leito hospitalar em cada subespecialidade ortopédica

Subespecialidade ortopédica	Joelho	Ombro	Mão	Quadril	Pé	Coluna	Infantil
Tempo, em horas, de realização de cirurgias (Tc_s)	2	1,8	1,2	2	1,2	2	1,1
Tempo, em dias, de recuperação cirúrgica em leito hospitalar (R_s)	2	1,5	1	2	1,5	1,5	1

Para apresentação do calendário cirúrgico na ortopedia do hospital, a Tabela 6 apresenta a programação para realização de cirurgias nas diferentes subespecialidades ao longo da semana, representada pelo parâmetro binário $W_{s,d}$. Caso haja planejamento pela equipe médica responsável pelo procedimento cirúrgico

da subespecialidade $s \in S$ no dia $d \in D$, o valor do parâmetro é igual a um, caso contrário, igual a zero.

Por fim, a Tabela 7 descreve o intervalo de tempo, em dias, representado pelo parâmetro $f_{s,d}$ desde a última realização de cirurgia da subespecialidade $s \in S$, medido no dia $d \in D$. Para o exemplo da subespecialidade

de joelho, como o procedimento é plausível de ocorrer em qualquer dia útil da semana, conforme apresentado na Tabela 6, o valor de $f_{s,d}$ é igual a um de terça-feira a sexta-feira. Na segunda-feira, o valor do parâmetro é igual a três dias, representando o tempo decorrido entre sexta-feira e segunda-feira.

Tabela 6 – Programação semanal para realização de cirurgias ortopédicas nas diferentes subespecialidades (parâmetro $W_{s,d}$)

Subespecialidade / dia	2ª feira	3ª feira	4ª feira	5ª feira	6ª feira
Joelho	1	1	1	1	1
Ombro	0	1	1	1	0
Mão	0	1	1	1	0
Quadril	1	0	1	0	1
Pé	1	0	1	0	1
Coluna	0	1	0	0	0
Infantil	0	0	0	1	0

Tabela 7 – Intervalo temporal entre cirurgias de mesma subespecialidade (parâmetro $f_{s,d}$)

Subespecialidade / dia	2ª feira	3ª feira	4ª feira	5ª feira	6ª feira
Joelho	3	1	1	1	1
Ombro	0	5	1	1	0
Mão	0	5	1	1	0
Quadril	3	0	2	0	2
Pé	3	0	2	0	2
Coluna	0	7	0	0	0
Infantil	0	0	0	7	0

RESULTADOS

Os resultados foram obtidos utilizando o programa de otimização Gurobi em um computador portátil com sistema operacional Windows 10, processador i5 de 2,27 GHz e memória RAM de 8 GB. Inicialmente foram estabelecidos os parâmetros de entrada para a modelagem matemática. Em todas os cenários, foram elencadas sete subespecialidades

obtidos para os seguintes valores: Função Objetivo (FO), expressando o tempo total, em horas, utilizado para realização de cirurgias no período de uma semana, em cada um dos cenários considerados. Além do tempo, são apresentados também os valores obtidos para a quantidade total de cirurgias realizadas no período semanal, representadas cada uma pela variável de decisão $X_{s,r,d}$, conforme a Tabela 2.

situações representadas entre os pares de cenários 4 e 5, e os de números 6 e 7, reforçam ainda mais a importância da eficácia no processo de preparação para uma cirurgia. O cenário 4, mesmo com uma sala a menos disponível na terça-feira para cirurgias em relação ao cenário 5, realiza a mesma quantidade de procedimentos cirúrgicos, fruto do menor tempo para preparação entre cirurgias. Já no cenário 6 em

Tabela 8 – Resultados (F.O, variável de decisão $X_{s,r,d}$)

Cenário	Tempo, em horas, utilizado para realização de cirurgias (FO)	Quantidade de cirurgias realizadas (variável)
1	37,4	22
2	46,1	26
3	44,3	25
4	51,3	29
5	51,5	29
6	59,7	33
7	52,1	29
8	61,9	34

ortopédicas e tempo total disponível diariamente para realização de cirurgias em cada sala, representado pelo parâmetro H , conforme a Tabela 1, igual a doze horas. O tempo necessário para realização do procedimento cirúrgico em uma dada subespecialidade $s \in S$, representado pelo parâmetro Tc_s , e o tempo em leito hospitalar para recuperação da cirurgia na respectiva subespecialidade, indicado por R_s , também foram considerados, conforme representação na Tabela 5.

Após a realização dos experimentos computacionais com o uso da programação matemática, são apresentados, na Tabela 8, os resultados

Os resultados reforçam ainda mais a importância não apenas do maior número de salas disponibilizadas, como também do menor tempo gasto para preparação de cirurgias. No primeiro cenário, utilizado como base do método, foi elencada uma sala em cada dia da semana e o tempo de uma hora, necessário para preparação cirúrgica. A partir de então, no segundo cenário, alterou-se apenas o tempo de preparação, diminuindo-o em cinquenta por cento, o que apresentou como resultado um aumento em mais de oito horas no tempo utilizado para procedimentos cirúrgicos, e consequente aumento de quatro cirurgias ao longo da semana. As

comparação ao cenário de número 7, a importância do parâmetro $Prep$ fica ainda mais evidente, pois, apesar de possuir uma unidade a menos de sala disponível na quinta-feira, o cenário 6 ainda realiza maior quantidade de cirurgias que o cenário 7.

Foram calculadas também as quantidades de leitos de recuperação cirúrgica que o modelo implementado destinou a cada subespecialidade ortopédica, através da variável de decisão z_s , conforme apresentado na Tabela 2. Visou-se, dessa maneira, equilibrar as quantidades de cirurgias realizadas com as de leitos alocados para cada subespecialidade. Cabe ressaltar que no cenário 8, apesar

do menor tempo de preparação cirúrgica considerado, o maior número de cirurgias realizadas e mais alto valor temporal para função objetivo, em comparação ao cenário 6, só foram possíveis devido ao aumento na quantidade de leitos disponibilizados, o que reforça a importância desse parâmetro no estudo.

Reitera-se que os valores da variável de decisão z_s devem ser

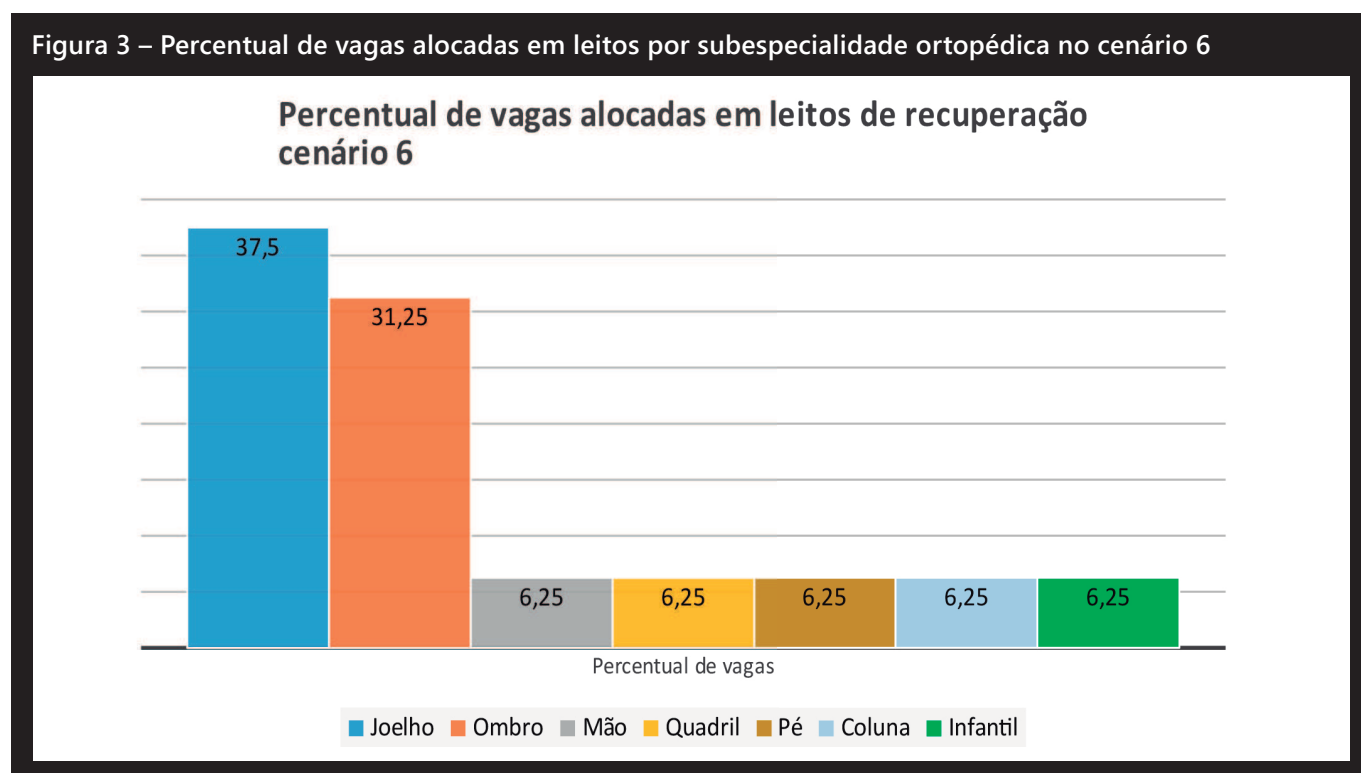
restritos ao número de leitos disponíveis para o setor ortopédico na ala de recuperação cirúrgica do hospital (parâmetro *Leitos*), conforme representado na restrição expressa pela desigualdade (7). A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos nos oito cenários analisados para as quantidades de vagas em leitos que o modelo implementado destinou a cada uma das subespecialidades através da variável z_s .

A Figura 3 ilustra os percentuais de vagas alocadas em leitos para cada subespecialidade no cenário de número 6, considerada a melhor situação entre todos os casos com o parâmetro *Leitos* igual a dezesseis. Quantidades mais elevadas de vagas são destinadas a pacientes de joelho e ombro, subespecialidades que apresentam as maiores demandas de cirurgias na ortopedia do hospital.

Tabela 9 – Quantidade de leitos destinados a cada subespecialidade em cada cenário (variável z_s)

Cenário	Quantidade de leitos destinados a cada subespecialidade						
	Joelho	Ombro	Mão	Quadril	Pé	Coluna	Infantil
1	4	3	1	2	3	1	2
2	4	5	2	2	1	1	1
3	4	5	3	1	1	1	1
4	6	3	3	1	1	1	1
5	4	5	3	1	1	1	1
6	6	5	1	1	1	1	1
7	4	6	2	1	1	1	1
8	6	6	1	1	1	1	1

Figura 3 – Percentual de vagas alocadas em leitos por subespecialidade ortopédica no cenário 6



Por fim, a Figura 4 apresenta um planejamento semestral para as quantidades de cirurgias realizadas nas subespecialidades de joelho e ombro, em um comparativo entre os cenários 1 e 8, os quais apresentaram os piores e melhores resultados respectivamente. Cabe destacar que, no longo prazo, esta análise é importante, principalmente nessas duas subespecialidades, que apresentam as maiores demandas de público e os maiores tempos de espera em filas para realização de cirurgias agendadas. Observou-se, no primeiro cenário, que o modelo adotado superou em 48 unidades o número demandado para cirurgias de joelho em um semestre, e calcula o valor mínimo para atendimento à demanda na subespecialidade de ombro. Já no oitavo cenário, as melhores condições, com maiores quantidades de salas e leitos disponíveis, além do menor tempo de preparação cirúrgica, resultaram em valores que superaram consideravelmente as previsões demandadas em ambas as subespecialidades, ocasionando, no longo prazo, considerável redução de filas e de tempos de espera para realização de cirurgias.

DISCUSSÃO

A quantidade de pesquisas publicadas cujo tema versa sobre o agendamento de cirurgias tem crescido consideravelmente nas últimas décadas, refletindo a multiplicidade de maneiras para analisar o problema⁴. Em geral, a programação matemática é a técnica mais utilizada em metodologias que abordam o planejamento de salas cirúrgicas em hospitais, buscando-se maximizar ou minimizar um determinado objetivo.³

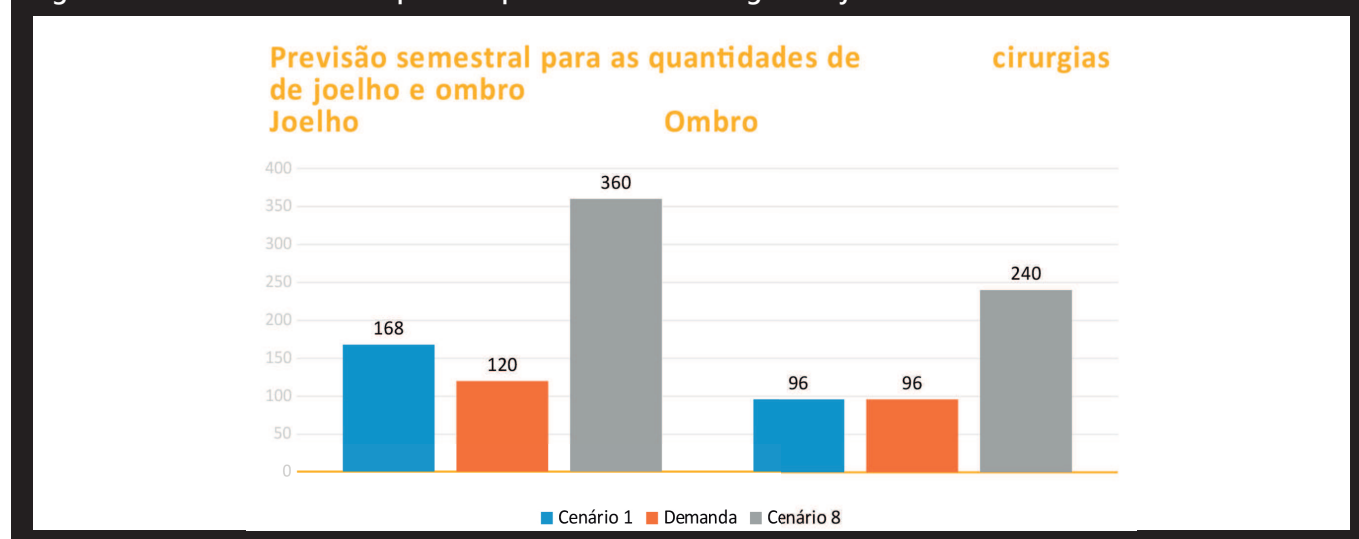
Os resultados apresentados neste trabalho por intermédio dessa técnica de programação reforçam ainda mais a importância de um adequado planejamento de cirurgias que contemple participação efetiva de todos os setores hospitalares envolvidos. Assim, desde o agendamento do paciente para um dado procedimento cirúrgico até sua alta hospitalar, é fundamental que se tenham logísticas de pessoal e material adequadas para a execução em tempo hábil de toda a preparação necessária à realização de cirurgias programadas.

O uso de um modelo matemático que maximize os tempos uti-

lizados para realização de cirurgias é fundamental para que se obtenha o equilíbrio desejado em todas as subespecialidades médicas em estudo. A utilização desse tipo de técnica em trabalhos relacionados ao planejamento cirúrgico contribui para o balanceamento no uso de salas operatórias. Em Siqueira *et al.*¹, por exemplo, a referida técnica foi importante na contribuição para diminuição de filas cirúrgicas em um complexo hospitalar especializado na realização de cirurgias ortopédicas, no qual a política anteriormente utilizada, de maximização do número de cirurgias, acabava por priorizar procedimentos de menor duração, em detrimento de casos cirúrgicos mais longos, ocasionando consideráveis filas e elevados tempos de espera para realização de cirurgias mais complexas.

Adicionalmente, como forma de garantir a exequibilidade do cronograma elaborado, a modelagem proposta tem relação não somente com a ocupação das salas operatórias, mas também com a gestão de leitos nas alas de recuperação cirúrgica de pacientes, analogamente à abordagem defendida por Min e Yih.⁹

Figura 4 – Previsão semestral para as quantidades de cirurgias de joelho e ombro nos cenários 1 e 8



CONCLUSÃO

Este trabalho teve como intuito construir um planejamento semanal de cirurgias que contemplasse todo o processo, desde a chegada do paciente à fila de espera até sua liberação da ala de recuperação pós-cirúrgica. Tal planejamento teve como objetivo maximizar a ocupação balanceada do centro cirúrgico ortopédico, visando a um equilíbrio na realização de cirurgias em todas as subespecialidades elencadas no estudo, de modo a possibilitar uma melhor utilização dos recursos disponíveis em todos os estágios.

Além disso, houve a preocupação com a quantidade mínima de cirurgias a serem realizadas, que está intimamente ligada à demanda cirúrgica de pacientes por subespecialidade, com o propósito de manter as filas em patamares reduzidos no longo prazo. Por fim, o número de cirurgias programadas levou em conta a disponibilidade de leitos para recuperação pós-cirúrgica, uma vez que, na ausência de leitos disponíveis, a cirurgia não pode ser realizada.

O planejamento e alocação de cirurgias é um assunto de considerável importância quando se pretende reduzir custos, aumentar as receitas, diminuir o tempo de espera em filas para realização de atendimentos, e satisfazer os pacientes.

Como sugestão para trabalhos futuros, almeja-se um estudo que contemple o fluxo de pacientes nas Unidades de Terapia Intensiva

(UTI) e considere, além das cirurgias eletivas, os casos emergenciais ou urgentes, os quais possuem prioridade nos atendimentos e representam relevante quantidade na ortopedia do hospital.

REFERÊNCIAS

1. Siqueira CL, Arruda EF, Bahiense L, Bahr GL, Motta GR. Long-term integrated surgery room optimization and recovery ward planning, with a case study in the Brazilian National Institute of Traumatology and Orthopedics (INTO). *Eur J Oper Res.* 2018;264(3):870-83 [acesso em: 20 maio 2022]. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221716307573>
2. Schiele J, Koperna T, Brunner JO. Predicting intensive care unit bed occupancy for integrated operating room scheduling via neural networks. *Nav Res Log.* 2021;68(1):65-88 [acesso: 02 maio 2022]. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/nav.21929>
3. Wang L, Demeulemeester E, Vansteenkiste N, Rademakers FE. Operating room planning and scheduling for outpatients and inpatients: A review and future research. *Oper Res H C.* 2021;31:100323 [acesso em: 15 maio 2022]. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2021.100323>
4. Harris S, Claudio D. Current trends in operating room scheduling 2015 to 2020: a literature review. In: *Operations Research Forum.* 2022;3(1):1-42. *Spr Int Pub.* [acesso em: 13 maio 2022]. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43069-022-00134-y>
5. Tsai SC, Yeh Y, Kuo CY. Efficient optimization algorithms for surgical scheduling under uncertainty. *Eur J Oper Res.* 2021;293(2):579-93 [acesso em: 01 jun. 2022]. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.12.048>
6. Min D, Yih Y. An elective surgery scheduling problem considering patient priority. *Comp Oper Res.* 2010;37(6):281-304 [acesso em: 17 maio 2022]. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.09.016>
7. Duma D, Aringhieri R. The management of non-elective patients: shared vs. dedicated policies. *Omega.* 2019;83:199-212 [acesso em: 19 maio 2022]. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.03.002>
8. Li X, Rafaliya N, Baki MF, Chaouch BA. Scheduling elective surgeries: the tradeoff among bed capacity, waiting patients and operating room utilization using goal programming. *H. C. Manag. Sci.* 2017;20(1):33-54 [acesso em: 22 maio 2022]. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10729-015-9334-2>
9. Min D, Yih Y. Scheduling elective surgery under uncertainty and downstream capacity constraints. *Eur J Oper Res.* 2010;206(3):642-52 [acesso em: 17 maio 2022]. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.03.014>
10. Bovim TR, Christiansen M, Gullhav AN, Range TM, Hellemo L. Stochastic master surgery scheduling. *Eur J Oper Res.* 2020;285(2):695-711 [acesso em: 15 maio 2022]. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.02.001>