Heurística de alocação de especialidades em blocos cirúrgicos hospitalares para redução da variabilidade da demanda por leitos pós-operatórios

Rafael Calegari
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Osvaldo Aranha, 99 - Centro Histórico, Porto Alegre - RS, 90035-190
Rafael.calegari@gmail.com

Marcos Gerchman
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Osvaldo Aranha, 99 - Centro Histórico, Porto Alegre - RS, 90035-190
marcos.gerchman@gmail.com>

Flavio Sanson Fogliatto
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Osvaldo Aranha, 99 - Centro Histórico, Porto Alegre - RS, 90035-190
ffogliatto@gmail.com

Michel Anzanello
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Osvaldo Aranha, 99 - Centro Histórico, Porto Alegre - RS, 90035-190
michel.anzanello@gmail.com

Guilherme Luz Tortorella
Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Trindade, Florianópolis - SC
gtortorella@bol.com.br

Bruno Miranda
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Osvaldo Aranha, 99 - Centro Histórico, Porto Alegre - RS, 90035-190
Brmiranda10@gmail.com

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

RESUMO

Picos na demanda por leitos hospitalares levam a interrupções no fornecimento de cuidados de saúde, afetando negativamente a satisfação dos pacientes e das equipes médicas. As duas principais fontes de demanda por leitos são os pacientes oriundos das emergências e dos blocos cirúrgicos. Enquanto a primeira demanda é aleatória por natureza, a segunda pode ser gerenciada através da alocação adequada de especialidades cirúrgicas nas salas de cirurgias durante a semana. Neste artigo, propõe-se uma heurística para determinar a melhor matriz de alocações das especialidades nas salas de cirurgias, tal que a variabilidade da demanda por leitos pós-cirúrgicos seja minimizada. Para isso, usa-se uma heurística baseada em programação inteira. A heurística proposta foi testada no bloco cirúrgico de um hospital universitário de grande porte, localizado no Rio Grande do sul. Foi possível reduzir a variabilidade da demanda por leitos em 90%, suavizando o fluxo de pacientes pós-cirúrgicos para outros setores do hospital.

PALAVRAS CHAVE. Bloco cirúrgico, Alocação de especialidades, Programação inteira.

Gestão em saúde, Programação matemática.

ABSTRACT

Peaks in patients' demand for inward hospitalization usually lead to disruptions in the provision of healthcare, having negative effects on patient and staff satisfaction. The two main sources of ward bed demand are the emergency department and the surgical center. While the former is random by nature, the latter may be managed through proper allocation of surgical specialties to operating room timetable. We propose a heuristic method to determine the best allocation of specialties to timetable slots in surgical centers, such that variance of post-operative inward bed demand is minimized. For that, a heuristic based integer programming is used The proposed heuristic was tested in the surgical center of a large university hospital, located in Rio Grande do sul. It was possible to reduce the variability in demand for beds by 90%, smoothing the flow of post-surgical patients to other areas of the hospital.

KEYWORDS. Surgical Center, Allocation of specialties, Integer programming.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

Introdução

A falta de planejamento do fluxo dos pacientes em hospitais tem impacto direto na satisfação dos pacientes e equipes médicas, acarretando desperdícios de recursos no hospital. Mais importante, a segurança dos pacientes pode ser afetada devido aos atrasos no tratamento [1]. Essa gestão incorreta da demanda pode criar gargalos, o que gera um aumento expressivo na demanda instantânea por leitos. Os hospitais tradicionalmente respondem a esse aumento adicionando recursos - mais funcionários e leitos. No entanto, pesquisas demonstraram que a eficiência na gestão pode ser aprimorada através da racionalização do fluxo de pacientes e da reformulação dos processos de atendimento [2].

Embora seja intuitivo pensar que os picos na demanda por leitos dependam exclusivamente de flutuações naturais na ocorrência de doenças e lesões, isso geralmente não é verdade. Um estudo realizado com dados obtidos em uma unidade de terapia intensiva (UTI) de um hospital de grande porte, mostrou que a alta variabilidade da demanda por leitos pós-cirúrgicos está, principalmente, ligada aos pacientes submetidos a procedimentos cirúrgicos eletivos (programados). A variabilidade da demanda por leitos de UTI foi mais fortemente correlacionada com o número de casos eletivos do que com os casos não eletivos. Durante períodos mais movimentados, quase 70% da variabilidade foi associada aos procedimentos eletivos [3]. Grandes variações na demanda por leitos, resultam na necessidade de equipes médicas maiores, especialmente em áreas de alto fluxo de pacientes, como blocos cirúrgicos [4]. O correto planejamento das cirurgias, afeta fortemente o funcionamento das unidades de cuidados pós-anestésicos, UTI e enfermarias [5].

No entanto, em muitos hospitais as cirurgias eletivas são realizadas conforme solicitado pelos cirurgiões, com privilégios nos agendamentos. Essa prática implica que, quando muitas cirurgias são agendadas para o mesmo dia, é criado um pico artificial na demanda por leitos pós cirúrgicos. Picos e vales artificiais no fluxo de pacientes podem ser analisados e suavizados usando modelos matemáticos, acarretando na melhor utilização dos recursos e na redução de desperdícios [1, 6]. Vários estudos demonstraram que modelos matemáticos são úteis no planejamento dos diversos recursos envolvidos nos blocos cirúrgicos [7-9]. Com o envolvimento de gestores de todas as áreas, grandes hospitais como o Johns Hopkins, Cincinnati Children e a Mayo Clinic, utilizam com sucesso modelos matemáticos para a gestão dos blocos cirúrgicos [10]. Embora a literatura ofereça muitas abordagens que lidam com essas questões, muitos hospitais não as utilizam. Essa dificuldade vem do fato dos modelos não serem facilmente adaptados em outros cenários, como em hospitais de países onde os leitos hospitalares são mais escassos, como é o caso do Brasil [11]. Ao não planejar, os gestores são obrigados a lidar de forma reativa com os problemas causados pelos picos de demanda [5].

Considerando que o planejamento das salas de cirurgias pode aliviar os picos de demanda por recursos, é de extrema importância facilitar o fluxo de pacientes da cirurgia para essas unidades. Este artigo apresenta um método de alocação de especialidades cirúrgicas nos blocos cirúrgicos, que visualiza o impacto das alocações nas demandas por leitos pós-cirúrgicos. O método proposto utiliza Programação Inteira, para otimizar o cronograma de cirurgias (matriz de alocações), minimizando a variabilidade no número de horas de internação demandadas no pós-cirúrgico. Um estudo de caso é realizado no bloco cirúrgico de um hospital universitário de grande porte, localizado no Rio Grande do Sul, ilustrando como o método pode ser utilizado para auxiliar na distribuição das especialidades cirúrgicas no cronograma de cirurgias.

Métodos

Nossas proposições são ilustradas através de um estudo de caso realizado no bloco cirúrgico de um grande hospital universitário público, localizado no Rio Grande do Sul. O hospital está ranqueado entre os melhores do país em sua categoria, oferecendo atendimento de média e alta complexidade por meio do Sistema Único de Saúde (SUS). O bloco cirúrgico é composto por 11 salas, atribuíveis a 15 especialidades cirúrgicas. A maioria das especialidades opera semanalmente, mas algumas funcionam quinzenalmente. Portanto, são necessárias duas semanas

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o Galoá proceedings

(10 dias úteis) para que todas as especialidades sejam alocadas nas salas cirúrgicas. As cirurgias ocorrem diariamente em três turnos de 6 horas (manhã, tarde e noite), de segunda a sexta-feira. Considerando 11 salas cirúrgicas na unidade, um total de 33 slots de horário estão disponíveis todos os dias para a alocação de especialidades. Cada intervalo de tempo atribuído à especialidade cirúrgica i requer um total de t_i horas de internação pós-cirúrgica, ou seja, demanda t_i horas em leito pós-cirúrgico.

Nesta seção, apresenta-se o método utilizado para otimizar o cronograma de cirurgias, que foi designado por matriz de alocações. A otimização busca minimizar a variabilidade nas horas de internação pós-cirúrgicas exigidas pelo bloco cirúrgico diariamente, em um horizonte de 10 dias. O método foi realizado em quatro etapas: (i) determinação da duração média dos procedimentos cirúrgicos e do número médio de horas hospitalares pós-cirúrgicas, necessárias para cada especialidade cirúrgica; (ii) alocação primária de especialidades; (iii) alocação secundária de especialidades; e (iv) determinação da melhor solução para gerar a matriz de alocações do bloco cirúrgico.

Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética do Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA) sob o número de projeto CAAE 33705014.8.0000.5327, e os autores cumpriram as recomendações da Declaração de Helsinque. Os dados utilizados no método foram extraídos do sistema de gestão do hospital; dados pessoais de pacientes foram omitidos.

Passo 1

A definição da alocação das especialidades cirúrgicas em cada slot de horário depende da duração média dos procedimentos da especialidade (indicada por d_i). Nesta etapa, minerou-se um banco de dados de cirurgias realizadas por cada especialidade nos últimos 5 anos. O número de registros n_i usado para estimar d_i para cada especialidade i $(i = 1, \dots, 16)$ é apresentado na Tabela 1. A partir do mesmo banco de dados, calculou-se o número médio de horas de internação no período pós-cirúrgico (indicadas por h_i) exigidas por cada especialidade. A estatística h_i é uma média ponderada, que considerou o número médio de horas de internação demandadas por cada tipo de procedimento dentro da especialidade i e sua frequência de ocorrência no banco de dados.

As informações acima foram combinadas para gerar a estatística t_i, que fornece o número médio de horas de internação no pós-cirúrgico resultante da alocação da especialidade i a qualquer intervalo de tempo de 6 horas (slot). Observe que t_i é obtido multiplicando o número médio de procedimentos que podem ser executados pela especialidade i em um intervalo de tempo (que é uma função de d_i), pelo número médio de horas pós-operatórias de internação hospitalar resultantes (dado por h_i). Os valores de t_i (em horas) são apresentados na Tabela 1. Três observações devem ser feitas com relação às informações na tabela. Primeiro, 86 slots estão vazios, principalmente no turno da noite; ou seja, embora disponíveis, atualmente não são ocupados por nenhuma especialidade. Eles correspondem à especialidade *Indefinida* na Tabela 1 e receberam um valor de $t_i = 0$. Segundo, apesar de ser um hospital público, o HCPA pode alugar 48 de seus horários cirúrgicos a convênios privados, para cirurgias de qualquer especialidade. Eles correspondem à especialidade *Privada* (PRI) na Tabela 1, com o valor correspondente de t_i calculado determinando a porcentagem de demanda histórica por quartos de cada especialidade. Terceiro, não se teve acesso a informação de n_i para a especialidade Privada, razão pela qual o dado aparece como não disponível (ND) na Tabela 1.

Passo 2

Nesta etapa ocorre a alocação primária de especialidades aos slots. O cronograma do bloco cirúrgico em análise pode ser representado por uma matriz composta por 33 linhas (representando 11 salas de cirurgia que operam três turnos por dia) e 10 colunas (representando os 10 dias úteis necessários para que cada especialidade seja alocada pelo menos uma vez no cronograma). O cronograma foi designado por matriz de alocações. Cada célula da matriz de alocações foi denominada *slot*, representando um intervalo de tempo de 6 horas. Dessa forma, há 330 slots disponíveis. Qualquer matriz resultante da aplicação do método deve respeitar a demanda atual por horários apresentados por cada especialidade.

Considere a especialidade i e sua demanda atual por slots, representada por s_i. Os valores de s_i variam de 2 (Oral e Maxilofacial) a 86 (Indefinida), conforme apresentado na Tabela 1. Para executar a alocação primária, deve-se identificar as especialidades para as quais a operação $s_i/10$ produz um número maior ou igual a 1, que será arredondado para o menor número inteiro mais próximo. Os resultados, indicados por s_i^*, também são apresentados na Tabela 1. A última coluna na Tabela 1 fornece os valores de $e_i = s_i - (s_i^* \times 10)$. Por exemplo, quando $i = 1$ (cirurgia Pediátrica) o resultado de $s_1/10$ é 1,2 e os valores correspondentes de s_1^* e e_1 são 1 e 2, respectivamente; quando $i = 12$ (cirurgia de Ginecologia/Obstetrícia), o resultado de $s_{12}/10$ é 1,8, com os valores correspondentes de s_{12}^* e e_{12} dados por 1 e 8.

Sempre que $s_i^* > 0$, é possível atribuir a especialidade i a s_i^* linhas inteiras de slots na matriz. Esta é uma situação desejável, como explicado a seguir. Cada coluna da matriz corresponde a um dia da semana, com 33 slots disponíveis para a alocação das especialidades. Depois que as especialidades são alocadas a uma determinada coluna, é possível calcular a soma dos valores correspondentes de t_i, que informarão o número total de horas pós-cirúrgicas de internação necessárias para esse dia. A melhor alocação das especialidades nos slots é aquela que minimiza a variância das somas dos valores de t_i calculados para cada dia da semana. A alocação de uma determinada especialidade a uma ou mais linhas inteiras de slots na matriz contribui para minimizar essa variância.

A soma dos valores na coluna s_i^* da Tabela 1 é 26. Portanto, das 33 linhas disponíveis no horário, 26 serão atribuídas a especialidades únicas. Por exemplo, os 10 slots na primeira linha serão atribuídos à Pediatria, os 10 slots na segunda linha serão atribuídos à Neurologia, os 20 slots na terceira e quarta linhas serão atribuídos as cirurgias do Sistema Digestivo e assim por diante.

Após a alocação primária de especialidades aos slots, ainda haverá especialidades não alocadas, cuja alocação ocorrerá na Etapa 3. No exemplo acima, somente 10 dos 12 slots exigidos pela Pediatria foram atendidos na Etapa 2. Além disso, analisando a coluna s_i^* na Tabela 1, também se observa que as especialidades 2, 7, 14 e 15, para as quais $s_i^* = 0$, não foram alocadas em nenhum slot nessa etapa.

Passo 3

Esta etapa consiste em determinar a melhor alocação para as especialidades não contempladas na Etapa 2. Para uma determinada especialidade i, haverá e_i intervalos de tempo não atendidos a serem atribuídos nos 70 (7 linhas × 10 colunas) slots restantes. O objetivo é encontrar a distribuição das especialidades que minimize a variância das somas das colunas na matriz. A abordagem computacional mais direta para isso seria através da enumeração completa de possíveis combinações. No entanto, essa abordagem só é viável para pequenos blocos cirúrgicos, com um número pequeno de possíveis combinações, diferente do caso aqui analisado.

Propõe-se uma heurística para encontrar a melhor alocação secundária inspirada em um algoritmo conhecido como *bin packing* [12]. Inicia-se calculando o número ideal de horas pós-cirúrgicas de leito hospitalar (O^*) a serem adicionadas a cada coluna da matriz de alocações resultante da Etapa 2. Considerando as informações da Tabela 1, $O^* = (\sum_{i=1}^{16} e_i \times t_i)/10 =$ 2.608,5 horas. Ordenam-se todas as especialidades cirúrgicas de acordo com seus valores de t_i, do maior para o menor. Observe que a lista de especialidades na Tabela 1 já reflete esse ordenamento. Em seguida, atribuem-se os slots restantes demandados pela especialidade com o maior t_i ao primeiro slot disponível na matriz alocações, iniciando de cima para baixo, da esquerda para a direita. Na sequência, repete-se o procedimento considerando a próxima especialidade com o maior valor de t_i e assim por diante, monitorando a soma resultante de horas de leito pós-cirúrgico em cada coluna. Quando todas as somas nas colunas estiverem no intervalo $[O^* - x\%; O^* + x\%]$, testam-se alocações de especialidades em busca de uma distribuição final de especialidades na qual as somas das colunas convirjam para O^*. O valor de x é normalmente definido e depende dos valores de t_i considerados; nosso presente estudo, x foi definido como 5

Passo 4

Uma vez determinada a matriz de alocações, melhorias ainda podem ser realizadas. Dada a função objetivo de minimizar a variância nos valores totais de t_i nas colunas da matriz, algumas permutações nas alocações de especialidades a slots não afetam o valor final da função objetivo. Mais especificamente: (i) as linhas da matriz da Etapa 1 são intercambiáveis; (ii) alocações aos slots em uma coluna são intercambiáveis (se não alterarem a estrutura das linhas da Etapa 1); e (iii) colunas inteiras da matriz são intercambiáveis. Essas características permitem ajustar o cronograma proposto para que se pareça com o cronograma atualmente em uso no hospital, minimizando o efeito de alterações nos horários semanais das especialidades.

Resultados

A configuração atual da matriz de alocações das especialidades cirúrgicas em análise é apresentada na Tabela 2. Alguns pontos merecem destaque. Primeiro, algumas especialidades são sistematicamente atribuídas a salas específicas, denotando preferências. São os casos de Otorrino (sala #7) e Ginecologia/Obstetrícia (sala #3). Outras, como Ortopedia e Urologia, são designadas a várias salas. Segundo, observa-se uma subutilização da sala #2. Esta sala está equipada para cirurgia robótica, atendendo a demandas de cinco especialidades (Sistema Digestivo, Urologia, Particular, Geral e Ginecologia/Obstetrícia), que requerem um total de 12 vagas quinzenais. Por fim, observa-se que as salas #9 e #15 são alocadas exclusivamente a cirurgias urgentes e cardíacas, respectivamente, não sendo consideradas na análise.

A matriz atualmente utilizada pelo hospital apresenta uma demanda média diária por leitos pós-cirúrgicos de 11.170 horas, com desvio padrão de 1.049,7 horas. As demandas mínimas e máximas para leitos hospitalares são 8.896 horas (quinta-feira – semana 1) e 12.382 horas (segunda-feira – semanas 1 e 2). A diferença entre o maior e o menor valor é de 3.486 horas (o que corresponde a 18,2% das 19.200 horas diárias disponíveis no hospital) e o coeficiente de variação é de 9,4%.

A Tabela 3 apresenta os resultados da aplicação do método proposto de alocação de especialidades cirúrgicas. A nova matriz de alocações respeitou as demandas anteriores por slots em cada especialidade, dadas na Tabela 2. As preferências também foram respeitadas; por exemplo, as salas #7 e #3 foram atribuídas às especialidades Otorrino e Ginecologia/Obstetrícia, respectivamente. Também foi mantido o mesmo número de alocações na sala #2 (reservada para cirurgias de robótica) em cada especialidade que exigia esta sala.

A nova matriz alocações de cirurgias gera uma demanda média diária por leitos pós-cirúrgicos de 11.217 horas, com desvio padrão de 101 horas. Os valores médios em cada tabela são essencialmente os mesmos, mas o desvio padrão caiu 90% em relação a matriz de alocações atualmente utilizada pelo hospital. As demandas mínimas e máximas de leitos refletem essa diminuição na variabilidade: são 11.070 horas (quinta e sexta-feira – semana 2) e 11.347 horas (segunda e terça-feira – semana 1). A diferença entre o menor e o maior valor é de 277 horas (1,4% do total de horas diárias disponíveis no hospital) e o coeficiente de variação caiu para 0,9%.

Discussão

Este é o primeiro estudo a propor um método para alocação de especialidades cirúrgicas, que visa reduzir a variabilidade da ocupação dos leitos hospitalares. O método proposto resultou em valores médios semelhantes em cada tabela, mas o desvio padrão caiu 90% em relação a matriz de alocações atualmente utilizada pelo hospital, resultando em demanda diária mais uniforme por leitos.

Avaliando a configuração atualmente utilizada da matriz, foram observadas preferências de algumas especialidades por salas, além de subutilização de outras salas. Frequentemente, o planejamento dessas alocações é baseado no histórico de utilização: as especialidades que mais utilizam as salas recebem privilégios nas escolhas por horários, ou seja, cirurgiões são tratados

como clientes e os melhores clientes recebem vantagens [14]. No entanto, a literatura é clara que o histórico de utilização não deveria ser usado para planejar futuras matrizes de alocação [15, 16]. Além da equidade entre cirurgiões, a minimização dos custos hospitalares, do número funcionários e o nivelamento na utilização dos leitos são os critérios mais importantes e que devem ser abordados [17].

Além disso, observam-se, no atual cenário do hospital, altos valores médios (e desvio padrão) de demanda diária por leitos pós-cirúrgicos. Provavelmente, isso resulta de uma alocação incorreta das especialidades cirúrgicas na matriz de alocações. Reduzir a variabilidade é prioritário, pois pode melhorar muito a eficiência dos serviços prestados [6]. Sabe-se que o que acontece nos blocos cirúrgicos influencia diretamente a demanda por recursos em todo o resto do hospital. Por exemplo, após uma cirurgia, o paciente frequentemente ocupa um leito e requer assistência médica, de enfermagem e farmacêutica, além de utilizar insumos e equipamentos. Consequentemente, os padrões de demanda desses recursos dependem do agendamento das salas de cirurgia [9]. Se certos recursos demandados são limitados, e este é o exemplo clássico de leitos hospitalares em países em desenvolvimento, a alocação das especialidades deve ser planejada tal que cirurgiões que usem esses recursos operem em diferentes dias da semana [14]. Os slots destinados para cada especialidade devem ser planejados para distribuir a carga de trabalho uniformemente entre os dias da semana: um exemplo disso pode ser visto no estudo realizado por Kolker [18], que identificou uma melhor distribuição das internações nas UTIs, no período pós-cirúrgico, após um reajuste nas alocações das especialidades cirúrgicas nas salas de cirurgias.

O método proposto nesse artigo permite visualizar o impacto das alterações nas alocações de especialidades cirúrgicas na demanda por leitos pós-cirúrgicos. Verificou-se que a melhor distribuição das especialidades cirúrgicas durante a semana é aquela que minimiza a variabilidade na demanda por leitos. Outros autores descreveram métodos para reduzir variabilidade em instituições de saúde [6] e otimizar a agenda do bloco cirúrgico [9, 19]. Duas abordagens foram usadas por van Essen et al [19]: uma incorporou a formulação analítica da distribuição de probabilidade da ocupação dos leitos e a outra aproxima o número necessário de leitos pela demanda esperada. Por outro lado, Belien et al [9] se concentraram em minimizar a escassez total esperada de leitos, em vez de minimizar o número de leitos necessários. Como é evidenciado por esses artigos e outros, o problema de planejamento e programação de um bloco cirúrgico é uma tarefa complexa. Essa complexidade pode ser gerenciada através da definição de três níveis hierárquicos de decisão (estratégico, tático e operacional), conforme sugerido por Guerriero et al [17] e Testi et al [20], e expandido por Doebbeling et al [21]. Os modelos de simulação resultantes desses artigos permitiram melhorias organizacionais nos blocos cirúrgicos, mas a utilização dos recursos e possíveis reduções na variabilidade da demanda por esses recursos não foram descritas nos estudos.

Em oposição à literatura discutida acima, na proposição aqui apresentada, a otimização da matriz de alocações faz parte de um planejamento mais amplo, de nível tático. Este nível de planejamento trabalha com o problema de atribuir especialidades cirúrgicas nos slots da matriz de alocações. O sequenciamento de cirurgias nos slots é realizado no planejamento operacional. A literatura dedicada à otimização de salas cirúrgicas concentra-se no sequenciamento de procedimentos, usando heurísticas de simulação ou programação inteira, e geralmente são restritas a um subgrupo de especialidades; por exemplo [20]. Lidar com a otimização de salas cirúrgicas em um nível agregado é uma contribuição original deste artigo.

Uma limitação dos resultados aqui apresentados é que o modelo não foi testado e avaliado na prática. Não houve uma implementação real da heurística. De fato, é necessário um grande esforço para mudar a prática usual nas instituições de saúde. Não está claro para os profissionais de saúde o impacto que reformulações gerenciais nos blocos cirúrgicos podem gerar na satisfação dos pacientes, que é sua preocupação usual. Isso é uma questão importante para futuras pesquisas: como incentivar as unidades, seus gerentes e funcionários a implementar práticas que melhorem a utilização de recursos.

Concluiu-se que a heurística pode contribuir fortemente para a gestão de blocos cirúrgicos, construindo um cronograma de cirurgias que minimiza significativamente os picos na demanda por leitos pós-cirúrgicos. A heurística independe do número de salas de cirurgias, o que torna o modelo aplicável em todos os tipos de hospitais e blocos cirúrgicos.

Referências

1. Ryckman FC, Adler E, Amy MD, et al. Cincinnati Children's Hospital Medical Center: Redesigning Perioperative Flow Using Operations Management Tools to improve Access and Safety. Managing Patient Flow in Hospitals: Strategies and Solutions. Edited by Eugene Litvak, 2010. Second edition (Chapter 6): p. 97-112.
2. Litvak E, Bisognano M. More patients, less payment: increasing hospital efficiency in the aftermath of health reform. Health Aff (Millwood), 2011. 30(1): p. 76-80.
3. McManus ML, Long MC, Cooper A, et al. Variability in surgical caseload and access to intensive care services. Anesthesiology, 2003. 98(6): p. 1491-6.
4. Rudolph ME. The Problem of Patient Flow. Managing Patient Flow in Hospitals: Strategies and Solutions. Edited by Eugene Litvak, 2010. Second edition (Chapter 1): p. 3-14.
5. Cardoen B, Demeulemeester E, Van der Hoeven J. On the use of planning models in the operating theatre: results of a survey in Flanders. Int J Health Plann Manage, 2010. 25(4): p. 400-14.
6. Harrison GW, Shafer A, Mackay M. Modelling variability in hospital bed occupancy. Health Care Manag Sci, 2005. 8(4): p. 325-34.
7. Paoletti X, Marty J. Consequences of running more operating theatres than anaesthetists to staff them: a stochastic simulation study. Br J Anaesth, 2007. 98(4): p. 462-9.
8. Segev D, Levi R, Dunn PF, et al. Modeling the impact of changing patient transportation systems on peri-operative process performance in a large hospital: insights from a computer simulation study. Health Care Manag Sci, 2012. 15(2): p. 155-69.
9. Belien J, Demeulemeester, E, Cardoen B. Visualizing the demand for various resources as a function of the master surgery schedule: a case study. J Med Syst, 2006. 30(5): p. 343-50.
10. Litvak E, Fineberg HV. Smoothing the way to high quality, safety, and economy. N Engl J Med, 2013. 369(17): p. 1581-3.
11. União, T.d.C.d. Relatório Sisitêmico de Fiscalização da Saúde. FICSAÚDE, 2013.
12. Johnson DS. Near-Optimal Bin Packing Algorithms. Doctoral thesis, MIT, Cambridge, Mass., 1973.
13. Pandit JJ, Tavare A. Using mean duration and variation of procedure times to plan a list of surgical operations to fit into the scheduled list time. Eur J Anaesthesiol, 2011. 28(7): p. 493-501.
14. Wachtel RE, Dexter F. Tactical increases in operating room block time for capacity planning should not be based on utilization. Anesth Analg, 2008. 106(1): p. 215-226.
15. Blake JT, Dexter F, Donald J. Operating room managers' use of integer programming for assigning block time to surgical groups: a case study. Anesth Analg, 2002. 94(1): p. 143-148.
16. Dexter F, Macario A, Traub RD, et al. An operating room scheduling strategy to maximize the use of operating room block time: computer simulation of patient scheduling and survey of patients' preferences for surgical waiting time. Anesth Analg, 1999. 89(1): p. 7-20.
17. Guerriero F, Guido R. Operational research in the management of the operating theatre: a survey. Health Care Manag Sci, 2011. 14(1): p. 89-114.

18. Kolker A. Process modeling of ICU patient flow: effect of daily load leveling of elective surgeries on ICU diversion. J Med Syst, 2009. 33(1): p. 27-40.
19. van Essen, JT, Hurink, JL, Hartholt W. Decision support system for the operating room rescheduling problem. Health Care Manag Sci, 2012. 15(4): p. 355-72.
20. Testi A, Tanfani E, Torre G. A three-phase approach for operating theatre schedules. Health Care Manag Sci, 2007. 10(2): p. 163-72.
21. Doebbeling BN, Burton MM, Wiebke EA, et al. Optimizing perioperative decision making: improved information for clinical workflow planning. AMIA Annu Symp Proc, 2012. 2012: p. 154-63.

Tabela 1. Lista de especialidades cirúrgicas e informações relevantes associadas

Especialidade, i		n_i	t_i	s_i	s_i^*	e_i
1. Pediatria	PED	2963	1403.36	12	1	2
2. Colorretal	CRT	2516	651.46	8	0	8
3. Neurologia	NEU	2392	637.57	10	1	0
4. Sistema Digestivo	DIG	9930	528.73	23	2	3
5. Urologia	URO	11136	526.64	25	2	5
6. Vascular	VAS	3435	525.74	12	1	2
7. Plástica	PLA	1663	493.35	8	0	8
8. Torácica	THO	3213	458.63	10	1	0
9. Privado	PRI	ND	419.84	48	4	8
10. Geral	GEN	9294	377.37	22	2	2
11. Ortopedia e Traumatologia	ORT	6468	312.08	22	2	2
12. Ginecologia e Obstetrícia	OBG	5398	210.51	18	1	8
13. Otorrino	OTR	5652	204.33	18	1	8
14. Oral e Maxilofacial	OMF	278	178.84	2	0	2
15. Mastologia	MAS	2034	72.57	6	0	6
16. Indefinido	Und	0	0	86	8	6

i: especialidade cirúrgica
n_i: número de registros por especialidade cirúrgica
t_i: média da duração das cirurgias por especialidades
s_i: atual demanda por slots
s_i^*: $s_i/10$ arredondado para o menor inteiro mais próximo
e_i: $s_i - (s_i^* \times 10)$.

Tabela 2. Matriz de alocações atualmente utilizada pelo hospital

		Semana 1					Semana 2				
Sala	**Turno**	**Seg**	**Ter**	**Qua**	**Qui**	**Sex**	**Seg**	**Ter**	**Qua**	**Qui**	**Sex**
	M	PRI	PLA	THO	OMF	PLA	PRI	PLA	THO	GEN	PLA
1	*T*	PRI	PLA	THO	OMF	PLA	PRI	PLA	THO	GEN	PLA
	N	PRI					PRI				
	M	GEN	DIG		OBG	URO	GEN	DIG		OBG	URO
2	*T*	PRI	PRI				PRI	PRI			
	N										
	M	OBG	OBG	MAS	OBG	OBG	OBG	OBG	MAS	OBG	OBG
3	*T*	OBG	OBG	MAS	OBG	OBG	OBG	OBG	MAS	OBG	OBG
	N										
	M	VAS	ORT	ORT	ORT	NEU	VAS	ORT	ORT	ORT	NEU
4	*T*	ORT	ORT	ORT	ORT	NEU	ORT	ORT	ORT	ORT	NEU
	N	PRI	ORT				PRI	ORT			
	M	DIG	DIG	DIG	GEN	PRI	DIG	DIG	DIG	GEN	PRI
5	*T*	DIG	DIG	GEN	GEN	PRI	DIG	DIG	GEN	GEN	PRI
	N					PRI					PRI
	M	PED	PRI	PED	VAS	PED	PED	PRI	URO	VAS	PED
6	*T*	PED	PRI	PED	DIG	PRI	PED	PRI	PED	PED	PRI
	N		PRI	PED				PRI	PED		
	M	OTR	GEN	OTR	OTR	OTR	OTR	GEN	OTR	OTR	OTR
7	*T*	OTR	OTR	OTR	OTR	OTR	OTR	OTR	OTR	OTR	OTR
	N										
	M	URO	URO	PRI	URO	URO	URO	URO	PRI	URO	URO
8	*T*	URO	URO	PRI	PRI	URO	URO	URO	PRI	PRI	URO
	N	URO		PRI	PRI		URO		PRI	PRI	
	M	ORT	VAS	DIG	GEN	URO	ORT	VAS	DIG	GEN	URO
10	*T*	VAS	ORT	DIG	GEN	URO	VAS	ORT	DIG	GEN	URO
	N	URO	PRI		DIG		URO	PRI		DIG	
	M	CRT	DIG	CRT	CRT	THO	CRT	DIG	CRT	CRT	THO
11	*T*	MAS	DIG	THO	CRT	THO	MAS	DIG	THO	CRT	THO
	N										
	M	GEN	GEN	NEU	ORT	VAS	GEN	GEN	NEU	ORT	VAS
13	*T*	GEN	NEU	PRI	PRI	VAS	GEN	NEU	PRI	PRI	VAS
	N		NEU	PRI	PRI	PRI		NEU	PRI	PRI	PRI

Tabela 3. Matriz de alocações proposta

		Semana 1					Semana 2				
Sala	**Turno**	**Seg**	**Ter**	**Sala**	**Turno**	**Seg**	**Ter**	**Sala**	**Turno**	**Seg**	**Ter**
	M	PLA	PLA	PLA	PLA	PRI	PLA	PLA	PLA	PLA	PRI
1	*T*	THO	THO	THO	THO	THO	THO	THO	THO	THO	THO
	N										
	M	GEN			URO	OBG	GEN			URO	OBG
2	*T*	DIG			PRI	PRI	DIG			PRI	PRI
	N										
	M	GEN	OBG	OBG	OBG	OBG	GEN	OBG	OBG	OBG	OBG
3	*T*	OBG	OBG	OBG	OBG	GEN	OBG	OBG	OBG	OBG	GEN
	N		PRI	PRI	PRI	PRI		PRI	PRI	PRI	PRI
	M	ORT	ORT	ORT	ORT	ORT	ORT	ORT	ORT	ORT	ORT
4	*T*	ORT	ORT	ORT	ORT	ORT	ORT	ORT	ORT	ORT	ORT
	N		PRI	PRI	PRI	PRI		PRI	PRI	PRI	PRI
	M	DIG	DIG	DIG	DIG	DIG	DIG	DIG	DIG	DIG	DIG
5	*T*	DIG	DIG	DIG	DIG	DIG	DIG	DIG	DIG	DIG	DIG
	N		PRI	PRI				PRI	PRI		
	M	PED	PED	PED	PED	PED	PED	PED	PED	PED	PED
6	*T*	PED	GEN	GEN	GEN	GEN	PED	GEN	GEN	GEN	GEN
	N										
	M	OTR	OTR	OTR	OTR	OTR	OTR	OTR	OTR	OTR	OTR
7	*T*	PRI	OTR	OTR	OTR	OTR	PRI	OTR	OTR	OTR	OTR
	N										
	M	URO	URO	URO	URO	URO	URO	URO	URO	URO	URO
8	*T*	URO	URO	URO	URO	URO	URO	URO	URO	URO	URO
	N										
	M	PRI	CRT	CRT	CRT	CRT	PRI	CRT	CRT	CRT	CRT
10	*T*	PRI	GEN	GEN	GEN	GEN	PRI	GEN	GEN	GEN	GEN
	N		PRI	PRI				PRI	PRI		
	M	ORT	MAS	OMF	MAS	MAS	ORT	MAS	OMF	MAS	MAS
11	*T*	PRI	URO	DIG	PRI	PRI	PRI	URO	URO	PRI	PRI
	N										
	M	NEU	NEU	NEU	NEU	NEU	NEU	NEU	NEU	NEU	NEU
13	*T*	VAS	VAS	VAS	VAS	VAS	VAS	VAS	VAS	VAS	VAS
	N		PRI	PRI	PRI	VAS		PRI	PRI	PRI	VAS