



MODELO MATEMÁTICO PARA A ESCALA DE TRABALHO DE ANESTESISTAS DO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DA UFPR

Adriana Alves Fressato

Gustavo Valentin Loch

Alisson Segatto de Souza

José Eduardo Pécora Jr

adriana.afres@gmail.com

gustavo.gvalentim@gmail.com

segatto.souza@gmail.com

pecorajr@gmail.com

Universidade Federal do Paraná

Campus III – Centro Politécnico – Av. Cel. Francisco H. dos Santos – 210 – Jardim das Américas – Curitiba, 81531-970, Paraná, Brasil.

Resumo. O Hospital das Clínicas da Universidade Federal do Paraná é um dos principais centros médicos do estado, recebendo mais de um milhão de pacientes anualmente. Os anestesiologistas são profissionais indispensáveis para a área cirúrgica e uma boa alocação deste pessoal é imprescindível para o bom funcionamento de todo o hospital. Atualmente, um dos objetivos é a melhor alocação dos anestesiologistas para melhorar o atendimento e aumentar o número de procedimentos realizados diariamente. Neste trabalho foi proposto um modelo matemático para a alocação dos anestesiologistas, considerando os quatro vínculos empregatícios aos quais os anestesiologistas estão submetidos. O modelo pode ser resolvido de forma exata em menos de vinte segundos para o horizonte de um mês, obtendo ótimos resultados que podem ser usados como base para a alocação de anestesiologistas do hospital.

Palavras-chave: Anestesiologistas, timetabling, programação linear inteira.

INTRODUÇÃO

O Hospital das Clínicas da Universidade Federal do Paraná (HC) é o hospital universitário da UFPR. Suas operações foram iniciadas em 1961 com o objetivo de ser tanto um local de treinamento para os alunos de Medicina quanto para atender a necessidade do Estado de ter um Hospital geral para atender a população.

Nosso objetivo neste trabalho é gerar a escala de trabalho dos anestesiologistas do HC, profissionais indispensáveis para os procedimentos cirúrgicos, sendo responsáveis não apenas pelo monitoramento dos pacientes durante a cirurgia, mas também por acompanhar sua recuperação após o procedimento. A necessidade de um agendamento prévio e otimizado dos anestesiologistas é essencial não apenas para a organização dos hospitais, mas também para o controle do próprio profissional.

Atualmente, o agendamento dos anestesiologistas do HC é realizado manualmente, com 48h de antecedência e considerando apenas o conhecimento pessoal empírico do responsável pela escala de trabalho. Este procedimento faz com que o HC fique totalmente dependente deste responsável e também torna difícil o controle da carga horária dos anestesiologistas, uma vez que não é considerado um planejamento prévio da escala da semana.

Além disso, dentro do HC, o planejamento do centro cirúrgico é realizado em função da disponibilidade e alocação dos anestesiologistas, ou seja, uma escala não otimizada dos anestesiologistas poderá levar a cancelamentos e adiamentos de procedimentos cirúrgicos e de exames.

Neste trabalho propomos um modelo matemático de Programação Linear Inteira (PLI) para a elaboração da grade horária semanal dos anestesiologistas no HC, considerando as 14 salas do centro cirúrgico e os diversos procedimentos de exames e especialidades cirúrgicas. Além disso, foram contemplados os quatro vínculos empregatícios aos quais os anestesiologistas estão submetidos, cada um com suas próprias peculiaridades de custo, cargas de trabalho e preferências.

O modelo foi desenvolvido com base em adaptações de outros trabalhos de *timetabling* disponíveis na literatura e para as suas resoluções foi utilizada a versão 7.0.2 do solver Gurobi, disponível na versão acadêmica. Os tempos de resolução, em um computador com CPU Intel Core i5-6200U e 2.4 GHz, 8 GB de RAM e WINDOWS 10, para uma escala mensal de 57 anestesiologistas, ficaram abaixo de vinte segundos, criando possibilidades de se trabalhar com um horizonte de planejamento maior.

1 REVISÃO DE LITERATURA

O problema de alocação de pessoal é um problema comum na área da Pesquisa Operacional. No setor de saúde, pode ser usada para fazer a designação de enfermeiras, médicos, pacientes e materiais cirúrgicos.

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 anesthesiologia de um hospital com 1100 leitos 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 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 linear 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 instâncias 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.

2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E MODELO

O setor de anestesiologia do HC é um dos mais importantes, e normalmente o setor responsável por dizer quais as cirurgias poderão ou não ser realizadas. Atualmente, é composto de 57 anestesiologistas 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). Cada contrato é sujeito a seus próprios custos e restrições. Os anestesiologistas das categorias RJU, Funpar e Ebserh são previamente contratados pelo hospital, portanto não geram custos adicionais de alocação, porém os anestesiologistas da categoria COPAS são contratados para suprir o déficit de anestesiologistas e geram um custo por cada período trabalhado, sendo desejável minimizar o uso desta categoria.

O déficit de anestesistas é o principal problema a ser enfrentado, pois nem sempre o número de profissionais contratados é suficiente para a demanda, de forma que mesmo com o apoio dos anestesistas COPAS algumas salas de cirurgias acabam não sendo abertas. Desta forma, o modelo matemático pode se tornar infactível por não atender a demanda. Consideramos então uma variável de anestesista fictício, chamado de ‘coringa’, que é alocado em procedimentos que não podem ser atendidos por anestesistas reais. A alocação do coringa deve ser evitada, pois significa que o determinado procedimento será cancelado e/ou a sala cirúrgica será fechada.

Como a grande maioria dos anestesistas trabalha em outros hospitais, seus horários de disponibilidades necessitam ser respeitados, pois influem em outros hospitais.

O hospital está em funcionamento 24 horas por dia e sete dias por semana. Porém, existem cirurgias marcadas apenas para os dias uteis das 7 às 19 horas. Os outros horários são considerados plantões, e tem período mínimo de 12 horas e máximo de 24 horas. A Tabela 1 apresenta os turnos de trabalhos considerados.

Tabela 1. Tabela de turnos

Turno	Início	Fim	Aplicação
M	7h	13h	Dias da Semana
T	13h	19h	Dias da Semana
MT	7h	19h	Todos os Dias
N	19h	7h	Todos os Dias

Ao total são 27 procedimentos que podem ser realizados por um anestesista, variando desde entrevistas com os pacientes no ambulatório até cirurgias de alto risco, como as cirurgias cardíacas. Por este motivo, é comum que alguns anestesistas tenham suas próprias preferências e restrições. Um anestesista pode ter se especializado em determinados procedimentos, ao mesmo tempo que não se sente seguro para trabalhar com outros. Este fator deve ser considerado na otimização por impactar na qualidade do serviço e na satisfação dos profissionais.

Tabela 2. Notação usada

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 anestesiistas das categorias RJU, Funpar e Ebserh
A^C	Anestesista da categoria COPAS
A^J	Conjunto de anestesiistas Coringa
A	Conjunto de todos os Anestesiistas, 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 anestesiista da Categoria COPAS
c	Custo por período da alocação de cada anestesiista 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 anestesiistas em horários não disponíveis

	previamente
ξ	Custo por não ter a quantidade de coringas distribuídas de forma igual 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

Além disso, a carga horária dos anestesistas RJU é contratada com 20 ou 40 horas semanais, o que é incompatível as 6 horas de cada turno de trabalho, fazendo com que os

anestesiologistas sempre terminem 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 anestesiologista, 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.

Consideramos também um conjunto de anestesiologistas A , composto por anestesiologistas RJU, Ebserh, Funpar, COPAS e o anestesiologista coringa. Os anestesiologistas da Ebserh possuem regime trabalhista 12x36 horas, ou seja, devem trabalhar dois turnos seguidos e o intervalo exato de descanso de 36 horas entre os turnos deve ser respeitado.

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

O modelo usado neste trabalho é descrito a seguir.

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

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

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

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

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

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

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

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

Sujeito à

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

A função objetivo (1) é dividida em 6 partes. A expressão (2) se refere ao custo dada as preferências dos anestesiologistas internos, referente a categoria RJU, Funpar e Ebserh; a expressão (3) se refere ao custo de alocação e das preferências dos anestesiologistas externos, referente a categoria COPAS; a expressão (4) se refere ao custo de alocação de anestesiologista 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 anestesiologistas, que precisa ser variável pois mesmo que um anestesiologista não esteja disponível em determinado período, a falta de anestesiologistas obriga que alguns sejam escalados em dias fora da sua escala original, e isto gera um custo. A expressão (8) busca equilibrar o cancelamento dos procedimentos de forma justa, para evitar que alguma especialidade tenha mais cancelamentos do que outra.

O conjunto de restrições (9) garante que anestesiologistas sejam alocados em períodos disponíveis. Se o anestesiologista a está disponível na semana w durante o período p , $DV_{awp} = 1$. Consideramos que o anestesiologista 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 anestesiologista nos dois períodos. As restrições (11) garantem continuidade noturna, para que os dois períodos noturno sejam atendidos pelo mesmo anestesiologista. O conjunto de restrições (12) garante que cada evento será atendido somente por um anestesiologista. O conjunto de restrições (13) garante que o anestesiologista atenda no máximo um único evento por período. Esta restrição não é considerada para o anestesiologista 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 de (9) a (14) são restrições clássicas do problema de High School Timetabling apresentado por Dorneles *et al.* (2014), sendo adaptado pelos autores para a alocação de anestesistas, bem como o conjunto de restrições (23). As demais restrições foram modeladas pelos autores buscando atender todas as exigências do HC e das categorias de contrato para a alocação dos anestesistas.

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 à cirurgias do que emergências.

3 RESULTADOS COMPUTACIONAIS

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. Os testes foram feitos em um computador com CPU Intel Core i5-6200U e 2.4 GHz, 8 GB de RAM e com sistema operacional de 64 bits, Windows 10. Os valores usados para os parâmetros foram definidos com base em ordem de importância para o HC e são $c = 50$, $\mu = 40$, $\gamma = 10$, $\omega = 2$, $\rho = 1$ e $\xi = 1$. O parâmetro δ_{as} , referente às preferências dos anestesiologistas, é igual à 0 se o anestesiologista a tem preferência pela especialidade s , 50 se prefere não trabalhar em procedimentos da especialidade s e 2 caso ele seja neutro. As variáveis β_{aw} e α_{aw} foram limitadas a no máximo 12 horas excedidas ou deixadas de serem cumpridas.

Tabela 3. Resultados

	Quantidade	Fora de Disponibilidade	Preferências			Horas Excedidas	Horas Faltantes
			A	B	C		
RJU	388	155	60	328	0	248	0
Funpar	44	8	40	4	0	264	0
Ebserh	216	60	8	200	8	0	48
COPAS	104	0	8	96	0	624	0
Coringa	0	-	-	-	-	-	-
Total	752	223	116	628	8	1136	48

Na Tabela 3 é apresentado um resumo dos resultados obtidos. Na coluna quantidade tem-se o número de períodos trabalhados por anestesiologistas de cada contrato. A maior parte dos períodos é atendida por anestesiologistas da RJU por possuírem maior carga horária, na maioria de 40 horas semanais. Os anestesiologistas Ebserh cumprem carga horária de 24 horas semanais possuindo a segunda maior quantidade de períodos trabalhados. Os anestesiologistas das categorias Funpar e COPAS não possuem carga horária para cumprir, sendo utilizados apenas quando necessário.

A coluna Fora de Disponibilidade representa o número de vezes que o anestesiologista são alocados fora do seu período de disponibilidade. Isto é feito no HC todos os dias devido à falta de anestesiologistas, os anestesiologistas são contatados e, se concordarem, fazem turnos extras para ajudar a cumprir a demanda de cirurgias, trazendo um maior custo para o hospital. Neste trabalho usamos altas penalizações para impedir que aconteça, mas é inevitável que aconteça para que haja factibilidade na solução. Mais uma vez os anestesiologistas RJU e Ebserh são os que tem o maior número de observações. Isso também é devido a necessidade de se cumprir a carga horária, nenhum dos anestesiologistas RJU possui disponibilidade suficiente para completar

as 40 horas semanais a que são submetidos, portanto acabam tendo que atender fora dos períodos pré-determinados. Isto também acontece com os anestesistas Ebserh, mas com menor frequência.

As colunas de Preferências representam a quantidade de vezes em que os anestesistas foram designados a um procedimento que possuem maior aptidão e é dividida em três partes, A, B e C, sendo A o número de vezes em que o anestesista tinha total preferência pelo procedimento, C quando foi designado a um procedimento que não gostaria de fazer e B quando é indiferente ao procedimento. No total 116 preferências puderam ser atendidas, sendo que apenas 8 vezes os anestesistas atuaram em procedimento que não os agradavam.

As colunas Horas Excedidas e Horas Faltantes representam as variáveis β_{aw} e α_{aw} , respectivamente, representando a carga horária excedida e a carga horária faltando para cada anestesista semanalmente. Os que possuem a maior carga horária em excesso são os anestesistas COPAS e Funpar. Isto acontece pois não possuem nenhuma carga a cumprir, portanto todo período de trabalho é um período em excesso.

Para analisar e comparar os resultados obtidos foi utilizado a grade horária utilizada pelo HC no mês de Junho de 2017.

Tabela 4. Comparação entre os resultados obtidos e os observados no HC

	HC Junho			Computacional		
RJU	137			388		
Funpar	40			44		
Ebserh	160			216		
COPAS	172			104		
Coringa (Cancelamentos)	243			0		
Fora de Disponibilidade	63			223		
Preferências	20	487	2	116	628	8

Na Tabela 4 podemos observar que os resultados computacionais foram superiores aos observados em todos os aspectos. As categorias RJU, Funpar e Ebserh representam um custo fixo ao hospital, de forma que explorar melhor esta mão de obra é de grande benefício ao hospital. Já o número de anestesistas COPAS diminuiu, o que também é um resultado desejável pois estes profissionais possuem um custo variando de acordo com o número de períodos trabalhados, o que mostra que o resultado obtido computacionalmente diminuiu este custo.

Para os procedimentos atendidos Fora da Disponibilidade dos anestesistas, era esperado que o resultado computacional retornasse um número maior destes eventos, pois na prática,

quando um anestesiologista é chamado para trabalhar fora dos seus horários de disponibilidade, este tem a opção de recusar, devido ao fato de trabalharem em outros hospitais e não estarem disponíveis naquele período. Já para os resultados computacionais isto não acontece, e sempre que um anestesiologista é alocado fora de sua disponibilidade considera-se que ele irá atuar no procedimento. Porém, mesmo se, no pior dos casos, todos os anestesiologistas alocados Fora da Disponibilidade pelo modelo recusassem a trabalhar neste período, ainda assim o número de cancelamentos (Anestesiologistas Coringa) seriam menores do que o ocorrido na escala manual do mês de junho.

Outro fator a ser considerado é que se um procedimento for cancelado por falta de profissionais ou equipamentos, outro pode ser iniciado para substituí-lo, desde que tenham os pré-requisitos necessários. Também ocorre de um mesmo anestesiologista atuar em dois procedimentos diferentes no mesmo turno, desde que os procedimentos ocorram em horários diferentes, o que não acontece em nosso modelo. Estes dois fatores fazem com que, na prática, os procedimentos agendados para cada dia se tornem diferentes dos que os usados como dados de entrada para o programa.

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho fizemos um modelo para a alocação de médicos anestesiologistas aplicado ao Hospital das Clínicas da Universidade Federal do Paraná. Para isto foram considerados os quatro vínculos empregatícios aos quais os anestesiologistas têm vínculo e suas especificações de forma exata. O algoritmo foi testado e comparado ao agendamento manual referente ao mês de Junho, e em menos de vinte segundos obteve resultados muito superiores, podendo servir como base para futuros agendamentos do hospital.

Como futuros trabalhos, sugere-se aumentar o horizonte de planejamento para um ano, e considerar férias e feriados ao planejamento. Também é necessário considerar a disponibilidade dos anestesiologistas durante os plantões dos fins de semana, para obter uma solução mais próxima da realidade.

Além disso, o modelo proposto neste trabalho respeita o turno máximo e mínimo intervalo de descanso entre turnos dos anestesiologistas contratados pela Ebserh. Como trabalho futuro, indicamos também a inclusão de outros regimes trabalhistas nas restrições.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Hospital de Clínicas da UFPR por oferecer os dados utilizados neste trabalho, ao DAGA-UFPR pelo suporte financeiro na participação do evento e especialmente ao grupo de pesquisa GTAO por todo apoio, suporte e amizade.

REFERÊNCIAS

- Bard, J. F., Purnomo, H. W., 2004. Preference Scheduling for Nurses Using Column Generation. *European Journal of Operational Research*, vol. 164, pp. 510-530.
- Bowers, M. R., Noon, C. E., Wu, W. Bass, J. K., 2016. Neonatal Physician Scheduling at the University of Tennessee Medical Center. *Interfaces*, vol. 46, n. 2, pp. 168-182.

- Brunner, J. O., Enderharter, G. M., 2011. Long Term Staff Scheduling of Physicians with Different Experience Levels in Hospitals Using Column Generation. *Health Care Management Science*, vol. 14, pp. 189-202.
- Dexter, F., Wachtel, R. E., Epstein, R. H., Ledouter, J., Todd, M. M., 2010. Analysis of Operating Room Allocation to Optimize Scheduling of Specialty Rotations for Anesthesia Trainees. *Anesthesia & Analgesia*, vol. 111, pp. 520-524.
- Dorneles, A. P., Araujo, O. C. B., Buriol, L. S., 2014. A fix-and-optimize heuristic for the high school timetabling problem. *Computers & Operations Research*, vol. 52, pp. 29-38.
- Erhard, M., Schoenfelder, J., Fugener, A., Brunner, J. O., 2017. State of the art in physician scheduling. *European Journal of Operational Research*, vol. 0, pp. 1-18.
- Fugener, A., Brunner, J. O., Podtschaske, A., 2015. Duty and workstation rostering considering preferences and fairness: a case study at a department of anaesthesiology. *International Journal of Production Research*, vol. 53, pp. 7465-7487.
- Gunawan, A., Law, H. C., 2012. Master Physician Scheduling Problem. *Journal of the Operational Research Society*, vol. 64, pp. 410-425.
- Pécora Jr. J. E., 2002. *Esquematização de Médicos em Salas de Emergências: Uma Abordagem Híbrida*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas.
- Riise, A., Mannino, C., Burke, E. K., 2015. Modelling and solving generalized operational surgery scheduling problems. *Computers & Operations Research*, vol. 66, pp. 1-11.
- Smalley, H. K., Keskinocak, P., Vats, A., 2015. Physician Scheduling for Continuity: An Application in Pediatric Intensive Care. *Interfaces*, vol. 45, n. 2, pp. 133-148.
- Villarreal, M. C., Keskinocak, P., 2014. Staff Planning for Operating Rooms with Different Surgical Services Lines. *Health Care Management Science*, vol. 19, pp. 144-169.