Programação Linear Inteira Aplicada ao Planejamento de Salas Cirúrgicas em Hospital Público

João P. F. Silva, Lucas R. Bortoletto, Rafael C. S. Schouery, Edilson F. Arruda

13 de Março de 2025

HC Unicamp

- Hospital de que atende a população de Campinas e região
- Procedimentos de alta complexidade
- Mais de 30 especialidades cirúrgicas eletivas, incluindo de transplantes
- Hospital de ensino

Figure 1: HC Unicamp

Gerenciamento do Centro Cirúrgico (CC)

Responsabilidades do CC:

- Alocação de equipes médicas
- Alocação de anestesistas
- Alocação de leitos
- Controle de estoque (leitos e fármacos)
- Planejamento de Salas Cirúrgicas

Tarefas essenciais para:

- Otimização do uso dos recursos
- Redução de custos
- Aumento da eficiência
- Melhoria na qualidade do atendimento

Planejamento de Salas Cirúrgicas

O que é "Planejar Salas Cirúrgicas"?

1- Coletar disponibilidade de salas, anestesistas e equipes médicas

2- Coletar demanda mínima das especialidades

3- Alocar especialidades a blocos de tempo (manhã/tarde) a cada dia útil

PERÍODO/ SALA		1	2
SEGUNDA	MANHÃ	CCARD	ORT TU
	TARDE	CCARD	ORT TU
TERÇA	MANHÃ	CCARD	ORT Infantil
	TARDE	CCARD	

Figure 2: Escala Cirúrgica

Planejamento de Salas Cirúrgicas

O que o planejamento afeta?

- Redução do tempo de espera
- Redução do tempo de ociosidade
- Aumento da eficiência
- “Produção cirúrgica”

PERÍODO/ SALA		1	2
SEGUNDA	MANHÃ	CCARD	ORT TU
	TARDE	CCARD	ORT TU
TERÇA	MANHÃ	CCARD	ORT Infantil
	TARDE	CCARD	

Figure 2: Escala Cirúrgica

Modelo de Planejamento de Salas Cirúrgicas

Considerando estas características e restrições, propomos um Modelo de Programação Linear Inteira Multiobjetivo para o Planejamento de Salas Cirúrgicas

O caso de estudo do HC - Unicamp potencialmente traz o modelo para mais próximo da realidade

Temos a oportunidade de modelar diferentes funções objetivos (de acordo com as necessidades do hospital) mas a principal é a maximização da alocação de blocos

Variáveis do Modelo

$$x_{tbs} = \begin{cases} 1, \text{ caso a sala } t \in \mathcal{T}, \text{ no bloco } b \in \mathcal{B}, \text{ seja alocada para} \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \text{a especialidade } s \in \mathcal{S}, \\ 0, \text{ caso contrário.} \end{cases}$$

$$y_{tds} = \begin{cases} 1, \text{ quando a sala } t, \text{ no dia } d, \text{ for alocada somente} \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \text{para a especialidade } s, \\ 0, \text{ caso contrário.} \end{cases}$$

Variáveis do Modelo

w_{bs} := Número de transplantes a serem realizados dentro do período (garante paridade na quantidade de salas alocadas para transplante)

$L \in \mathbb{Z}$:= Variável utilizada para fazer balanceamento do número de alocações das especialidades.

Restrições do Modelo

Cada especialidade precisa ser alocada a pelo menos ζ blocos (demanda mínima)

$$\sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{b \in \mathcal{B}} x_{tbs} \geq \zeta s \qquad \forall\, s \in \mathcal{S} \tag{1}$$

Para cada especialidade $s \in \mathcal{S}$, a quantidade de blocos alocados no período de planejamento pode ser, no máximo, k vezes maior do que a demanda β_s, com $k \in [0, 1]$

$$\sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{b \in \mathcal{B}} x_{tbs} \leq (1 + k) \cdot \beta_s \qquad \forall\, s \in \mathcal{S} \tag{2}$$

Restrições do Modelo

Cada bloco de cada sala deve ser alocado a, no máximo, uma especialidade

$$\sum_{s \in \mathcal{S}} x_{tbs} \leq 1 \qquad \forall\, t \in \mathcal{T},\ b \in \mathcal{B} \tag{3}$$

O número de alocações que precisam de anestesista ($\gamma_s = 1$) deve ser menor ou igual à quantidade de anestesistas disponíveis no bloco

$$\sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{s \in \mathcal{S}} \gamma_s \cdot x_{tbs} \leq \Gamma_b \qquad \forall\, b \in \mathcal{B} \tag{4}$$

Restrições do Modelo

Cada especialidade só pode ser alocada em, no máximo, Φ salas, que é a quantidade de equipes disponíveis para aquela especialidade em um bloco

$$\sum_{t \in \mathcal{T}} x_{tbs} \leq \Phi_{bs} \qquad \forall\, b \in \mathcal{B},\, s \in \mathcal{S} \tag{5}$$

Temos alguns casos de ter equipe disponível naquele bloco de horário, mas não em todas as salas, então temos o parâmetro α_{tbs} para tratar esses casos

$$x_{tbs} = 0 \qquad \forall\, t \in \mathcal{T},\, b \in \mathcal{B},\, s \in \mathcal{S} : \alpha_{tbs} = 0 \tag{6}$$

Restrições do Modelo

Restrições para acoplar as variáveis de alocação x_{tbs} e as variáveis de blocos sequenciais do mesmo dia y_{tds}

$$x_{tbs} + x_{t(b+1)s} - 1 \leq y_{tds} \qquad \forall\, t \in \mathcal{T},\ b \in \mathcal{B},\ s \in \mathcal{S},\ d \in \mathcal{D}:\ b \text{ e } b+1 \text{ são blocos do mesmo dia } d \tag{7}$$

$$x_{tbs} + x_{t(b+1)s} \geq 2 \cdot y_{tds} \qquad \forall\, t \in \mathcal{T},\ b \in \mathcal{B},\ s \in \mathcal{S},\ d \in \mathcal{D}:\ b \text{ e } b+1 \text{ são blocos do mesmo dia } d \tag{8}$$

Restrições do Modelo

Especialidades que precisam de dois blocos (o dia todo) em alguns dias da semana

$$x_{tbs} = x_{t(b+1)s} \qquad \forall\, t \in \mathcal{T},\ b \in \mathcal{B}', \tag{9}$$
$$s \in \mathcal{S}_{do},\ d \in \mathcal{D}:\ \ b \text{ e } b+1 \text{ são blocos do mesmo dia } d$$

Especialidades de transplante ($\mathcal{S}_{tx}$) precisam de duas salas alocadas no mesmo bloco de horário

$$\sum_{t \in \mathcal{T}} x_{tbs} = 2 \cdot w_{bs} \qquad \forall\, b \in \mathcal{B},\ s \in \mathcal{S}_{tx} \tag{10}$$

Restrição que garante que as especialidades circunstanciais – porém prioritárias – precisam de blocos alocados em determinado intervalo de blocos $\mathcal{B}_c$ (agendamento prévio)

$$\sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{b \in \mathcal{B}_c} x_{tbs} = \beta_s \qquad \forall\, s \in \mathcal{S}_{ci} \tag{11}$$

Restrição que faz com que todas as proporções de alocação sejam maiores do que uma variável L (balanceamento)

$$\sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{b \in \mathcal{B}} \frac{x_{tbs}}{\beta_s} \geq L \qquad \forall\, s \in \mathcal{S} \tag{12}$$

Funções Objetivo - Modelo Hierárquico

1. Maximizar o número de alocações (x_{tbs}) de especialidades prioritárias $\mathcal{S}_{pr}$

   $$\text{Max } F_0 = \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{b \in \mathcal{B}} \sum_{s \in \mathcal{S}_{pr}} x_{tbs}$$

2. Maximizar o número de alocações (x_{tbs}), ou, em termos hospitalares, "aumentar a produção cirúrgica"

   $$\text{Max } F_1 = \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{b \in \mathcal{B}} \sum_{s \in \mathcal{S}} x_{tbs}$$

Funções Objetivo - Modelo Hierárquico

3. Maximizar a menor proporção alocação/demanda, i.e., maximizar o menor valor de alocação proporcionalmente. Essa proporção é definida pela restrição 12.

   Max $F_2 = L$

4. Maximizar a quantidade de especialidades alocadas sequencialmente no mesmo dia d em uma sala t.

   Max $F_3 = \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{d \in \mathcal{D}} \sum_{s \in \mathcal{S}} y_{tds}$

Resultados

Resultados

Resultados

Resultados

Conclusões

Conclusões