



# UTILIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO INTEGRADA À OTIMIZAÇÃO: UMA PROPOSTA VISANDO O PLANEJAMENTO OPERACIONAL DE UM CENTRO CIRÚRGICO

**Gustavo Teodoro Gabriel (Universidade Federal de Itajubá)**  
gustavo.teodoro.gabriel@gmail.com

**Carlos Henrique dos Santos (Universidade Federal de Itajubá)**  
chenrique.santos@unifei.edu.br

**José Antonio de Queiroz (Universidade Federal de Itajubá)**  
ja.queiroz@unifei.edu.br

**José Arnaldo Barra Montevechi (Universidade Federal de Itajubá)**  
montevechi@unifei.edu.br

**Afonso Teberga Campos (Universidade Federal de Itajubá)**  
afonso.teberga@gmail.com

*O uso de ferramentas de análise e apoio à decisão em ambientes de saúde representa um grande ganho na eficiência e qualidade dos cuidados nesses ambientes. Neste contexto, o presente trabalho propõe o uso da Simulação de Eventos Discretos, combinada com métodos de otimização de Pesquisa Operacional e técnicas de experimentação, como Design de Experimentos (DoE) e Análise de Superfície de Resposta, visando aprimorar o planejamento operacional de um Centro Cirúrgico. Primeiramente, por meio da Programação Não Linear (PNL), foi possível definir a periodização ideal e o sequenciamento dos procedimentos cirúrgicos, a fim de otimizar os resultados dos ganhos e o atendimento ao paciente. Em seguida, através da simulação e experimentação, analisou-se possíveis cenários de forma a obter o número ideal de funcionários. Como resultado, foi possível concluir que, para otimizar os ganhos em relação ao melhor atendimento ao paciente e horas extras mínimas, o melhor cenário de operação para o Centro Cirúrgico permite cerca de 65,7% dos pacientes completamente tratados com uma hora extra média de 180 min em face do salário total médio em torno de R\$ 70138,00.*

*Palavras-chave: Simulação a Eventos Discretos; Otimização; Experimentação; Centro Cirúrgico; Planejamento Operacional.*

## 1. Introdução

Um dos grandes problemas enfrentados por hospitais e departamentos de emergência são os agendamentos de consultas e cirurgias. Os sistemas de agendamento de consultas são usados em muitas instalações hospitalares, a fim de aumentar a eficiência e a utilização dessas instalações e fornecer acesso oportuno aos serviços de saúde. Os agendamentos são realizados para que os pacientes possam ser atendidos de forma mais ágil e evite que seu tempo de permanência se prolongue. Apesar disso, as cirurgias podem sofrer atrasados e alterações quando emergências ocorrem no ambiente compartilhado. Dessa forma, a necessidade de compartilhar uma instalação hospitalar por pacientes de diferentes departamentos e prioridades surge essencialmente devido a restrições orçamentárias (BHATTACHARJEE e RAY 2018).

Ferramentas de gestão e previsão podem ser utilizadas com o objetivo de prever e melhorar esses processos. Dessa forma, a simulação computacional, consagrada como uma ferramenta importante para análise e suporte à tomada de decisão, vem se destacando em diversas áreas, incluindo manufatura, hospitais, logística, serviços, dentre outras (NEGAHBAN e SMITH, 2014). No que se refere à área da saúde, Brailsford et al. (2009) destacam que a Simulação a Eventos Discretos (SED), tem um papel importante desde a década de 1960 e, ultimamente, hospitais e autoridades na área se tornaram mais conscientes do potencial que a ferramenta tem na melhoria dos serviços (CHENG et al., 2016). Na literatura, há diversos estudos que utilizaram simulação em ambientes dessa natureza para reduzir o tempo do paciente no hospital (BABASHOV et al., 2017; URIARTE et al., 2017) e superlotação (HUSSEIN et al., 2017).

Junto a simulação, técnicas de otimização são cada vez mais empregadas, tornando a ferramenta mais robusta e capaz de fornecer soluções ótimas ou quase ótimas para os tomadores de decisão (URIARTE, NG e MORIS, 2018). Dessa forma, o presente trabalho aborda o uso de técnicas de simulação e otimização para dimensionar os recursos de um centro cirúrgico e definir a melhor sequência de atendimento. Para tal, a otimização será utilizada para obter a priorização e o sequenciamento das cirurgias realizadas em um dia, enquanto os resultados serão analisados através da SED, com o auxílio do *Design* de Experimentos (DoE) e Análise de Superfície de Respostas, visando o planejamento dos recursos. Por fim, o estudo visando o melhor atendimento aos pacientes aliado a um bom resultado financeiro da sala cirúrgica. Dessa forma, pretende-se responder qual é a melhor sequência de procedimentos do dia para cada uma das três salas, levando em consideração a disponibilidade local e da equipe de profissionais. Vale ressaltar ainda que, caso não seja possível o atendimento de todos os pacientes no tempo

determinado, pretende-se analisar qual a melhor priorização de atendimentos levando-se em conta a eficiência do processo e o dimensionamento ideal de mão de obra.

## **2. Referencial Teórico**

### **2.1. Simulação e seu papel como ferramenta de apoio à decisão na área da saúde**

Para Banks et al. (2009), a Simulação pode ser definida como sendo a representação de um processo/sistema real por meio de seu comportamento ao longo do tempo. Neste caso, simular envolve a criação de uma história do sistema real e a posterior observação visando fazer inferências a respeito das características do mesmo. Ainda, para Law (2015) e Bloomfield et al. (2012), a simulação é uma alternativa à experimentação no sistema real, evitando custos em função da interrupção do fluxo de atividades e favorecendo análises e tomada de decisão.

Diversos trabalhos na literatura apresentam a SED em ambientes hospitalares. Para Gaba (2004), o uso da simulação em ambientes desta natureza pode trazer mais eficiência, qualidade e segurança, tanto para a equipe de trabalho, quanto para o paciente, mesmo que de maneira indireta. Já Salam e Khan (2016) destacam também o fator motivacional como uma das vantagens da Simulação em se tratando de ambientes hospitalares, sendo possível visualizar melhorias que podem ser alcançadas antes mesmo das ações serem realizadas.

### **2.2. Otimização integrada à Simulação**

Dengiz e Belgin (2014) destacam que, com o passar do tempo, os setores fabris e de serviços demandam maiores eficiências em seus processos. Nesse contexto, o uso da simulação permite investigar o comportamento destes sistemas e os efeitos de fatores sobre seu desempenho. Porém, os autores destacam ainda que, sem a utilização da otimização associada à simulação, análises experimentais baseadas em tentativa e erro podem elevar o tempo computacional necessário para se identificar uma solução, o que pode ser agravado com a complexidade do sistema simulado. Logo, a abordagem conjunta de ambas as ferramentas permite potencializar as análises a serem realizadas.

Ao se considerar as técnicas separadas, a simulação permite analisar diferentes cenários de um sistema real em busca daquela que apresente o melhor desempenho, porém, que podem ser insuficientes do ponto de vista da otimização (LAW e MCCOMAS, 2002; LEE et al., 2008). Sendo assim, para Lee et al. (2008), uma abordagem que integre simulação e otimização é muitas vezes necessária. Por muitos anos a simulação tem sido usada com sucesso para resolver

problemas de otimização em diversas áreas e, neste caso, nota-se diferentes abordagens: (I) utilização simultânea de simulação e otimização, (II) uso de otimização antes da simulação e, finalmente (III) uso da simulação antes da otimização (UHLEMANN, LEHMANN e STEINHILPER, 2016).

### 3. Método de pesquisa

O presente trabalho pode ser dividido em duas fases principais: Fase de Otimização e Fase de Simulação e Análise, utilizando a segunda abordagem proposta por Uhlemann, Lehmann e Steinhilper (2016).

**1. Fase de Otimização:** serão utilizadas técnicas de otimização para obter o sequenciamento ideal dos procedimentos cirúrgicos. Para isso, foram escolhidas técnicas relacionadas à Pesquisa Operacional, mais precisamente à Programação Não Linear (PNL). De acordo com Hillier e Lieberman (2006), para esse tipo de problema, não há apenas uma maneira de resolvê-lo, mas uma série de algoritmos capazes de resolver problemas dessa natureza.

**2. Fase de Simulação e Análise:** o cenário definido na fase anterior será analisado sob a perspectiva do planejamento de recursos. Assim, com o auxílio do *Design* de Experimentos (DoE), por meio da Análise da Superfície de Resposta, é possível realizar os experimentos no modelo de simulação e verificar o planejamento ótimo de mão de obra para o cenário simulado (MONTGOMERY, 2012). A partir dessa análise, pode-se garantir que a configuração em que a sala cirúrgica está funcionando seja o mais eficiente e permita os melhores resultados, tanto do ponto de vista do paciente quanto do financeiro.

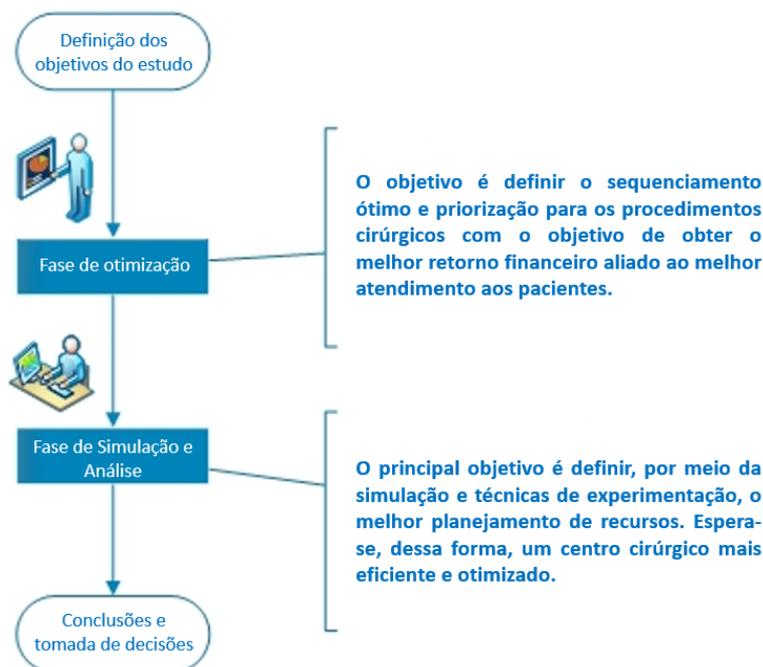
A Figura 1 resume a sequência de etapas a serem seguidas.

### 4. Aplicação e resultados

#### 4.1. Objeto de Estudo

O objeto de estudo do presente trabalho refere-se a um Centro Cirúrgico pertencente a uma unidade hospitalar. Neste caso, há três salas de cirurgia que realizam os procedimentos cirúrgicos, além de outras áreas comuns a esse ambiente. Existem muitas atividades necessárias em um caso cirúrgico e que variam de acordo com cada caso, resultando em uma alta complexidade com relação a tomada de decisões envolvendo o planejamento operacional.

Figura 1 – Sequenciamento das etapas a serem seguidas no trabalho



Além das três salas de cirurgia, o centro cirúrgico conta também com um ambiente de pré-operatório e pós-operatório, onde os pacientes podem aguardar a cirurgia, bem como se recuperar do procedimento até o momento da alta. Há ainda um ambiente ambulatorial e salas para exames específicos. Já com relação ao corpo de profissionais que atuam no centro cirúrgico, destaca-se a disponibilidade de nove médicos cirurgiões, cinco anestesistas, três enfermeiros responsáveis pela área de pré-operatório, três pela área de pós-operatório, cinco enfermeiros que circulam pelas áreas, cinco instrumentadores e, por fim, três profissionais responsáveis pela limpeza e manutenção das áreas.

Para o presente trabalho, utilizou-se de um perfil médio de pacientes baseando-se no histórico diário de procedimentos do centro cirúrgico. Dessa forma, espera-se obter métricas que auxiliem no planejamento operacional para um dia de trabalho comum. Neste caso, serão considerados 35 pacientes a serem atendidos em um dia de trabalho e cada paciente possui características únicas. Alguns procedimentos são agendados com um cirurgião específico, há outros procedimentos que geram uma grande amplitude de tempos de cirurgia, há também procedimentos que só podem ser realizados em salas de cirurgia específicas, dentre outras características comuns a um ambiente dessa natureza.

## 4.2. Objetivos do Estudo

Uma vez apresentado o objeto de estudo do trabalho, pode-se definir os objetivos. Dessa forma, o objetivo do trabalho abrange três pontos principais:

- I. Definir a sala de operações na qual cada procedimento é realizado. Neste caso, deve-se levar em consideração que determinados procedimentos devem ser obrigatoriamente realizados em uma sala de cirurgia específica;
- II. Definir a ordem em que os procedimentos são executados. Neste caso, deve-se considerar que alguns procedimentos têm prioridade em relação a outros. Além disso, caso não seja possível atender a todos os procedimentos no dia, deve-se realizar a priorização, resultando em um ótimo resultado financeiro aliado a um bom atendimento aos pacientes;
- III. Definir o número de funcionários ideal tendo em vista o sequenciamento e a priorização dos atendimentos.

## 4.3. Fase de Otimização

O problema de otimização do tipo Programação Não Linear (PNL) pode ser estruturado em três fases principais, conforme Hillier e Lieberman (2006): Variáveis de decisão, Função Objetivo e Restrições.

### 4.3.1. Variáveis de decisão

As variáveis de decisão são variáveis a serem consideradas no problema e que podem ser representadas por “x”, “y”, “z” etc. O objetivo é definir o valor de tais variáveis resolvendo o problema de otimização.

Neste caso, são consideradas duas variáveis de decisão:

$x_i$  = Cirurgia do Paciente  $i$  que será realizada

$y_j$  = Sala de cirurgia  $j$  que será utilizada no procedimento

Onde:  $1 \leq i \leq 35$  e representa cada paciente

$1 \leq j \leq 3$  e representa cada sala de cirurgia

### 4.3.2. Função Objetivo

A função objetivo pode ser entendida como sendo o parâmetro a ser otimizado (maximizado ou

minimizado) descrito através de uma função que envolve as variáveis de decisão. Neste caso, o principal objetivo deste problema de otimização é atingir o maior número de pacientes atendidos diante dos melhores resultados financeiros. Para representar esse parâmetro, optou-se por escolher um indicador-chave capaz de representar o retorno financeiro de um procedimento relacionado ao tempo consumido por ele. Para tal, basta dividir os ganhos esperados pelo tempo total que o procedimento consumirá (considerando o tempo cirúrgico esperado e o tempo esperado de rotatividade). Deste modo, o indicador chave será denotado por  $W_i$  = Ganho relativo [R\$/min] do procedimento do paciente  $i$ .

Além disso, pode-se definir como função objetivo a maximização do ganho total—  $W_{total}$ , ou seja, a soma de todos os ganhos relativos dos procedimentos. De maneira a representar matematicamente a função objetivo, temos a equação 1:

$$\text{Max } (W_{total}) = \sum_{i=1}^{35} \sum_{j=1}^3 W_i * x_i * y_j \quad (1)$$

### 4.3.3. Restrições

As restrições são limitações do problema que devem ser atendidas. Pode-se citar, portanto, as seguintes restrições:

- $x_i$  é uma variável binária, onde 1 significa que o procedimento irá ocorrer e 0 indica que o procedimento não irá ocorrer.
- $y_j$  é uma variável binária, onde 1 significa que a sala de cirurgia  $j$  será utilizada, enquanto 0 indica que a sala não será utilizada;
- $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8 = 1$ , ou seja, estes procedimentos deverão ocorrer obrigatoriamente;
- $x_8 * y_1 = 1$ , ou seja, o paciente da cirurgia 8, obrigatoriamente deverá ser operado na sala de cirurgia 1. Essa é uma cirurgia de ginecologia;
- Se  $x_{22} = 1$ , logo  $x_{22} * y_1$  também deverá ser igual a 1. O mesmo é válido para  $x_{23}$  e  $x_{24}$ . Isso significa que, caso os procedimentos dos pacientes 22, 23 e 24 sejam alocados, eles deverão ser realizados na sala de cirurgia 1 obrigatoriamente, pois elas são cirurgias de ginecologia;
- $\sum_{i=1}^{35} t_i * y_1 \leq$  Tempo total diário disponível para a sala de cirurgia 1;

- $\sum_{i=1}^{35} t_i * y_2 \leq$  Tempo total diário disponível para a sala de cirurgia 2;
- $\sum_{i=1}^{35} t_i * y_3 \leq$  Tempo total diário disponível para a sala de cirurgia 3.

O centro cirúrgico opera das 06:00 até as 17:00. Assim, foi considerado um tempo diário disponível de 660 min para cada uma das salas de cirurgia. Dessa forma, pode haver horas extras para a recuperação do paciente.

#### 4.3.4. Solução

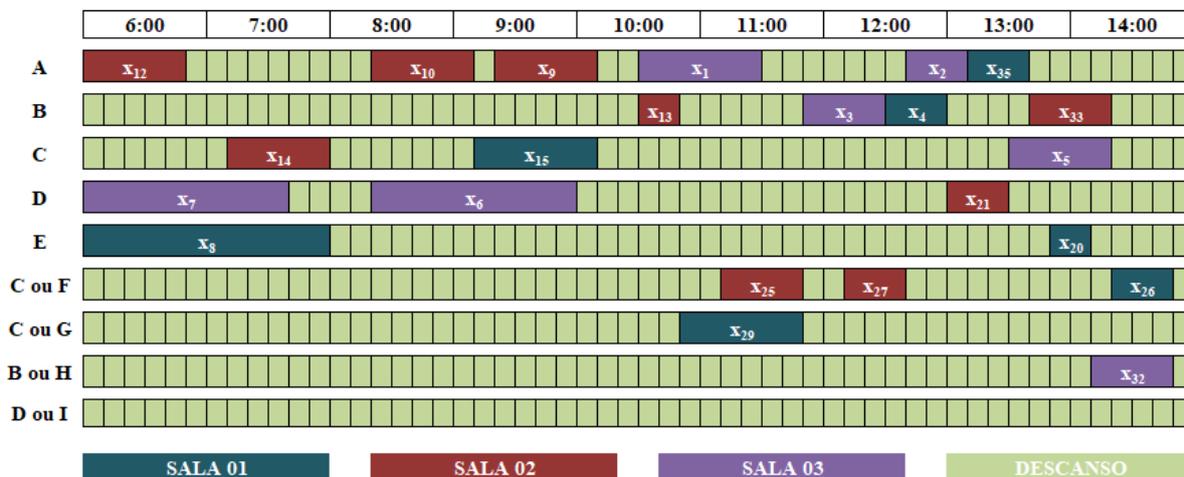
Para a solução da PNL, foi escolhido o software Excel®, através do suplemento Solver. Além disso, o Algoritmo Evolucionário foi escolhido para resolver este problema. Os resultados do PNL podem ser resumidos conforme apresentado na Tabela 1. Pode-se observar que não é possível executar todos os procedimentos e, considerando o ganho total –  $W_{total}$ , a melhor priorização de procedimentos é apresentada abaixo.

Tabela 1 – Resultados após a resolução do PNL

<b>Procedimentos realizados na sala de cirurgia 1</b>	<b>Procedimentos realizados na sala de cirurgia 2</b>	<b>Procedimentos realizados na sala de cirurgia 3</b>	<b>Total de procedimentos realizados</b>	<b><math>W_{total}</math> [R\$/min]</b>
7	9	7	23	\$ 1446,99

Após definir quais pacientes serão tratados em cada sala de cirurgia, o próximo passo foi definir o sequenciamento de procedimentos. Os critérios para a definição foi: os primeiros pacientes a serem atendidos são aqueles que apresentam maior tempo de cirurgia somados ao tempo de recuperação. Outros critérios respeitados foram em relação ao tempo de descanso para o médico entre uma cirurgia e outra e, o médico não pode ser solicitado ao mesmo tempo em duas salas diferentes. Assim, baseado no tempo determinístico de cada cirurgia definiu-se a ordem de cada sala. É válido lembrar que existem cinco médicos, denominados por A, B, C, D e E que são exclusivos em algumas cirurgias. Em outros casos, algum médico da equipe pode realizar o procedimento. As equipes são o grupo de cirurgias gerais (médico C e F), cirurgia vascular (C e G), cirurgia oftalmológica (B e H) e cirurgia ortopédica (D e I). A Figura 2 mostra o sequenciamento escolhido baseado em cada médico e sala.

Figura 2 – Sequenciamento das cirurgias para cada médico e sala



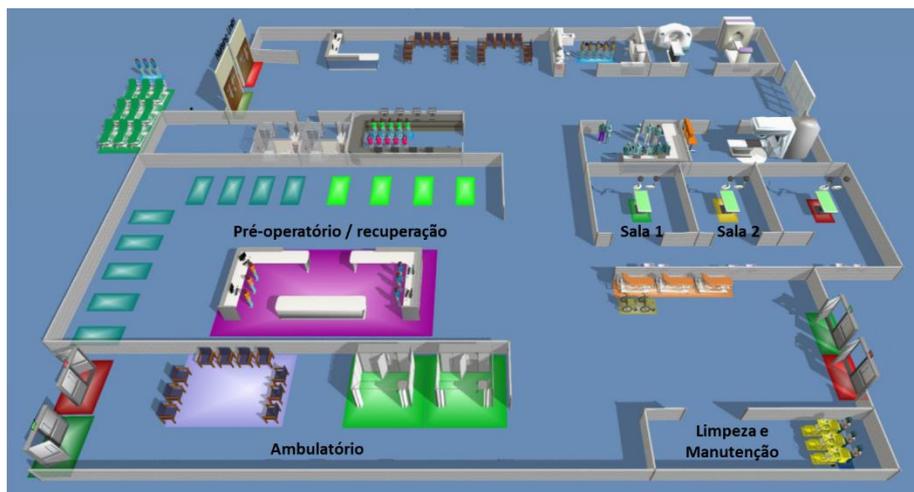
Portanto, o próximo passo é definir o número ideal de funcionários para o cenário analisado.

#### 4.4. Fase de Simulação e Análise

##### 4.4.1. Modelo de simulação

O modelo de simulação foi construído por meio do *software* FlexSim Health Care®. A figura 3 ilustra o modelo em 3D.

Figura 3 – Modelo de simulação em 3D



Dentre os elementos considerados no modelo de simulação, pode-se citar:

- O caso do paciente: foi levado em consideração o tempo para tratar a condição de cada paciente, os requisitos de movimentação nas instalações e o tempo pré-operatório e de recuperação;

- Padrões de chegada: considerou-se fatores como atribuição de salas específicas para casos agendados, diferentemente de casos complementares ou casos de emergência.
- Equipes envolvidas: além da equipe cirúrgica, foram consideradas as equipes de apoio para limpeza das salas após as cirurgias, bem como o tempo destas atividades, fato que impacta nas cirurgias posteriores.

Uma vez que o modelo de simulação foi construído e posteriormente validado pela equipe de profissionais e especialistas responsáveis, o próximo passo do trabalho foi estruturar os experimentos a serem realizados visando obter o dimensionamento ideal da mão-de-obra. Tais resultados serão apresentados na próxima seção.

#### 4.4.2. Análises

Esta fase apresentará os experimentos e análises com o objetivo de obter o número ideal de funcionários para o cenário definido na fase de Otimização. Assim, o primeiro passo foi projetar os experimentos que serão realizados através do DoE e, neste caso, foram planejadas duas rodadas de experimentos. A primeira rodada visa obter as variáveis de decisão significativas, ou seja, analisar quais variáveis de decisão afetam ou não nas medidas de desempenho escolhidas: Horas extras e ganhos. Neste caso, o objetivo da análise é maximizar os ganhos, enquanto as horas extras são minimizadas. As variáveis de decisão consideradas para a primeira rodada de experimentos e seus respectivos níveis são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2 – Variáveis de decisão do primeiro experimento

Variáveis de decisão	Nível mínimo	Nível máximo
Enfermeiros Pré-operatório	1	3
Enfermeiros Recuperação	1	3
Manutenção/ limpeza	1	3
Enfermeiros circulantes	1	5
Instrumentadores	1	5

É importante enfatizar que o nível mínimo de cada variável de decisão foi definido como 1, enquanto o nível máximo como o número de funcionários disponíveis no centro cirúrgico. Para a execução dos experimentos, o *software* Minitab® foi utilizado juntamente com o *software* de simulação FlexSim Health Care®. Além disso, foi escolhido o fatorial completo com experimento de face centrada, resultando em 54 experimentos. Pôde-se observar que os

enfermeiros do pré-operatório e da recuperação e grupo de manutenção e limpeza não afetaram as medidas de desempenho no cenário 1. Dessa forma, estas variáveis de decisão foram desconsideradas do segundo experimento.

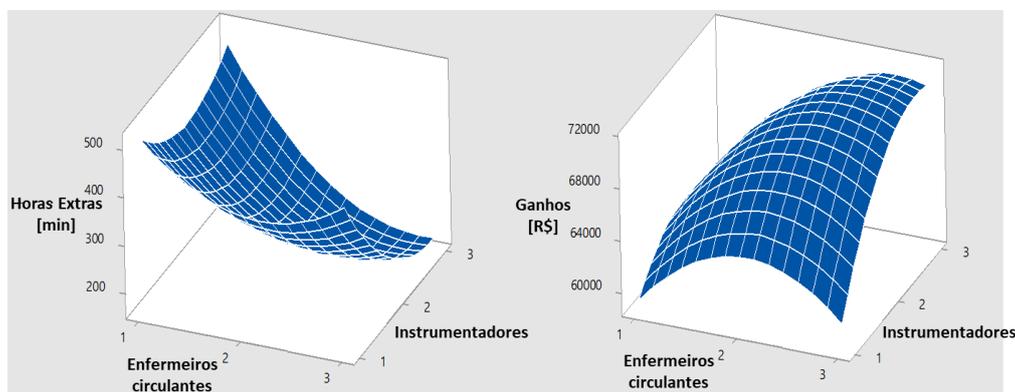
Em seguida, o próximo passo foi refazer os experimentos apenas com as duas variáveis de decisão significativas, os Enfermeiros Circulantes e os Instrumentadores. Para a segunda rodada de experimentos, foi mantida a mesma medida de desempenho: Horas Extras e Ganhos. No entanto, como os Enfermeiros Circulantes e os Instrumentadores se mostraram ociosos em alguns momentos no primeiro experimento, novos níveis máximos foram definidos, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Variáveis de decisão do segundo experimento

Variável de decisão	Nível mínimo	Nível máximo
Enfermeiros Circulantes	1	3
Instrumentadores	1	3

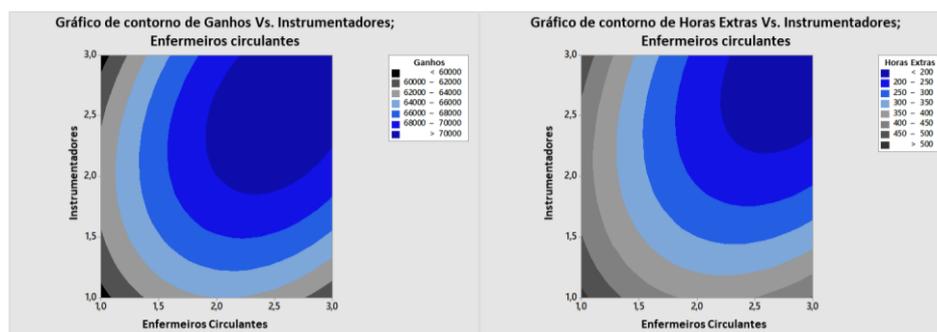
Uma nova Análise de Superfície de Resposta foi realizada, também com fatorial completo de face centrada, resultando agora em 20 experimentos. A Figura 4 apresenta o gráfico de superfície para cada medida de desempenho Vs. variáveis de decisão e, nesse caso, é possível observar que há uma curvatura, indicando um ponto ideal.

Figura 4 – Gráficos de superfície (Variáveis de decisão Vs. Medidas de desempenho)



Além disso, através do gráfico de contorno, apresentado na Figura 5, é possível observar a área da solução para maximizar os ganhos e minimizar as horas extras, respectivamente.

Figura 5 – Gráficos de contorno (Variáveis de decisão Vs. Medidas de desempenho)



Portanto, uma vez que a área de solução ideal foi definida, foi possível definir o melhor número de funcionários. Percebe-se que o melhor número de funcionários, de acordo com os gráficos de contorno, exige o número total disponível de cada variável de decisão, ou seja, três Enfermeiros Circulantes e três Instrumentadores. A Tabela 4 mostra o número ideal de funcionários, de acordo com os resultados.

Tabela 4 – Número de funcionários após os experimentos

<b>Enfermeiros Pré-operatório</b>	<b>Enfermeiros Recuperação</b>	<b>Limpeza/ Manutenção</b>	<b>Enfermeiros Circulantes</b>	<b>Instrumentadores</b>
1	1	1	3	3

#### 4.5. Conclusões e tomada de decisões

Finalmente, uma vez definido o número ideal de funcionários, a próxima etapa é executar novamente a simulação, agora com 100 réplicas. Este procedimento é necessário para avaliar o modelo como seu comportamento estocástico, adicionando aos resultados da simulação um intervalo de confiança. A Tabela 5 mostra os resultados resumidos para ganhos e horas extras.

Tabela 5 – Intervalo de confiança para os ganhos esperados e horas extras

<b>Métrica</b>	<b>Ganhos [R\$]</b>	<b>Horas Extras [min]</b>
Média	70138,00	179,78
Mínimo	69943,00	174,91
Máximo	70333,00	184,64

## 5. Conclusões

O presente trabalho foi desenvolvido visando analisar um centro cirúrgico para obter o melhor planejamento operacional. Nesse caso, três salas de cirurgia são capazes de realizar vários tipos de procedimentos cirúrgicos. O principal objetivo foi definir a priorização e o sequenciamento de pacientes, visando obter resultados ótimos de ganhos diante do melhor atendimento ao paciente. Para tal, o trabalho foi dividido em duas fases e, enquanto a primeira fase, denominada “Fase de Otimização”, visa obter a priorização e o sequenciamento de procedimentos, a segunda, denominada “Fase de Simulação e Análise”, visa definir o número ideal de funcionários. Dessa forma, foi possível obter os melhores resultados financeiros e de atendimento ao paciente.

A primeira fase foi estruturada com o auxílio da Pesquisa Operacional, por meio da Programação Não Linear (PNL). Nesse caso, foram definidos os melhores sequenciamentos e priorizações. Em seguida, a segunda fase, através do *Design* de Experimentos e da Análise da Superfície de Resposta, permitiu analisar o melhor número de funcionários para maximizar os ganhos, minimizando as horas extras. Após a análise, pode-se concluir que o melhor cenário de operação para o Centro Cirúrgico permite que cerca de 65,7% dos pacientes sejam completamente tratados com uma média de horas extras de 180 min, em relação a um Ganho total médio em torno de R\$ 70138,00.

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG, à CAPES, ao CNPq e à empresa objeto de estudo pelo apoio e suporte ao longo da pesquisa. Os autores ainda agradecem à SHS/FlexSim *Model Building Competition* pelo objeto de estudo.

## REFERÊNCIAS

BABASHOV, V.; AIVAS, I.; BEGEN, M.A.; CAO, J.Q.; RODRIGUES, G.; D’SOUZA, D.; LOCK, M.; ZARIC, G. S. Reducing Patient Waiting Times for Radiation Therapy and Improving the Treatment Planning Process: a Discrete-event Simulation Model (Radiation Treatment Planning). **Clinical Oncology**. v. 29(6), p. 385-391, 2017.

BANKS, J.; NELSON, B. L.; CARSON, J. S.; NICOL, D. M. **Discrete-Event System Simulation**. ed. 5, Essex: Person, 2009.

- BHATTACHARJEE P.; RAY P.K. Scheduling appointments for multiple classes of patients in presence of unscheduled arrivals: Case study of CT department. **IISE Transaction on Healthcare Systems Engineering**, v. 8(3), p. 181-95, 2018.
- BLOOMFIELD, R.; MAZHARI, E.; HAWKINS, J.; SON, Y.J. Interoperability of manufacturing applications using the Core Manufacturing Simulation Data (CMSD) standard information model. **Computer & Industrial Engineering**, v. 62(4), p. 1065-1079, 2012.
- BRAILSFORD, S.C.; HARPER, P.R.; PATEL, B.; PITT, M. An analysis of the academic literature on simulation and modelling in health care. **Journal of Simulation**. v. 3(3), p. 130-140, 2009.
- CHENG, R.; MACAL, C.; NELSON, B.; RABE, M.; CURRIE, C.; FOWLER, J.; LEE, L. H. Simulation: the Past 10 Years and the Next 10 Years. **In: 2016 Winter Simulation Conference, Proceedings...** Washington DC, USA: 2016.
- DENGIZ, B.; BELGIN, O. Simulation optimization of a multi-stage multi-product paint shop line with Response Surface Methodology. Simulation: **Transactions of the Society for Modeling and Simulation International**, v. 90(3), p.1-10, 2014.
- GABA, D. The future vision of simulation in health care. **Quality and Safety in Health Care**, v.13, p. 2-10, 2004.
- HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. **Introduction to Operations Research**. ed. 8, Mc Graw Hill, 2006.
- HUSSEIN, N.A.; ABDELMAGUID, T.F.; TAWFIK, B.S.; AHMED, N.G.S. Mitigating overcrowding in emergency departments using Six Sigma and simulation: A case study in Egypt. **Operation Research for Health Care**. v. 15, p. 1-12, 2017.
- LAW, A. M.; MCCOMAS, M. G. Simulation-Based Optimization, **In: 2002 Winter Simulation Conference, Proceedings...** San Diego, CA, USA, 2002.
- LAW, A. **Simulation modeling and analysis**. ed. 5, Boston: McGraw-Hill Education, 2015.
- LEE, L.H.; CHEW, E. P.; TENG, S.; CHEN, Y. Multi-objective simulation-based evolutionary algorithm for an aircraft spare parts allocation problem. **European Journal of Operational Research**, v. 189, p.476-491, 2008.
- MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. ed. 8, New York: John Wiley & Sons, 2012.
- NEGAHBAN, A.; SMITH, J.S. Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis. **Journal of Manufacturing Systems**. v. 33(2), p.241-261, 2014.

SALAM, M. A.; KHAN, S. A. Value creation through lean management: a case study of healthcare service operations. **International Journal of Services and Operations Management**, v. 25(3), p. 275-293, 2016.

UHLEMANN, T.H.J; LEHMANN, C.; STEINHILPER, R. The Digital Twin: Realizing the Cyber-Physical Production System for Industry 4.0. **Procedia CIRP**. v. 61, p. 335-340, 2017.

URIARTE, A.G.; NG, A.H.; MORIS M.U. Supporting the lean journey with simulation and optimization in the context of Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**.v. 25, p. 586-593, 2018.

URIARTE, A.G.; ZÚÑIGA, E.R.; MORIS, M.U.; NG, A.H.C. How can decision makers be supported in the improvement of an emergency department? A simulation, optimization and data mining approach. **Operation Research for Health Care**. v. 15, p. 102-122, 2017.