

Análise de Pesos no Problema Multi-Objetivo de Alocação de Anestesistas no Centro Cirúrgico

Adriana Alves Fressato (UFPR) adriana.afres@gmail.com
Gustavo Valentim Loch (UFPR) gustavo.gvalentim@gmail.com
José Eduardo Pécora Junior (UFPR) pecora@ufpr.br
Alisson Segatto de Souza (UFPR) segatto.souza@gmail.com

Resumo:

O Hospital das Clínicas da Universidade Federal do Paraná é o mais importante centro médico do Estado, não apenas atendendo milhares de pessoas anualmente, mas também treinando e capacitando centenas de profissionais da área da saúde. Os anestesiologistas são personagens importantes no setor cirúrgico, sendo os responsáveis por preparar e monitorar os pacientes durante e após as cirurgias, e uma boa organização e preparo deste pessoal reflete diretamente na qualidade de atendimento do hospital. Neste trabalho propomos um modelo de programação linear multi-objetivo para fazer a melhor alocação dos anestesiologistas, garantindo que o maior número possíveis de cirurgias possam ser atendidas ao mesmo tempo que garantimos boas condições de trabalho aos médicos envolvidos. Também é realizada uma análise dos pesos na função objetivo utilizando o Método de Arranjos Ortogonais propostos por Taguchi.

Palavras chave: Anestesistas, Timetabling, Arranjos Ortogonais.

Analysis of Weights in the Multiobjective Problem of Allocation of Anesthesiologists in the Surgical Center

Abstract

The Hospital das Clínicas of the Federal University of Paraná is the most important medical center in the State, not only serving thousands of people annually, but also training hundreds of health professionals yearly. Anesthesiologists are important personages in the surgical field, being responsible for preparing and monitoring patients during and after surgeries, and a good organization and preparation of these personnel reflects directly on the quality of hospital care. In this work we propose a multi objective linear programming model to make the best allocation of anesthesiologists, ensuring that as many surgeries as possible can be met while ensuring good working conditions for the physicians involved. An analysis is made using the Orthogonal Arrangements Method proposed by Taguchi to define the best weights to be used in the Model.

Key-words: Anesthetists, Timetabling, Orthogonal Array.

1. Introdução

O hospital das Clínicas da Universidade Federal do Paraná (HC) é o mais importante do estado, atendendo milhares de pessoas todos os meses. Ele nasceu da necessidade da universidade de ter um local para o treinamento de seus alunos de medicina e do Estado para ter um hospital que atendesse a população. Pelo seu volume de pacientes e pelas especialidades que disponibiliza, algumas delas pioneiras no Brasil, é um dos maiores hospitais didático-pedagógicos do país.

Os anestesistas são médicos de extrema importância em todos os procedimentos cirúrgicos. Seu trabalho se inicia ainda no ambulatório com uma entrevista com os pacientes, e os acompanham por todos os procedimentos desde exames, cirurgias e na recuperação do paciente no pós-operatório. O HC conta com o apoio de 57 anestesistas que atuam em 27 diferentes procedimentos.

A grade horária de trabalho destes anestesistas é realizada manualmente, com 48 horas de antecedência por um médico responsável, que utiliza unicamente seu conhecimento empírico na tomada de decisão. Devido à grande importância destes profissionais, a má utilização de sua mão de obra ou até a falta de anestesistas prejudica muito as operações do hospital, causando o cancelamento de cirurgias já agendadas, além de grandes prejuízos principalmente para os pacientes.

Neste trabalho iremos apresentar um modelo de alocação para os anestesistas do HC e realizar um estudo sobre os seus sete parâmetros usando o Método de Arranjos Ortogonais de Taguchi para decidir quais os possíveis valores que estes podem assumir para representar da melhor forma possível o dia a dia do hospital.

2. Revisão de Literatura

O problema de alocação de pessoas é comum em todas as áreas da literatura, inclusive no setor de saúde, sendo utilizados para a designação de médicos, enfermeiras, pacientes e materiais cirúrgicos. Nesta seção apresentamos alguns trabalhos usados como base para construção do modelo proposto.

Pécora Jr (2002) realizou a alocação de médicos em salas de emergência para o hospital Judeu de Montreal, no Canadá. O autor apresenta um modelo e um método de resolução híbrido combinando as meta-heurísticas Algoritmo Genético e Busca Tabu. O modelo é acíclico e engloba férias, folgas e as preferências de cada médico relacionadas aos turnos de trabalho. O autor também mostra preocupação com o ritmo circadiano, responsável pelo ritmo biológico humano, principal afetado por excesso de trabalho noturno. O método híbrido foi capaz de garantir que todas as restrições contratuais dos médicos fossem respeitadas, mostrando que é uma ótima ferramenta para o problema. Os resultados foram ainda superiores ao usar um controlador Fuzzy que fez com que o algoritmo se adequasse ainda melhor ao problema.

Bard & Purnomo (2004) realizaram o estudo de alocação de enfermeiros para um grande hospital dos EUA. Um algoritmo de geração de colunas foi utilizado em conjunto com uma heurística que efetua a mudança de períodos entre simples e duplo de acordo com as preferências dos enfermeiros. O método foi capaz de resolver em poucos minutos um problema com 100 enfermeiros para um horizonte de tempo de 6 semanas.

Dexter et al. (2010) consideram o agendamento de rotação entre residentes de anestesistas. Residentes são estudantes de medicina que participam de diferentes cirurgias para adquirir experiência nos diversos procedimentos que devem atuar após formados. Muitas vezes estes residentes estão alocados para realizar treinamento em um determinado tipo de cirurgia, porém, acabam sendo realocados para outro procedimento por motivos externos, o que acaba comprometendo sua experiência nas diferentes áreas de atuação profissional. O modelo proposto foi capaz de maximizar o tempo dos residentes em suas rotas de atuação.

Brunner & Endenharte (2011) propõem um modelo para o agendamento de médicos anestesistas em 2 níveis, os residentes considerados com baixa experiência e os médicos especialistas com alto nível de experiência. Para validar o modelo, foram utilizados dados do departamento de anestesiologia de um hospital com 1100 camas e resolvido usando uma heurística baseada em geração de colunas. Como resultado o modelo se mostrou uma ótima

ferramenta de apoio a decisão para o gerenciamento de instituições hospitalares.

Gunawan & Law (2012) apresentam três modelos para Master Physician Scheduling Problem. O primeiro e segundo modelo buscam minimizar o número de cirurgias não realizadas, enquanto o terceiro modelo estabelece uma fronteira de Pareto para minimizar o número de cirurgias não realizadas e maximizar as preferências dos médicos de um hospital de Singapura. Os modelos foram testados em 6 instâncias aleatórias. Para instâncias maiores, foi necessário o uso de uma heurística de busca local, na qual se parte de uma solução visitando sua vizinhança até encontrar o ótimo local. Por fim, os modelos foram capazes de encontrar respostas que atendiam 70% das cirurgias considerando as preferências médicas.

Já no trabalho de Villarreal & Keskinocak (2014), é realizado o agendamento dos diferentes profissionais envolvidos em uma operação, considerando enfermeiras, cirurgiões e técnicos de limpeza, de forma que estes profissionais podem ser agrupados para um determinado procedimento ou encaminhados a procedimentos diferentes, caso necessário. Para isso é aplicado um método composto de duas fases: na primeira é decidido o número de funcionários permanentes para cada tipo de equipe, e cada equipe atribuída a um tipo de procedimento cirúrgico, podendo ser reagrupados caso outra equipe tenha alguns membros faltando. Para esta fase é proposto um modelo que utiliza os dados históricos semanais do hospital para prever o número de horas trabalhadas e os possíveis crescimentos de demanda. Usando os cenários de demanda encontrados foi possível minimizar a mão de obra contratada sem aumentar o número de horas extras; na segunda fase os funcionários são designados para seus turnos e dias, atendendo os requisitos de pessoal e agendamentos relacionados a turnos. Para solucionar a esta fase é usada uma heurística de relaxação para as variáveis binárias, diminuindo o tempo de atraso entre turnos e procedimentos.

No trabalho de Smalley et al. (2015), o objetivo é maximizar a continuidade de tratamento de um paciente com o mesmo médico, pois a transferência de um paciente para médicos diferentes pode prejudicar seu tratamento. O autor apresenta um modelo e solução para maximizar a continuidade, aplicado a unidade de terapia intensiva pediátrica do hospital “Children’s Healthcare” de Atlanta, Estados Unidos. O método proposto trabalha com uma pontuação relacionada a continuidade dos pacientes, de forma que modelo de programação inteira mista busca maximizar a pontuação de continuidade ao mesmo tempo que minimiza a violação das preferências dos médicos. O modelo foi validado usando uma instância com 16 médicos em um horizonte de 51 semanas. O resultado foi satisfatório pois, além de ser muito mais veloz que o método manual usado, aumentou a continuidade em 3,4%. Como trabalho futuro os autores propõem considerar o desgaste e fadiga dos profissionais, que pode ser os principais responsáveis por erros médicos.

Riise et al. (2015), propõem um modelo genérico para resolver três situações de agendamento de cirurgias: agendamento diário, agendamento semanal e planejamento para admissão. Além disso, foi apresentado um método de pesquisa para resolver o modelo, usando aprendizado on-line para balancear cargas computacionais entre uma construção e um método de melhoria, buscando encontrar soluções de alto nível. O modelo foi testado para instancias de um hospital de médio porte da Noruega. Como resposta foram feitas relaxações na modelagem para avaliar a instância, obtendo boas soluções sem necessidade de modificação off-line ou sintonização de parâmetros.

No trabalho de Fugener et al. (2015), dois modelos são propostos: um que lista os procedimentos a serem realizados pelos médicos durante um período de 24 horas e possíveis atrasos, enquanto o segundo designa postos de trabalho para os médicos, sendo que a saída do primeiro é parâmetro para o segundo. Em ambos os casos são consideradas restrições

trabalhistas e regras internas do hospital, além das preferências de cada médico. Foram utilizados dados do departamento de anestesiologia de Augsburg, Alemanha, com 120 médicos. Foram testadas 5.800 instâncias para validação do modelo. Os resultados obtidos se mostraram muito superiores em relação a escala obtida manualmente pelo hospital.

Bowers et al. (2016), propõem um modelo para os médicos do Centro Médico Universitário de Tennessee, que busca maximizar as preferências de cada médico sem desprezar a carga de trabalho. Como resultado foi obtido de 6,3 a 8,5% de acréscimo na satisfação dos médicos.

3. Descrição do problema e modelo

O setor de anestesiologia do HC possui 57 anestesistas divididos em quatro categorias de contrato: Regime Jurídico Único (RJU), Fundação de Apoio da Universidade Federal do Paraná (Funpar), Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares (Ebserh) e Cooperativa Paranaense das Entidades Prestadoras de Assistência à Área de Saúde (COPAS). Estas categorias trabalham em conjunto para suprir a demanda de pacientes do hospital, porém cada uma delas possui suas próprias condições de trabalho e restrições.

Os anestesistas das categorias RJU, Funpar e Ebserh são previamente contratados pelo hospital, portanto não geram custo de alocação. Já os anestesistas da categoria COPAS geram custo por período de trabalho e são contratados para suprir o déficit de anestesistas, sendo permitido a designação de no máximo seis anestesistas desta categoria por dia.

Mesmo com a ajuda da categoria COPAS é comum acontecer cancelamentos de alguns procedimentos agendados por falta de anestesistas. Então, para garantir a factibilidade do modelo criamos um anestesista chamado de ‘coringa’. Este anestesista não segue as mesmas regras de alocação do restante das categorias, e sua alocação significa que não foi possível encontrar um anestesista para conduzir o procedimento, sendo necessário seu cancelamento.

A maioria dos médicos trabalham em mais de um hospital por vez, portanto suas disponibilidades devem ser respeitadas, pois influem em outros hospitais. Entretanto na prática é comum que alguns anestesistas trabalhem fora de sua disponibilidade para pagar horas de trabalho que estão devendo, ou para gerar um banco de horas para no futuro serem trocados por dias de folga. Portanto, nosso modelo deve respeitar os dias de disponibilidade mas irá propor períodos fora de disponibilidade para que os anestesistas atuem, deixando a cargo do anestesista se aceita ou não trabalhar nestes períodos.

O HC permanece em funcionamento durante 24 horas por dia e sete dias por semana, porém, os procedimentos cirúrgicos são marcados apenas para os dias úteis da semana no período que vai das 7 às 19 horas. Os outros períodos são chamados de plantões, e possuem duração entre 12 a 24 horas. A Tabela 1 apresenta os turnos considerados no trabalho.

Turno	Início	Fim	Aplicação
M	7h	13h	Dias Úteis
T	13h	19h	Dias Úteis
MT	7h	19h	Todos os Dias
N	19h	7h	Todos os dias

Tabela 1 – Tabela de turnos

Todos os anestesistas do HC são capazes de realizar qualquer um dos 27 procedimentos cirúrgicos que o hospital oferece, variando desde uma simples entrevista no ambulatório a cirurgias complexas e de alto risco como uma cirurgia cardíaca. Contudo, um anestesista pode ter se especializado em um determinado tipo de procedimento ao mesmo tempo em que não se sente seguro para trabalhar com outro. Por este motivo o modelo penaliza cada procedimento

de acordo com as preferências de cada anestesista, para garantir que estas preferencias sejam atendidas.

Símbolo	Definição
Conjunto	
A^R	Conjunto de Anestesistas reais, isto é, desconsiderando o anestesista Coringa
A^T	Conjunto de anestesistas sob regime trabalhista de 12x36 horas
A^I	Conjunto de anestesistas das categorias RJU, Funpar e Ebserh
A^C	Anestesista da categoria COPAS
A^J	Conjunto de anestesistas Coringa
A	Conjunto de todos os Anestesistas, composto pela união de A^I , A^C e A^J
E	Conjunto de Eventos
E^p	Conjunto de eventos que ocorrem no período p
E^s	Conjunto de eventos relacionados a especialidade s
E^{s3}	Conjunto de eventos cuja a especialidade é ofertada no máximo 3 vezes por semana
E^{sn}	Conjunto de eventos cujo especialidade é ofertada mais de 3 vezes por semana, exceto emergências
S^N	Conjunto dos eventos que ocorrem a noite
S^{MT}	Conjunto dos eventos que ocorrem pela manhã e tarde consecutivamente
W	Conjunto de semanas do horizonte de planejamento
P	Conjunto de períodos da semana
P^N	Conjunto dos primeiros períodos que ocorrem a noite
P^D	Conjuntos dos primeiros períodos do dia
P^4	Conjunto dos períodos múltiplos de 4
P^Z	Conjunto referente aos dois primeiros períodos do dia
Esp	Conjunto de especialidades
Parâmetros	
γ	Custo por período da alocação de cada anestesista da Categoria COPAS
c	Custo por período da alocação de cada anestesista Coringa
ρ	Custo por hora não cumprida em relação a carga horária semanal contratada
ω	Custo por hora excedida em relação a carga horária semanal contratada
μ	Custo por período por alocar anestesistas em horários não disponíveis previamente
ξ	Custo por não ter a quantidade de coringas distribuídas de forma justa entre os procedimentos
δ_{as}	Custo de preferência do anestesista a pela especialidade s
H_a	Carga horária semanal contratada para o anestesista a
Can_s	Quantidade de procedimentos da especialidade s que ocorrem durante a semana
Variáveis	
x_{aewp}	Variável binária que indica se o anestesista a atende o evento e na semana w durante o período p
DV_{awp}	Variável binária que indica se o anestesista a está disponível na semana w durante o período p
HR_{aw}	Variável inteira que indica o número de horas trabalhadas pelo anestesista a na semana w
β_{aw}	Variável inteira que indica quantas horas sobraram da carga horária a ser atendida pelo anestesista a na semana w
α_{aw}	Variável inteira que indica quantas horas faltaram para que a carga horária do anestesista a na semana w seja completamente atendida
Hac_{aw}	Variável inteira que indica a carga horária acumulada pelo anestesista a até a semana w
Y_{awd}	Variável binária que diz se o anestesista a trabalha no dia d da semana w
Yn_{awd}	Variável binária que indica se o anestesista a trabalha na noite do dia d na semana w
b_{awd}	Variável inteira que indica se o anestesista a trabalha 0, 6 ou 12 horas durante o dia d da semana w
$Cmin$	Variável inteira que registra o número de coringas usado pela especialidade que menos usou coringas
$Cmax$	Variável inteira que registra o número de coringas usado pela especialidade que mais usou coringas

Tabela 2 – Notação usada

Os anestesistas da categoria Ebserh estão sob regime trabalhista de 12 por 36 horas, ou seja, seus turnos de trabalho possuem duração fixa de 12 horas, não podendo trabalhar em turnos com períodos diferentes deste, tendo direito a 36 horas de descanso ao final do turno e prestam serviço de 24 horas semanais. As outras categorias não seguem este regime sendo que os anestesistas Funpar e COPAS não possuem carga horária semanal a cumprir. Já os anestesistas RJU são contratados com uma carga horária de 20 ou 40 horas, o que é incompatível aos turnos de 6 horas do HC, isto contribui para o banco de horas dos anestesistas pois eles sempre terminam a semana ou com horas a menos, ou com horas a mais do que a contratada. Portanto o modelo deve considerar esta característica e buscar equilibrar a diferença entre a carga horária contratada e a carga horária realizada semanalmente por cada anestesista, evitando que ocorra grandes excessos ou déficits de horas trabalhadas.

O problema é definido para um conjunto de eventos E que devem ser atendidos. Cada evento representa um procedimento (cirurgia ou exame) e contém informações sobre o dia da semana que o evento ocorre, em qual sala, tempo de duração e especialidade. Estes dados são definidos previamente pelo hospital e se repetem semanalmente. Consideramos o conjunto W de semanas do horizonte de planejamento, onde cada semana é particionada em um conjunto de períodos P . Cada dia da semana é composto por quatro períodos. Uma combinação entre a semana $w \in W$ e o período $p \in P$ representa um turno de designação (w, p) com duração de 6 horas de trabalho.

O objetivo é designar um anestesista $a \in A$ a um determinado evento $e \in E$ no turno (w, p) de forma a minimizar os custos de alocação, maximizar a preferência do anestesista pela especialidade do evento e equilibrar o cancelamento de cirurgias de todas as especialidades. Além disso, desejamos reduzir o número de alocações de anestesistas em períodos diferentes daqueles informados previamente e que a carga horária realizada por cada anestesista durante a semana seja próxima à carga horária semanal contratada.

O modelo proposto é descrito a seguir:

$$\text{Min } O_1 + O_2 + O_3 + O_4 + O_5 + O_6 + O_7 \quad (1)$$

$$O_1 = \sum_{w \in W} \sum_{a \in A^I} \sum_{p \in P} \sum_{e \in E} \delta_{as} x_{aewp} \quad (2)$$

$$O_2 = \sum_{w \in W} \sum_{a \in A^C} \sum_{p \in P} \sum_{e \in E} (\gamma + \delta_a) x_{aewp} \quad (3)$$

$$O_3 = \sum_{w \in W} \sum_{a \in A^J} \sum_{p \in P} \sum_{e \in E} c x_{aewp} \quad (4)$$

$$O_4 = \sum_{a \in A} \sum_{w \in W} \omega \beta_{aw} \quad (5)$$

$$O_5 = \sum_{a \in A} \sum_{w \in W} \rho \alpha_{aw} \quad (6)$$

$$O_6 = \sum_{a \in A} \sum_{w \in W} \sum_{p \in P} \mu DV_{awp} \quad (7)$$

$$O_7 = \xi (C_{\max} - C_{\min}) \quad (8)$$

Sujeito à

$$x_{aewp} \leq DV_{awp} \quad \forall a, e, w, p \quad (9)$$

$$x_{aewp} - x_{aewp+1} = 0 \quad \forall w, p \in P^D, e \in (S^{MT} \cap E^P) \quad (10)$$

$$x_{aewp} - x_{aewp+1} = 0 \quad \forall a, w, p \in P^N, e \in S^N \quad (11)$$

$$\sum_{a \in A} x_{aewp} \leq 1 \quad \forall e, w, p \quad (12)$$

$$\sum_{e \in E} x_{aewp} \leq 1 \quad \forall a \in A^R, w, p \quad (13)$$

$$\sum_{a \in A} x_{aewp} = 1 \quad \forall w, p, e \quad (14)$$

$$Hr_{aw} \leq H_a + \beta_{aw} \quad \forall a \in A^R, w \quad (15)$$

$$Hr_{aw} \geq H_a - \alpha_{aw} \quad \forall a \in A^R, w \quad (16)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{e \in E} 6x_{aewp} = Hr_{aw} \quad \forall w, a \in A^R \quad (17)$$

$$Hac_{aw} = Hac_{aw-1} + Hr_{aw} - H_a \quad \forall a \in A^R \quad (18)$$

$$\sum_{p \in P^Z} \sum_{e \in E} x_{aewp} \geq Y_{awd} \quad \forall a, w, d \quad (19)$$

$$\sum_{e \in E} x_{aewp} \leq Y_{awd} \quad \forall a, w, d, p \in P^Z \quad (20)$$

$$\sum_{e \in E} x_{aew(4*d)} \geq Yn_{awd} \quad \forall a, w, d \quad (21)$$

$$\sum_{e \in E} x_{aewp} \leq Yn_{awd} \quad \forall a, w, d \quad (22)$$

$$\sum_{p \in P^Z} \sum_{e \in E} x_{aewp} - x_{aewp-1} = b_{awd} \quad \forall a \in A^R, w, d \quad (23)$$

$$b_{awd} = 0 \quad \forall a \in A^T, w, d \quad (24)$$

$$Y_{awd} + Y_{awd+1} \leq 1 \quad \forall a \in A^T, w, d \quad (25)$$

$$Yn_{awd} + Yn_{awd+1} \leq 1 \quad \forall a \in A^T, w, d \quad (26)$$

$$Y_{awd} + Yn_{awd+1} \leq 1 \quad \forall a \in A^T, w, d \quad (27)$$

$$Yn_{awd} + Y_{awd+1} \leq 1 \quad \forall a \in A^T, w, d \quad (28)$$

$$\sum_{a \in A^C} Y_{awd} \leq 6 \quad \forall w, d \quad (29)$$

$$\sum_{e \in E^S} \sum_{w \in W} \sum_{p \in P} x_{aewp} \geq C_{min} \quad \forall s, a \in A^J \quad (30)$$

$$\sum_{e \in E^S} \sum_{w \in W} \sum_{p \in P} x_{aewp} \leq C_{max} \quad \forall s, a \in A^J \quad (31)$$

$$\sum_{e \in E^{S3}} \sum_{p \in P} x_{aewp} \leq 1 \quad \forall w, s, a \in A^J \quad (32)$$

$$\sum_{e \in E^{Sn}} \sum_{p \in P} x_{aewp} \leq \left\lceil \frac{Can_s}{2} \right\rceil \quad \forall w, s, a \in A^J \quad (33)$$

A função objetivo (1) é dividida em 6 partes. A expressão (2) se refere ao custo dada as preferências dos anestesistas internos, referente a categoria RJU, Funpar e Ebserh; a expressão (3) se refere ao custo de alocação e das preferências dos anestesistas externos, referente a categoria COPAS; a expressão (4) se refere ao custo de alocação de anestesista coringa, equivalente ao custo de cancelar um procedimento. As expressões (5) e (6) referem-se às penalidades de falta e excesso de carga horária semanal, respectivamente, em relação a carga horária prevista em contrato. A expressão (7) se refere a disponibilidade dos anestesistas, que precisa ser variável pois mesmo que um anestesista não esteja disponível em determinado período, a falta de anestesistas obriga que alguns sejam escalados em dias fora da sua escala original, e isto gera um custo. Expressão (8) busca equilibrar o cancelamento dos procedimentos de forma justa, para que nenhuma especialidade seja mais prejudicada do que outra.

O conjunto de restrições (9) garante que anestesistas sejam alocados em períodos disponíveis. Se o anestesista a está disponível na semana w durante o período p , $DV_{awp} = 1$. Consideramos que o anestesista pode trabalhar fora dos horários previamente disponíveis, penalizando o uso na função objetivo. As restrições (10) garantem que eventos que ocorram de manhã e tarde respectivamente devem ser atendidos pelo mesmo anestesista nos dois períodos. As restrições (11) garantem continuidade noturna, para que os dois períodos noturno sejam atendidos pelo mesmo anestesista. O conjunto de restrições (12) garante que cada evento será atendido somente

por um anestesista. O conjunto de restrições (13) garante que o anestesista atenda no máximo um único evento por período. Esta restrição não é considerada para o anestesista coringa, pois este pode estar presente em diversos eventos ao mesmo tempo. As restrições (14) garantem que todos os eventos sejam atendidos.

Os conjuntos de restrições (15) e (16) limita o banco de horas semanal. Cada anestesista excede β_{aw} horas da carga horária semanal contratada ou deixa de cumprir α_{aw} horas durante a semana. As restrições (17) calculam o número de horas trabalhadas na semana w . As restrições (18) calculam a carga horária acumulada até a semana w , sendo que na semana 0 não há carga acumulada.

Os conjuntos de restrições (19) e (20) definem se o anestesista a trabalha nos períodos diurnos do dia d , ou seja, manhã e tarde, na semana w . Os conjuntos de restrições (21) e (22) definem se o anestesista a trabalha nos períodos noturnos do dia d na semana w .

Os conjuntos de restrições de (23) à (28) são aplicadas aos anestesistas da categoria Ebserh. Os anestesistas da categoria Ebserh precisam trabalhar por 12 horas seguidas, tendo direito de 36 horas de descanso após isto. As restrições (23) definem a variável auxiliar b_{awd} . Se o anestesista a trabalha no período diurno (manhã e tarde consecutivamente) ou não trabalha no dia d , a variável auxiliar será igual à 0. Caso o anestesista seja escalado somente para o período da manhã, $b_{awd} = -1$. E caso o anestesista seja escalado somente no período da tarde do dia d , temos que $b_{awd} = 1$. As restrições (24) garantem que o anestesista a cumpra as 12 horas de trabalho previstas. Os conjuntos de restrições (25)-(28) garantem o período mínimo de 36 horas de descanso após os turnos realizados por cada anestesista.

As restrições (29) limitam o uso de anestesistas COPAS a no máximo 6 por dia, conforme o contrato do HC com a cooperativa de anestesistas.

Os conjuntos de restrições de (30) à (33) são referentes ao anestesista coringa, usado para garantir a factibilidade do modelo. Os conjuntos de restrições (30) e (31) controlam o número de coringas usados em cada procedimento. Os conjuntos de restrições (32) e (33) buscam distribuir os coringas de forma justa, considerando o número de vezes que determinado procedimento se repete durante a semana. Na prática, o uso do anestesista coringa em um evento indica que a cirurgia não pode ser atendida por nenhum anestesista, representando portanto o cancelamento da mesma. Cada especialidade tem um número determinado de procedimentos durante a semana. Por exemplo, oftalmologia tem 10 procedimentos toda semana e tireoide tem apenas 2. Cancelar um procedimento de oftalmologia, que se repete todos os dias da semana, não terá tanto impacto como cancelar o procedimento de tireoide, que é ofertada apenas duas vezes na semana. Dessa forma, as restrições (32) garantem que, se a especialidade ocorre até 3 vezes durante a semana, limita-se o uso de coringa à no máximo 1 evento. Para as especialidades que possuem mais do que 3 eventos durante a semana (33), desejamos que o uso de coringa seja limitado a $\left\lceil \frac{Can_s}{2} \right\rceil$, onde Can_s representa a quantidade de eventos da especialidade s durante a semana. Esta restrição não é válida para os eventos relacionados a emergências de centro cirúrgico e centro obstétrico. Isso ocorre pois há carência de profissionais e, na prática, é preferível que os anestesistas atendam às cirurgias do que emergências.

4. Resultados computacionais

Um dos grandes desafios de trabalhos em que há multiobjectivos a serem analisados é a escolha dos pesos que decidirão a importância de cada objetivo para a solução do problema. Um bom peso para cada componente da função objetivo é aquele que melhor irá aproximar o resultado obtido da realidade, ou do resultado esperado. Porém, testar todas as possíveis combinações de pesos pode ser muito trabalhoso e inviável na grande maioria dos casos, nos forçando a buscar

formas de testar o maior número de parâmetros usando o menor número de testes possíveis. (ROY, 2001).

Para nos auxiliar nesta tomada de decisão utilizamos o método de Arranjo Ortogonal apresentado por Taguchi (1987). O Arranjo Ortogonal é um conjunto de dados que podem ser usados para delinear quais configurações devem ser testadas para melhor representar todo o conjunto de combinação. Os arranjos são criados a partir de um determinado número de níveis e fatores organizados de forma equilibrada para não permitir que alguns sejam mais testados do que outros. (ROY, 2001).

Os fatores para o delineamento de experimentos no presente trabalho são os pesos associados aos sete objetivos da função objetivo de nosso modelo. Para cada peso, escolhemos três níveis de valores de acordo com a importância que cada objetivo representa. A Tabela 3 apresenta os níveis escolhidos para cada fator.

7 Fatores		3 Níveis		
Objetivos		1	2	3
Preferências	δ_{as}	5	50	95
Custo dos COPAS	γ	2	10	18
Custo do CORINGA	c	5	50	95
Carga Horaria faltando	ω	2	10	18
Carga Horaria em excesso	ρ	2	10	18
Alocação em períodos de indisponibilidade	μ	20	40	60
Balanceamento de cancelamentos	ξ	2	10	18

Tabela 3 – Fatores e Níveis considerados

Para cada fator há três níveis a serem explorados, de forma que se fossemos testar todas as combinações possíveis teríamos ao total $3^7 = 2187$ combinações diferentes. Um número tão grande de testes é completamente inviável devido ao imenso tempo computacional que seria necessário para calcular todas estas combinações e pela difícil tarefa de analisar esta grande quantidade de dados. Utilizando o método dos arranjos ortogonais de Taguchi (1987) diminuimos o número de testes para apenas 27, utilizando o arranjo $L_{27}(3^7)$, gerando uma base confiável para a análise de resultados.

Para a realização dos testes foi usado um computador com CPU Intel Core i7-6500U e 2.5 GHz, 8 GB de RAM e com sistema operacional de 64 bits, Windows 10. Para a resolução do modelo proposto foi usado o *solver* GUROBI 7.0.2 em sua versão acadêmica, com os algoritmos implementados em VB.net e o Método dos Arranjos Ortogonais de Taguchi foram resolvidos pelo *solver* Minitab 17.

	δ_{as}	γ	c	ω	ρ	μ	ξ
O_1	3213,7 (1)	66 (5)	66,1 (4)	97,1 (2)	84,3 (3)	21,2 (7)	53,1 (6)
O_2	3 (4)	3 (4)	3 (4)	4,78 (1)	2,11 (7)	4,67 (2)	2,22 (6)
O_3	7,11 (3)	7,11 (3)	7,11 (3)	15,56 (1)	3,33 (6)	2 (7)	4,22 (5)
O_4	1,33 (4)	1,33 (4)	1,33 (4)	1,33 (4)	1,33 (4)	1,33 (4)	1,33 (4)
O_5	42,7 (3)	42,7 (3)	42,7 (3)	94,7 (1)	18,7 (6)	12 (7)	25,3 (5)
O_6	5,89 (2)	5,22 (3)	4,56 (5)	4,89 (4)	0,33 (7)	7,67 (1)	4,22 (6)
O_7	2 (3)	2 (3)	2 (3)	6,22 (1)	1,33 (6)	0,44 (7)	1,78 (5)

Tabela 4 – Resultado dos testes do Arranjo Ortogonal de Taguchi usando Análise de Médias

Na Tabela 4 podemos observar os resultados do arranjo ortogonal, onde o valor apresentado é a amplitude dos valores obtidos pela análise da anova do arranjo ortogonal, e o valor entre parênteses é a ordem da importância com que os pesos dos demais fatores influem sobre o valor

do parâmetro atual.

Ao observarmos os valores por linha, vemos os fatores que influenciam naquela expressão da função objetivo, da mesma forma ao observarmos por coluna vemos quais expressões que são influenciados pelo fator atual. Em destaque estão os fatores que realmente podem influenciar a expressão se alterados, tendo como base o p -valor menor que 0,05.

Como exemplo usaremos a expressão O_1 que representa as preferências dos médicos anestesistas. Vemos que o único parâmetro que influencia O_1 é o próprio δ_{as} , porém pela coluna vemos que o parâmetro δ_{as} tem influência estatisticamente significativa sobre as expressões O_1 , O_3 e O_5 , ou seja, as próprias preferências, os coringas e o excesso de carga semanal.

Outra observação interessante sobre a Tabela 4 é que ao observarmos pelas colunas vemos a dependência de um fator com os demais, como por exemplo, a coluna c , referente ao uso de anestesistas coringas, os valores dos níveis deste fator não influenciam apenas na expressão O_3 referente ao uso de coringas, mas também em O_5 , quantidade de carga horaria em excesso, o que faz sentido pois quanto menos o coringa for usado, mais os anestesistas reais precisaram trabalhar para atender a demanda de pacientes, aumentando sua carga horaria.

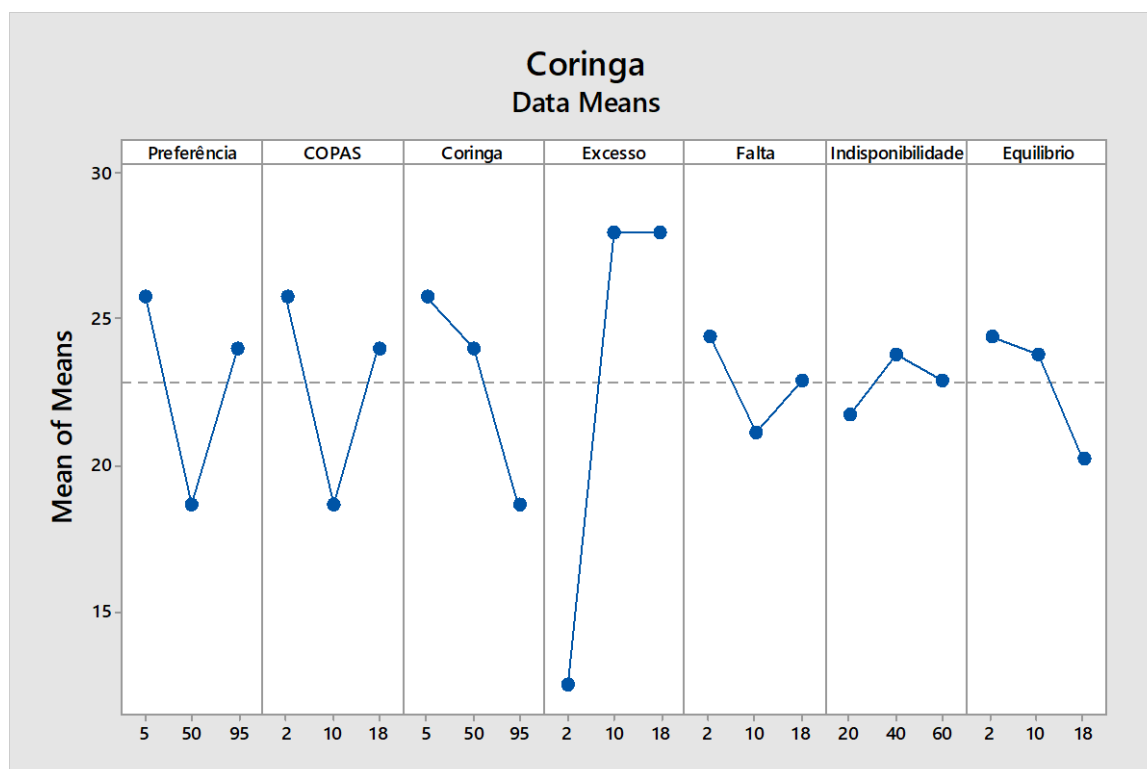


Figura 1 – Análise Taguchi para o uso do parâmetro referente ao Coringa

Na Figura 1 temos o gráfico da influência dos demais fatores sobre o parâmetro referente ao anestesista Coringa. Para a análise observamos os quadros de Preferência, COPAS, Coringa e Excesso aos quais são apontados na Tabela 4 como os fatores que realmente influenciam o uso de coringas. Para diminuir o uso do coringa é necessário que usemos os pesos $\delta_{as} = 50$, $\gamma = 10$, $c = 95$ e $\omega = 2$. Os outros três fatores não trariam grandes mudanças na decisão do modelo, mas seus valores seriam $\rho = 10$, $\mu = 20$ e $\xi = 18$.

Seguindo o mesmo raciocínio para todos os sete fatores temos a Tabela 5.

	δ_{as}	γ	c	ω	ρ	μ	ξ
Preferências	<u>5</u>	2	5	10	2	40	10
COPAS	95	18	50	10	2	20	10
Coringa	<u>50</u>	<u>10</u>	<u>95</u>	<u>2</u>	10	20	18
Falta	50	10	5	10	10	40	2
Excesso	<u>5</u>	<u>2</u>	<u>5</u>	<u>10</u>	2	40	2
Indisponibilidade	5	2	5	10	10	60	2
Equilíbrio	50	10	95	<u>2</u>	10	20	18

Tabela 5 – Valor sugerido para os parâmetros

A Tabela 5 nos mostra um conjunto de valores semelhante a uma curva de Pareto. A melhor decisão a ser tomada irá variar com os objetivos do tomador de decisões. Ainda na Tabela 5 podemos observar que não existem fatores de impacto relacionadas ao uso de anestesistas COPAS, a Falta de horas e a alocação de anestesistas em períodos de indisponibilidade. Já o uso do Coringa e o Excesso de carga horaria são bem sensíveis a alteração nos demais parâmetros.

5 - Conclusão

Neste trabalho apresentamos um estudo dos pesos na função objetivo para os critérios do modelo de programação inteira para a alocação de médicos anestesistas do Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Paraná utilizando o Método de Arranjos Ortogonais de Taguchi e uma Análise de Médias. Para isso tivemos de considerar os quatro vínculos empregatícios aos quais os anestesistas são contratados e os 27 procedimentos adotados pelo hospital. Os resultados obtidos apresentam várias opções de valores que devem ser escolhidos de acordo com o objetivo da pessoa responsável pela tomada de decisão, que pode ter uma boa noção do ganho e das consequências relacionadas as preferencias escolhidas.

Referências

- BARD, J. F.; PURNOMO, H. W.** *Preference Scheduling for Nurses Using Column Generation*. Revista European Journal of Operational Research. Vol. 164, p. 510-530, 2004.
- BOWERS, M. R.; NOON, C. E.; WU, W.; BASS, J. K.** *Neonatal Physician Scheduling at the University of Tennessee Medical Center*. Revista Interfaces. Vol. 46, número 2, p. 168-182, 2016.
- BRUNNER, J. O.; ENDERHARTER, G. M.** *Long Term Staff Scheduling of Physicians with Different Experience Levels in Hospitals Using Column Generation*. Revista Health Care Management Science. Vol. 14, p. 189-202, 2011.
- DEXTER, F.; WACHTEL, R. E.; EPSTEIN, R. H.; LEDOUTER, J.; TODD, M. M.** *Analysis of Operating Room Allocation to Optimize Scheduling of Specialty Rotations for Anesthesia Trainees*. Revista Anesthesia & Analgesia, Vol. 111, p. 520-524, 2010.
- FUGENER, A.; BRUNNER, J. O.; PODTSCHASKE, A.** *Duty and workstation rostering considering preferences and fairness: a case study at a department of anaesthesiology*. Revista International Journal of Production Research, Vol. 53, p. 7465-7487, 2015.
- GUNAWAN, A.; LAW, H. C.** *Master Physician Scheduling Problem*. Journal of the Operational Research Society, Vol. 64, p. 410-425, 2012.
- PÉCORA JR, J. E.** *Esquematização de Médicos em Salas de Emergências: Uma Abordagem Híbrida*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas.
- RIISE, A.; MANNINO, C.; BURKE, E. K.** *Modelling and solving generalized operational surgery scheduling problems*. Computers & Operations Research, Vol. 66, p. 1-11, 2015.
- ROY, R. K.** *Design of Experiments Using the Taguchi Approach: 16 Steps to Product and Process Improvement*. New York: John Wiley & Sons, 2001.
- SMALLEY, H. K.; KESKINIOCAK, P.; VATS, A.** *Physician Scheduling for Continuity: An Application in Pediatric Intensive Care*. Interfaces, Vol. 45, número 2, p. 133-148, 2015.



VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ponta Grossa, PR, Brasil, 06 a 08 de dezembro de 2017

TAGUCHI, G.; KONISHI, S. *Taguchi Methods, Orthogonal Arrays and Linear Graphs: Tools for quality engineering*. American Supplier Institute, INC. Library of Congress Number: 87-1374. 1987.

VILLARREAL, M. C.; KESKINOCAK, P. *Staff Planning for Operating Rooms with Different Surgical Services Lines*. Health Care Management Science, Vol. 19, p. 144-169, 2014.