

APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS INTEGRADA COM CONCEITOS ENXUTOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS EM UM HOSPITAL MILITAR DE CAMPO

Application of the discrete event simulation integrated with lean concepts for implementing improvements in a military field hospital

Carlos Henrique dos Santos¹, Gustavo Teodoro Gabriel², Afonso Teberga Campos³, José Antonio de Queiroz⁴, José Arnaldo Barra Montevechi⁵

Resumo: A Simulação de Eventos Discretos (SED) e o *Lean* aplicados em serviços de saúde auxiliam na qualidade e na eficiência dos serviços prestados. Diante disso, o objetivo do artigo é utilizar a SED em conjunto com os princípios enxutos para analisar a estrutura de um hospital militar de campo e avaliar a capacidade desse hospital quanto ao atendimento de pacientes no caso de desastres ambientais. Para isso, o hospital de campo foi simulado no *software* FlexSim Healthcare[®] e, juntamente com o planejamento de experimentos (DoE), foi definido o número ideal de locais e de recursos. A principal medida de saída foi o número total de pacientes completamente tratados. Os resultados mostraram que, como está configurado atualmente, o hospital de campo não é capaz de lidar com a demanda, uma vez que apenas 20,6% dos pacientes (588 de 2.855) foram completamente tratados. No entanto, após alterar as variáveis de decisão, a porcentagem de pacientes completamente tratados aumentou para 93,6% (2.673 de 2.855), significando aumento de 355%. Para alcançar tal resultado, o número total de locais aumentou 162% (de 90 para 236), enquanto o número total de recursos humanos diminuiu 52% (de 63 para 30).

Palavras-chave: Simulação de Eventos Discretos. *Lean Healthcare*. Planejamento de experimentos. Hospital de campo.

Abstract: Discrete Event Simulation (DES) and Lean applied in health services help the quality and efficiency of their services. The objective of this article is to use DES with the aid of Lean principles to analyze the structure of a military field hospital and to assess its ability to care for patients in case of environmental disasters. For this, the field hospital was simulated using FlexSim Healthcare[®] software and, with the aid of Design of Experiments (DoE), the optimal number of locations and resources was defined. The main measure of output was the total number of patients completely treated. Results showed that, as currently configured, the field hospital is unable to cope with the demand, as only 20.6% of patients (588 out of 2,855) were completely treated. However, after changing the decision variables, the percentage of fully treated patients increased to 93.6% (2673 out of 2,855), which means an increase of 355%. To achieve this result, the total number of locations increased by 162% (from 90 to 236), while the total number of human resources decreased by 52% (from 63 to 30).

Keywords: Discrete Event Simulation. Lean healthcare. Design of Experiments. Field hospital.

1. Doutorando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá - Itajubá, MG - Brasil. E-mail: chenrique.santos@unifei.edu.br

2. Doutorando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá - Itajubá, MG - Brasil. E-mail: gustavo.teodoro.gabriel@gmail.com

3. Doutorando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá - Itajubá, MG - Brasil. E-mail: afonso.teberga@gmail.com

4. Professor Doutor na Universidade Federal de Itajubá - Itajubá, MG - Brasil. E-mail: ja.queiroz@unifei.edu.br

5. Professor Doutor na Universidade Federal de Itajubá - Itajubá, MG - Brasil. E-mail: montevechi@unifei.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A Simulação de Eventos Discretos (SED) é comumente usada para estudos e análises de sistemas complexos, como sistemas de manufatura, sistemas de transporte, bancos e até mesmo hospitais (BANKS et al., 2010; SARGENT, 2013; LAW, 2015). Quando se trata de cuidados de saúde, a SED tem papel importante desde a década de 1960 (BRAILSFORD et al., 2009) e, há pouco tempo, hospitais e autoridades em saúde tornaram-se mais conscientes quanto ao potencial da SED para melhoria dos serviços prestados (CHENG; DRIVE; RABE, 2016). Exemplos de estudos que utilizaram SED em ambientes de saúde são encontrados na literatura (HUSSEIN et al., 2017; BABASHOV et al., 2017; URIARTE et al., 2017). Além disso, ferramentas comuns à manufatura também podem ser aplicadas às áreas de saúde. O *Lean Healthcare* pode ser implementado na solução e na otimização dos processos dessas áreas (GRABAN, 2013).

O *Lean* aplicado em hospitais e serviços de saúde pode mudar de forma muito positiva como esses ambientes são organizados e geridos. A metodologia *Lean Healthcare* proporciona aos hospitais menor tempo de espera dos pacientes, redução nos erros cometidos e aumento na qualidade dos serviços prestados (GRABAN, 2013). Além disso, a SED destaca-se como ferramenta promissora na previsão de comportamentos de processos que apresentam tempos de processamento estocásticos. Esse método traz dinamismo para o mapa do estado atual e o mapa do estado futuro do processo, sendo possível inferir como os recursos estão sendo utilizados e onde estão localizados os desperdícios (DOGAN; UNUTULMAZ, 2014).

Por essa razão, de modo separado, a SED e o *Lean* têm recebido atenção crescente nessa área (ROBINSON et al., 2012). Filser, Silva e Oliveira (2017) identificaram mais de 300 estudos sobre *Lean* na área de saúde, sendo 99% publicados a partir de 2002. Já Brailsford et al. (2009) estimam a existência de cerca de 44 mil artigos sobre simulação na área de saúde, sendo mais de 80% publicados a partir da década de 1990. Porém, quando integrados, o *Lean* e a SED constroem uma relação sinérgica, potencializando seus benefícios. Entre os benefícios dessa integração para o *Lean*, cabe destacar, por ora, a possibilidade de avaliar antecipadamente os resultados das melhorias propostas, sem a necessidade de experimentá-las no sistema real (BHAT; GIJO; JNANESH,

2014; BARIL et al., 2017; WANG et al., 2015; HADDAD et al., 2016). Já para a SED, a integração permite focar o ganho de eficiência por meio da eliminação de desperdícios, utilizando conceitos e técnicas do *Lean* (RAGHAVAN et al., 2010; BHAT; GIJO; JNANESH, 2014; YANG et al., 2015; HUANG; KLASSEN; 2016).

No que se refere a ambientes de saúde, existem diferentes tipos de hospitais, cada um projetado para atender a demandas específicas. Projetados e gerenciados pelo exército dos Estados Unidos, os hospitais de campo (HC) são construídos com intuito de atender pessoas quando desastres naturais ocorrem, posto que vários furacões atingiram o continente norte americano nos últimos anos. HCs precisam fornecer atendimento imediato aos pacientes, portanto, é necessário que sejam bem projetados, para que possam lidar com a demanda de pacientes de maneira eficiente. Áreas atingidas por furacões muitas vezes perdem suas fontes de eletricidade e acesso a água potável, comunicação, transporte e distribuição de alimentos e remédios. Muitos desses canais de distribuição permaneceram inertes e inoperáveis por vários dias após o desastre. Por essa razão, toda comunidade deve estar preparada para prestar assistência médica imediata e duradoura às populações afetadas por esses eventos.

Diante desse contexto, os objetivos deste estudo foram analisar a estrutura de um HC e avaliar a capacidade desse hospital quanto ao atendimento de pacientes no caso de desastres ambientais. Além disso, objetivou-se também avaliar e definir o número ideal de recursos e de equipamentos necessários, bem como o leiaute mais adequado para atendimento eficiente. Ainda, o escopo do projeto visou possibilitar o atendimento do maior número possível de pacientes sem que os recursos estejam ociosos. Para isso, foi definido o escopo do objeto de estudo e foram aplicadas em conjunto as ferramentas *Lean Healthcare*, SED e *Design de Experimentos (DoE)*, para a avaliação do cenário atual e das possíveis melhorias para futuros cenários do hospital estudado.

O artigo está dividido da seguinte forma: a seção 1 apresentou a introdução e a contextualização do problema. A seção 2 apresenta revisão bibliográfica, definindo os conceitos de SED e de *Lean Healthcare* e a integração dessas ferramentas. Em seguida, na seção 3 é apresentada a metodologia utilizada, definida por Montevechi et al. (2007) e aplicada no objeto de estudo, o qual é explicado na seção 4. Por fim, na seção 5, apresentam-se as conclusões do trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. LEAN HEALTHCARE

De acordo com Ohno (1997), o foco da produção enxuta é a eliminação ou a minimização dos desperdícios, ou seja, eliminar qualquer atividade que não agregue valor aos clientes ou usuários, mas que adiciona custo ao produto, seja na produção seja na comercialização. Assim, as atividades podem ser divididas em três grupos: atividades que agregam valor, atividades que não agregam valor e atividades que não agregam valor, mas são necessárias. Dentro dos princípios do *Lean*, Ohno (1997) classifica sete grandes desperdícios, sendo: superprodução, estoque, espera, transporte, movimentação, processo ineficiente ou desnecessário e processos defeituosos.

Esses são os conceitos do Lean Manufacturing, que quando aplicados em sistemas de saúde são chamados de *Lean Healthcare*. Os desperdícios citados anteriormente são adaptados para os ambientes hospitalares (BERTRANI, 2012; GRABAN, 2013) e são explicados de acordo com o Quadro 1:

2.2. SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

A simulação pode ser considerada a imitação de um sistema real, que é modelado em computador para posterior realização de experimentos para avaliar e melhorar o desempenho desse sistema (HARRELL et al., 2012). Também pode ser entendida como a criação e a observação de um sistema real ou hipotético para gerar inferências referentes a ele (BANKS et al., 2010). Essa técnica é extremamente versátil, podendo ser utilizada para investigar qualquer tipo de

Quadro 1. Comparação entre *Lean Manufacturing* e *Lean Healthcare*.

Desperdício	Manufatura	Serviços de saúde
Superprodução	Produção acima da capacidade de consumo da demanda. Ocorre por quantidade ou por antecipação.	Excesso de monitoramento em um paciente que não demanda tais cuidados.
Estoque	Armazenamento excessivo de bens. Prejudica o atendimento ao cliente, causando espera por informações e por produtos. Pode apresentar custos de transporte e de armazenagem e dano de materiais.	Resultados de exames aguardando processamento, pacientes em fila esperando pelo atendimento, materiais e medicamentos vencidos que devem ser descartados.
Espera	Longos períodos de inatividade, como espera por processo, lotes ou operador, resultando em longos <i>lead times</i> .	Espera do paciente por liberação do leito, resultado de exames, tratamentos ou alta hospitalar.
Transporte	Transporte desnecessários e/ou com excesso de bens e/ou informações, o que resulta aumento de custos, tempo e esforços.	Transporte excessivo de exames, medicamentos e pacientes que pode ser causado por Leiaute inadequado.
Movimentação	Movimentações em excesso e/ou desnecessárias dos funcionários no sistema. Incluem os esforços físicos durante o processo de fabricação.	Movimentação excessiva de médicos, enfermeiros e assistentes, em função dos postos de trabalho estarem mal organizados.
Processo ineficiente ou desnecessário	Procedimentos realizados de forma incorreta; não agregam valor para o cliente.	Utilização de medicamentos de forma ineficiente, carrinho cirúrgico com item faltante, pedidos de exames que não são necessários.
Processos defeituosos	Gerar produtos fora da especificação do cliente, seja na qualidade do produto seja no desempenho da entrega.	Realização de exames de forma inadequada, dados sobre horário/data afixados em formulários, mas nunca utilizados.

Fonte: adaptado de Bertrani (2012) e Graban (2013).

sistema estocástico. Tal versatilidade fez da simulação a técnica de pesquisa operacional mais utilizada para estudos que lidam com sistemas aleatórios (HILLIER; LIEBERMAN, 2001). Para Law (2015) e Bloomfield et al. (2012), a simulação é uma alternativa à experimentação direta no sistema real, evitando, assim, os custos em função da experimentação e da interrupção do fluxo de atividades do sistema real.

Entre as vantagens da simulação, destacam-se: as regras de decisão e a possibilidade de explorar os fluxos de informações e os procedimentos organizacionais explorados sem que ocorra a interrupção do sistema real; de testar os leiautes físicos e sistemas de transporte sem comprometer os recursos; de testar as hipóteses quanto à viabilidade de implementação; de expandir ou comprimir o tempo para a investigação dos fenômenos; de estudar a importância das variáveis para o desempenho do sistema e responder as perguntas do tipo “what-if” (“o que ocorre se”) (BANKS et al., 2010). Ou seja, além de prover visualização completa do sistema, a simulação permite que os tomadores de decisões possam visualizar os resultados antes mesmo de sua implementação (LAW, 2015).

2.3. LEAN HEALTHCARE E SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

A integração da SED com o *Lean* em serviços de saúde auxilia na implementação dos conceitos enxutos em três grandes frentes: avaliar, facilitar e ensinar (ROBINSON et al., 2012). Assim, o uso da simulação e do *Lean Healthcare* em ambientes hospitalares pode trazer mais segurança, qualidade e eficiência para os pacientes e para a gerência (GABA, 2004). Além disso, esse uso pode otimizar o fluxo de pacientes e servir como fator motivacional para os funcionários (SALAM; KHAN, 2016). Swick et al. (2012) afirmam que hospitais que integram as duas ferramentas oferecem um método eficiente de planejamento estratégico e proporcionam aos funcionários uma visão privilegiada de como reduzir desperdícios e agregar valor. Ainda, é possível diminuir o tempo de espera dos pacientes, reduzindo a carga de trabalho dos funcionários e promovendo a realocação de recursos (BHAT; GIJO; JNANESH, 2014; HADDAD et al., 2016).

3. METODOLOGIA

A Modelagem e Simulação, técnica utilizada no estudo, pode ser dividida em três grandes fases: Concepção,

Implementação e Análise (MONTEVECHI et al., 2007). Na primeira grande fase, ou seja, a Concepção, a primeira etapa a ser realizada é a formulação do problema. Nessa etapa o processo a ser modelado é definido, para que as ações e objetivos possam ser especificados (BALCI, 2011). A segunda etapa é a construção e documentação do modelo conceitual, seguido pela validação do modelo. Muitas técnicas podem ser utilizadas para a documentação, porém, optar por uma técnica voltada para a simulação é o ideal (MONTEVECHI et al., 2007). A última etapa da Concepção é a modelagem dos dados de entrada, que podem ser tempo, custo, porcentagens, capacidades, entre outros, variando conforme o objetivo de cada estudo (BANKS et al., 2010; MONTEVECHI et al., 2007).

A segunda grande fase chamada de Implementação abrange as etapas de construção, verificação e validação do modelo computacional. A construção do modelo computacional deve ser realizada em um *software* com o qual o modelador apresenta familiaridade. Em seguida, é necessária a verificação, a qual garantirá que a programação do modelo computacional corresponde ao modelo conceitual (SARGENT, 2013). Por fim, a validação do modelo computacional pode ser realizada por meio de testes de hipóteses, intervalos de confiança, gráficos de comparação, entre outros (SARGENT, 2013).

A última grande fase, chamada de Análise, é iniciada no planejamento, na construção e na análise dos experimentos. Nessa fase é realizada a elaboração de possíveis cenários, além de utilizar planejamento de experimentos (DoE) e testes estatísticos (MONTGOMERY; RUNGER, 2018). Após os experimentos, os cenários são analisados, obtendo-se, assim, as conclusões e as respostas para o problema definido na etapa de Concepção.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ESTUDO DE CASO

O HC atual consiste em 12 unidades de tenda, que são acopladas umas às outras, formando a estrutura do hospital. Estima-se que o HC seja capaz de atender entre 300 e 500 pacientes por dia. Para o atendimento, é necessário atentar para os diferentes tipos de pacientes, os quais podem

permanecer no hospital até 48 horas. Dessa forma, assume-se que os pacientes recebem os primeiros cuidados nas instalações do HC e, assim que possível, são encaminhados a unidades de saúde mais próximas.

Cada paciente que chega ao HC vai direto para a área de Triagem. Lá, os pacientes são avaliados quanto à sua condição inicial e registrados no hospital. Os pacientes são classificados quanto à gravidade dos ferimentos e então encaminhados para áreas específicas. Caso a gravidade do paciente seja considerada baixa, ele é encaminhado à área de pronto atendimento (PA) para cuidados superficiais, após os cuidados ele recebe alta. Caso a gravidade do paciente seja considerada média e houver necessidade de tratamento específico, como sutura, gesso, entre outros, ele é encaminhado à sala de emergência (SE), onde é conduzido para o setor apropriado. Por fim, caso a gravidade do paciente seja alta, ele é direcionado para a área específica de atendimento, que vai depender do tipo de atendimento necessário.

Pacientes com gravidade alta podem ser encaminhados para diversas áreas. Se o paciente estiver sofrendo de um ataque cardíaco ou de outra situação que requeira cuidados e monitoramento imediatos, o paciente será acompanhado para a unidade cardíaca (UC) ou para a enfermaria de cuidados extremos (ECE). Mulheres em trabalho de parto são encaminhadas para a maternidade (MA). Pacientes que necessitam de cuidados cirúrgicos são dirigidos para o setor pré-cirúrgico (PC) e após a cirurgia são conduzidos para o setor pós-operatório (PO) para recuperação. Pacientes que carecem de médicos especializados são encaminhados às enfermarias de cuidados mínimos (ECM) e às enfermarias de cuidados intermediários (ECI). Nesses casos, os pacientes pertencentes à ECM recebem alta após 24 horas, enquanto os pertencentes à ECI recebem alta após 48 horas de observação. Por fim, pacientes que são considerados graves, porém que não se enquadram nos casos descritos são encaminhados à sala de emergência (SE).

Vale ressaltar que todos os pacientes que estiverem nas áreas de atendimento específicas devem estar devidamente registrados. Caso houver inconsistências no registro, a equipe de admissão e alta (AA) é responsável por regularizar tal registro no próprio leito, assim como são realizados os exames laboratoriais. A seguir, são descritos os fluxos de cada área de atendimento específico para os casos de pacientes considerados graves:

- » UC e ECE: o paciente após chegar à UC ou à ECE recebe avaliação inicial feita pelo grupo de enfermeiras, em seguida é submetido à avaliação regular realizada por técnicos de enfermagem até que seja providenciada sua transferência para uma unidade de saúde com mais recursos. Tal transferência é realizada com apoio aéreo em função dos riscos a que o paciente nessa condição está exposto;
- » ECI: o fluxo do paciente nesse caso é semelhante ao fluxo da UC e da ECE, porém, ao fim de 24 horas o paciente é encaminhado para uma unidade de saúde mais próxima, com o auxílio de ambulância;
- » ECM: nesse caso, o fluxo também é semelhante ao fluxo da ECI, porém, ao fim de 48 horas o paciente pode ser encaminhado para uma unidade de saúde mais próxima, com o auxílio de ambulância (15% dos casos), ou recebe alta e retorna para casa (85% dos casos);
- » MA: a mulher em trabalho de parto é encaminhada a um leito disponível, onde será submetida a exames laboratoriais e também será realizado o registro das informações do bebê. Após o tempo de pré-parto, a mulher é encaminhada para a sala de parto e, após o parto, retorna para o leito para se recuperar, enquanto o bebê segue para o berço e aguarda o tempo de recuperação da mãe para ser levado ao encontro dela.
- » PC e Pós-operatório PO: antes da cirurgia, o paciente é submetido a exames laboratoriais e raio-X, então aguarda até o momento da cirurgia na área de PC. Em seguida, o paciente segue para a sala de cirurgia (SC), onde é submetido ao procedimento. No fim do procedimento é direcionado para a área de PO onde fica para se recuperar. Após esse período, ele pode ser encaminhado para as áreas ECM (50,16% dos casos), ECI (37,84% dos casos) e ICU (12% dos casos);
- » SE: o paciente, ao chegar na SE, aguarda em uma sala de espera até que seja realizada avaliação médica do seu estado. Após a avaliação, ele pode ser direcionado para a área de sutura (cerca de 10% dos casos), onde recebe alta após o procedimento. O paciente pode ainda ser direcionado para área de tratamento de mal-estar (55% dos casos) ou para área de tratamento de infecções (20% dos casos), de onde então é direcionado para a ECM. Por fim, o paciente pode ser encaminhado para área de tratamento psicológico (3% dos casos) ou para área de fratura (12% dos casos), onde é conduzido para a ECI.

4.2. CONCEPÇÃO

O estudo teve como objetivo analisar a estrutura de um HC e avaliar a capacidade do desse hospital quanto ao atendimento de pacientes no caso de desastres ambientais. Outras questões a serem resolvidas são: número ideal de funcionários e de equipamentos, leiaute mais adequado e aprimoramento do atendimento de pacientes de acordo com a capacidade de recursos humanos. A construção e documentação do processo pelo qual os pacientes passam (descrito na seção 4.1) foi realizada utilizando o IDEF-SIM (LEAL, 2008; MONTEVECHI et al., 2007). A Figura 1 mostra o modelo conceitual do sistema.

A validação da modelagem conceitual foi feita por meio da validação face a face, em que os especialistas verificam se o modelo de fato condiz com o sistema real. A coleta e a modelagem dos dados foram feitas segundo histórico proveniente de outros desastres naturais ocorridos no continente. Os dados históricos passaram por um tratamento de dados, no qual foram atreladas as melhores distribuições estatísticas.

4.3. IMPLEMENTAÇÃO

O modelo computacional foi construído no *software* FlexSim Healthcare®. Utilizou-se esse pacote em virtude da interface e da facilidade de programação em relação a serviços de saúde. O modelo foi verificado por especialistas.

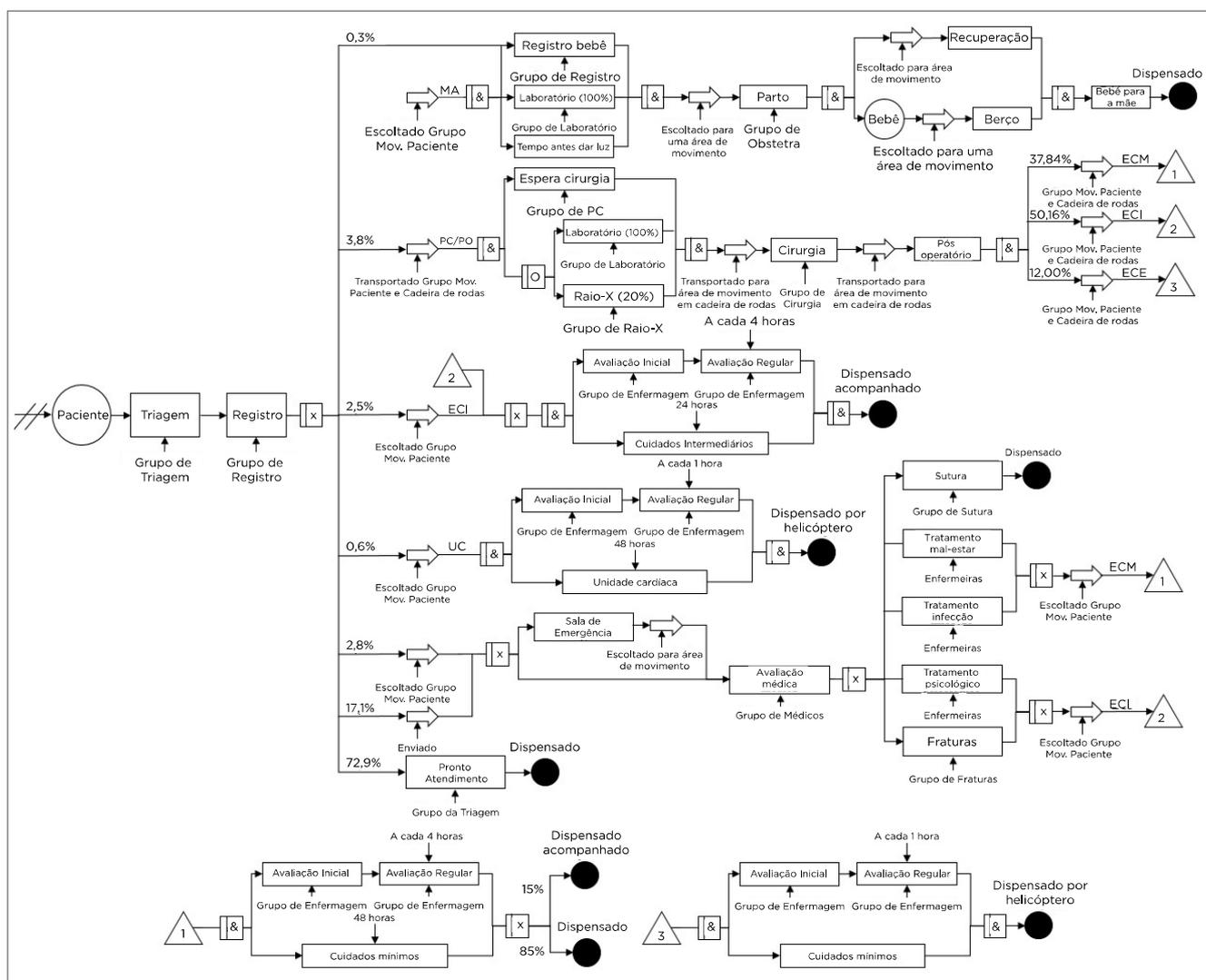


Figura 1. Modelagem conceitual do processo simulado.

Para a validação, o modelo foi simulado e validado por meio de dados históricos. A Figura 2 apresenta a tela do estado atual do modelo computacional.

4.4. ANÁLISE

Após o modelo ser validado e simulado por uma semana, foi possível obter as métricas para as primeiras análises. Dessa forma, pode-se afirmar que o hospital não tem capacidade de atender à demanda prevista. Assim, os resultados obtidos foram:

- » Na média, 2.855 pacientes chegaram no modelo;
- » Na média, 588 (20,6%) pacientes completaram todo o tratamento;
- » Cerca de 2.202 pacientes (77,01%) nem passaram pela triagem;
- » 65 pacientes (2,9%) começaram o tratamento, porém não terminaram.

Depois de algumas execuções, notou-se que os recursos humanos estavam significativamente ociosos, indicando que podem não ser uma característica limitante. O que pode ser dito também para as características do leiaute e para os tempos de transporte. Por outro lado, as áreas ECM, SE e triagem apresentaram-se ocupadas na maior parte do tempo. Além disso, identificou-se que há grande espera para atendimento nas áreas mencionadas.

No entanto, investigando as razões pelas quais os pacientes aguardam por atendimento, notou-se possível relação entre as áreas. Assim, quando totalmente ocupada, a ECM

bloqueia as áreas predecessoras, causando efeito sequencial que retorna à triagem. De fato, o número de leitos (19) de ECM é insuficiente no estado atual. Em média, 67,3 pacientes necessitam desses leitos por dia, e cada paciente permanece no local cerca de 48 horas. Assim, são necessários cerca de 135 leitos para satisfazer a demanda para esse tipo de paciente. No entanto, esse cálculo considera apenas a estimativa média, a qual não inclui a variabilidade do modelo.

4.4.1. Análise e experimentos para locais

Técnicas de DoE foram utilizadas para explorar as variáveis relacionadas ao número de locais (leitos, mesas e cadeiras) em cada área, uma vez que os recursos humanos e o leiaute não foram identificados como as características limitantes. As variáveis escolhidas são apresentadas na Tabela 1.

Os números de locais necessários foram estimados de forma determinística em relação à demanda para cada área usando a Equação 1. Os resultados foram arredondados para o próximo valor inteiro e também são apresentados na Tabela 1.

$$Q_i = \frac{P_i * t_i}{24h} \quad (1)$$

Em que:

Q_i = Número de locais da área i ;

Tabela 1. Variáveis relacionadas aos locais de cada área.

Variáveis	Atual	Necessário
Leitos (ECM)	19	135
Leitos (ECI)	13	28
Leitos (SC)	2	2
Leitos (ECE)	4	2
Leitos (UC)	3	2
Leitos (PC)	8	3
Leitos (SE)	5	2
Cadeiras de espera (SE)	8	16
Leitos para recuperação (MA)	4	1
Leitos para trabalho de parto	1	1
Leitos (Triagem)	23	5
Total	90	197



Figura 2. Tela do modelo computacional: estado atual

P_i = Média diária do número de pacientes que chegam à área i ;

t_i = Moda do tempo (em horas) que o paciente permanece na área i .

Com base nos resultados apresentados na Tabela 1, optou-se por excluir as variáveis de leitos SC, UC e TP do DoE, uma vez que o número ideal necessário para esses locais é semelhante ao do cenário atual. Assim, as variáveis foram redefinidas como mostra a Tabela 2. Os pontos centrais foram definidos de acordo com o número ideal para cada local (Tabela 1). Utilizou-se margem de 20% dos pontos centrais para definir o “nível -” e o “nível +”. Os resultados foram arredondados para baixo e para cima, respectivamente. O número mínimo de locais foi estabelecido como um e eliminou-se a necessidade de recursos humanos nesses experimentos, uma vez que esses recursos se apresentaram ociosos nas primeiras execuções.

Um arranjo fatorial fracionário (fração de 1/8, resolução IV) foi realizado para triagem das variáveis significativas, resultando em 32 experimentos. De acordo com a Figura 1, há sete tipos de pacientes que seguem sete fluxos diferentes. Assim, a quantidade de pacientes atendidos por cada fluxo foi utilizada como parâmetro para o DoE. Após as análises e baseando-se nos gráficos de Pareto gerados para cada DoE, eliminou-se as variáveis B, F e G, posto que elas não foram significativas para o modelo.

Uma superfície de resposta foi definida por meio de do arranjo de experimento de face centrada (CFC), no qual os números de locais apresentam número mínimo, máximo e um ponto central. Utilizando esse arranjo, foi possível

obter 10 pontos centrais e 10 pontos axiais, o que resultou em mais 20 experimentos. Decidiu-se usar essa metodologia para testar os pontos médios de cada fator. A Figura 3 apresenta uma das superfícies analisadas, que corresponde às variáveis de decisão D (leitos PC) e E (leitos SE) e à resposta para o paciente que necessita de cuidados intermediários. Nesse caso, observa-se que há uma curvatura, indicando um ponto ótimo.

Para a otimização, utilizou-se abordagem multiobjetivo usando os metamodelos obtidos no DoE. Esses metamodelos foram aglutinados utilizando-se os critérios globais (RAO, 2009). Os pesos de cada função foram estabelecidos usando o método de polinômios canônicos de mistura (TORRES et al., 2016). Os valores ótimos das variáveis e os resultados da otimização para a simulação de uma semana são apresentados na Tabela 3. Os valores das variáveis B, F e G foram

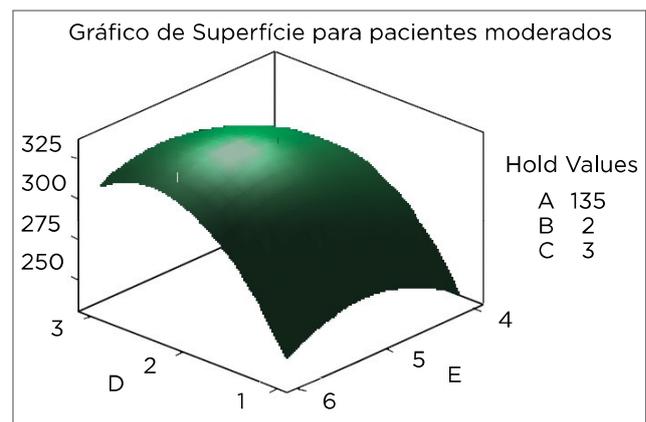


Figura 3. Superfície de resposta.

Tabela 2. Níveis das variáveis do *design* de experimentos (DoE) para os locais.

Variáveis	Descrição	Nível -	Ponto central	Nível +
A	Leitos (ECM)	108	135	162
B	Leitos (ECI)	22	28	34
C	Leitos (ECE)	1	2	3
D	Leitos (PC)	2	3	4
E	Leitos (SE)	1	2	3
F	Cadeiras de espera (SE)	12	16	20
G	Leitos para recuperação (MA)	1	2	3
H	Leitos (Triagem)	4	5	6

definidos como “nível-”, uma vez que não foram considerados significativos após a análise do DoE.

Após a definição do número ideal de locais, os resultados obtidos foram:

- » Na média, 2.855 pacientes chegaram no modelo;
- » Na média, 2.674 (93,7%) pacientes completaram todo o tratamento;
- » Todos os pacientes (100,0%) passaram pela triagem;
- » 181 pacientes (6,3%) começaram o tratamento, porém não terminaram.

Apesar das melhorias observadas após o experimento, nota-se que os pacientes ainda aguardam muito tempo para o atendimento, principalmente nas áreas SC, PC, SE e na triagem. Portanto, optou-se por aumentar o número de locais dessas áreas. Além disso, outros ajustes finais foram feitos, para os quais decidiu-se alterar as variáveis referentes aos leitos de ECI, ECE, MA e UC, conforme a Tabela 4.

4.4.2. Análise e experimentos para recursos

Com base nos resultados obtidos após os ajustes, foram testados os recursos humanos, conforme foram definidos no cenário atual. No entanto, mesmo depois de aumentar o número de locais, os funcionários ainda se encontraram ociosos. Dessa forma, decidiu-se analisar o impacto desses recursos por meio de da redução desses grupos por meio de novas rodadas de simulação. As mudanças foram feitas com base na taxa de ocupação dos recursos. Analisou-se um tipo de recurso por vez, começando pelos mais especializados.

Tabela 3. Valores ótimos para as variáveis de local.

Variáveis	Descrição	Valor Ótimo
A	Leitos (ECM)	152
B	Leitos (ECI)	22
C	Leitos (ECE)	3
D	Leitos (PC)	3
E	Leitos (SE)	2
F	Cadeiras de espera (SE)	12
G	Leitos para recuperação (MA)	1
H	Leitos (Triagem)	5

Após alguns ciclos, as mudanças foram resumidas e são apresentadas na Tabela 5.

Após a definição do número ideal de recursos e o modelo ser novamente simulado por uma semana, pode-se observar:

- » Na média, 2.855 pacientes chegaram no modelo;
- » Na média, 2.673 (93,6%) pacientes completaram todo o tratamento;

Tabela 4. Quantidade de locais no cenário atual e no futuro.

Leitos e cadeiras	Cenários	
	Atual	Futuro
Leitos (triagem)	23	15
Leitos para recuperação (MA)	4	2
Cadeiras de espera (SE)	8	12
Leitos (SE)	5	4
Leitos (PC)	8	5
Leitos (SC)	2	3
Leitos (ECE)	4	4
Leitos (UC)	3	5
Leitos (ECI)	13	33
Leitos (ECM)	19	152
Total	90	236

Tabela 5. Quantidade de recursos humanos no cenário atual e no futuro.

Recursos humanos	Cenários	
	Atual	Futuro
Médicos	5	4
Assistentes	2	2
Enfermeiras	26	15
Técnicos de enfermagem	12	1
Técnicos cirúrgicos	2	2
Técnicos de raio X	2	1
Técnicos de laboratório	3	1
Técnicos de suporte	8	1
Técnicos administrativos	3	3
Total	63	30

- » Todos os pacientes (100,0%) passaram pela triagem;
- » 182 pacientes (6,3%) começaram o tratamento, porém não terminaram.

4.4.3. Experimentos de confirmação

Para confirmar as modificações propostas, o modelo foi simulado 30 vezes por uma semana. De acordo com os dados observados na Tabela 4, o número total de locais aumentou em 162,0%, mas, como mostrado na Tabela 5, o número total de recursos humanos foi reduzido em 52,4%.

De acordo com os resultados da simulação, para os locais é necessário aumento de cadeiras de espera na SE (50,0%) e de leitos na SC (50,0%), na UC (66,7%), na ECI (153,8%) e na ECM (700,0%). Entretanto, para leitos na triagem, na MA, na SE e no PC houve necessidade de redução em 34,8, 50, 20 e 37,5%, respectivamente. Em relação à ECE, não houve necessidade de alterações. Quanto aos recursos humanos, não foram necessárias alterações para assistentes, técnicos cirúrgicos e técnicos administrativos. Para os demais recursos, houve redução de 20,0% para médicos, 42,3% para enfermeiras, 91,6% para técnicos de enfermagem, 50,0% para técnicos de raio X, 66,7% para técnicos de laboratório e 87,5% para técnicos de suporte.

Para a comparação final do estado atual com o estado futuro, além das métricas mencionadas anteriormente, foi incluído o tempo de espera de cada tipo de paciente. A Tabela 6

apresenta os resultados do cenário atual e do cenário futuro, ilustrando que houve redução do tempo de permanência do paciente durante o procedimento (min).

A Figura 4 mostra o leiaute para o estado futuro do HC.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo usar a integração da SED com conceitos enxutos em um ambiente hospitalar. Para isso, o objeto de estudo escolhido foi um hospital de campo, sobre o qual se objetivou analisar a estrutura e



Figura 4. Tela do modelo computacional: estado futuro.

Tabela 6. Saídas para os cenários atual e futuro.

Saídas	Cenários	
	Atual	Futuro
Tempo de permanência mulheres grávidas (MA)	0,2	13,1
Tempo de permanência pacientes cirúrgicos (PO)	5023,6	77
Tempo de permanência pacientes com gravidade mínima (ECM)	2073,4	22,9
Tempo de permanência pacientes cardíacos (UC)	3140,5	12,5
Tempo de permanência pacientes com gravidade alta (ECE)	5019,2	58,3
Tempo de permanência pacientes com gravidade intermediária (ECI)	5525,2	58,2
Tempo de permanência pacientes do pronto atendimento (PA)	2431,2	2,8
Total de pacientes atendidos	588	2673
Total de locais	90	236
Total de recursos humanos	63	30

avaliar a capacidade desse hospital quanto ao atendimento de pacientes no caso de desastres ambientais.

A metodologia para condução de projetos de Simulação de Eventos Discretos definida por Montevechi et al. (2007) foi utilizada no estudo, a qual baseia-se em três grandes fases: Concepção, Implementação e Análise. Na fase de Concepção os objetivos foram definidos, sendo: número ideal de funcionários e de equipamentos; leiaute mais adequado e aprimoramento do atendimento de pacientes de acordo com a capacidade de recursos humanos. O modelo conceitual foi construído utilizando-se a técnica de modelagem IDEF-SIM, e os dados de entradas foram obtidos por meio de dados históricos provenientes de outras situações em que um hospital de campo foi necessário. Na fase de Implementação, o modelo foi simulado no *software* FlexSim Healthcare® e validado também por meio de dados históricos.

Para a fase de Análise, utilizou-se o DoE a fim de verificar as variáveis que mais sofreram influência nos locais em expansão. Experimentos foram utilizados para determinar o número ideal de recursos humanos. Dessa forma, pode-se afirmar que o modelo em seu estado atual não tem capacidade para atender à demanda requerida. Apesar disso, o modelo proposto fornece suporte adequado para essa necessidade, uma vez que melhorou o atendimento à demanda de 20,6% para 93,6%. Todas as questões propostas no objetivo foram respondidas e, utilizando-se os princípios do *Lean*, houve significativa melhora no processo estudado.

Em relação às limitações deste estudo, foram encontradas dificuldades na execução das réplicas em função do esforço computacional requerido. Por essa razão, apenas uma réplica foi executada no modelo de estado atual. Além disso, foi escolhido o tempo de permanência dos pacientes como medida de desempenho do HC, uma vez que é a métrica mais crítica do ponto de vista do paciente. Entretanto ter uma alta saída de pacientes não significa necessariamente que eles estejam sendo tratados adequadamente. Isso porque a chegada de pacientes é irregular e o tempo de espera pode ser alto.

Por fim, para trabalhos futuros, sugere-se testar diferentes leiautes a fim de avaliar o deslocamento dos pacientes, os recursos humanos e os equipamentos. Além disso, sugere-se utilizar o planejamento de experimentos para avaliar e otimizar a quantidade de recursos humanos e avaliar se há influência nas interações desses recursos com as diferentes mudanças a serem realizadas.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais e à FlexSim o apoio dado a esta e a outras pesquisas. Os autores ainda agradecem à SHS/FlexSim Model Building Competition o segundo lugar adquirido com o caso apresentado.

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, n. 6, p. 385-391, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.clon.2017.01.039>
- BALCI, O. How to successfully conduct large-scale modeling and simulation projects. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2011. *Anais [...]*. Phoenix, 2011.
- BANKS, J.; CARSON II, J.S.; NELSON, B.L.; NICOL, D.M. *Discrete-event Simulation*. 5. ed. Nova Jersey: Pearson Prentice-Hall, 2010. 622 p.
- BARIL, C.; GASCON, V.; MILLER, J.; BOUNHOL, C. The importance of considering resource's tasks when modeling healthcare services with discrete-event simulation: An approach using work sampling method. *Journal of Simulation*, v. 11, n. 2, p. 103-114, 2017. <https://doi.org/10.1057/jos.2016.6>
- BERTRANI, T.M. *Lean Healthcare: recommendations for implementations of the concepts of Lean Production in hospital environments*. 166f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- BHAT, S.; GIJO, E.V.; JNANESH, N.A. Application of Lean Six Sigma methodology in the registration process of a hospital. *International Journal of Productivity and Performance Management*, v. 63, n. 5, p. 613-643, 2014. <https://dx.doi.org/10.1108/IJPPM-11-2013-0191>

- 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, n. 4, p. 1065-1079, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.12.034>
- BRAILS福德, 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, n. 3, p. 130-140, 2009. <https://doi.org/10.1057/jos.2009.10>
- CHENG, R.; DRIVE, E.; RABE, M. Simulation: the Past 10 Years and the Next 10 Years. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2016. *Anais [...]*. Washington, D.C., 2016.
- DOGAN, N.O.; UNUTULMAZ, O. Lean production in healthcare: a simulation-based value stream mapping in the physical therapy and rehabilitation department of a public hospital. *Total Quality Management & Business Excellence*, v. 27, n. 1-2, p. 64-80, 2014. <https://doi.org/10.1080/14783363.2014.945312>
- FILSER, L.D.; SILVA, F.F.; OLIVEIRA, O.J. State of research and future research tendencies in lean healthcare: a bibliometric analysis. *Scientometrics*, v. 112, n. 2, p. 799-816, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2409-8>
- GABA, D. The future vision of simulation in health care. *Quality and Safety in Health Care*, v. 13, Supl. 1, p. 2-10, 2004. https://doi.org/10.1136/qhc.13.suppl_1.i2
- GRABAN, M. *Hospitais Lean: melhorando a qualidade, a segurança dos pacientes e o envolvimento dos funcionários*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010. 312 p.
- HADDAD, M.G.; ZOUEN, P.P.; SALEM, J.; OTAYEK, R. Case Study of Lean in Hospital Admissions to Inspire Culture Change. *Engineering Management Journal*, v. 28, n. 4, p. 209-223, 2016. <https://doi.org/10.1080/10429247.2016.1234896>
- HARRELL, C.; GHOSH, B.K.; BOWDEN, R. *Simulation using ProModel*. 3. ed. Nova York: McGraw-Hill Education, 2012. 704 p.
- HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. *Introduction to operations research*. 7. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2001. 976 p.
- HUANG, Y.; KLASSEN, K.J. Using six sigma, lean, and simulation to improve the phlebotomy process. *Quality Management Journal*, v. 23, n. 2, p. 6-21, 2016. <https://doi.org/10.1080/10686967.2016.11918468>
- 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. *Operations Research for Health Care*, v. 15, p. 1-12, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2017.06.003>
- LAW, A. *Simulation modeling and analysis*. 5. ed. Boston: McGraw-Hill Education, 2015. 804 p.
- LEAL, F. *Análise do efeito de falhas em processos de manufatura através de projeto de experimentos simulados*. 237f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Guaratinguetá, 2008.
- MONTEVECHI, J.A.B.; PINHO, A.F.; LEAL, F.; MARINS, F.A.S. Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2007. *Anais [...]*, Washington, D.C., 2007.
- MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. *Applied Statistics and Probability for Engineers*. 7. ed. Hoboken: Wiley, 2018. 976 p.
- OHNO, T. *O Sistema Toyota de Produção: Além da produção em massa*. Porto Alegre: Bookman, 1997. 150 p.
- RAGHAVAN, V.A.; VENKATADRI, V.; KESAVAKUMARAN, V.; WANG S.; KHASAWNEH, M.; SRIHARI, K. Reengineering the Cardiac Catheterization Lab processes: A lean approach. *Journal of Healthcare Engineering*, v. 1, n. 1, p. 45-65, 2010.
- RAO, S.S. *Engineering Optimization: Theory and Practice*. 4. ed. Nova Jersey: John Wiley, 2009. 813 p.
- ROBINSON, S.; RADNOR, Z.J.; BURGESS, N.; WORTHINGTON, C. SimLean: Utilising Simulation in the Implementation of Lean in Healthcare. *European Journal of Operational Research*, v. 219, n. 1, p. 188-197, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.12.029>
- 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, n. 3, p. 275-293, 2016. <https://doi.org/10.1504/IJSOM.2016.10000239>
- SARGENT, R.G. Verification and validation of simulation models. *Journal of Simulation*, v. 7, n. 1, p. 12-24, 2013. <https://doi.org/10.1057/jos.2012.20>
- SWICK, M.; DOULAVERIS, P.; BAGNALL, T.; WOMACK, D. Application of Simulation Technology to Enhance the Role of the Professional Nurse. *The Journal of Nursing Administration*, v. 42, n. 2, p. 95-102, 2012. <https://doi.org/10.1097/NNA.0b013e3182433706>
- TORRES, A.F.; GOMES, J.H.F.; CAMPOS, P.; PAIVA, A.P. Otimização multiobjetivo com identificação de pesos ótimos: aplicação em um processo de torneamento de aço endurecido. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 48., 2016. *Anais [...]*. Vitória, 2016.
- 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. *Operations Research for Health Care*, v. 15, p. 102-122, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2017.10.003>
- WANG, T.; YANG, T.; YANG, C.; CHAN, F.T.S. Lean principles and simulation optimization for emergency department layout design. *Industrial Management and Data Systems*, v. 115, n. 4, p. 678-699, 2015. <https://doi.org/10.1108/IMDS-10-2014-0296>
- YANG, T.; WANG, T.; LI, V.C.; SU, C.L. The Optimization of Total Laboratory Automation by Simulation of a Pull-Strategy. *Journal of Medical Systems*, v. 39, n. 1, p. 162, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10916-014-0162-6>