



# **PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA PARA PLANEJAMENTO TÁTICO: A DECISÃO DE ALOCAÇÃO DE SALAS DO CENTRO CIRÚRGICO DE UM HOSPITAL DE ENSINO**

**ANA CAROLINA PEREIRA DE VASCONCELOS SILVA** - anacpvs@aluno.puc-rio.br

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA - PUC - RIO DE JANEIRO

**DANIEL BOUZON NAGEM ASSAD** - daniel.assad@aluno.puc-rio.br  
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA - PUC - RIO DE JANEIRO

**THAÍS SPIEGEL** - thaisspiegel@gmail.com  
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - UERJ

**SILVIO HAMACHER** - hamacher@puc-rio.br  
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA - PUC - RIO DE JANEIRO

**LEONIDAS CARDOSO** - leonidascardoso@uol.com.br  
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - UERJ

**Área:** 6 - PESQUISA OPERACIONAL

**Sub-Área:** 6.1 - PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA

**Resumo:** O CENTRO CIRÚRGICO DE UM HOSPITAL É A UNIDADE HOSPITALAR RESPONSÁVEL POR GARANTIR O ATENDIMENTO DE PACIENTES CIRÚRGICOS E ENFRENTA DESAFIOS RELACIONADOS, EM GERAL, À LONGAS LISTAS DE ESPERA DOS PACIENTES E UTILIZAÇÃO INEFICIENTE DE RECURSOS. POR TER RELAÇÃO DIRETA COM OUTROS DEPARTAMENTOS E FORTE IMPACTO NA QUALIDADE DOS SERVIÇOS DE SAÚDE E POR REPRESENTAR UMA DAS PRINCIPAIS FONTES DE CUSTOS, A EFICIÊNCIA EM SUA GESTÃO UMA PEÇA CENTRAL PARA A SUSTENTABILIDADE FINANCEIRA DO HOSPITAL. NESSE SENTIDO, O PRESENTE ARTIGO TEM COMO OBJETO O HOSPITAL UNIVERSITÁRIO PEDRO ERNESTO (HUPE), DA UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (UERJ), E PRETENDE PRIMEIRAMENTE DESCREVER COMO ATUALMENTE FUNCIONA O CENTRO CIRÚRGICO, SUA PROGRAMAÇÃO E AS ÁREAS SUBJACENTES À ELE E POSTERIORMENTE PROPOR UM MODELO DE OTIMIZAÇÃO QUE CONSIGA DIVIDIR OS SLOTS DE TEMPO DAS SALAS DE CIRURGIA ATIVAS DO CENTRO CIRÚRGICO NO INTUITO DE PROVER A MELHOR DISPONIBILIDADE POSSÍVEL PARA CADA SERVIÇO.

**Palavras-chaves:** PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA. CAPACIDADE. CENTRO CIRÚRGICO.

# MATHEMATICAL PROGRAMMING FOR TACTICAL PLANNING: ALLOCATIVE DECISION IN TEACHING HOSPITAL OPERATION THEATER

**Abstract:** *THE OPERATION THEATER OF A HOSPITAL IS THE HOSPITAL UNIT RESPONSIBLE FOR ENSURING THE CARE OF SURGICAL PATIENTS AND FACES CHALLENGES RELATED, IN GENERAL, TO LONG PATIENT WAITING LISTS AND INEFFICIENT USE OF RESOURCES. BECAUSE OF ITS DIRECT RELATIONSHIP WITH OTHER DEPARTMENTS AND STRONG IMPACT ON THE QUALITY OF HEALTH SERVICES, AND BECAUSE IT REPRESENTS ONE OF THE MAIN SOURCES OF COSTS, EFFICIENCY IN ITS MANAGEMENT IS A CENTRAL PART OF THE HOSPITAL'S FINANCIAL SUSTAINABILITY. IN THIS SENSE, THE STUDY OBJECT OF THIS ARTICLE IS THE UNIVERSITY HOSPITAL PEDRO ERNESTO (HUPE), OF THE UNIVERSITY OF THE STATE OF RIO DE JANEIRO (UERJ), AND AIMS FIRST TO DESCRIBE HOW THE SURGICAL CENTER CURRENTLY OPERATES, ITS PROGRAMMING AND THE AREAS UNDERLYING IT. THEN PROPOSE AN OPTIMIZATION MODEL THAT CAN DIVIDE THE TIME SLOTS OF OPERATING ROOMS OF THE OPERATION THEATER IN ORDER TO PROVIDE THE BEST POSSIBLE AVAILABILITY FOR EACH SERVICE.*

**Keyword:** *MATHEMATICAL PROGRAMMING. CAPACITY. OPERATION THEATER.*

## 1. Introdução

A indústria da saúde vem enfrentando um impasse devido aos baixos padrões de qualidade dos serviços e forte pressão para aumentar eficiência e produtividade e reduzir custos (VAHATALO & KALLIO, 2015). No que diz respeito aos custos, no Brasil, cada entrada de um paciente representa aproximadamente US \$ 76,50 em uma unidade de emergência e US \$ 56,50 por consulta médica (GUIMARÃES JR et al., 2015).

Por princípio constitucional, a população tem direito à saúde, sendo esse um dever do Estado, sem a previsão de limites. No entanto, mesmo considerada a pertinência desse direito universal, diferenças e dificuldades pragmáticas surgem à medida que se questiona de onde saem os recursos necessários para sustentar tal direito (SPIEGEL et al., 2016). Estima-se que os orçamentos hospitalares respondem por quase metade de todos os gastos na maioria dos sistemas de saúde e, dentro deles, a razão mais importante para a admissão hospitalar são procedimentos ou intervenções cirúrgicas (BARBAGALLO et al., 2015), realizados, em geral, em um centro cirúrgico, lugar preparado de acordo com os requisitos que o tornam apto à prática de cirurgia visando atender a resolução de intercorrências cirúrgicas através da ação de uma equipe integrada (POSSARI, 2004). O centro cirúrgico é composto por várias salas e é o recurso considerado crítico, pois tem um forte impacto na qualidade dos serviços de saúde e representa uma das fontes de custos principais (AGNETIS et al., 2014). Por outro lado, Denton et al. (2007) afirma que o centro cirúrgico pode gerar impacto na receita mesma proporção (no contexto de hospitais privados, principalmente). Por este motivo, o planejamento e gestão do centro cirúrgico, bem como a programação de salas de cirurgia representam temas recorrentes na literatura e, para Sambeek et al. (2010), podem estar relacionados a três questões diferentes: capacidade, modelagem de processos e *scheduling*.

Este artigo aborda o Hospital Universitário Pedro Ernesto (HUPE), da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), como objeto de estudo. O HUPE é um hospital inserido no contexto do SUS e desempenha papel de ensino e função assistencial relevante. Em função de problemas estruturais, a quantidade de salas de cirurgia ativas no centro cirúrgico reduziu de 16 para 9 e, por conta da recente crise do Estado do Rio de Janeiro, há problemas que vão desde recursos humanos com quantitativo reduzido até falta de materiais, seja por ineficiências internas ou por problemas com o pagamento de fornecedores.

Neste contexto, o objetivo do presente artigo é (i) descrever como atualmente funciona o centro cirúrgico, sua programação e as áreas subjacentes à ele e (ii) propor um modelo de otimização que consiga dividir os *slots* de tempo das salas de cirurgia ativas do centro cirúrgico no intuito de prover a melhor disponibilidade possível para cada serviço (especialidade cirúrgica).

## 2. Revisão da literatura

O centro cirúrgico de um hospital é o local ou unidade hospitalar responsável por garantir o atendimento de pacientes cirúrgicos. Os desafios que enfrentam, em geral, são longas listas de espera dos pacientes e utilização de recursos de forma ineficiente (NIU et al., 2013). A relação direta com outros departamentos tornam a eficiência em sua gestão central para a sustentabilidade financeira do hospital (Marques & Captivo, 2015). Przasnyski (1986) propõe que a busca pela maior eficiência na utilização dos recursos do centro cirúrgico remete a cinco pilares centrais: utilização de sala de cirurgia, contenção de custos, planejamento e organização, programação de recursos específicos (pessoal de enfermagem, anestesia, banco de sangue) e programação de

operações cirúrgicas em salas cirúrgicas.

De acordo com Magerlein & Martin (1978), o termo "programação" na literatura cirúrgica refere-se a dois processos distintos: *advanced scheduling* e *allocation scheduling*. No primeiro processo, é feito um agendamento antecipado em que os pacientes tem suas cirurgias programadas para ocorrer em alguma data futura, ao passo que, o segundo processo, referido como programação de alocação, consiste em definir a sequência de casos cirúrgicos naquele dia. Apontam ainda que o *advanced scheduling* pode ser feito de duas formas: a única restrição de recursos considerada é o tempo total de operação disponível das salas de cirurgia (método comum) ou podem considerar várias restrições de recursos como leitos, equipe de enfermagem, cirurgiões, anestesistas e equipamentos (método complexo).

Diversas pesquisas recentes classificam as decisões de planejamento e programação de salas de cirurgia nos níveis estratégico, tático e operacional (*off-line* ou *online*), relacionando estes a algum horizontes temporais (GUERRIERO & GUIDO, 2011; MAY et al., 2011; STEPANIAK et al., 2012; HULSHOF et al., 2012; HANS & VANBERKEL, 2012; ABDELRSOL et al., 2014). Entretanto, observa-se divergências quanto à alçada de decisão e horizonte de planejamento entre diferentes autores e, nesse artigo, assumem-se as decisões nos horizontes de planejamento e programação propostos por Liang et al. (2015).

<b>Nível Estratégico</b>	Esta fase diz respeito à determinação do número e tipo de salas de operações, das horas de funcionamento das salas de cirurgia e da capacidade global do centro cirúrgico desdobrado entre várias especialidades cirúrgicas, cirurgias ou grupos individuais ( <i>case mix</i> ).
<b>Nível Tático</b>	Esta fase considera o desenvolvimento de um <i>Master Surgical Schedule</i> (MSS). Este cronograma define a atribuição específica de blocos das salas de cirurgia para as especialidades, ou seja, quanto tempo elas terão. O MSS deve reagir às alterações da quantidade total de tempo e especialidades disponíveis.
<b>Nível Operacional Offline</b>	Nesta fase, a programação de pacientes eletivos é realizada diariamente, atribuindo, ao longo do horizonte de planejamento (pode variar de 1 semana a 1 mês), um conjunto de cirurgias a uma equipe para ser realizado em uma sala de cirurgia designada pelo MSS no período de tempo por ele especificado. A atribuição de um paciente a uma clínica em um período de tempo definido no horizonte de dia é conhecido como <i>Surgical Case Assignment Problem</i> (SCAP), ou seja, quando cada cirurgia será realizada.
<b>Nível Operacional Online</b>	Nesta fase, são definidas as ordens dos procedimentos cirúrgicos em tempo real e alocação de recursos para cada bloco de tempo em cada sala de cirurgia. Neste horizonte, o objetivo é lidar forma eficiente entre eventos não esperados e distribuições aleatórias, duração da cirurgia e chegada de casos urgentes.

QUADRO 1 – Níveis de decisão de planejamento e programação. Fonte: adaptado de Liang et al. (2015).

Os problemas pertinentes a cada categoria podem ser tratados por diferentes abordagens quantitativas colocadas por Abdelrasol et al. (2014). Nesta categorização, o presente artigo pode ser enquadrado em *Master Surgery Scheduling* e lança mão de *block sheduling* como abordagem.

### 3. Estudo de campo

#### 3.1 Caracterização do hospital

O termo hospital “se refere a um conjunto muito heterogêneo de estabelecimentos de saúde, unidades de diferentes portes, que podem oferecer uma variada gama de serviços e atividades e desempenhar funções muito distintas no âmbito da rede de atendimento à saúde” (NETO et al., 2008). De acordo com De Negri Filho et al. (2012), os hospitais que integram o SUS podem ser classificados em termos de porte, complexidade, perfil

assistencial, papel na rede e regime de propriedade. Por esta classificação, o HUPE é um hospital geral, de alta complexidade, de grande porte em relação ao número de leitos, com finalidade de ensino e pesquisa, que conta com 20 especialidades cirúrgicas e possui 350 leitos.

<b>Serviços cirúrgicos (clínicas)</b>			
Cirurgia Geral	Otorrino	Cirurgia Torácica	Ortopedia
Ginecologia	Proctologia	Bucomaxilo	Cirurgia de tratamento de anomalias craniofaciais
Urologia	Cirurgia Vascular	Cabeça e pescoço	Dermatologia
Neurologia	Cirurgia Cardíaca	Cirurgia da mão	Gastroenterologia
Cirurgia Plástica	Cirurgia pediátrica	Oftalmologia	Arritmia

QUADRO 2 – Especialidades HUPE. Fonte: os autores.

### 3.2 Descrição do problema

Atualmente a alocação das salas e blocos de tempo das especialidades é condicionada inicialmente pela disponibilidade de anestesistas. A atribuição de anestesistas às salas cirúrgicas, no horizonte mensal, é feita manualmente pelo chefe do centro cirúrgico. Para entendimento quanto ao método de preenchimento, foram necessárias entrevistas e observação direta visando explicitar os critérios utilizados. De início, o entrevistado dividiu as clínicas em duas categorias. Na primeira estavam as clínicas que, em sua visão, ocupavam melhor o que lhes é alocado e que compõem os serviços básicos do hospital. Para estas, o critério era atribuir salas com anestesistas em todos os dias que os *staffs* estivessem no hospital. As demais clínicas recebiam salas com os “espaços ociosos”. Para estas, o objetivo é a distribuição equitativa considerando as disponibilidades dos *staffs* de cada serviço.

Os serviços cirúrgicos tem seus *staffs* disponíveis para realização de procedimentos cirúrgicos nos dias apresentados na tabela abaixo. Na última linha nota-se a assimetria da disponibilidade das clínicas ao longo dos dias da semana (a competição por recursos é maior no meio da semana).

<b>Disponibilidade por serviço</b>	<b>Segunda</b>	<b>Terça</b>	<b>Quarta</b>	<b>Quinta</b>	<b>Sexta</b>
Cirurgia Geral	X	X	X	X	
Ginecologia	X	X	X	X	X
Urologia	X	X	X	X	X
Neurologia	X	X	X	X	X
Cirurgia Plástica	X	X	X	X	X
Otorrino	X	X	X	X	X
Proctologia	X			X	
Cirurgia Vascular	X	X	X	X	X
Cirurgia Cardíaca	X	X	X	X	X
Cirurgia pediátrica		X		X	
Cirurgia Torácica	X		X		X
Bucomaxilo	X	X	X	X	
Cabeça e pescoço			X		
Cirurgia da mão			X		
Oftalmologia	X	X	X	X	X
Ortopedia		X			X
Cirurgia de tratamento de anomalias craniofaciais		X			
Dermatologia			X		

Gastroenterologia		X			
Arritmia		X			
Total	12	14	14	13	10

TABELA 1 – Dias disponíveis para realização de procedimento por clínica. Fonte: os autores.

Na categorização inicial, o chefe do centro cirúrgico, direcionado pelo planejamento mensal, estabeleceu como prioritários os serviços: Cirurgia Geral, Ginecologia, Urologia e Neurologia. Posteriormente solicitou a inclusão dos serviços de Cirurgia Plástica e Otorrino nesta ordem. Atendido este critério, a atribuição dos anestesistas para os demais serviços tem igual prioridade e respeitando, a disponibilidade de cada uma, deve-se buscar a equidade.

O quadro regular de anestesistas real não atende a esta disponibilidade e, na prática, a disponibilidade de anestesistas (que desempenham outras atribuições na Unidade) varia de um dia da semana para outro. A disponibilidade de anestesistas é entregue quinzenalmente e, para elaborar a distribuição mensal, o chefe do centro cirúrgico supõe que a disponibilidade da primeira quinzena será a mesma para a segunda. Caso sua extrapolação não se confirme, ele refaz o planejamento. Neste caso, busca compensar as clínicas que ficarem prejudicadas (que ganharam menos salas com anestesistas que as demais).

Neste cenário, o chefe do centro cirúrgico relata gastar cerca de 4 horas para “fechar a conta” da distribuição dos anestesistas entre as clínicas ao longo do mês e nem sempre consegue garantir a “equidade”. Através da realização de entrevistas complementares foi possível explicitar os critérios tácitos que, na prática, estavam sendo adotados na distribuição. A síntese destes critérios é apresentada na tabela a seguir.

Serviços cirúrgicos	Critério	Ideal	Peso
Cirurgia Geral	A maior quantidade possível respeitando a disponibilidade.	14 a 16	100
Ginecologia	Garantido o pleno atendimento à cirurgia geral o somatório de salas com anestesistas deve ser igual no mês e cada clínica deve ter pelo menos 2 dias na semana. A necessidade de igualdade entre estas clínicas se dá para que uma por ventura não questione porque a outra recebeu mais salas que ela.	10	3
Urologia		10	3
Neurocirurgia		10	3
Cirurgia Plástica		10	3
Cirurgia Cardíaca/Arritmia		10	3
Cirurgia Vascular		10	3
Otorrino		Garantido o pleno atendimento à cirurgia geral deve-se dar a maior quantidade de salas com anestesistas possíveis e garantir disponibilidade de pelo menos 2 dias na semana	10
Proctologia	Pelo menos 3 salas na quinzena e 7 no mês	7	1
CIPE		7	1
Cirurgia Torácica		7	1
Bucomaxilo		7	1
Oftalmologia		7	1
Ortopedia		7	1
Cabeça e pescoço		Pelo menos 3 salas no mês e pelo menos 1 na quinzena	3
Cirurgia da mão	3		1
Cirurgia de tratamento de anomalias craniofaciais	1 salas no mês. Se possível 2	2	2
Dermatologia	Pelo menos 1 salas no mês	1	1
Gastroenterologia	Pelo menos 1 salas no mês	1	1

TABELA 2 - Critérios de alocação de salas com anestesistas ao longo do mês. Fonte: os autores.

### 3.3 Modelagem

Estas regras foram colocadas em um modelo matemático no *software* AIMMS que tem como variável de decisão alocar um anestesista a um serviço cirúrgico/clínica (c) em um dia (d). Este modelo será apresentado nesta seção bem como uma variação dele que tem por objetivo responder qual a menor quantidade de anestesistas necessários por dia para atender as restrições apresentadas na TABELA 2. Entretanto, ambos adotam como premissa que um anestesista é vinculado a apenas um serviço cirúrgico por dia e não considera, por exemplo, se por ventura no mapa daquele dia daquela clínica todos os *slots* de tempo estão completos ou se há condição de estar em face a outras restrições.

Nesta atividade de planejamento de nível tático não são consideradas restrições de níveis operacionais como disponibilidade de leitos, de equipamentos (exceção feita aos equipamentos do próprio centro cirúrgico), entre outros. A alocação dos equipamentos do centro cirúrgico (raio-X, intensificador de imagem e congelamento) é feito no planejamento, mas atribuído a apenas uma clínica em cada dia.

Índices	Significado	Domínio	Sub índices
c: clínica	Clínica	C = [1,19]	
d: dia	Dia	D = [1,20]	
s: semana	Semana	S = [1,4]	d
q:quinzena	quinzena	Q = [1,2]	s

QUADRO 3 – Declaração de índices do modelo de alocação de anestesista por clínica. Fonte: os autores.

Parâmetros	Significado	Valores modelo 1	Valores modelo 2
$q_{dis}^d$	Quantidade de salas eletivas disponíveis por dia	9 salas	7 salas
$dis_{c,d}$	Disponibilidade da clínica (c) no dia (d)	Binário – Tabela 1	Binário – Tabela 1
$q_{min}^s$	Quantidade mínima de anestesistas na semana (c)	Tabela 2 – coluna 2	Tabela 2 – coluna 2
$q_{min}^q$	Quantidade mínima de anestesistas na quinzena (c)	Tabela 2 – coluna 2	Tabela 2 – coluna 2
$q_{min}^m$	Quantidade mínima de anestesistas no mês (c)	Tabela 2 – coluna 3	Tabela 2 – coluna 3
$q_{dis}^d$	Quantidade de anestesistas disponíveis no dia (d)	Tabela 4 – linha 23	Não se aplica
$peso_c$	Peso atribuído à clínica (c)	Tabela 2 – coluna 3	Tabela 2 – coluna 3

QUADRO 4 – Declaração dos parâmetros do modelo de alocação de anestesista por clínica. Fonte: os autores.

Variável	Significado	Tipo	Aplicável ao modelo
$Aloc_{c,d}$	Decisão de alocar o anestesista no dia (d) na sala concedida à clínica (c)	Binária	1
$Q_{dis}^d$	Quantidade de anestesistas disponíveis no dia (d)	Inteira	1 e 2

QUADRO 5 – Declaração de índices, parâmetros e variáveis do modelo de alocação de anestesista por clínica. Fonte: os autores.

Modelo 1:

$$\text{Max } \sum_{c,d} \text{peso}_c \cdot \text{Alocanc}_c^d \quad (1.1)$$

Sujeito a:

$$\text{Alocanc}_c^d \leq \text{dispc}_c^d \quad \forall c,d \quad (1.2)$$

$$\sum_c \text{Alocanc}_c^d \leq \text{q5staDisp} \quad \forall d \quad (1.3)$$

$$\sum_c \text{Alocanc}_c^d \leq \sum_c \text{Alocanc}_c^{d-1} \quad \forall c \text{ in } e \quad \{2:7\} \quad (1.4)$$

$$\sum_c \text{Alocanc}_c^d \geq \underline{\text{qanmes}} \quad \forall c \quad (1.5)$$

$$\sum_c \text{Alocanc}_c^d \geq \underline{\text{qanqui}} \quad \forall c, q \quad (1.6)$$

$$\sum_c \text{Alocanc}_c^d \geq \underline{\text{qansem}} \quad \forall c, s \quad (1.7)$$

$$\sum_c \text{Alocanc}_c^d \leq \text{qan}^d \quad \forall d \quad (1.8)$$

No modelo 1, a função objetivo 1.1 maximiza a alocação de anestesistas para as clínicas que possuem maior valor de peso atribuído. A equação 1.2 permite a alocação de anestesista para uma clínica apenas nos dias em que o *staff* está no hospital; e a 1.3 limita a alocação de anestesistas à quantidade de salas disponíveis no centro cirúrgico do hospital. Na equação 1.4, é garantido que as clínicas prioritárias recebam a mesma quantidade de salas com anestesista ao longo do mês. Nas equações 1.5, 1.6 e 1.7 garante-se que cada clínica receba o quantitativo especificado nos horizontes mensais, quinzenas e semanais. Na equação 1.8 a alocação de anestesistas é limitada pela quantidade de anestesistas disponíveis naquele dia (d).

Modelo 2:

$$\text{Min } \sum_d \text{Qan}^d \quad (2.1)$$

Sujeito a:

$$\text{Alocanc}_c^d \leq \text{dispc}_c^d \quad \forall c,d \quad (2.2)$$

$$\sum_c \text{Alocanc}_c^d \leq \text{q5staDisp} \quad \forall d \quad (2.3)$$

$$\sum_c \text{Alocanc}_c^d \leq \sum_c \text{Alocanc}_c^{d-1} \quad \forall c \text{ in } e \quad \{2:7\} \quad (2.4)$$

$$\sum_c \text{Alocanc}_c^d \geq \underline{\text{qanmes}} \quad \forall c \quad (2.5)$$

$$\sum_c \text{Alocanc}_c^d \geq \underline{\text{qanqui}} \quad \forall c, q \quad (2.6)$$

$$\sum_c \text{Alocanc}_c^d \geq \underline{\text{qansem}} \quad \forall c, s \quad (2.7)$$

$$\text{Qan}^d = \sum_c \text{Alocanc}_c^d \quad \forall d \quad (2.8)$$

No modelo 2, a função objetivo 2.1 maximiza a alocação de anestesistas para as clínicas que possuem maior valor de peso atribuído. A equação 2.2 permite a alocação de anestesista para uma clínica apenas nos dias em que o staff está no hospital; e a 2.3 limita a alocação de anestesistas à quantidade de salas disponíveis no centro cirúrgico do hospital. Na equação 2.4, é garantido que as clínicas prioritárias recebam exatamente a mesma quantidade de salas com anestesista ao longo do mês. Nas equações 2.5, 2.6 e 2.7 garante-se que cada clínica receba o quantitativo especificado nos horizontes mensais, quinzenas e semanais respectivamente. Diferentemente da equação 1.8 do modelo anterior, a 2.8 associa a alocação de anestesistas por dia com a quantidade de anestesistas que devem estar disponíveis por dia para atender ao quantitativo mínimo de alocações apresentados nas colunas 2 e 3 da tabela 2.



#### 4. Resultados e análises

Na Tabela 3 podem ser observadas as disponibilidades de salas para as clínicas em cada um dos cenários avaliados, quais sejam: (i) solução manual adotada pela chefia do centro cirúrgico com o quantitativo atual de anestesistas; (ii) solução no AIMMS com o quantitativo atual de anestesistas (Tabela 4); (iii) solução no AIMMS com a ampliação esperada no quantitativo de anestesistas; e (iv) solução de minimização do quantitativo de anestesistas necessários (Tabela 5).

Clínicas	Modelo 1			Modelo 2
	Com 70% da disponibilidade	Capacidade plena	Minimização de anestesistas	
	Solução manual (Médico)	Solução ótima	Solução ótima	Solução ótima
Cirurgia Geral	14	9	16	14
Ginecologia	9	8	11	10
Urologia	9	8	11	10
Neurocirurgia	9	8	11	10
Cirurgia Plástica	7	8	11	10
Otorrino	9	8	11	10
Cirurgia Vascular	8	8	11	10
Cirurgia Cardíaca	7	8	11	10
Proctologia	6	6	8	7
CIPE	4	6	7	7
Cirurgia Torácica	5	6	7	7
Bucomaxilo	7	6	7	7
Oftalmologia	5	6	7	7
Ortopedia	6	6	8	7
Cabeça e pescoço	2	4	4	4
Cirurgia da mão	2	4	4	4
CTAC	1	1	2	2
Dermatologia	1	1	3	1
Gastroenterologia	1	1	2	1
	112	112	152	138

Tabela 3 – Comparativos entre as soluções manual e AIMMS. Fonte: os autores.

A partir dos resultados apresentados na tabela é possível concluir que atualmente (70% da disponibilidade de anestesistas) não é possível atender aos critérios mínimos de alocação de anestesistas por clínicas propostos pelo chefe do centro cirúrgico e que, para garantir o melhor atendimento do serviço de cirurgia geral, a depender a disponibilidade de anestesistas no horizonte de programação ele viola alguma restrição. Entretanto, a partir do modelo de minimização de disponibilidade de anestesistas, indica-se que o HUPE dispõem de mais anestesistas do que seria necessário por esses parâmetros. Não necessariamente essa constatação precisa servir de alerta para enxugamento do quadro de profissionais, outrossim, alerta para a possibilidade de usar esta “oferta extra” em favor de projetos que estejam alinhados com o direcionamento estratégico do hospital.

Alocação de anestesistas	Quinzena 1										Quinzena 2										SOMA
	Semana 1					Semana 2					Semana 3					Semana 4					
	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	
Cirurgia Geral	1			1		1	1		1		1			1		1	1				9
Ginecologia		1			1				1	1		1	1				1	1			8
Urologia	1		1			1		1						1	1	1			1		8
Neurocirurgia				1	1				1	1				1	1	1				1	8
Cirurgia Plástica	1				1			1		1	1		1						1	1	8
Otorrino	1				1	1				1	1	1					1			1	8
Cirurgia Vascular				1	1		1			1		1	1				1	1			8
Cirurgia Cardíaca	1	1					1	1				1			1	1	1				8
Proctologia				1		1			1		1					1			1		6
Cirurgia Pediátrica		1		1			1							1			1		1		6
Cirurgia Torácica			1			1				1					1			1		1	6
Bucomaxilo		1	1				1				1		1					1			6
Oftalmologia		1					1	1				1			1				1		6
Ortopedia		1			1				1			1		1						1	6
Cabeça e pescoço			1					1					1					1			4
Cirurgia da mão			1					1					1					1			4
Cirurgia de tratamento de anomalias craniofaciais		1																			1
Dermatologia			1																		1
Gastroenterologia							1														1
<b>Soma</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	
<b>Disponibilidade de anestesistas por dia</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	

Tabela 4 – Solução AIMMS para o modelo de alocação de anestesista por clínica por dia considerando 70% da capacidade. Fonte: os autores.

Limitação de 7 salas para atendimento eletivo	Quinzena 1										Quinzena 2										So ma	Quantidade mínima de anestesistas no mês
	Semana 1					Semana 2					Semana 3					Semana 4						
Alocação de anestesistas	Se g	Te r	Qu a	Q ui	Se x	Se g	Te r	Qu a	Q ui	Se x	Se g	Te r	Qu a	Q ui	Se x	Se g	Te r	Qu a	Q ui	Se x		
Cirurgia Geral	1	1	1	1		1	1	1	1			1	1	1			1	1	1		14	14
Ginecologia	1				1		1			1	1			1	1	1	1		1		10	10
Urologia			1	1		1	1	1		1	1				1			1		1	10	10
Neurocirurgia				1	1		1	1				1	1	1	1	1				1	10	10
Cirurgia Plástica	1	1				1				1	1		1		1	1		1		1	10	10
Otorrino	1	1				1			1	1			1	1	1				1	1	10	10
Cirurgia Vascular	1	1	1				1		1			1	1					1	1	1	10	10
Cirurgia Cardíaca	1	1		1					1	1	1	1				1	1		1		10	10
Proctologia	1			1		1			1		1			1		1					7	7
Cirurgia Pediátrica		1		1			1					1		1			1		1		7	7
Cirurgia Torácica					1	1				1	1				1	1				1	7	7
Bucomaxilo			1			1		1			1	1				1			1		7	7
Oftalmologia			1		1				1		1			1			1	1			7	7
Ortopedia				1	1				1	1					1		1			1	7	7
Cabeça e pescoço			1					1					1					1			4	4
Cirurgia da mão			1					1					1					1			4	4
Cirurgia de tratamento de anomalias craniofaciais							1										1				2	2
Dermatologia								1													1	1
Gastroenterologia		1																			1	1
<b>Quantidade de anestesistas por dia</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>		

Tabela 5 – Solução AIMMS para o modelo de minimização da quantidade de anestesistas necessários por dia. Fonte: os autores.

## 5. Conclusão

Diante da complexidade inerente à gestão de saúde, conforme exposto nas seções 1 e 2, cabe ressaltar a contribuição deste texto ao identificar a pertinência e aplicar a abordagem da programação matemática para alocação das salas de cirurgia considerando restrições do objeto de estudo. Isto é, este artigo propôs um modelo de otimização que permite dividir os *slots* de tempo das salas de cirurgia ativas do centro cirúrgico no intuito de prover a melhor disponibilidade possível para cada serviço.

A partir da análise dos resultados pode-se concluir que, com a estabilização de 7 anestesistas por dia é possível atender aos critérios mínimos de alocação preconizados pelo chefe do centro cirúrgico. Comparada a solução manual, de cerca de 2 horas, a modelagem no AIMMS permitiu a obtenção do resultado em menos de 10 segundos, conferindo ao gestor a possibilidade de re-avaliar suas decisões alocativas em tempo hábil, caso a disponibilidade de recursos seja alterada.

Adicionalmente, com a definição das salas, no nível do planejamento tático (*Master Surgery Scheduling*), adotando como abordagem o *block scheduling*, são definidos os parâmetros para que o HUPE avance na utilização de modelos matemáticos de apoio a decisão dos demais níveis hierárquicos, sobretudo na alocação de procedimentos cirúrgicos no âmbito dos blocos já estabelecidos, respeitando as restrições relativas a recursos, tais como: leitos, equipe de enfermagem, cirurgiões, anestesistas e equipamentos.

## Referências

- Abdelrasol, Z., Harraz, N., & Eltawil, A. (2014). Operating room scheduling problems: A survey and a proposed solution framework. In *Transactions on Engineering Technologies* (pp. 717-731). Springer.
- Agnetis, A., Coppi, A., Corsini, M., Dellino, G., Meloni, C., & Pranzo, M. (2014). A decomposition approach for the combined master surgical schedule and surgical case assignment problems. *Health care management science*, 17(1), 49-59.
- Barbagallo, S., Corradi, L., de Goyet, J. D. V., Iannucci, M., Porro, I., Rosso, N., Tanfani, E. & Testi, A. Optimization and planning of operating theatre activities: an original definition of pathways and process modeling. *BMC medical informatics and decision making*, v. 15, n. 1, p. 1, 2015.
- Denton, B., Viapiano, J., & Vogl, A. (2007). Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty. *Health care management science*, 10(1), 13-24.
- De Negri Filho, A., Barbosa, Z., & Yonekura, T. (2012). Dimensionamento de número de leitos e tipologia hospitalar: o desafio de fazer as perguntas certas e de construir suas respostas.
- Guerriero, F., & Guido, R. (2011). Operational research in the management of the operating theatre: a survey. *Health care management science*, 14(1), 89-114.
- GUIMARÃES JR, D., JO SOARES, E., FERRAZ JR, G., MEDEIROS, D. Attributes and circumstances that induce inappropriate health services demand: a study of the health sector in Brazil. *BMC Health Services Research*, v. 15, n. 65, p. 1 – 8, 2015.
- Hans, E. W., & Vanberkel, P. T. (2012). Operating theatre planning and scheduling. In *Handbook of healthcare system Scheduling* (pp. 105-130). Springer US.
- Hulshof, P. J., Kortbeek, N., Boucherie, R. J., Hans, E. W., & Bakker, P. J. (2012). Taxonomic classification of

- planning decisions in health care: a structured review of the state of the art in OR/MS. *Health systems*, 1(2), 129-175.
- Liang, F., Guo, Y., & Fung, R. Y. (2015). Simulation-based optimization for surgery scheduling in operation theatre management using response surface method. *Journal of medical systems*, 39(11), 159.
- Marques, I.; Captivo, M. E. (2015) Bicriteria elective surgery scheduling using an evolutionary algorithm. *Operations Research for Health Care*.
- May, J. H., Spangler, W. E., Strum, D. P., & Vargas, L. G. (2011). The surgical scheduling problem: Current research and future opportunities. *Production and Operations Management*, 20(3), 392-405.
- Magerlein, J. M., & Martin, J. B. (1978). Surgical demand scheduling: a review. *Health services research*, 13(4), 418.
- NETO, F.C. B.; BARBOSA, P. R.; SANTOS, I. S. Atenção Hospitalar: evolução histórica e tendências. In: GIOVANELLA, Lígia et al. Políticas e sistema de saúde no Brasil. FIOCRUZ, 2008. Niu, Q., Peng, Q., & Y. ElMekkawy, T. (2013). Improvement in the operating room efficiency using Tabu search in simulation. *Business Process Management Journal*, 19(5), 799-818.
- Possari, J.F. (2004). *Centro Cirúrgico: Planejamento, Organização e Gestão*. 2a edição. São Paulo: Iátria.
- Przasnyski, Z. H. (1986). Operating room scheduling: A literature review. *AORN journal*, 44(1), 6770747882-68727679.
- Spiegel, T., Caulliraux, H. M., Treistman, F. E., Guimaraes, G. E., Vaccaro, G. L. R., Amorim, L. G., Pedroso, M. C., Pereira, M. A. C., Guimaraes, R., Cameira, R. F., Leis, R. P., Azzam, S. M (2016). Projeto e Gestão de Operações em Saúde. In: Cavenaghi, V., Oliveira, V. F., Másculo; F. S. (Org.). *Tópicos Emergentes e Desafio Metodológicos em Engenharia de Produção*. 1ed. Rio de Janeiro: ABEPRO: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 8(15-72).
- Stepaniak, P. S., Heij, C., Buise, M. P., Mannaerts, G. H., Smulders, J. F., & Nienhuijs, S. W. (2012). Bariatric surgery with operating room teams that stayed fixed during the day: a multicenter study analyzing the effects on patient outcomes, teamwork and safety climate, and procedure duration. *Anesthesia & Analgesia*, 115(6), 1384-1392.
- Van Sambeek, J. R. C., Cornelissen, F. A., Bakker, P. J. M., & Krabbendam, J. J. (2010). Models as instruments for optimizing hospital processes: a systematic review. *International journal of health care quality assurance*, v. 23, n. 4, p. 356-377, 2010.
- Vahatalo, M., Kallio, T. J. (2015). Organising health services through modularity. *International Journal of Operations & Production Management*, 35(6), 925-945.