



**Instituto de
Computação**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS



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



Figure 1: HC Unicamp

- Hospital que atende a população de Campinas e região



Figure 1: HC Unicamp

- Hospital que atende a população de Campinas e região
- Procedimentos de alta complexidade



Figure 1: HC Unicamp

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



Figure 1: HC Unicamp

- Hospital 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

Responsabilidades do CC:

Responsabilidades do CC:

- Alocação de equipes médicas

Responsabilidades do CC:

- Alocação de equipes médicas
- Alocação de anestesiastas
(estatutário e PJ)

Responsabilidades do CC:

- Alocação de equipes médicas
- Alocação de anestesistas
(estatutário e PJ)
- Alocação de leitos

Responsabilidades do CC:

- Alocação de equipes médicas
- Alocação de anestesistas
(estatutário e PJ)
- Alocação de leitos
- Controle de estoque (leitos e fármacos)

Responsabilidades do CC:

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

Gerenciamento do Centro Cirúrgico (CC)

Responsabilidades do CC:

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

Tarefas essenciais para:

Gerenciamento do Centro Cirúrgico (CC)

Responsabilidades do CC:

- Alocação de equipes médicas
- Alocação de anestesiastas (estatutário e PJ)
- Alocação de leitos
- Controle de estoque (leitos e fármacos)
- Planejamento de Salas Cirúrgicas

Tarefas essenciais para:

- Otimização do uso dos recursos

Gerenciamento do Centro Cirúrgico (CC)

Responsabilidades do CC:

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

Tarefas essenciais para:

- Otimização do uso dos recursos
- Redução de custos

Gerenciamento do Centro Cirúrgico (CC)

Responsabilidades do CC:

- Alocação de equipes médicas
- Alocação de anestesistas (estatutário e PJ)
- 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

Gerenciamento do Centro Cirúrgico (CC)

Responsabilidades do CC:

- Alocação de equipes médicas
- Alocação de anestesistas (estatutário e PJ)
- 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

O que é “Planejar Salas Cirúrgicas”?

O que é “Planejar Salas Cirúrgicas”?

- 1- Coletar disponibilidade de salas, anestesistas e equipes médicas

O que é “Planejar Salas Cirúrgicas”?

- 1- Coletar disponibilidade de salas, anestesistas e equipes médicas
- 2- Coletar demanda mínima das especialidades

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

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
- 4- Em alguns casos, feito manualmente

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

Figure 2: Escala Cirúrgica

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

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**

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

Variáveis do Modelo

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

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

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

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.

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

$$\sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{b \in \mathcal{B}} x_{tbs} \geq \zeta s \quad \forall s \in \mathcal{S} \quad (1)$$

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

$$\sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{b \in \mathcal{B}} x_{tbs} \geq \zeta s \quad \forall s \in \mathcal{S} \quad (1)$$

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 $k \in [0, 1]$

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

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

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

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

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

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

$$\sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{s \in \mathcal{S}} \gamma_s \cdot x_{tbs} \leq \Gamma_b \quad \forall b \in \mathcal{B} \quad (4)$$

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

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

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

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

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

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

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

$$x_{tbs} + x_{t(b+1)s} - 1 \leq y_{tds} \quad \forall t \in \mathcal{T}, b \in \mathcal{B}, \quad (7)$$

$s \in \mathcal{S}, d \in \mathcal{D} : b \text{ e } b+1 \text{ são blocos do mesmo dia } d$

$$x_{tbs} + x_{t(b+1)s} \geq 2 \cdot y_{tds} \quad \forall t \in \mathcal{T}, b \in \mathcal{B}, \quad (8)$$

$s \in \mathcal{S}, d \in \mathcal{D} : b \text{ e } b+1 \text{ são blocos do mesmo dia } d$

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

$$x_{tbs} = x_{t(b+1)s} \quad \forall t \in \mathcal{T}, b \in \mathcal{B}', \quad (9)$$

$s \in \mathcal{S}_{do}, d \in \mathcal{D} : b \text{ e } b+1 \text{ são blocos do mesmo dia } d$

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

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

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

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

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

$$\sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{b \in \mathcal{B}_c} x_{tbs} = \beta_s \quad \forall s \in \mathcal{S}_{ci} \quad (11)$$

Restrições do Modelo

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

$$\sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{b \in \mathcal{B}_c} x_{tbs} = \beta_s \quad \forall s \in \mathcal{S}_{ci} \quad (11)$$

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

$$\sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{b \in \mathcal{B}} \frac{x_{tbs}}{\beta_s} \geq L \quad \forall s \in \mathcal{S} \quad (12)$$

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

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

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”

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

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

$$\text{Max } F_2 = L$$

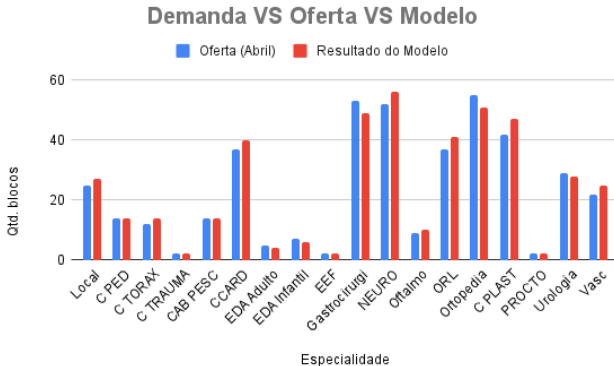
3. Maximizar a menor proporção alocação/demanda, i.e., maximizar o menor valor de alocação proporcionalmente. Essa proporção é definida pela restrição 12.

$$\text{Max } F_2 = L$$

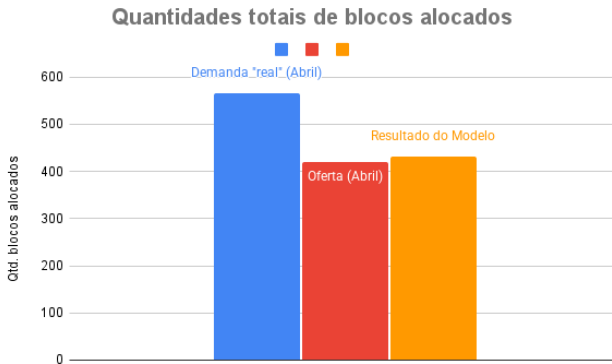
4. Maximizar a quantidade de especialidades alocadas sequencialmente no mesmo dia d em uma sala t .

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

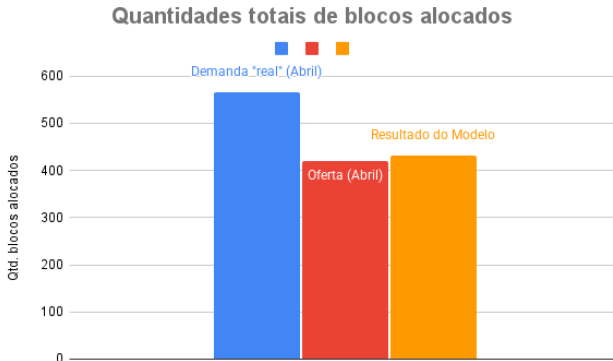
Resultados - Alocação de blocos



Resultados - Alocação de blocos

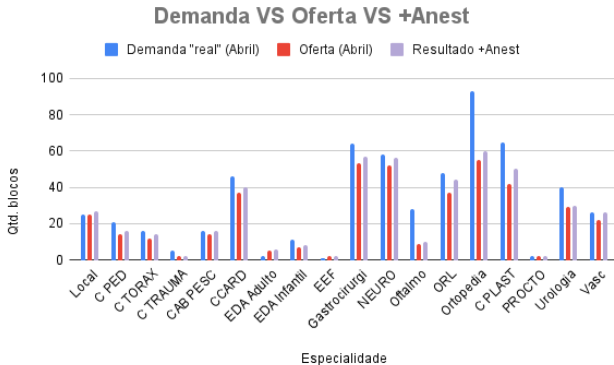


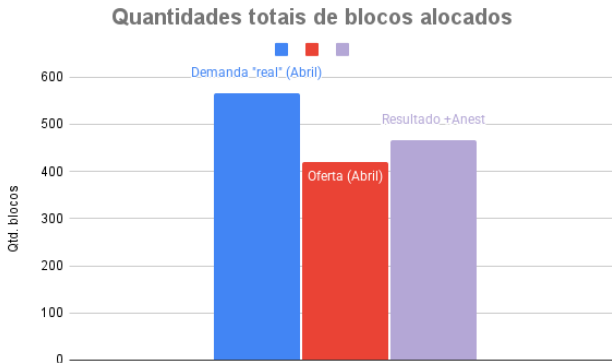
Resultados - Alocação de blocos



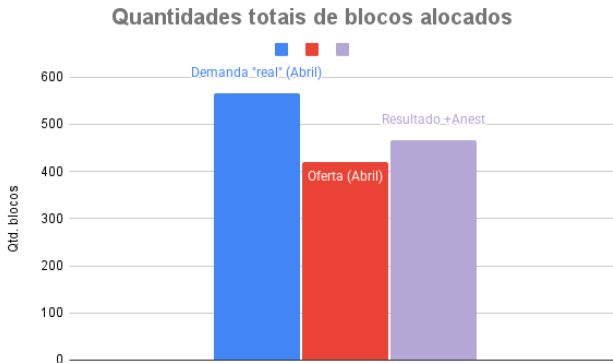
Citavam que o principal gargalo era a falta de anestesistas, então exploramos esse parâmetro...

Resultados - Mais Anestesistas





Resultados - Mais Anestesiastas



A quantidade de anestesiastas é um gargalo, mas não o único...

- Desenvolvemos um Modelo de Programação Linear Inteira Multiobjetivo para o Planejamento de Salas Cirúrgicas

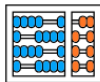
- Desenvolvemos um Modelo de Programação Linear Inteira Multiobjetivo para o Planejamento de Salas Cirúrgicas
- Modelo em fase de implantação no HC - Unicamp

- Desenvolvemos um Modelo de Programação Linear Inteira Multiobjetivo para o Planejamento de Salas Cirúrgicas
- Modelo em fase de implantação no HC - Unicamp
 - Open-source solver

- Desenvolvemos um Modelo de Programação Linear Inteira Multiobjetivo para o Planejamento de Salas Cirúrgicas
- Modelo em fase de implantação no HC - Unicamp
 - Open-source solver
- **Dificuldades:** Dados reais do hospital são essenciais para a modelagem, porém exigem um grande esforço de coleta e tratamento

- Desenvolvemos um Modelo de Programação Linear Inteira Multiobjetivo para o Planejamento de Salas Cirúrgicas
- Modelo em fase de implantação no HC - Unicamp
 - Open-source solver
- **Dificuldades:** Dados reais do hospital são essenciais para a modelagem, porém exigem um grande esforço de coleta e tratamento
- **Trabalhos futuros:** Integrar o modelo com mais restrições reais (demanda/fila, tempos, leitos, ...) e explorar mais técnicas de otimização

Agradecimentos



**Instituto de
Computação**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

