

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação

Abordagens de otimização para agrupamento de itens para a formação de kits cirúrgicos

Shayane da Silva Carvalho

Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências de Computação e Matemática Computacional (PPG-C²MC)

SERVIÇO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO ICMC-USP

Data de Depósito:

Assinatura: _____

Shayane da Silva Carvalho

Abordagens de otimização para agrupamento de itens para a formação de kits cirúrgicos

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – ICMC-USP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestra em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional. *VERSÃO REVISADA*

Área de Concentração: Ciências de Computação e Matemática Computacional

Orientadora: Profa. Dra. Maristela Oliveira dos Santos

Coorientadora: Profa. Dra. Mariá Cristina Vasconcelos Nascimento

USP – São Carlos
Agosto de 2023

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Achille Bassi
e Seção Técnica de Informática, ICMC/USP,
com os dados inseridos pelo(a) autor(a)

d331a da Silva Carvalho, Shayane
Abordagens de otimização para agrupamento de
itens para a formação de kits cirúrgicos / Shayane
da Silva Carvalho; orientadora Maristela Oliveira
dos Santos; coorientadora Mariá Cristina
Vasconcelos Nascimento. -- São Carlos, 2023.
80 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
em Ciências de Computação e Matemática
Computacional) -- Instituto de Ciências Matemáticas
e de Computação, Universidade de São Paulo, 2023.

1. Kits cirúrgicos. 2. Otimização Linear Inteira
. 3. Bicliques Maximais. 4. Heurística Construtiva.
5. Planejamento Hospitalar. I. Oliveira dos Santos,
Maristela, orient. II. Cristina Vasconcelos
Nascimento, Mariá, coorient. III. Título.

Shayane da Silva Carvalho

Optimization approaches for grouping items for the formation
of surgical kits

Dissertation submitted to the Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – ICMC-USP – in accordance with the requirements of the Computer and Mathematical Sciences Graduate Program, for the degree of Master in Science. *FINAL VERSION*

Concentration Area: Computer Science and Computational Mathematics

Advisor: Profa. Dra. Maristela Oliveira dos Santos

Co-advisor: Profa. Dra. Mariá Cristina Vasconcelos Nascimento

USP – São Carlos
August 2023

*Dedico este trabalho aos meus pais, Sebastião Netto e Girlene.
Aos dois maiores incentivadores das realizações dos meus sonhos, muito obrigada.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela grande oportunidade de conseguir alcançar mais um passo em busca dos meus sonhos. Agradeço por me sustentar e não me deixar desistir. O caminho até aqui não foi nada fácil, mas Deus, com sua infinita bonança e misericórdia, esteve ao meu lado em cada etapa.

Agradeço aos meus pais, Sebastião Netto e Girlene, que me incentivaram e apoiaram durante toda a minha trajetória de vida. Agradeço também a minha irmã Dayane e a minha sobrinha Antonella. Estas pessoas são minha base e força para prosseguir. O amor familiar em uma etapa tão importante me ajudou a acreditar, confiar e continuar persistindo nos meus sonhos.

Agradeço à orientadora Maristela e à coorientadora Mariá Cristina, que com paciência e dedicação, transmitiram todos os grandes ensinamentos que contribuíram para possibilitar esse trabalho.

Agradeço aos colegas que conheci no Laboratório de Otimização (LOt), por muitas vezes me ajudaram e, em alguns momentos, tornaram a rotina de estudos um pouco mais leve. Agradeço à professora Franklina por toda a dedicação e ensinamentos nas disciplinas. Agradeço à toda equipe e profissionais do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC), sempre muito atenciosos.

Agradeço ao hospital Santa Casa de Misericórdia de São Carlos pelo fornecimento da base de dados que possibilitou o estudo e desenvolvimento deste trabalho. Agradeço, também, a equipe do Centro Cirúrgico da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro no início do mestrado. Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo atual auxílio financeiro.

“Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada. Apenas dê o primeiro passo.”
(Martin Luther King)

RESUMO

CARVALHO, S. S. **Abordagens de otimização para agrupamento de itens para a formação de kits cirúrgicos**. 2023. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2023.

Neste trabalho, é proposto o uso de abordagens de otimização para o agrupamento de itens para compor kits cirúrgicos passíveis de compartilhamento entre diferentes procedimentos. Os itens são insumos não medicamentosos como luvas cirúrgicas estéreis, fios para sutura, etc. e medicamentos como antibióticos, anestésias, dentre outros. Os itens são organizados em kits cirúrgicos que devem ser montados e finalizados pelo setor responsável antes de cada procedimento cirúrgico. Após a realização dos procedimentos, os itens não utilizados devem ser retornados ao estoque para serem utilizados futuramente. Porém, um problema enfrentado pelos hospitais é determinar maneiras de melhorar a eficiência da montagem dos kits diminuindo o retorno dos itens não utilizados ao estoque. Neste trabalho, são propostas as seguintes abordagens de solução, visando obter kits comuns aos procedimentos: uso de modelos de otimização inteira e uso de uma heurística para a determinação dos kits consistindo de duas etapas. A primeira usa o *framework* Biclique, proposto na literatura para agrupamentos de dados bipartidos, a segunda, um procedimento construtivo para determinar as quantidades de itens nos kits para o atendimento da demanda. Assim, ao utilizar esses novos kits, espera-se aumentar o controle do estoque e também diminuir o tempo de montagem destes, minimizando então os custos operacionais dos hospitais e também os desperdícios. Nos experimentos computacionais, foram realizados testes nas abordagens considerando diferentes cenários para análise do padrão de kits configurados. Para os testes, foram utilizados os dados fornecidos por um hospital da Cidade de São Carlos, SP. Os resultados mostraram que o uso do procedimento heurístico foi eficiente para formar kits comuns aos procedimentos. Visando obter soluções alternativas comparáveis à abordagem heurística foi proposta uma adaptação adicional do modelo matemático, que permitiu obter kits compartilhados e proporcionou melhorias nas quantidades de itens atribuídos como avulsos aos procedimentos.

Palavras-chave: Kits cirúrgicos, Otimização Linear Inteira, Biclques Maximais, Heurística Construtiva, Planejamento Hospitalar.

ABSTRACT

CARVALHO, S. S. **Optimization approaches for grouping items for the formation of surgical kits** . 2023. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2023.

In this work, it is proposed the use of optimization approaches for the grouping of items to compose kits that can be shared between different procedures. The items are non-medicated supplies such as sterile surgical gloves, suture threads, etc. and medications such as antibiotics, anesthesia, among others. Items are organized in emergency kits that must be assembled and finalized by the responsible sector before each emergency procedure. Upon completion of procedures, unused items must be returned to stock for future use. However, a problem faced by hospitals is determining ways to improve the efficiency of kit assembly, verifying the return of unused items to stock. In this work, the following solution approaches are proposed, seeking to obtain kits common to the procedures: use of integer optimization models and use of a heuristic to experiment with kits consisting of two steps. The first uses the *framework* Biclique, standard in the literature for grouping bipartite data, the second, a constructive procedure to determine how many items in the kits to meet the demand. Thus, when using these new kits, it is expected to increase inventory control and also reduce their assembly time, thus minimizing hospital operating costs and waste. In the computational experiments, tests were performed on the approaches considering different scenarios for analysis of the pattern of configured kits. For the tests, data provided by a hospital in the city of São Carlos, SP, were used. The results appreciated that the use of the heuristic procedure was efficient to form kits common to the procedures. Aiming to obtain alternative solutions comparable to the heuristic approach, an additional adaptation of the mathematical model was proposed, which allowed obtaining shared kits and improved tools for items assigned as separate to the procedures.

Keywords: Surgical kits, Integer Linear Optimization, Maximal Biclques, Constructive Heuristic, Hospital Planning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Solução do Exemplo Ilustrativo	28
Figura 2 – Fotografia de um kit de medicamentos	32
Figura 3 – Especificações para etiquetas de medicamentos	33
Figura 4 – Continuação das especificações para etiquetas de medicamentos	34
Figura 5 – Fotografia de um kit de insumos	37
Figura 6 – Grafo Bipartido - Exemplo Ilustrativo	50
Figura 7 – Biclíques máximos e maximais	51
Figura 8 – Quantidade de cirurgias realizadas mensalmente	56
Figura 9 – Procedimentos realizados por tipo	57
Figura 10 – Frequência de Especialidades	57
Figura 11 – Frequência de Produtos	57
Figura 12 – Frequência de Classes	58
Figura 13 – Kits configurados: Teste Inicial	60
Figura 14 – Kits configurados: Teste de Restrições	61
Figura 15 – Kits configurados: Modelo Adaptado	62
Figura 16 – Kits configurados: Modelo Adaptado com Restrições Adicionais	63
Figura 17 – Kits configurados: Análise de Pesos - Configuração 1	64
Figura 18 – Kits configurados: Análise de Pesos - Configuração 2	65
Figura 19 – Kits configurados: Análise de Pesos - Configuração 3	66
Figura 20 – Kits configurados: Análise de Pesos - Configuração 4	67
Figura 21 – Grafo Bipartido e Biclíques Maximais - Instância 1	69
Figura 22 – Kits configurados: Heurística - Instância 1	70
Figura 23 – Kits configurados - Modelo Adicional - Instância 1	71
Figura 24 – Kits configurados - Modelo Adicional com Excesso - Instância 1	73

LISTA DE ALGORITMOS

Algoritmo 1 – MBEA/iMBEA (Linhas com asterisco se aplicam ao iMBEA)	52
Algoritmo 2 – Heurística Construtiva de Kits Cirúrgicos	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Necessidades de itens - Exemplo Ilustrativo	27
Tabela 2 – Características dos Modelos da Literatura	41
Tabela 3 – Visão Geral das Abordagens da Literatura	44
Tabela 4 – Quantidades necessárias de itens para cada procedimento	59
Tabela 5 – Instâncias - Testes nos modelos	60
Tabela 6 – Resultados: Teste Inicial	60
Tabela 7 – Resultados: Restrições Adicionais	61
Tabela 8 – Resultados: Modelo Adaptado	62
Tabela 9 – Resultados: Modelo Adaptado com Restrições Adicionais	62
Tabela 10 – Resultados: Análise de Pesos - Configuração 1	64
Tabela 11 – Resultados: Análise de Pesos - Configuração 2	65
Tabela 12 – Resultados: Análise de Pesos - Configuração 3	66
Tabela 13 – Resultados: Análise de Pesos - Configuração 4	66
Tabela 14 – Instâncias	68
Tabela 15 – Lista de procedimentos	68
Tabela 16 – Resultados: Biclíques Maximais - Instância 1	69
Tabela 17 – Resultados: Heurística - Instância 1	70
Tabela 18 – Resultados: Biclíques Maximais e Heurística	70
Tabela 19 – Resultados: Modelo Matemático	72
Tabela 20 – Resultados: Heurística x Modelo Matemático	72
Tabela 21 – Resultados: Modelo Adicional com Excesso	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ESM-Ketamine	<i>Every Second Matters-Ketamine</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
PLB	Programação Linear Binária
PLIM	Programação Linear Inteira Mista
PNL	Programação Não Linear
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	Objetivos	28
1.2	Organização do Trabalho	29
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
2.1	Organização de Medicamentos	31
2.2	Bandejas Cirúrgicas	34
2.3	Pacotes Personalizados	36
2.4	Bicliques Maximais	39
2.5	Modelos Matemáticos	41
2.6	Considerações Finais	43
3	ABORDAGENS DE SOLUÇÃO	45
3.1	Descrição do Problema	45
3.2	Modelos Matemáticos	45
3.2.1	<i>Modelo base</i>	46
3.2.2	<i>Modelo com Inclusão de Restrições</i>	47
3.2.3	<i>Modelo com Função Objetivo Adaptada</i>	48
3.2.4	<i>Modelo com Adaptação Adicional</i>	48
3.3	Agrupamento de Grafos Bipartidos	49
3.3.1	<i>Enumeração de Bicliques Maximais</i>	50
3.3.1.1	<i>Framework Biclique</i>	51
3.3.2	<i>Proposta de Heurística Construtiva</i>	52
4	RESULTADOS	55
4.1	Especificações Técnicas	55
4.2	Base de Dados	56
4.2.1	<i>Dados utilizados</i>	57
4.3	Resultados: Modelos Matemáticos	58
4.3.1	<i>Teste Inicial</i>	58
4.3.2	<i>Inclusão de Restrições</i>	61
4.3.3	<i>Adaptação da Função Objetivo</i>	61
4.3.3.1	<i>Análise com Restrições Adicionais</i>	62
4.3.3.2	<i>Análise de Pesos</i>	63

4.4	Resultados: Bicliques Maximais e Heurística	67
4.5	Resultados: Proposta Adicional de Modelo	71
4.5.1	<i>Resultados: Proposta Adicional com Excesso</i>	72
5	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	75
	REFERÊNCIAS	77

INTRODUÇÃO

Os hospitais são as entidades que mais consomem os recursos destinados à saúde e, o setor cirúrgico é a unidade que gera os maiores gastos para a receita de um hospital, (CARDOEN; BELIËN; VANHOUCKE, 2015). Os suprimentos para as salas de cirurgias, ou seja, os medicamentos, curativos, implantes, instrumentos, dentre outros, se enquadram nos custos relacionados à segunda maior despesa dos hospitais (DOBSON *et al.*, 2015). Segundo *Ahmadi et al.* (2019), a correta administração de instrumentos cirúrgicos nas salas de cirurgias pode reduzir significativamente os custos hospitalares. Neste sentido, alguns trabalhos da literatura, apresentam abordagens matemáticas para redução de custos associados a instrumentos cirúrgicos: *Dobson et al.* (2015), *John-Baptiste et al.* (2016), *Dollevoet, Essen e Glorie* (2018), *Ahmadi et al.* (2019), *Ahmadi, Masel e Hostetler* (2019), *Nast e Swords* (2019), *Yalamanchi et al.* (2022).

Segundo *Nunes et al.* (2018), a prática usual dos hospitais é receber insumos esterilizados de uso individual e atribuí-los aos procedimentos cirúrgicos, de maneira que, antes da realização da cirurgia, sejam selecionados, preparados e organizados, um a um, pelo enfermeiro responsável. Para melhorar o processo de organização de itens, muitos hospitais utilizam os pacotes/kits personalizados, embalagens únicas, montadas previamente e compostas por todos os itens necessários para o procedimento. Como exemplo, os seguintes estudos mostram vantagens do uso de kits personalizados em hospitais: *Baines et al.* (2001), *Mattos, Faintuch e Ceconello* (2007), *Paranaguá et al.* (2009), *Freitas* (2016), *Oliveira* (2017). Além disso, alguns trabalhos da literatura, utilizam modelos matemáticos para a configuração de pacotes compostos por instrumentos, como exemplo, *Reymondon, Pellet e Marcon* (2006), *Reymondon, Pellet e Marcon* (2008), *Alves et al.* (2016), insumos descartáveis, como pode ser visto em *Cardoen, Beliën e Vanhoucke* (2015), insumos hospitalares e medicamentos, no trabalho de *Dias et al.* (2021).

Neste trabalho é proposta a padronização de kits de materiais e medicamentos cirúrgicos visando, além de otimizar os custos de montagem, reduzir os desperdícios, tanto econômicos quanto materiais, aumentar a qualidade clínica, melhorar o controle do estoque pela farmácia,

dentre outros benefícios. [Baines et al. \(2001\)](#) enfatizam que a introdução de pacotes/kits personalizados economiza o tempo de espera por cirurgias, reduz o risco de contaminação, aumenta a satisfação da equipe e reduz o número de itens em estoque.

[Alves et al. \(2016\)](#) mencionam que a composição desajustada de pacotes cirúrgicos padronizados e o agrupamento não otimizado de instrumentos em cada pacote gera falhas operacionais que poderiam ser evitadas em hospitais. Como exemplo, pacotes levados para a sala cirúrgica além do que é necessário, desgasta os materiais submetidos à esterilização desnecessária por não serem utilizados no ato cirúrgico, falta de instrumentos, etc. Da mesma forma, em pacotes compostos por insumos e medicamentos misturados, e com quantidades em excesso nos procedimentos, levam ao desperdício.

Neste contexto, nesta dissertação propõe-se identificar maneiras eficientes de organizar insumos médicos e medicamentos em kits ou sub-kits para procedimentos cirúrgicos para reduzir desperdícios. Poucos estudos na literatura abordam sobre técnicas de otimização para tratar o problema da composição de kits de materiais médicos para cirurgias. Com isso, a organização dos suprimentos cirúrgicos, na prática hospitalar, é baseada na experiência da equipe e não por meio de um método de otimização.

Em virtude do exposto, este trabalho visa propor modelos de programação matemática para a composição de kits cirúrgicos que possam ser compartilhados entre diferentes procedimentos. Com a mesma finalidade, também será utilizada uma técnica para agrupamento de dados bipartidos, conhecida como enumeração de bicliques maximais, que permite identificar grupos de itens definidos pelos procedimentos. Além disso, a partir dos grupos definidos pela abordagem mencionada, será utilizada uma heurística construtiva, proposta para determinar as quantidades de itens necessárias para compor cada kit. Para os experimentos computacionais, utiliza-se dados reais fornecidos por um hospital de São Carlos - SP.

De acordo com [Chen et al. \(2022\)](#), identificar bicliques maximais permite obter informações relevantes que ficam escondidas em grafos bipartidos. O problema da enumeração de bicliques maximais possui diversas aplicações biológicas, como exemplo, na análise genômica ([NAGARAJAN; KINGSFORD, 2008](#)), interação de proteínas ([LIU; LI; WANG, 2008](#)), grafos bipartidos de origem biológica aleatória, como os testados por ([ZHANG et al., 2014](#)). [Mukherjee e Tirthapura \(2016\)](#) citam ainda aplicações em mineração de dados da *web*, análise de redes sociais, encontro de correlações em banco de dados, para detectar comunidades antagônicas em redes de confiança-desconfiança, na compressão de dados, dentre outros.

Em alguns trabalhos foram desenvolvidos algoritmos eficientes para a enumeração de bicliques maximais, como exemplo, os algoritmos exatos MBEA e iMBEA, propostos por [Zhang et al. \(2014\)](#). [Lu, Phillips e Langston \(2020\)](#) desenvolveram e disponibilizaram uma ferramenta na linguagem de programação R, que invoca as implementações dos algoritmos escritas em C. Este *framework* foi utilizado nos experimentos computacionais deste trabalho, para identificar as bicliques maximais em grafos bipartidos que relacionam itens e procedimentos cirúrgicos.

Para proporcionar uma melhor compreensão do problema de pesquisa desta dissertação é apresentado um pequeno exemplo para ilustrar o estudo proposto. Seja dado um conjunto de tipos de itens que devem ser agrupados em kits ou sub-kits para serem distribuídos para procedimentos cirúrgicos diferentes. As necessidades de cada tipo de item, apresentadas na Tabela 1, devem ser atendidas com as respectivas quantidades para cada procedimento, sem falta. Com isso, pretende-se determinar kits mais genéricos que atendam às necessidades comuns dos procedimentos, ou seja, obter kits compostos por itens das interseções. Este problema considera que o kit pode ser composto por itens que ficam em excesso durante a realização da cirurgia, ou seja, são atribuídos ao kit, porém, acabam não sendo utilizados em alguns procedimentos. Entretanto, estes itens geram um desperdício que poderia ser evitado. Além disso, também são considerados itens fornecidos aos procedimentos como avulsos, ou seja, itens que não estão em um kit cirúrgico, mas devem ser fornecidos em embalagens individuais.

Tabela 1 – Necessidades de itens - Exemplo Ilustrativo

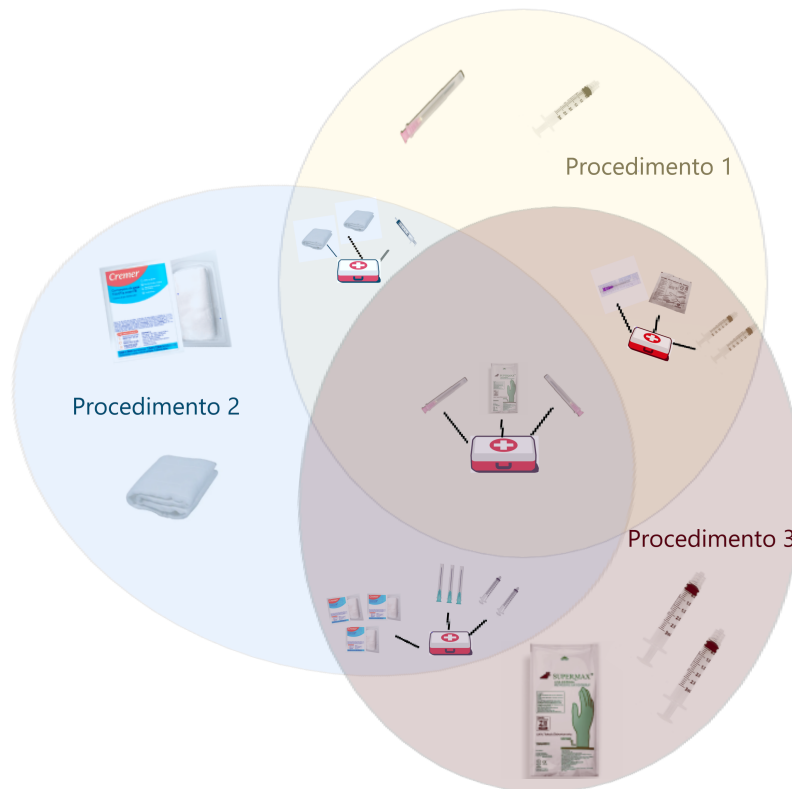
Item	Procedimento 1	Procedimento 2	Procedimento 3
Agulha Descartável 14 x 7	3	2	2
Agulha Descartável 20 x 55	1	-	1
Agulha Descartável 40 x 12	-	3	3
Compressa Cirúrgica Estéril Descartável 25cm x 28cm	2	3	-
Compressa de Gaze Estéril	-	4	3
Luva Cirúrgica n 7	1	1	2
Luva Cirúrgica n 8	1	-	1
Seringa Descartável 3 ml	3	-	2
Seringa Descartável 5 ml	1	1	-
Seringa Descartável 10 ml	-	2	4

Fonte: Elaborada pelo autor.

O conjunto de itens do exemplo ilustrativo possui 10 tipos de insumos hospitalares que devem ser agrupados, considerando as quantidades, em kits para serem atribuídos para 3 tipos de procedimentos, denotados por Procedimento 1, Procedimento 2 e Procedimento 3. O objetivo é agrupar os itens para obter um maior nível de compartilhamento de kits, ou seja, obter o máximo possível de kits que possam ser usados em vários procedimentos.

A Figura 1 mostra a solução para o exemplo ilustrativo, onde foram configurados 4 kits com as seguintes configurações: um kit compartilhado entre os três procedimentos, um kit comum entre os procedimentos 1 e 2, um kit atribuído para os procedimentos 1 e 3 e um kit compartilhado entre os procedimentos 2 e 3. Nota-se que cada kit configurado é composto por itens das interseções entre os procedimentos. Nesta solução, cada tipo de procedimento foi atendido por kits diferentes e para atender as necessidades individuais foram atribuídos itens como avulsos. No entanto, os insumos que ficaram avulsos poderiam ser agrupados para formar outros kits específicos para cada um dos procedimentos.

Figura 1 – Solução do Exemplo Ilustrativo



Fonte: Elaborada pelo autor.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é analisar diferentes abordagens de solução visando a organização de kits cirúrgicos, de modo que estes sejam compostos por sub-kits ou pacotes, compostos por itens necessários para cirurgias de diversas especialidades. Para atingir o objetivo geral, são dados os seguintes objetivos específicos.

- Identificar modelos de programação matemática da literatura sobre problemas de organização de kits cirúrgicos em grupos ou sub-kits;
- Implementar e adaptar modelos de otimização inteira visando o problema de organização dos kits baseados em sistemas de agrupamento;
- Propor uma heurística consistindo em duas etapas: a primeira usa um *framework* da literatura para identificar grupos de itens comuns aos procedimentos, a segunda, um procedimento construtivo para determinação de quantidades de itens em cada kit cirúrgico;
- Analisar as soluções utilizando os dados reais com os modelos implementados;
- Propor um modelo adaptado para obter soluções comparáveis a heurística.

1.2 Organização do Trabalho

A organização desta dissertação está dividida da seguinte forma. O Capítulo 1 apresenta uma introdução geral sobre o problema de pesquisa, os objetivos e a organização do trabalho. No Capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica da literatura, subdividida em abordagens para a organização de medicamentos, trabalhos relacionados ao problema das bandejas cirúrgicas, aos pacotes personalizados e aos bicliques maximais. Além disso, são apresentadas as principais características dos modelos da literatura e, nas considerações finais, é mostrada a visão geral das abordagens estudadas. O Capítulo 3 apresenta as abordagens de solução propostas para resolução do problema de pesquisa. O Capítulo 4 apresenta os resultados dos experimentos computacionais realizados. Por fim, o Capítulo 5 traz as conclusões e perspectivas para trabalhos futuros.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para contextualização do tema deste trabalho foi feita uma revisão bibliográfica das abordagens utilizadas para tratar o problema da organização de itens médicos para cirurgias. A Seção 2.1 trata da organização de medicamentos para cirurgias. A Seção 2.2 discorre sobre o problema de otimização de bandejas cirúrgicas, que apesar de não ser o foco do trabalho deste mestrado, tem similaridades com o objetivo da pesquisa. Na Seção 2.3, são revisados trabalhos que abordam o problema dos pacotes personalizados compostos por instrumentos, insumos, medicamentos ou ambos, para identificar estratégias eficientes para configuração de kits cirúrgicos. A Seção 2.4 traz algumas abordagens e aplicações de bicliques maximais. Na Seção 2.5, são expostas as principais características dos modelos matemáticos que tratam problemas relacionados e apresentada a formulação da literatura que mais se aproxima do objetivo desta pesquisa. Por fim, na Seção 2.6, é apresentada a visão geral do referencial analisado e as contribuições da presente pesquisa.

2.1 Organização de Medicamentos

Um kit de medicamentos para procedimentos cirúrgicos deve conter todos os remédios necessários para serem utilizados no ato cirúrgico. Na Figura 2, é apresentado o kit de medicamentos do hospital universitário da UFSCar. Pode ser verificado que as drogas são organizadas em locais específicos, representados por cores diferentes para facilitar a seleção do medicamento correto durante o procedimento. Além disso, na Figura 2b, é mostrado que cada kit de medicamentos é fornecido em uma caixa lacrada para a cirurgia.

Novaes, Gonçalves e Simonetti (2006) propuseram uma abordagem para gestão da farmácia hospitalar de uma rede privada localizada na cidade de Juiz de Fora, Minas Gerais. No estudo, foi realizada a padronização de medicamentos em estoque e análise da aplicação

Figura 2 – Fotografia de um kit de medicamentos



(a) Visualização superior



(b) Visualização do lacre

Fonte: Fotos fornecidas pela equipe do Centro Cirúrgico da UFSCar.

do método de Classificação ABC¹. O objetivo era avaliar os indicadores de custos relacionados ao nível de estoque e ao valor do estoque, além de verificar o indicador de qualidade, que identificava o tempo gasto para realizar o inventário dos produtos. Os autores conseguiram otimizar a gestão do estoque de medicamentos, tornando a abordagem viável para a redução dos custos e diminuição do estoque.

Mattos, Faintuch e Ceconello (2007) realizaram um estudo de caso no Centro Cirúrgico do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo - USP, para analisar a prática da implantação do método de distribuição de medicamentos em forma de kit e avaliar o impacto econômico desse sistema nos procedimentos cirúrgicos e anestésicos. Na análise experimental, para delimitar o consumo, foram feitas verificações nos carros de parada

¹ Método que permite separar produtos em grupos com características semelhantes para classificação em função de seus valores e consumo (NOVAES; GONÇALVES; SIMONETTI, 2006)

e anestesia através da quantificação de medicamentos antes do início dos procedimentos. Para formar os kits foi escolhido utilizar grupos que garantiam maior cumprimento da prescrição cirúrgica. Após a implementação, quantificaram os medicamentos utilizados nas cirurgias, conferiram todos os medicamentos devolvidos e vistoriaram as salas cirúrgicas para confirmar a devolução. A partir da análise dos dados foi viabilizada a implantação dos kits e como benefícios, foram destacados a redução na quantidade de estoque inicial pós-implantação do kit, diminuição na solicitação de medicamentos extra, redução dos desperdícios e custos com medicamentos.

De acordo com [Boletim ISMP Brasil \(2018\)](#), para prevenir erros de seleção, no ato cirúrgico, é recomendado que os kits de medicamentos sejam organizados por classe farmacológica devido à aparência similar. Além disso, é sugerido que a padronização dos kits considere o perfil do procedimento a ser realizado, identificando, por exemplo, se o ato cirúrgico é uma anestesia geral ou uma sedação leve. Como a medicação pode ser disponibilizada em frascos, ampolas ou seringas, a depender da quantidade necessária para o ato cirúrgico, a forma de codificação dos rótulos para o posterior armazenamento da droga no kit deve seguir o padrão da *International Organization for Standardization* (ISO) - ISO 26825:2008², que apresenta as normas de codificação por cor para facilitar a identificação dos medicamentos, Figuras 3 e 4.

Figura 3 – Especificações para etiquetas de medicamentos

QUADRO 2 - CORES DE RÓTULO PARA SERINGAS CONTENDO MEDICAMENTOS UTILIZADOS DURANTE A ANESTESIA		
Classe terapêutica	Coloração	Exemplos de medicamento
Agentes indutores	Amarela	Cetamina mg/ml Tiopental mg/ml Propofol mg/ml
Benzodiazepínicos	Laranja	Diazepam mg/ml Midazolam mg/ml
Antagonistas dos Benzodiazepínicos	Laranja com listras brancas em diagonal	Flumazenil mg/ml
Relaxantes musculares	Vermelho fluorescente	Atracúrio mg/ml Cisatracúrio mg/ml Vecurônio mg/ml
Antagonistas dos Relaxantes musculares	Vermelho fluorescente com listras brancas em diagonal	Neostigmina mg/ml Sugamadex mg/ml

Fonte: [Boletim ISMP Brasil \(2018\)](#).

[Maestre, Fernández e Jurado \(2018\)](#) utilizaram um modelo de controle preditivo econômico para gestão de dez medicamentos da farmácia de um hospital de médio porte da Espanha para reduzir níveis de estoque. Este modelo calcula a previsão de saída para atender as necessidades futuras com base em um determinado horizonte de previsão. Os objetivos do modelo eram satisfazer a demanda, obter níveis de estoque reduzidos e minimizar o número de pedidos. Além disso, o problema de otimização considerou restrições de armazenamento para atender,

² A ISO 26825:2008, atualmente revisada para ISO 26825:2020, fornece requisitos para rótulos, anexados às seringas durante a anestesia. Nestes requisitos são considerados cor, tamanho, design e propriedades gerais do rótulo.

Figura 4 – Continuação das especificações para etiquetas de medicamentos

QUADRO 2 - CORES DE RÓTULO PARA SERINGAS CONTENDO MEDICAMENTOS UTILIZADOS DURANTE A ANESTESIA		
Classe terapêutica	Coloração	Exemplos de medicamento
Opioides	Azul	Fentanil mg/ml, Morfina mg/ml, Tramadol mg/ml
Antagonistas dos Opioides	Azul com listras brancas em diagonal	Naloxona mg/ml
Vasopressores	Violeta	Dobutamina mg/ml, Efedrina mg/ml, Noradrenalina mg/ml
Agentes hipotensores	Violeta com listras brancas em diagonal	Adenosina mg/ml, Amiodarona mg/ml, Nitroglicerina mg/ml
Anestésicos locais	Cinza	Bupivacaína mg/ml, Lidocaina mg/ml, Ropivacaína mg/ml
Agentes anticolinérgicos	Verde	Atropina mg/ml, Butilescopolamina mg/ml
Antieméticos	Salmão	Droperidol mg/ml, Metoclopramida mg/ml, Ondansetron mg/ml
Diversos	Branca	Cefazolina mg/ml, Dexametasona mg/ml, Sulfato de Magnésio mg/ml

Obs: Escrever os nomes dos medicamentos levando em consideração a lista de medicamentos com som ou gráfica semelhante.
Fonte: elaborado pelos autores com base na ISO 26825/2008²⁹.

Fonte: Boletim ISMP Brasil (2018).

por exemplo, o requisito de que algumas drogas devem ser armazenadas a frio, restrições de pedidos e restrições operacionais. [Fernández et al. \(2020\)](#) apresentaram um sistema de suporte a decisão para o modelo de controle preditivo baseado nos dados hospitalares dos medicamentos supracitados. Nesta metodologia, os registros históricos dos medicamentos são explorados e o sistema fornece automaticamente a quantidade dos medicamentos que devem ser pedidos e estocados para demandas futuras.

2.2 Bandejas Cirúrgicas

Uma bandeja cirúrgica é um recipiente retangular de aço inoxidável utilizado para acomodar instrumentos como bisturis, tesouras, pinças, dentre outras ferramentas que também são usualmente compostas por aço inoxidável, necessárias para a realização de um procedimento cirúrgico. Os instrumentos cirúrgicos devem ser selecionados e organizados nas bandejas por um profissional responsável para que todos os instrumentos estejam disponíveis antes de iniciar o procedimento.

[Dobson et al. \(2015\)](#) formularam um modelo de Programação Linear Binária (PLB) com o objetivo de encontrar a configuração de instrumentos em bandejas cirúrgicas para redução de custos. Uma boa configuração deve conter, sem falta, todas as quantidades e tipos de instrumentos fundamentais para cada procedimento. A proposta era minimizar os custos de armazenamento e uso das bandejas, satisfazendo os requisitos de disponibilidade dos itens e considerando as preferências e horários dos cirurgiões. Cabe destacar que o modelo incorporou a abordagem de

geração de colunas para atender às preferências quanto ao tipo de instrumento necessário, mas as quantidades de cada instrumento a ser colocado na bandeja não foram determinadas. Os autores utilizaram dados do período de um ano do agendamento cirúrgico da especialidade de cirurgia geral de um hospital americano de médio porte localizado no interior de Nova Iorque. Além disso, os autores propuseram uma heurística para encontrar a configuração de bandejas de baixo custo.

Bandejas compostas por itens redundantes são vistas como uma dificuldade nas unidades cirúrgicas, visto que, quando uma bandeja é aberta no procedimento, todos os itens ficam expostos. Caso os itens não sejam utilizados, esses devem posteriormente passar pelo processo de descontaminação e esterilização, gerando custos que poderiam ser evitados. A partir desta motivação, [John-Baptiste et al. \(2016\)](#) realizaram uma análise econômica utilizando uma modelagem matemática para a comparação entre bandejas com instrumentos redundantes e bandejas com instrumentos reduzidos. Foram utilizados dados para cinco procedimentos cirúrgicos otorrinolaringológicos de dois hospitais de Londres no período de um ano. Os autores concluíram que o uso de bandejas com itens cirúrgicos reduzidos está associado a uma economia de materiais hospitalares e mostra que esta prática é viável para os hospitais reduzirem custos.

[Dollevoet, Essen e Glorie \(2018\)](#) apresentaram modelos de Programação Linear Inteira Mista (PLIM) para minimização de custos em bandejas de instrumentos e testaram diferentes métodos heurísticos para resolução do problema de otimização de bandejas. Os autores simularam dados de agendamento cirúrgico para dois hospitais holandeses para construir instâncias grandes como cenários para os testes experimentais.

Para configurar bandejas cirúrgicas considerando o peso ideal da bandeja, a fim de reduzir os riscos ergonômicos, [Ahmadi et al. \(2019\)](#) propuseram uma abordagem biobjetivo de PLIM. O modelo tem a característica biobjetiva por minimizar simultaneamente o tipo de bandeja configurada e o número de instrumentos em excesso no procedimento. Neste estudo foram gerados dados experimentais para testar o modelo, que atendeu ao requisito de preferências dos cirurgiões relacionadas ao tipo de instrumento necessário e suas respectivas quantidades para cada procedimento cirúrgico.

Um estudo para redução de instrumentos cirúrgicos em bandejas de urologia foi realizado no trabalho de [Nast e Swords \(2019\)](#) visando diminuir custos de manutenção e esterilização de instrumentos. Foram analisados três tipos de procedimentos cirúrgicos em uma amostra aleatória de 54 cirurgias, registradas para contabilização dos instrumentos utilizados pelos cirurgiões e os não utilizados. Para tanto, listou-se o consumo dos itens com as porcentagens de utilização de cada instrumento. Com a validação dos cirurgiões, os instrumentos com pouca utilização foram retirados e as bandejas foram reduzidas, desta forma, os autores puderam constatar que a abordagem proporcionou economia de custos.

[Ahmadi, Masel e Hostetler \(2019\)](#) desenvolveram um modelo de programação estocástica para a otimização da localização de insumos cirúrgicos no estoque e das preferências dos

cirurgiões, através da diminuição de quantidades solicitadas que não eram utilizadas durante o procedimento cirúrgico. O modelo possuía a característica estocástica devido à incerteza da demanda por suprimentos cirúrgicos. A proposta foi avaliada mediante um estudo de caso realizado em um sistema de saúde dos Estados Unidos, composto por 12 hospitais.

[Yalamanchi et al. \(2022\)](#) revisaram dados de cirurgias, a fim de reduzir instrumentos em bandejas de procedimentos de cabeça e pescoço para a otimização de custos de esterilização em salas de cirurgia de um hospital acadêmico americano. Neste trabalho, foram utilizados dados de 3 anos para identificação dos padrões de uso de instrumentos e, via listas de consumo, foram encontradas as quantidades que não estavam sendo utilizadas. Com isso, foi proposto montar bandejas reduzidas compostas por instrumentos com maiores percentuais de uso. Os itens com baixo percentual de uso foram embalados individualmente.

2.3 Pacotes Personalizados

Um pacote de procedimento cirúrgico personalizado é definido como uma embalagem única, estéril e descartável que contém todos os materiais necessários para um procedimento cirúrgico. O uso de embalagens personalizadas traz muitos benefícios como, por exemplo, a redução de custos de compra de itens individuais e no tempo do procedimento cirúrgico (visto que durante a cirurgia será aberta uma única embalagem estéril que contém todos os instrumentos), além de proporcionar melhor eficiência e produtividade ([GELLMAN, 1988](#)).

[Baines et al. \(2001\)](#) também destacaram benefícios do uso de pacotes personalizados, a partir de análises qualitativas e quantitativas em hospitais que usavam kits cirúrgicos. Desse modo, foram destacadas a diminuição no tempo de preparo para uma cirurgia de emergência, redução de quantidade de itens em estoque e dos desperdícios, a minimização de custos relacionados à manutenção do estoque e redução no índice de contaminação dos produtos. Para exemplificar um pacote personalizado, na Figura 5, é mostrado o kit de insumos médicos para procedimentos cirúrgicos do Hospital Universitário da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Note que cada tipo de insumo é de uso único e envolvido individualmente em embalagens de plástico e papel para garantir a esterilidade. Além disso, são organizados em subdivisões que separam as agulhas das seringas, das compressas de gases e demais, com as respectivas quantidades necessárias para a realização das cirurgias.

[Reymondon, Pellet e Marcon \(2006\)](#) formularam um modelo de programação linear inteira mista para agrupar instrumentos cirúrgicos em pacotes a fim de minimizar custos de esterilização. Neste estudo de caso experimental foram gerados dados para um período de seis meses e utilizada uma função objetivo multi-monetária, dada por custos de armazenamento dos pacotes em caixas de esterilização, custo de tempo de processamento e custos referentes aos instrumentos cirúrgicos não utilizados. [Reymondon, Pellet e Marcon \(2008\)](#) apresentaram a abordagem referida anteriormente descrita por um modelo de Programação Não Linear (PNL).

Figura 5 – Fotografia de um kit de insumos



Fonte: Fornecida pela equipe do Centro Cirúrgico da UFSCar.

Os autores mostraram melhorias nos custos avaliando diferentes alternativas para a escolha da configuração do pacote considerando o nível de compartilhamento de cada abordagem. Com isso, foram analisadas as seguintes estruturas: um pacote para um caso cirúrgico e um pacote para um instrumento.

[Machline \(2008\)](#) aborda vantagens do uso do sistema de fornecimento de kits pré-montados para procedimentos cirúrgicos através da ideia de estoque circulante. Nesta estratégia os instrumentos são entregues aos hospitais somente para realização da cirurgia. Segundo o autor, esta prática é utilizada em cirurgias ortopédicas, onde os instrumentos são caros e, por isso, não são adquiridos pelos hospitais. Entretanto, a técnica apresenta como desvantagem a dificuldade no controle e rastreamento dos itens, porém, ainda assim, tem a garantia de qualidade e rapidez.

Um estudo realizado em três hospitais distritais localizados no Quênia aborda a implementação de um pacote para anestesia para auxiliar cirurgiões em procedimentos de emergência. O projeto intitulado *Every Second Matters-Ketamine* (ESM-Ketamine) propõe a utilização de um kit composto por insumos médicos como gases, instrumentos e o medicamento cetamina em cirurgias onde não tem um profissional anestesiologista disponível devido aos recursos limitados da região. Na iniciativa, os médicos foram treinados para utilizar o pacote ESM-Ketamine quando necessário e para atestar a segurança do kit foram avaliados 193 procedimentos cirúrgicos ([BURKE](#)

et al., 2015). Uma nova investigação foi proposta para comprovar a viabilidade da utilização do kit ESM-Ketamine através da análise de 1216 procedimentos cirúrgicos consecutivos. Neste estudo, foram realizadas entrevistas com fornecedores dos kits, cirurgiões e administradores dos hospitais (BURKE *et al.*, 2017).

Cardoen, Beliën e Vanhoucke (2015) formularam um modelo de PLIM para agrupar insumos descartáveis em pacotes personalizados para minimizar pontos de contato, o qual é a medida de contato físico entre a equipe e os materiais cirúrgicos descartáveis. Para testar as abordagens propostas, foram utilizados dados de um ano para 16 procedimentos cirúrgicos diferentes realizados em um hospital belga de médio porte. Além disso, os autores geraram alguns cenários para considerar conjuntos de teste com diferenças em relação aos itens em comum, no volume anual de utilização e nos custos. Os autores também apresentaram uma heurística de duas fases para resolver o problema e comparar com os resultados obtidos pelo método exato. Na primeira fase, são gerados pacotes diversificados e, na segunda fase, o algoritmo escolhe a melhor configuração de pacotes, podendo ainda nesta fase construir novos pacotes alternativos.

Alves *et al.* (2016) propuseram uma metodologia para a combinação de suprimentos cirúrgicos a fim de otimizar custos com pacotes de procedimentos de um hospital público de Portugal. Os objetivos foram agrupar os instrumentos considerando o máximo de aproveitamento e minimizar os ciclos de esterilização. Além disso, identificar grupos para serem incluídos nos kits cirúrgicos, compostos por materiais com pouca diferença nos padrões de uso (garantindo maior consistência interna) e pacotes com diferenças externas significativas e mais heterogêneos. No estudo foi utilizada uma pequena amostra contendo dados de 41 casos cirúrgicos, sendo dois tipos de procedimentos diferentes, coletados no período de três meses. Foram aplicadas ferramentas de análise combinatória através da proposta de um modelo de PNL, análise estatística dos padrões de uso dos instrumentos, sendo utilizado o modelo Log-Linear de Poisson, e, análise de grupos, usando um método de agrupamento hierárquico.

Oliveira (2017) propôs melhorar a gestão de estoque na farmácia do Centro Cirúrgico Ambulatorial do Hospital das Clínicas de Porto Alegre utilizando a abordagem de lista de consumo de materiais, visando compor kits de insumos e medicamentos para procedimentos cirúrgicos. Como critério para elaboração das listas de cada cirurgia, foi feita uma análise estatística baseada na média de consumo adicionada com dois desvios padrão para proporcionar uma faixa de segurança. Além disso, foi feita uma análise usando os métodos de agrupamento *k-means* e Hierárquico, a fim de propor kits de insumos com maior similaridade para serem compartilhados entre os procedimentos.

Dias *et al.* (2021) adaptaram o modelo proposto por Cardoen, Beliën e Vanhoucke (2015), para resolver o problema de determinação de kits padronizados para procedimentos cirúrgicos, utilizando dados reais fornecidos pela Santa Casa de Misericórdia da Cidade de São Carlos. Neste estudo foram obtidos kits para 20 procedimentos cirúrgicos mais frequentes, formados por insumos e medicamentos e mostrado que modelo retornou a configuração de poucos kits

compostos por muitos itens.

2.4 Bicliques Maximais

Um grafo bipartido pode ser definido como um grafo cujos vértices podem ser particionados em um par de conjuntos não vazios, que não possuem dois vértices na mesma partição conectados por uma aresta. Um biclique em um grafo bipartido é um subgrafo bipartido completo no qual todos os vértices das duas partições são adjacentes. O biclique é dito maximal quando for o de maior tamanho, ou seja, nenhum vértice do grafo pode ser adicionado para formar um biclique maior. Descobrir bicliques maximais em grafos bipartidos permite identificar o relacionamento entre pares de dados heterogêneos, que possuem associações comuns entre os conjuntos de dados.

[Nagarajan e Kingsford \(2008\)](#) desenvolveram um algoritmo para enumerar bicliques maximais em grafos bipartidos para análise de genomas virais, com base em duas distribuições de árvores filogenéticas. A abordagem utilizada neste trabalho, permitiu a identificação de todos os eventos de rearranjo da gripe.

[Liu, Li e Wang \(2008\)](#) propuseram uma heurística gulosa para encontrar quase-bicliques maximais em redes biológicas, ou seja, grupos aos quais nem todos os vértices estão conectados a outra partição, para identificar o relacionamento entre pares de diferentes grupos de proteínas em interação. O conceito de quase-bicliques foi utilizado neste trabalho porque o objetivo era encontrar subgrafos bipartidos quase completos, que possuíssem interações úteis entre pares de grupos de proteínas.

[Zhang et al. \(2014\)](#) propuseram o método *Maximal Biclique Enumeration Algorithm* (MBEA) e a versão aprimorada (iMBEA) para enumerar todos os bicliques maximais em grafos bipartidos de origem biológica. Os autores realizaram testes comparativos com outros algoritmos existentes na época e conseguiram comprovar que as abordagens proporcionavam melhorias no tempo computacional.

[Sözdinler e Özturan \(2018\)](#) formularam um modelo de programação inteira para encontrar bicliques maximais em redes de bioinformática e mostraram que a alternativa é competitiva aos métodos existentes, quando o objetivo é enumerar muitos bicliques maximais.

A busca por bicliques maximais em grandes grafos bipartidos é uma tarefa difícil, ainda mais quando o problema possui bilhões de arestas. Para resolver problemas deste tipo, [Lyu et al. \(2020\)](#) propuseram uma abordagem que divide o grafo original em grafos bipartidos menores para encontrar as bicliques maximais. Os autores comprovaram a eficiência do método em testes usando conjuntos de dados reais de diferentes domínios de aplicação.

[Lu, Phillips e Langston \(2020\)](#) propuseram a ferramenta *Biclique*, desenvolvida na linguagem de programação R, que invoca as implementações em C dos métodos MBEA e

iMBEA, propostos por [Zhang et al. \(2014\)](#). O pacote disponível em: <https://github.com/YupingLu/biclique> é eficiente para a enumeração de todas os bicliques maximais em grafos bipartidos. [Stelzer et al. \(2020\)](#) recorreram ao pacote para analisar dados de uma rede de entrevistas bipartida e identificar o relacionamento entre os entrevistados e os códigos de suas respostas, para verificar perspectivas de pacientes na área da medicina oncológica. [Thieme e Walther \(2021\)](#) utilizaram o pacote Biclique para calcular todos bicliques máximos em redes metabólicas, para prever interações composto-proteínas que eram desconhecidas. A ferramenta também foi utilizada no trabalho de [Yang et al. \(2021\)](#), na identificação de interações gênicas de marcadores para classificações de câncer com diferentes prognósticos.

[Shaham et al. \(2021\)](#) desenvolveram uma heurística que usa bicliques maximais para identificar a relação entre os itens adquiridos e os fornecedores, capaz de obter padrões de agregação de demandas orientada por dados. Além disso, o algoritmo foi implantado em uma grande organização de pesquisa governamental de Cingapura com despesas de aquisição.

[Chen et al. \(2022\)](#) propuseram um algoritmo eficiente que aproveita que grandes grafos bipartidos são esparsos e melhora a eficiência do tempo computacional na enumeração de bicliques maximais. O algoritmo foi testado em conjuntos de dados sintéticos e reais com milhões de arestas.

2.5 Modelos Matemáticos

Nesta seção, são apresentadas as principais características dos modelos de programação matemática da literatura relacionados ao problema, Tabela 2, e mostrada a formulação do modelo matemático que mais se aproxima da proposta de pesquisa.

Tabela 2 – Características dos Modelos da Literatura

Autor	Problema	Técnicas	Objetivos	Requisitos
Reymondon, Pellet e Marcon (2008)	Pacotes Personalizados	Programação Linear Inteira Mista	Agrupamento de instrumentos reutilizáveis em pacotes para a minimização de custos de esterilização.	As necessidades de instrumentos devem ser atendidas; Cada pacote composto por instrumentos agrupados deve ter uma caixa de esterilização associada.
Dobson <i>et al.</i> (2015)	Bandejas Cirúrgicas	Programação Linear Binária	Minimizar custos de armazenamento e uso de bandejas, segundo as preferências e horários dos cirurgiões.	Satisfazer os requisitos de disponibilidade dos instrumentos e os horários dos cirurgiões.
Cardoen, Beliën e Vanhoucke (2015)	Pacotes Personalizados	Programação Linear Inteira Mista	Agrupamento de itens médicos descartáveis em pacotes, propondo a minimização dos pontos de contato, medida de contato físico entre a equipe e os materiais.	As necessidades dos itens devem ser satisfeitas; Os pontos de contato devem ser minimizados; O gasto anual com itens em excesso é restrito.
Dollevoet, Essen e Glorie (2018)	Bandejas Cirúrgicas	Programação Linear Inteira Mista	Apresentar diferentes métodos de solução exata e heurística para o problema de otimização de bandejas.	Respeitar restrições de capacidade das bandejas.
Ahmadi <i>et al.</i> (2019)	Bandejas Cirúrgicas	Programação Linear Inteira Mista	Minimizar uma função bi-objetivo do número total de bandejas montadas e o número total de instrumentos não utilizados nos procedimentos.	As preferências dos cirurgiões devem ser atendidas; Cada bandeja tem um limite de peso.
Dias <i>et al.</i> (2021)	Kits Cirúrgicos	Programação Linear Inteira Mista	Extensão do modelo de Cardoen, Beliën e Vanhoucke (2015) , proposta para a padronização de kits de insumos e medicamentos para procedimentos cirúrgicos.	As necessidades dos itens devem ser satisfeitas; A quantidade de pacotes personalizados, itens avulsos e itens em excesso devem ser minimizadas.

O modelo proposto por [Cardoen, Beliën e Vanhoucke \(2015\)](#) aborda sobre a configuração de pacotes personalizados para procedimentos. Como este é um dos objetivos deste estudo, a formulação é apresentada a seguir.

Neste estudo os autores desenvolveram um modelo de programação linear inteira mista para configurar pacotes personalizados compostos por insumos descartáveis. Considere um conjunto I de itens médicos descartáveis, indexados por i , um conjunto J de procedimentos cirúrgicos, indexados por j e um conjunto P de pacotes personalizados, indexados por p . Deseja-se configurar pacotes que minimizem o número anual de pontos de contato sobre todos os procedimentos.

Parâmetros:

- B - Custo permitido associado a itens em excesso;
- C_i - Custo do item i ;
- D_j - Demanda anual para o procedimento j ;
- C_i - Custo do item i ;
- $|P|$ - Quantidade de kits que devem ser configurados;
- N_{ij} - Número de unidades do item i necessários para o procedimento j ;
- M - Número grande;

Variáveis de Decisão:

- red_{ij} - Número de itens i em excesso para o procedimento j ;
- v_{ipj} - Número de unidades do item i no pacote p usados no procedimento j ;
- x_{ip} - Número de unidades do item i no pacote p ;
- y_{pj} - 1, se o pacote p é usado no procedimento j . 0, caso contrário;
- z_{ij} - Número de unidades do item i acrescentados individualmente para o procedimento j ;
- w_p - 1, se o pacote p é usado. 0, caso contrário.

Função Objetivo e Restrições:

$$\min \sum_p \sum_j (D_j \cdot y_{pj}) + \sum_i \sum_j (D_j \cdot z_{ij}) \quad (2.1)$$

s.a.

$$\sum_i \sum_j C_i \cdot red_{ij} \cdot D_j \leq B \quad (2.2)$$

$$\sum_p w_p \leq |P| \quad (2.3)$$

$$w_p \geq y_{pj} \quad \forall p \in P, j \in J \quad (2.4)$$

$$\sum_p v_{ipj} + z_{ij} - red_{ij} = N_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.5)$$

$$v_{ipj} \leq x_{ip} \quad \forall i \in I, p \in P, j \in J \quad (2.6)$$

$$v_{ipj} \leq y_{pj} \cdot M \quad \forall i \in I, p \in P, j \in J \quad (2.7)$$

$$v_{ipj} \geq x_{ip} + M(y_{pj} - 1) \quad \forall i \in I, p \in P, j \in J \quad (2.8)$$

$$y_{pj} \in \{0, 1\} \quad \forall p \in P, j \in J \quad (2.9)$$

$$w_p \in \{0, 1\} \quad \forall p \in P \quad (2.10)$$

$$x_{ip} \in \mathbb{N} \quad \forall i \in I, p \in P \quad (2.11)$$

$$z_{ij}, red_{ij} \in \mathbb{N} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.12)$$

$$v_{ipj} \in \mathbb{R}^+ \quad \forall i \in I, p \in P, j \in J \quad (2.13)$$

A função objetivo (2.1) minimiza o número anual de pontos de contato, que podem ser originados do uso de pacotes personalizados e pela introdução de itens avulsos. As restrições (2.2) restringem o gasto anual com itens em excesso a ser menor ou igual ao orçamento previsto. As restrições (2.3) fixam o número máximo de pacotes a serem configurados. As restrições (2.4) garantem que se o pacote p for usado no procedimento j , então ele está configurado. As restrições (2.5) impõem que o requisito mínimo de itens i necessários para o procedimento j seja atendido. As restrições (2.6) garantem que o número de itens i do pacote p usado no procedimento j não pode ser maior do que o número de itens i no pacote p . As restrições (2.7) asseguram que se o pacote p estiver em uso no procedimento j , o número de itens i no pacote p para o procedimento j não pode ser maior do que M . As restrições (2.8) garantem que o número de itens i no pacote p para o procedimento j deve ser pelo menos o número de itens i no pacote p .

2.6 Considerações Finais

Para proporcionar uma visão geral dos trabalhos da literatura relacionados ao tema de pesquisa, na Tabela 3, são apresentadas as diferentes abordagens revisadas e os tipos de suprimentos médicos, abordados em cada trabalho. Além disso, na última linha é mostrada a contribuição do presente projeto.

Poucos trabalhos utilizam técnicas de otimização para resolver o problema do agrupamento de itens para procedimentos cirúrgicos. Neste sentido, a organização dos suprimentos cirúrgicos é feita baseada nas necessidades dos cirurgiões e na experiência dos profissionais responsáveis. Este comportamento pode acabar levando ao desperdício de ter itens em excesso, por não serem utilizados em determinadas cirurgias. A maioria dos trabalhos encontrados trata somente a organização de instrumentos cirúrgicos.

Neste trabalho, o objetivo é utilizar formas eficientes de combinação e composição de kits de insumos e kits de medicamentos para padronizar e obter maior nível de compartilhamento entre diferentes tipos de cirurgias.

Tabela 3 – Visão Geral das Abordagens da Literatura

Artigo	Técnicas	Insumos	Instrumentos	Medicamentos
Reymondon, Pellet e Marcon (2006)	Programação Linear Inteira Mista		X	
Mattos, Faintuch e Ceconello (2007)	Lista de Consumo			X
Reymondon, Pellet e Marcon (2008)	Programação Não Linear		X	
Dobson <i>et al.</i> (2015)	Programação Linear Binária		X	
Cardoen, Beliën e Vanhoucke (2015)	Programação Linear Inteira Mista	X		
John-Baptiste <i>et al.</i> (2016)	Modelagem Matemática		X	
Alves <i>et al.</i> (2016)	Programação Não Linear		X	
Oliveira (2017)	Lista de Consumo	X		X
Dollevoet, Essen e Glorie (2018)	Programação Linear Inteira Mista		X	
Ahmadi <i>et al.</i> (2019)	Programação Linear Inteira Mista		X	
Nast e Swords (2019)	Lista de Consumo		X	
Ahmadi, Masel e Hostetler (2019)	Programação Estocástica	X		
Dias <i>et al.</i> (2021)	Programação Linear Inteira Mista	X		X
Yalamanchi <i>et al.</i> (2022)	Lista de Consumo		X	
Proposta de Pesquisa	Programação Linear Inteira Mista	X		X

ABORDAGENS DE SOLUÇÃO

Neste capítulo são descritas as abordagens propostas para a resolução do problema de pesquisa. Inicialmente, na Seção 3.1 é apresentada a descrição do problema. Na Seção 3.2 são apresentados os modelos matemáticos, o modelo base da literatura que mais se aproximou ao objetivo da pesquisa, e diferentes adaptações propostas para o modelo, que formam diferentes cenários para os testes computacionais. A Seção 3.3 apresenta a segunda abordagem de solução, dividida em duas etapas: na primeira, é usado um *framework* para obter os grupos de itens relacionados aos procedimentos cirúrgicos, na segunda etapa, é proposta uma heurística construtiva para a determinação de quantidades de itens em cada kit, de acordo com cada grupo definido na etapa anterior.

3.1 Descrição do Problema

O problema proposto trata-se da configuração de kits ou sub-kits compostos por itens médicos necessários para diversos procedimentos cirúrgicos. Cada kit deve conter os tipos e quantidades de itens essenciais para realização dos procedimentos, de maneira que sejam utilizados com maior aproveitamento possível. Devem ser organizados grupos de itens comuns aos procedimentos para serem compostos kits mais genéricos, que possam ser levados para diferentes tipos de cirurgias. Desta forma, é preciso que o conjunto de itens que formam os kits tenham uma diferença mínima no perfil de uso quando agrupados. A Figura 1, apresentada no Capítulo 1, mostra a solução para o exemplo ilustrativo deste problema de pesquisa.

3.2 Modelos Matemáticos

Esta seção descreve as propostas de solução do problema de pesquisa com o uso de formulações de programação linear inteira mista, visando obter kits cirúrgicos com maior nível de compartilhamento entre os procedimentos.

Inicialmente, na Seção 3.2.1 será apresentado o modelo base para os experimentos computacionais, proposto na literatura por Dias *et al.* (2021) para determinar kits cirúrgicos padronizados, compostos por materiais hospitalares e medicamentos. Na Seção 3.2.2 é apresentada a adaptação do modelo base com a inclusão de restrições adicionais. A Seção 3.2.3 descreve uma proposta de modelo adaptado que altera a função objetivo do modelo base. Por fim, na Seção 3.2.4 é proposto um modelo adaptado adicional, que acrescenta ao modelo base uma nova variável de decisão e restrições adicionais.

3.2.1 Modelo base

Considere um conjunto I de itens médicos, indexados por i , um conjunto J de procedimentos cirúrgicos, indexados por j e um conjunto P de kits personalizados, indexados por p . Pretende-se configurar $|P|$ kits compostos por diversos tipos de itens $i \in I$ que minimizem o somatório do número de kits configurados, do número de itens avulsos, sendo os que devem ser adicionados individualmente, e do número de itens em excesso, aqueles que não são utilizados nos procedimentos. A formulação matemática é dada a seguir.

Parâmetros:

N_{ij} - Número de itens i necessários para o procedimento j ;

M - Número grande;

$\alpha_p, \beta_i, \gamma_i$ - Pesos

Variáveis de Decisão:

x_{ip} - Número de unidades do item i no kit p ;

y_{pj} - 1, se o kit p é usado no procedimento j . 0, caso contrário;

w_p - 1, se o kit p é usado. 0, caso contrário;

z_{ij} - Número de unidades do item i acrescentados individualmente para o procedimento j ;

red_{ij} - Número de unidades do item i em excesso para o procedimento j ;

v_{ipj} - Número de unidades do item i no kit p usados no procedimento j .

Função Objetivo e Restrições:

$$\min \sum_p \sum_j \alpha_p \cdot y_{pj} + \sum_i \sum_j \beta_i \cdot z_{ij} + \sum_i \sum_j \gamma_i \cdot red_{ij} \quad (3.1)$$

s.a.

$$\sum_p w_p \leq |P| \quad (3.2)$$

$$w_p \geq y_{pj} \quad \forall p \in P, j \in J \quad (3.3)$$

$$\sum_p v_{ipj} + z_{ij} - red_{ij} = N_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3.4)$$

$$v_{ipj} \leq x_{ip} \quad \forall i \in I, p \in P, j \in J \quad (3.5)$$

$$v_{ipj} \leq y_{pj} \cdot M \quad \forall i \in I, p \in P, j \in J \quad (3.6)$$

$$v_{ipj} \geq x_{ip} + M(y_{pj} - 1) \quad \forall i \in I, p \in P, j \in J \quad (3.7)$$

$$y_{pj} \in \{0, 1\} \quad \forall p \in P, j \in J \quad (3.8)$$

$$w_p \in \{0, 1\} \quad \forall p \in P \quad (3.9)$$

$$x_{ip} \in \mathbb{N} \quad \forall i \in I, p \in P \quad (3.10)$$

$$z_{ij}, red_{ij} \in \mathbb{N} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3.11)$$

$$v_{ipj} \in \mathbb{N} \quad \forall i \in I, p \in P, j \in J \quad (3.12)$$

A função objetivo (3.1) minimiza o número de pontos de contato, que podem ser originados do uso de kits personalizados, da introdução de itens avulsos ou pelo retorno de itens à farmácia, devido ao excesso nos procedimentos. A restrição (3.2) fixa o número máximo de kits a serem configurados. As restrições (3.3) garantem que se o kit p é usado no procedimento j , então o kit p já está configurado. As restrições (3.4) impõem que o requisito mínimo de itens i necessários para o procedimento j seja atendido. As restrições (3.5) garantem que o número de itens i do kit p usado no procedimento j não pode ser maior do que o número de itens i no kit p . As restrições (3.6) asseguram que se o kit p estiver em uso no procedimento j , o número de itens i no kit p para o procedimento j não pode ser maior do que M . As restrições (3.7) garantem que o número de itens i no kit p para o procedimento j deve ser pelo menos o número de itens i no kit p . As restrições (3.8) - (3.12) definem o domínio das variáveis.

3.2.2 Modelo com Inclusão de Restrições

Neste estudo o objetivo é verificar a influência de restrições adicionais no padrão de kits configurados, visando o compartilhamento entre diferentes procedimentos. Para isto, foram adicionadas à formulação matemática apresentada na Seção 3.2.1, duas restrições utilizadas no PLIM proposto no trabalho de [Ahmadi et al. \(2019\)](#), para o problema da configuração de instrumentos cirúrgicos em bandejas.

$$v_{ipj_1} \leq v_{ipj_2} + (y_{pj_1} - 1)(1 - M) + (y_{pj_2} - 1)(1 - M),$$

$$\forall i \in I, p \in P, j_1 \in J, j_2 \in J, j_1 \neq j_2 \quad (3.13)$$

$$v_{ipj_1} \geq v_{ipj_2} + (y_{pj_1} - 1)M + (y_{pj_2} - 1)M,$$

$$\forall i \in I, p \in P, j_1 \in J, j_2 \in J, j_1 \neq j_2 \quad (3.14)$$

As restrições (3.13) impõem que, se o kit p está em uso simultaneamente em dois procedimentos cirúrgicos diferentes (denotados por j_1 e j_2), ou seja, quando $y_{pj_1} = 1$ e $y_{pj_2} = 1$, a quantidade de itens no kit p para o procedimento j_1 deve ser no máximo igual à quantidade de itens necessárias para o procedimento j_2 .

Nas restrições (3.14) é garantido que caso o kit esteja em uso em dois procedimentos distintos, onde $y_{j_1} = 1$ e $y_{j_2} = 1$, a quantidade de itens no kit destinada ao procedimento j_1 deve ser no mínimo igual à quantidade de itens para o procedimento j_2 .

Logo, as restrições acima asseguram que, se um kit está em uso em dois procedimentos cirúrgicos diferentes, a quantidade de itens neste kit deve satisfazer às necessidades dos dois procedimentos.

Assim, o modelo matemático será da seguinte forma: minimizar (3.1), sujeito as restrições (3.2) - (3.7), com a adição das restrições (3.13), (3.14) e domínio das variáveis: (3.8) - (3.12).

3.2.3 Modelo com Função Objetivo Adaptada

Neste modelo é proposta a minimização dos itens avulsos e dos itens em excesso, alterando a função objetivo do modelo base apresentado na Seção 3.2.1 para a função (3.15), para verificar como são as soluções perante esta modificação.

$$\min \sum_i \sum_j \beta_i \cdot z_{ij} + \sum_i \sum_j \gamma_i \cdot red_{ij} \quad (3.15)$$

Nesta função está sendo minimizada a quantidade de itens avulsos, representada pela variável de decisão inteira z_{ij} , e a quantidade de itens em excesso, dada pela variável red_{ij} . Cada variável está associada a parâmetros de pesos, sendo β_i relacionado aos itens avulsos e γ_i , aos itens em excesso.

Portanto, a proposta adaptada tem a seguinte formulação: minimizar (3.15), sujeito as restrições (3.2) - (3.7) e domínio de variáveis (3.8) - (3.12).

3.2.4 Modelo com Adaptação Adicional

Nesta proposta a função objetivo do modelo base apresentado na Seção 3.2.1 é alterada de forma que somente a quantidade de itens avulsos seja minimizada, função (3.16). Além disso,

foram incluídas ao modelo uma variável de decisão e novas restrições adicionais. Os modelos apresentados anteriormente permitem que um tipo de item possa ser atribuído a diferentes kits, entretanto, nesta proposta, cada tipo de item pode ser atribuído a apenas um kit cirúrgico. O objetivo é testar como fica o padrão dos kits configurados com estas novas modificações, visando obter kits comuns entre diferentes tipos de procedimentos.

$$\min \sum_i \sum_j z_{ij} \quad (3.16)$$

A nova variável de decisão, definida como g_{ip} , é uma binária igual a 1 se o item i está no kit p , e igual a 0, caso contrário. As restrições (3.17) garantem que cada item i seja atribuído a somente um kit p . As restrições (3.18) são para garantir que se o item i estiver no kit p , a quantidade deste item no kit não deve ultrapassar um dado M grande. As restrições (3.19) impõem que não tenha excesso nos procedimentos. Por fim, (3.20) o domínio da nova variável.

$$\sum_p g_{ip} \leq 1, \forall i \in I \quad (3.17)$$

$$x_{ip} \leq M \cdot g_{ip} \quad (3.18)$$

$$red_{ij} = 0 \quad (3.19)$$

$$g_{ip} \in \{0, 1\} \quad (3.20)$$

Assim, a formulação proposta para o modelo adaptado adicional é da seguinte forma: minimizar (3.16), sujeito as restrições (3.2) - (3.7), (3.17) - (3.19), e domínio de variáveis (3.8) - (3.12), (3.20).

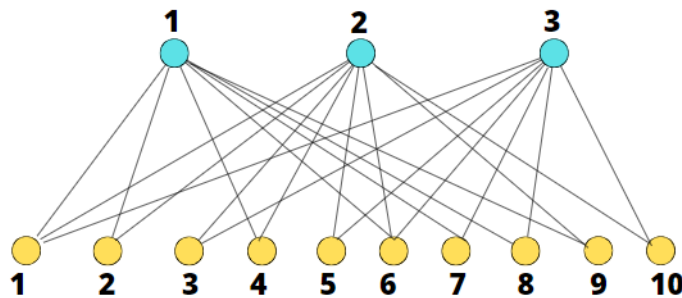
3.3 Agrupamento de Grafos Bipartidos

Nesta abordagem de solução, o problema da configuração de kits compartilhados entre os procedimentos é tratado como um problema de agrupamento de dados bipartidos e resolvido em duas etapas. Na primeira etapa, os itens e os procedimentos são representados como vértices de um grafo bipartido, visando obter grupos de itens definidos conforme os procedimentos cirúrgicos. Na segunda etapa, é proposta uma heurística construtiva para determinação das quantidades de itens nos kits cirúrgicos.

Para modelar o problema em grafos bipartidos foram filtrados da base de dados, fornecida pelo hospital parceiro, a lista com o conjunto dos procedimentos cirúrgicos mais frequentemente realizados. Para cada procedimento, foram listados os itens mais frequentes, realizando um corte de utilização, ou seja, identificando os produtos usados em ao menos 40% dos casos por cirurgia. Para construir o grafo bipartido, cada tipo de item foi definido como um vértice do primeiro conjunto da bipartição e cada tipo de procedimento foi representado como um vértice

do segundo conjunto. A Figura 6 apresenta a visualização do grafo bipartido para o exemplo ilustrativo apresentado no Capítulo 1, onde procedimentos são os vértices na cor azul e itens na cor amarela. Se o item for utilizado no procedimento, então uma aresta deve conectar este item ao procedimento. Os dados foram inicialmente organizados em forma de uma matriz que relaciona produto x procedimento com as respectivas quantidades necessárias de tipo de produto para cada procedimento. Esta matriz foi convertida em uma matriz binária, com valor 1 se o item está ligado ao procedimento, 0 caso contrário. Além disso, organizada em um arquivo *.txt* onde, na primeira linha, foram identificados os rótulos dos procedimentos separados por tabulação e na primeira coluna os rótulos dos itens. Este formato é necessário para identificar as relações de itens comuns aos procedimentos, a partir do uso de um algoritmo para enumeração de bicliques maximais.

Figura 6 – Grafo Bipartido - Exemplo Ilustrativo



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.3.1 Enumeração de Bicliques Maximais

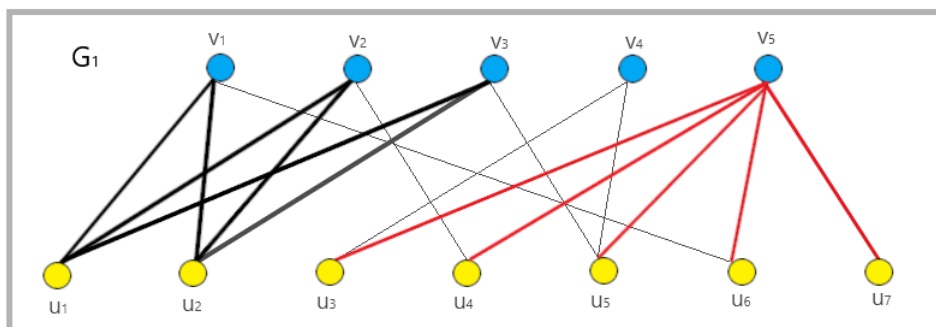
Um grafo bipartido $G = (U \cup V, E)$ é um grafo que possui uma bipartição de conjuntos disjuntos U e V , e um conjunto de arestas $E = \{(u, v) | u \in U \text{ e } v \in V\}$. Em um grafo bipartido, um biclique é um subgrafo no qual cada vértice no subgrafo de uma partição é adjacente a cada um dos vértices de subgrafo no outro conjunto de partições. Este conceito pode ser formalizado com a seguinte definição:

Definição 1. Seja um grafo bipartido $G = (U \cup V, E)$. Um biclique $B = (U', V')$ é um subgrafo de G formado por um par de dois subconjuntos disjuntos $U' \subseteq U, V' \subseteq V$, tal que, $\forall u \in U', v \in V', (u, v) \in E$.

O biclique maximal em um grafo bipartido é aquele que não está contido em outro biclique, ou seja, é o biclique de maior tamanho. Este tamanho é medido pelo número de vértices (Biclique de Máximo Vértice) ou pelo número de arestas (Biclique de Máxima Aresta). Segundo [Lu, Phillips e Langston \(2020\)](#), o problema da enumeração de bicliques de máximo vértice é NP-difícil, enquanto identificar bicliques de máxima aresta pode ser realizado em tempo polinomial. A Figura 7 ilustra bicliques máximos e maximais em um grafo bipartido G_1 , que

possui o biclique de máxima aresta $B_1(\{u_1, u_2\}, \{v_1, v_2, v_3\})$, com 5 vértices e 6 arestas, e o biclique de máximo vértice $B_2(\{u_3, u_4, u_5, u_6, u_7\}, \{v_5\})$, com 6 vértices e 5 arestas. Note que ambos, B_1 e B_2 , são maximais.

Figura 7 – Bicliques máximos e maximais



Fonte: Adaptada de Zhang *et al.* (2014, p.3).

Visando encontrar todos os bicliques maximais em grafos bipartidos, Zhang *et al.* (2014) propuseram um algoritmo intitulado *Maximal Biclique Enumeration Algorithm* (MBEA) e a versão melhorada (iMBEA), ambos operam nos conjuntos de vértices do grafo bipartido. Além disso, empregam a técnica de *branch-and-bound* para podar os candidatos não máximos. O pseudocódigo é apresentado no Algoritmo 1, traduzido de Zhang *et al.* (2014).

3.3.1.1 Framework Biclique

Para esta primeira etapa de solução do problema de pesquisa será utilizado o pacote Biclique, uma ferramenta eficiente, implementada na linguagem de programação R, proposta por Lu, Phillips e Langston (2020) e disponibilizada publicamente em: <<https://github.com/YupingLu/biclique>>.

O pacote Biclique invoca as implementações dos algoritmos MBEA/iMBEA, escritas em C, e enumera todos os bicliques maximais em grafos bipartidos. Para usar esta ferramenta é necessário que o grafo bipartido de entrada esteja no formato de lista de arestas ou matriz binária. A implementação em R, possui quatro funções intituladas: *bi.clique*, *bi.format*, *bi.print* e *bi.degree*. A função *bi.clique* recebe como argumento o nome do arquivo de entrada e, por padrão, usa o algoritmo iMBEA para gerar a lista de bicliques maximais. A função *bi.print* gera um histograma da distribuição dos tamanhos dos bicliques, enumerados pela chamada *bi.clique*. A função *bi.format* formata o arquivo de entrada com uma linha de cabeçalho, declarando o número de vértices e arestas. A função *bi.degree* lê o grafo bipartido e gera o grau de cada vértice. Com a execução da chamada *bi.clique* em um grafo bipartido, são retornados todos os bicliques maximais encontrados, sendo estes, denotados da seguinte forma: $K_{p,q}$, ou seja, p vértices em uma partição e q vértices na outra partição. Além disso, são especificados quantos bicliques foram enumerados e quais são os de máximo vértice e máxima aresta.

Algoritmo 1 – MBEA/iMBEA (Linhas com asterisco se aplicam ao iMBEA)

```

procedimento ENCONTRA_BICLIQUE( $G, L, R, P, Q$ )
   $G$ : um grafo bipartido  $G = (U \cup V, E)$ ;
   $L$ : subconjunto de  $U$  que contém vizinhos comuns de  $R$ , inicialmente  $L = U$ ;
   $R$ : subconjunto de  $V$  pertencente à biclique atual, inicialmente vazio;
   $P$ : subconjunto de  $V$  com vértices que podem ser adicionados em  $R$ , no início  $P = V$ ,
  na ordem não decrescente de tamanho de vizinhança comum;
   $Q$ : conjunto de vértices usados para determinar a maximalidade, inicialmente vazio;
   $*i \leftarrow 0$ ; // Posição do candidato selecionado em  $P$ .
enquanto  $P \neq \emptyset$  faça
   $*x \leftarrow P[i + +]$ ; // Selecionar o próximo candidato de  $P$  em ordem.
   $R' \leftarrow R \cup \{x\}$ ;
   $L' \leftarrow \{u \in L \mid (u, x) \in E(G)\}$ ; // Estender biclique.
   $*L' \leftarrow L \setminus L'$ ;  $C \leftarrow \{x\}$ ;
   $P' \leftarrow \emptyset$ ;  $Q' \leftarrow \emptyset$ ; // Criar novos conjuntos.
   $e\_maximal \leftarrow \text{TRUE}$ ; // Checar a maximalidade.
  para todo  $v \in Q$  faça
     $N[v] \leftarrow \{u \in L' \mid (u, v) \in E(G)\}$ ; // Fim da ramificação.
    se  $|N[v]| = |L'|$  então
       $e\_maximal \leftarrow \text{FALSE}$ ;
      break;
    senão  $|N[v]| > 0$  então  $Q' \leftarrow Q' \cup \{v\}$ ;
    fim se
  fim para
  se  $e\_maximal = \text{TRUE}$  então
    para todo  $v \in P, v \neq x$  faça
       $N[v] \leftarrow \{u \in L' \mid (u, v) \in E(G)\}$ ; // Pegar os vizinhos de  $v \in L'$ .
      se  $|N[v]| = |L'|$  então
         $R' \leftarrow R' \cup \{v\}$ ; // Expandir o maximal.
         $*S \leftarrow \{u \in L' \mid (u, v) \in E(G)\}$ ;
        se  $|S| = 0$  então  $C \leftarrow C \cup \{v\}$ ; // Poda adicional.
        fim se
      senão  $|N[v]| > 0$  então
         $*P' \leftarrow P' \cup \{v\}$  // Inclua  $v$  em  $P'$  em ordem não decrescente de
        tamanho de vizinhança comum.
      fim se
    fim para
    retorne  $(L', R')$ ; // Retorna biclique maximal.
    se  $P' \neq \emptyset$  então
       $encontra\_biclique(G, L', R', P', Q')$ ;
    fim se
  fim se
  // Mover  $C$  do conjunto de candidatos para o conjunto de candidatos anterior.
   $*Q \leftarrow Q \cup C$ ;  $P \leftarrow P \setminus C$ ;
fim enquanto
fim procedimento

```

Fonte: Adaptada de Zhang *et al.* (2014, p.8).

3.3.2 Proposta de Heurística Construtiva

A segunda etapa proposta visa determinar as quantidades de itens necessárias para a realização dos procedimentos cirúrgicos, de acordo com cada biclique maximal enumerada. Basicamente, a heurística construtiva funciona da seguinte forma:

Considere a lista de bicliques maximais, encontrada com o algoritmo de agrupamento de

dados bipartidos, ordenada crescentemente pelo tamanho de cada biclique. O kit cirúrgico deve ser preenchido para cada biclique da lista de maneira que, para cada tipo de item, a quantidade mínima deste item, que atende simultaneamente aos procedimentos, deve ser adicionada ao kit. A cada passo, deve ser verificado se o tipo do item na lista de biclique já foi adicionado a algum kit anterior, visto que, deve ser garantido que cada tipo de item pertença a somente um kit cirúrgico. O passo anterior foi proposto porque, se um tipo de item for atribuído a um kit que atende às necessidades comuns de diferentes procedimentos, este mesmo item não precisa ser organizado em outro kit específico para atender às necessidades individuais do procedimento. Além disso, se o item não for colocado em um kit cirúrgico, este deve ser fornecido ao procedimento como avulso.

O pseudocódigo da heurística para a construção dos kits é mostrado a seguir, no Algoritmo 2.

Algoritmo 2 – Heurística Construtiva de Kits Cirúrgicos

```

procedimento CONSTROI_KITS(ListaDeBicliques[], MatrizDeNecessidades)
  ListaDeBicliques[] ← ordenaBicliques()
  Solução ← ∅
  ArmazenaItens ← ∅
  para k ∈ ListaDeBicliques faça
    GuardaQuantidades = [ ]
    GuardaQuantidadesAvulsas = [ ]
    BicliqueAtual ← ListaDeBicliques[k]
    Itens ← BicliqueAtual[0]
    Procedimentos ← BicliqueAtual[1]
    ListaIguais = [x, tal que x ∈ ArmazenaItens]
    AtualizaItens = [y, tal que y ∉ ListaIguais]
    Itens ← AtualizaItens
    para i ∈ Itens faça
      NecessidadesAtuais ← MatrizdeNecessidades[i][Procedimentos]
      Quantidades = min(NecessidadesAtuais)
      Avulsos = NecessidadesAtuais - Quantidades
      GuardaQuantidades ← GuardaQuantidades + Quantidades
      GuardaQuantidadesAvulsas ← GuardaQuantidadesAvulsas + Avulsos
      KitAtual = GuardaQuantidades
      AvulsosKitAtual = GuardaQuantidadesAvulsas
    fim para
    ArmazenaItens ← Itens
    Solução ← [[Itens], [KitAtual]]
  fim para
  Retorna Solução
fim procedimento

```

RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos para as abordagens de solução propostas para configurar kits cirúrgicos compostos por itens nas interseções entre os procedimentos. A Seção 4.1 traz as especificações do computador utilizado nos testes. Na Seção 4.2 é apresentada a base de dados, fornecida por um hospital da cidade de São Carlos, e descritos os dados utilizados nos testes iniciais. A Seção 4.3 apresenta os resultados obtidos na abordagem de solução via modelagem matemática, para o modelo base da literatura e, diferentes adaptações propostas para o modelo. Na Seção 4.4 são mostrados os resultados obtidos para a segunda abordagem de solução, que resolve o problema em duas etapas, através do uso do *framework* Biclique e da heurística construtiva proposta. A Seção 4.5 traz os resultados obtidos nos testes com a proposta de modelo adicional, visando a obtenção de soluções comparáveis às obtidas pelo procedimento heurístico. Além disso, cabe destacar que nesta seção também são apresentados os resultados para um teste final, que verifica o padrão de configuração de kits no modelo adicional com a permissão de itens em excesso.

4.1 Especificações Técnicas

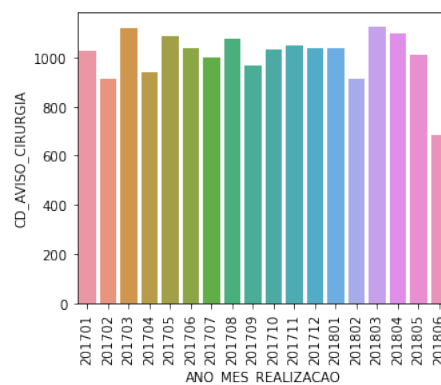
Os testes foram executados em um computador com o processador Intel(R) Core(TM) i7-4790 CPU 3.60GHZ, 16GB de memória RAM, sob o sistema operacional Windows 10 Pro. Os modelos matemáticos e a heurística construtiva foram implementados na linguagem de programação Python 3. Para a resolução, foi utilizado o pacote de otimização Gurobi 9.5.1, por meio da licença acadêmica. Para enumeração das bicliques maximais foi usado o pacote Biclique, proposto por Lu, Phillips e Langston (2020) na linguagem de programação R, disponível publicamente em: <<https://github.com/YupingLu/biclique>>. Para resolução das instâncias foi estabelecido o tempo limite de 3.600 segundos.

4.2 Base de Dados

A base de dados foi fornecida pela Santa Casa de Misericórdia de São Carlos, e nela estão contidas todas as movimentações de materiais hospitalares e medicamentos da farmácia do centro cirúrgico do hospital, durante o período de um ano e meio. Há no total 563.625 linhas na base de dados, e cada linha é referente a um produto utilizado em cada procedimento. Cabe ressaltar que a base contém informações detalhadas sobre o procedimento cirúrgico, a especialidade, itens médicos utilizados (com suas respectivas unidades consumidas), classes, códigos de cirurgias, convênios, data de realização de cada procedimento, dentre outras.

Os dados disponibilizados datam de janeiro de 2017 até junho de 2018 e neste período foram realizadas 18.116 cirurgias, compreendidas em 930 tipos de procedimentos. Cada cirurgia é identificada por um código único e pode ser encontrada na base pela variável (CD_AVISO_CIRURGIA). A Figura 8 traz uma visualização da quantidade de procedimentos cirúrgicos realizados ao longo dos meses.

Figura 8 – Quantidade de cirurgias realizadas mensalmente

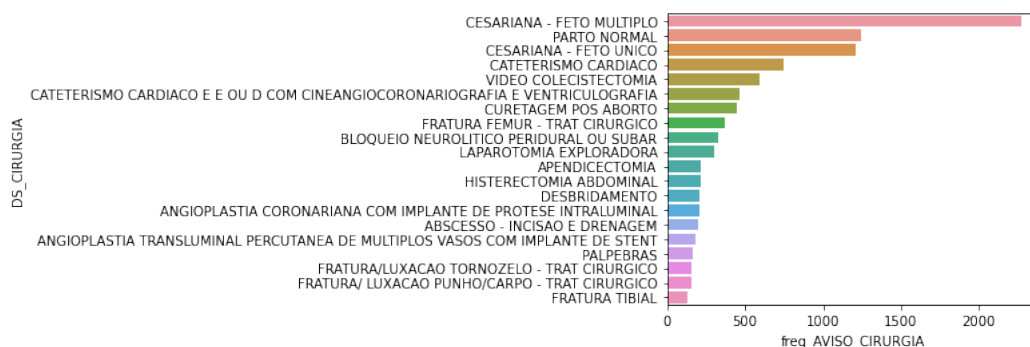


Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 9 apresenta um gráfico com a frequência de realização dos vinte tipos de procedimentos cirúrgicos mais frequentes durante o período. Note que (DS_CIRURGIA) descreve o procedimento realizado e (freq_AVISO_CIRURGIA) é o número de vezes em que foram realizadas. Outra informação disponível na base é a especialidade médica em que cada procedimento cirúrgico pertence, por exemplo, a Cesariana e o Parto Normal referem-se à especialidade Ginecologia e Obstetrícia. No total são identificados 37 tipos de especialidades e a Figura 10 apresenta os tipos mais frequentes.

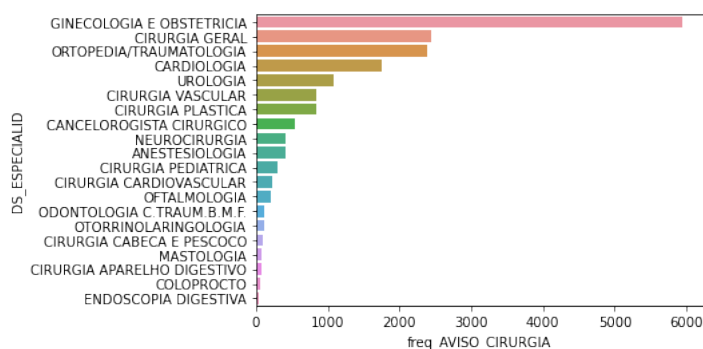
A base de dados apresenta todos os produtos utilizados em cada procedimento cirúrgico. Há 2.859 tipos de produtos utilizados nos procedimentos e os mais frequentes podem ser vistos na Figura 11. Os tipos de produtos são subdivididos por classes que descrevem características como, por exemplo, se eles são produtos têxteis, químicos, dentre outros. Há um total de 23 classes e as mais frequentes são mostradas na Figura 12. Cabe destacar que os itens presentes na base são das seguintes espécies: (DROGAS E MEDICAMENTOS) e (MATERIAIS HOSPITALARES).

Figura 9 – Procedimentos realizados por tipo



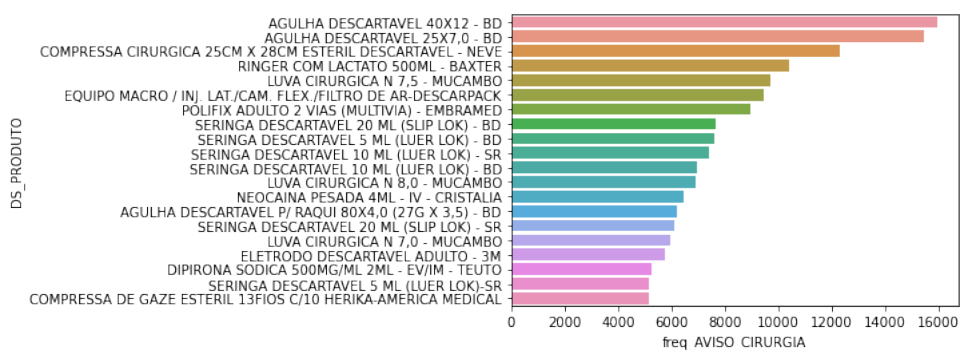
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 10 – Frequência de Especialidades



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 11 – Frequência de Produtos



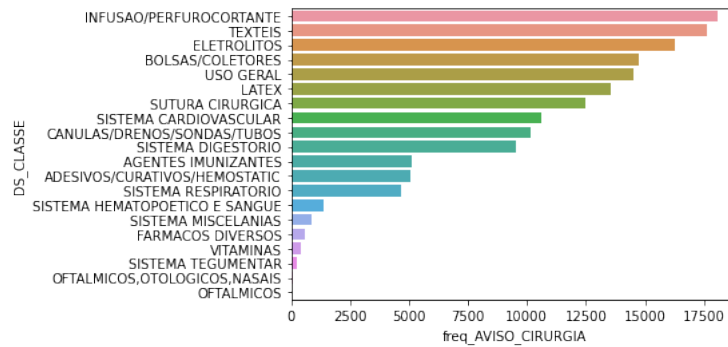
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2.1 Dados utilizados

Para os experimentos deste estudo foram considerados somente os dados do ano de 2017 e, neste período, foram realizados mais de 12 mil cirurgias, correspondendo a mais de 700 tipos de procedimentos cirúrgicos, compreendidos em 36 especialidades.

Para compor o cenário inicial de testes, foram considerados os três procedimentos cirúrgicos mais frequentes: "CESARIANA - FETO MÚLTIPLO", "PARTO NORMAL" e "CA-

Figura 12 – Frequência de Classes



Fonte: Elaborada pelo autor.

TETERISMO CARDÍACO", e formadas instâncias pequenas para facilitar as análises. Cada instância testa diferentes valores para a quantidade de kits que devem ser compostos, de forma que na instância $|P| = 1$, por exemplo, pode ser feito até um kit, e assim sucessivamente até a instância de $|P| = 6$, na qual podem ser configurados até 6 kits. Além disso, para identificar os itens necessários para cada procedimento cirúrgico, foram considerados os mais frequentes e utilizados em ao menos 40% dos casos por cirurgia. Logo, para os procedimentos escolhidos, nos cenários iniciais, são necessários os 42 tipos de itens médicos apresentados na Tabela 4, que devem ser fornecidos para cada procedimento com suas respectivas quantidades.

4.3 Resultados: Modelos Matemáticos

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos através do uso de abordagens de solução via modelagem matemática, visando a obtenção de kits cirúrgicos compostos por itens comuns aos procedimentos. O objetivo é identificar se o modelo base permite que sejam encontrados os kits no perfil esperado, além de propor e testar novas adaptações para o modelo.

4.3.1 Teste Inicial

O modelo de [Dias et al. \(2021\)](#), base para todos os experimentos realizados neste trabalho, apresentado na Seção 3.2.1, foi proposto para a determinação de kits cirúrgicos padronizados. Por apresentar similaridades com o problema desta pesquisa, a proposta dos autores será analisada para verificar se é possível obter kits comuns aos procedimentos.

O modelo foi resolvido com os seguintes valores para os parâmetros de pesos: $\alpha_p = 1$, $\beta_i = 1$ e $\gamma_i = 1$, mesma configuração utilizada pelos autores. As instâncias de testes para todos os modelos propostos, alteram somente o valor do parâmetro $|P|$, conforme apresentado na Tabela 5, o qual é referente ao número máximo de kits que podem ser gerados.

Na Tabela 6 são apresentados os dados obtidos na resolução do modelo para cada instância, destacados o valor $|P|$, os limitantes, o tempo de execução em segundos, o valor ótimo,

Tabela 4 – Quantidades necessárias de itens para cada procedimento

Item	Cateterismo	Cesariana	Parto
AGULHA DESCARTAVEL 13X4.5 INSULINA - BD	1	-	-
AGULHA DESCARTAVEL 25X7,0 - BD	2	3	3
AGULHA DESCARTAVEL 40X12 - BD	-	3	3
AGULHA DESCARTAVEL P/ RAQUI 80X4,0 (27G X 3,5) - BD	-	1	-
ALCOOL 70% (MANIPULADO) 30ML	-	1	1
ARTRINID (G) 100MG - IV - U.QUIMICA	-	1	-
CATETER DIAG MPA2 6FR - RE	1	-	-
COMPRESSA CIRURGICA 25CM X 28CM ESTERIL DESCARTAVEL - NEVE	1	7	-
CONTRASTE OMNIPAQUE300 100ML	140	-	-
CORD CLAMP - P/ CORDAO UMBILICAL	-	1	2
CORONAR 10MG/ML 1ML - IV - BIOLAB	4	-	-
COTONETE - HASTES FLEXIVEIS	-	-	84
DIMORF 1MG/ML 2ML - VIA IT/IP/IM/IV - CRISTALIA	-	1	-
EQUIPO MACRO / INJ. LAT./CAM. FLEX./FILTRO DE AR-DESCARPAC	-	2	-
EXTENSOFIX 120CM P/ EQUIPO - B.BRAUN	2	-	-
FIO CATGUT CROMADO 0 - 904 - T - J&J ETHICON	-	1	-
FIO CATGUT SIMPLES 0 - 854 - T - J&J ETHICON	-	1	-
FIO MONONYLON 4.0 - 14502 - T - J&J ETHICON	-	2	-
FIO POLY VICRYL 0 - J - 352 - H - J&J ETHICON	-	2	-
FRALDA DESCARTAVEL INFANTIL P	-	1	1
INSYTE AUTOGUARD 18GX1.16 CURTO - BD	-	1	-
INTROCAN SAFETY N 20 - B.BRAUN	2	-	-
INTRODUTOR RADIAL 6 FR	1	-	-
LAMINA DE BISTURI N 11 - FEATHER	1	-	-
LAMINA DE BISTURI N 23 - FEATHER	-	1	-
LAMINA FORRACAO PLASTICA ESTERIL	1	-	-
LUVA CIRURGICA N 7,0 - MUCAMBO	1	-	-
LUVA CIRURGICA N 7,5 - MUCAMBO	1	-	-
LUVA CIRURGICA N 8,0 - MUCAMBO	1	-	-
LUVA PARA PROCEDIMENTO (M)	2	-	-
LUVA PARA PROCEDIMENTO (M) ESTERIL - LEMGRUBER	2	-	-
MANIFOLD - RE	1	-	-
NEOCAINA PESADA 4ML - IV - CRISTALIA	-	1	-
POLIFIX ADULTO 2 VIAS (MULTIVIA) - EMBRAMED	-	1	-
PULSEIRA DE IDENTIFICACAO ADULTO BRANCA	-	2	2
PULSEIRA DE IDENTIFICACAO INFANTIL BRANCA	-	2	2
SERINGA DESCARTAVEL 10 ML (LUER LOK) - SR	-	2	-
SERINGA DESCARTAVEL 20 ML (SLIP LOK) - BD	1	3	-
SERINGA DESCARTAVEL 3 ML (LUER LOK) - BD	-	-	2
SERINGA DESCARTAVEL 5 ML (LUER LOK) - BD	1	1	-
SONDA FOLEY 2 VIAS N 12 DESCARTAVEL - SOLIDOR	-	1	-
XYLESTESIN 2% S/V 20ML ESTÉRIL - CRISTALIA	13	-	-

Tabela 5 – Instâncias - Testes nos modelos

Instância	1	2	3	4	5	6
$ P $	1	2	3	4	5	6

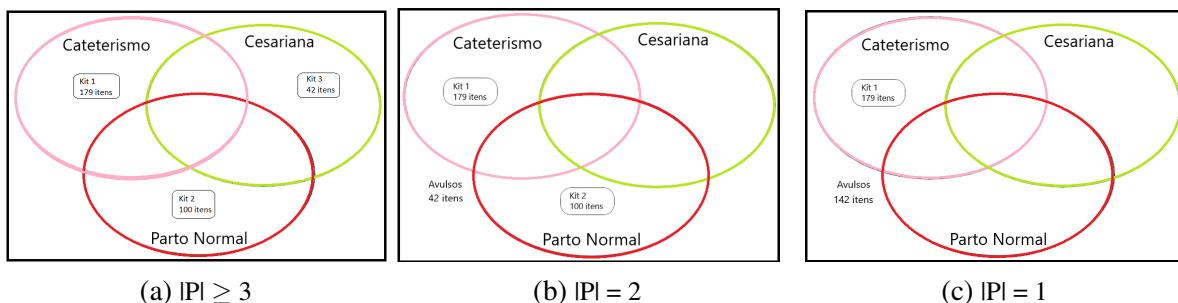
e as quantidades dos itens que ficaram avulsos e em excesso nos procedimentos. Além disso, são informados os valores obtidos para o Gap, definido como: $\text{Gap} = \frac{|z_p - z_d|}{|z_p|}$, em que z_p é o limitante do primal e z_d é o limitante do dual.

Tabela 6 – Resultados: Teste Inicial

$ P $	Gap	LI	LS	Tempo(s)	Valor Objetivo	Avulsos	Excesso
1	0	143,0	143,0	0,044	143	142	0
2	0	44,0	44,0	0,038	44	42	0
3	0	3,0	3,0	0,070	3	0	0
4	0	3,0	3,0	0,069	3	0	0
5	0	3,0	3,0	0,099	3	0	0
6	0	3,0	3,0	0,102	3	0	0

A Figura 13 ilustra os kits da solução ótima para as instâncias testadas. Na Figura 13a, pode ser notado que nas instâncias que testaram de $|P| = 3$ até $|P| = 6$, o modelo determina um kit para cada procedimento. Estes testes foram realizados para identificar se o modelo consegue configurar pacotes menores que possam ser compartilhados entre os procedimentos, porém, foram configurados somente kits para atender às necessidades individuais. Na instância de $|P| = 2$, o modelo faz kits específicos para cada um dos procedimentos Cateterismo Cardíaco e Parto Normal, como pode ser visto na Figura 13b, e os itens necessários para a Cesariana - Feto Múltiplo são atribuídos como avulsos. Na instância de $|P| = 1$, Figura 13c, é configurado um kit para o Cateterismo Cardíaco e as necessidades dos demais procedimentos são atribuídas como avulsas.

Figura 13 – Kits configurados: Teste Inicial



Fonte: Elaborada pelo autor.

Como o objetivo do modelo é minimizar os pontos de contato, ou seja, atender a necessidade cirúrgica abrindo o menor número de kits, foi possível constatar nos testes iniciais que o modelo produz poucos kits com muitos itens.

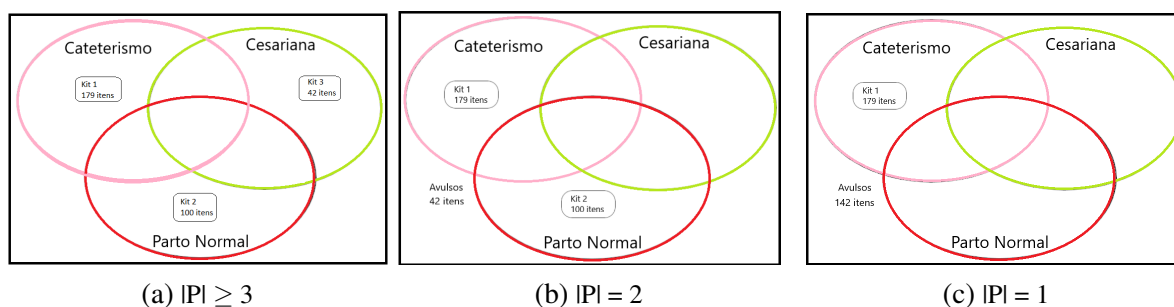
4.3.2 Inclusão de Restrições

Esta seção apresenta os resultados dos testes no modelo proposto na Seção 3.2.2, com as restrições (3.13) e (3.14), adicionadas de forma simultânea, utilizando os mesmos dados apresentados anteriormente, na Seção 4.2.1. Pode ser notado que na solução ótima foram obtidos os mesmos kits encontrados no teste anterior, porém com um pequeno aumento no tempo de resolução do modelo para algumas instâncias, (Tabela 7). Portanto, nota-se esta modificação não influenciou no padrão dos kits configurados, como pode ser visto na Figura 14.

Tabela 7 – Resultados: Restrições Adicionais

$ P $	Gap	LI	LS	Tempo(s)	Valor Objetivo	Avulsos	Excesso
1	0	143,0	143,0	0,038	143	142	0
2	0	44,0	44,0	0,061	44	42	0
3	0	3,0	3,0	0,099	3	0	0
4	0	3,0	3,0	0,151	3	0	0
5	0	3,0	3,0	0,155	3	0	0
6	0	3,0	3,0	0,245	3	0	0

Figura 14 – Kits configurados: Teste de Restrições



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3.3 Adaptação da Função Objetivo

Neste cenário foram realizados testes na adaptação da função objetivo, apresentada na Seção 3.2.3, utilizando como parâmetros de pesos: $\beta_i = 1$ e $\gamma_i = 1$ e considerando os mesmos dados utilizados anteriormente, apresentados na Seção 4.2.1. A Tabela 8 traz os resultados obtidos nos testes desta proposta. Pode ser notado que as quantidades de itens que ficaram avulsos nos kits gerados pelas instâncias iniciais continuou a mesma encontrada nos testes anteriores. Além disso, não foram atribuídos itens em excesso aos kits que foram personalizados.

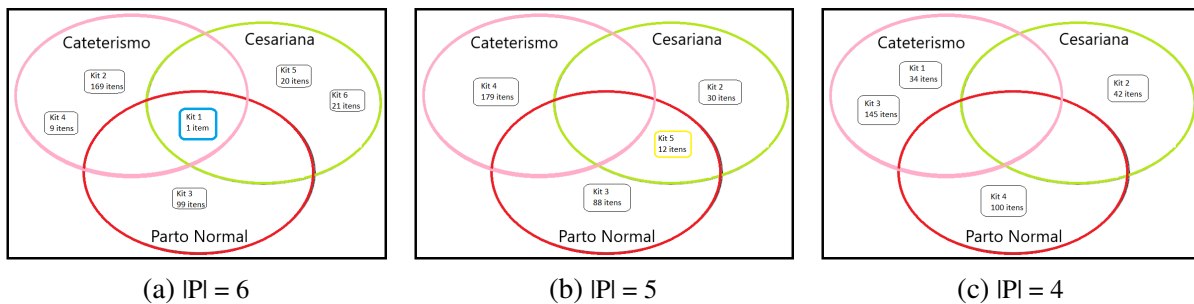
Analisando a Figura 15, pode ser verificado que, para instâncias que permitiam a configuração de mais kits, foram encontradas soluções alternativas. Na Figura 15a, de $|P| = 6$, foram elaborados dois kits individuais para procedimentos e também um kit comum aos três procedimentos. Na instância de $|P| = 5$, foi obtido um kit comum aos procedimentos Cesariana -

Tabela 8 – Resultados: Modelo Adaptado

$ P $	Gap	LI	LS	Tempo(s)	Valor Objetivo	Avulsos	Excesso
1	0	142,0	142,0	0,038	142	142	0
2	0	42,0	42,0	0,050	42	42	0
3	0	0,0	0,0	0,069	0	0	0
4	0	0,0	0,0	0,058	0	0	0
5	0	0,0	0,0	0,036	0	0	0
6	0	0,0	0,0	0,053	0	0	0

Feto Múltiplo e Parto Normal, e os demais são individuais para os procedimentos, totalizando quatro tipos de kits, Figura 15b. Na Figura 15c, pode ser notado que o modelo também faz quatro pacotes, porém, em uma composição diferente das encontradas nos testes anteriores. Nos resultados obtidos para as demais instâncias, não foram gerados kits compartilhados.

Figura 15 – Kits configurados: Modelo Adaptado



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3.3.1 Análise com Restrições Adicionais

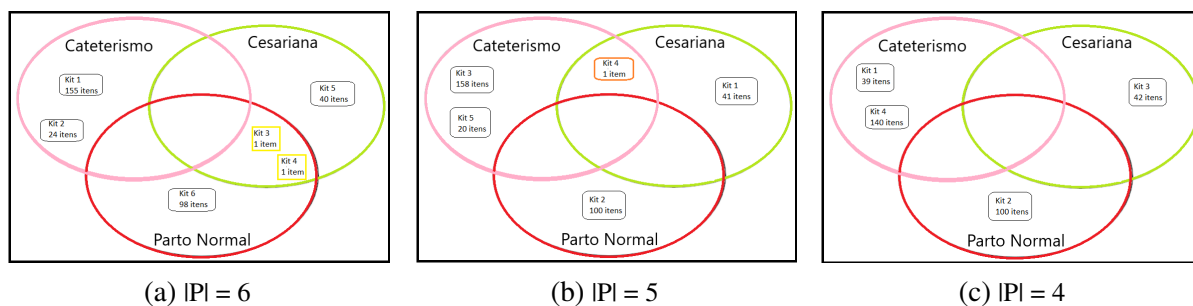
Este estudo testa a proposta de modelo que modifica a função objetivo, apresentada na Seção 3.2.3, com o acréscimo das restrições adicionais, (3.13) e (3.14), apresentadas na Seção 3.2.2, para investigar a possibilidade de serem obtidos kits compartilhados. Neste cenário, foram novamente utilizados como parâmetros de pesos: $\beta_i = 1$ e $\gamma_i = 1$. Na Tabela 9 são apresentados os dados obtidos e nota-se que foram atribuídos somente itens avulsos a algumas das instâncias, como nos testes anteriores.

Tabela 9 – Resultados: Modelo Adaptado com Restrições Adicionais

$ P $	Gap	LI	LS	Tempo(s)	Valor Objetivo	Avulsos	Excesso
1	0	142,0	142,0	0,046	142	142	0
2	0	42,0	42,0	0,068	42	42	0
3	0	0,0	0,0	0,093	0	0	0
4	0	0,0	0,0	0,121	0	0	0
5	0	0,0	0,0	0,119	0	0	0
6	0	0,0	0,0	0,087	0	0	0

A Figura 16 traz a representação das soluções obtidas nas instâncias que testam a partir de quatro kits, visto que, em $|P| = 1$ e $|P| = 2$, o padrão que vem sendo obtido nos testes anteriores é mantido. Ou seja, são configurados pacotes específicos para os procedimentos e atribuídos itens avulsos aos restantes que ficaram sem kit padronizado, sem perfil de compartilhamento.

Figura 16 – Kits configurados: Modelo Adaptado com Restrições Adicionais



Fonte: Elaborada pelo autor.

A diferença no perfil de kits obtidos para este cenário de testes ocorreu nas instâncias de $|P| = 6$ e $|P| = 5$. Na Figura 16a pode ser observado que o modelo configura dois kits compartilhados entre a Cesariana e o Parto Normal, dois kits individuais para o Cateterismo e os demais são específicos para cada um dos procedimentos. Na Figura 16b, nota-se que foi configurado um kit comum ao Cateterismo e a Cesariana e dois kits específicos para o Cateterismo. Já na Figura 16c, referente a instância de $|P| = 4$, não foram obtidos kits compartilhados.

4.3.3.2 Análise de Pesos

Como os testes no modelo com a função objetivo adaptada, proposto na Seção 3.2.3, apresentaram um perfil de compartilhamento de kits entre procedimentos, o cenário atual avalia a influência da atribuição de diferentes valores para os parâmetros dos pesos. O objetivo dos testes desta seção é propor pesos que incentivem itens avulsos e itens em excesso no padrão de composição dos kits. Cabe destacar, que não foram utilizadas as restrições adicionais propostas na Seção 3.2.2, visto que estas, nos testes anteriores, não proporcionaram diferenças significativas no padrão de kits configurados. A seguir, são apresentados os resultados obtidos para cada configuração dos parâmetros de pesos.

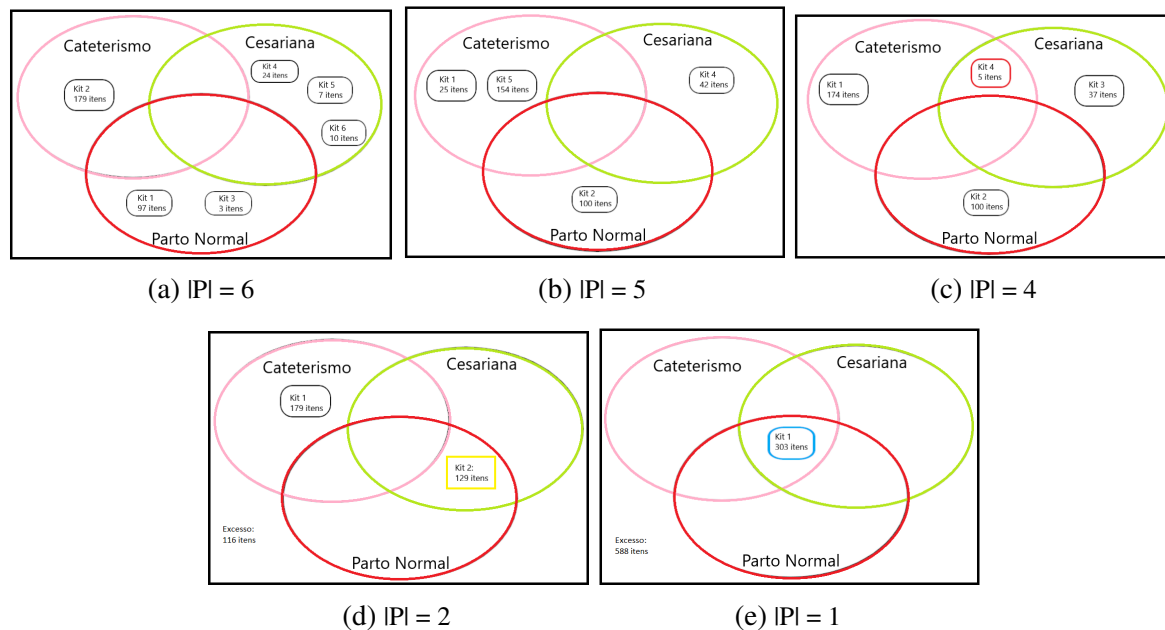
- $\beta_i = 1$ e $\gamma_i = 0, 1$:

Esta configuração atribui um peso menor para que itens em excesso sejam permitidos na composição dos kits. A partir dos dados da Tabela 10, foi possível identificar que o modelo permitiu que itens em excesso fossem atribuídos nas instâncias em que $|P| = 1$ e $|P| = 2$, o que proporcionou kits compartilhados entre dois, e até mesmo três procedimentos. Entretanto, muitos itens foram atribuídos ao excesso e, do ponto de vista prático, estas quantidades sendo levados ao procedimento de forma desnecessária, seria inviável.

Tabela 10 – Resultados: Análise de Pesos - Configuração 1

$ P $	Gap	LI	LS	Tempo(s)	Valor Objetivo	Avulsos	Excesso
1	0	58,8	58,8	0,050	58,8	0	588
2	0	11,6	11,6	0,082	11,6	0	116
3	0	0,0	0,0	0,085	0	0	0
4	0	0,0	0,0	0,090	0	0	0
5	0	0,0	0,0	0,123	0	0	0
6	0	0,0	0,0	0,140	0	0	0

Figura 17 – Kits configurados: Análise de Pesos - Configuração 1



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os testes realizados para esta configuração possibilitaram obter soluções alternativas. Na instância em que $|P| = 2$ são configurados, um kit compartilhado entre dois procedimentos, e um kit específico para a terceira cirurgia, Figura 17b. Quando $|P| = 1$, é obtido kit compartilhado entre as três cirurgias, Figura 17e. O perfil de compartilhamento encontrado nesta configuração gera aumento na quantidade de itens que ficam em excesso e devem retornar para a farmácia hospitalar para uso futuro.

- $\beta_i = 0, 1$ e $\gamma_i = 1$:

Neste cenário é atribuído um peso menor para incentivar a atribuição de itens avulsos visando obter padrões de configuração de kits alternativos aos determinados nos testes anteriores. A Tabela 11 apresenta os dados obtidos e pode ser verificado que foram permitidos somente itens avulsos.

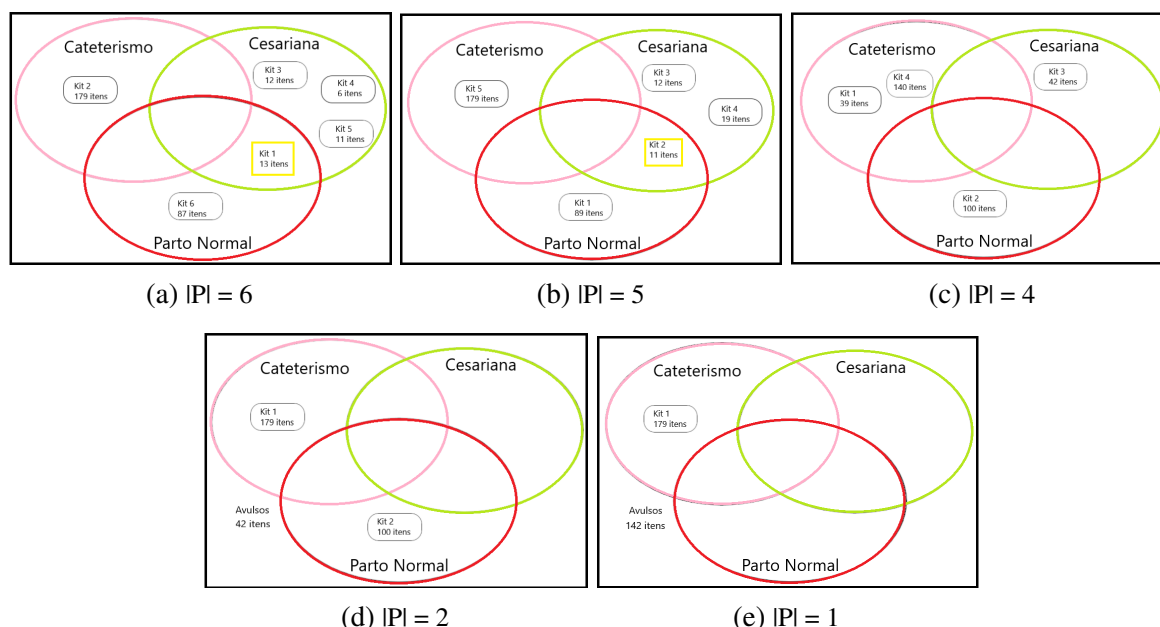
Analisando os kits compostos, apresentados na Figura 18, pode ser notado que foram

Tabela 11 – Resultados: Análise de Pesos - Configuração 2

$ P $	Gap	LI	LS	Tempo(s)	Valor Objetivo	Avulsos	Excesso
1	0	14,2	14,2	0,051	14,2	142	0
2	0	4,2	4,2	0,082	4,2	42	0
3	0	0,0	0,0	0,093	0	0	0
4	0	0,0	0,0	0,122	0	0	0
5	0	0,0	0,0	0,138	0	0	0
6	0	0,0	0,0	0,143	0	0	0

obtidos kits compartilhados entre dois procedimentos, nos cenários de $|P| = 6$ e $|P| = 5$, como pode ser visto, respectivamente, nas Figuras 18a e 18b. Na instância $|P| = 4$ não houve compartilhamento de kits e nas demais, foram obtidos padrões similares aos encontrados nos testes anteriores.

Figura 18 – Kits configurados: Análise de Pesos - Configuração 2



Fonte: Elaborada pelo autor.

- $\beta_i = 0,2$ e $\gamma_i = 0,1$:

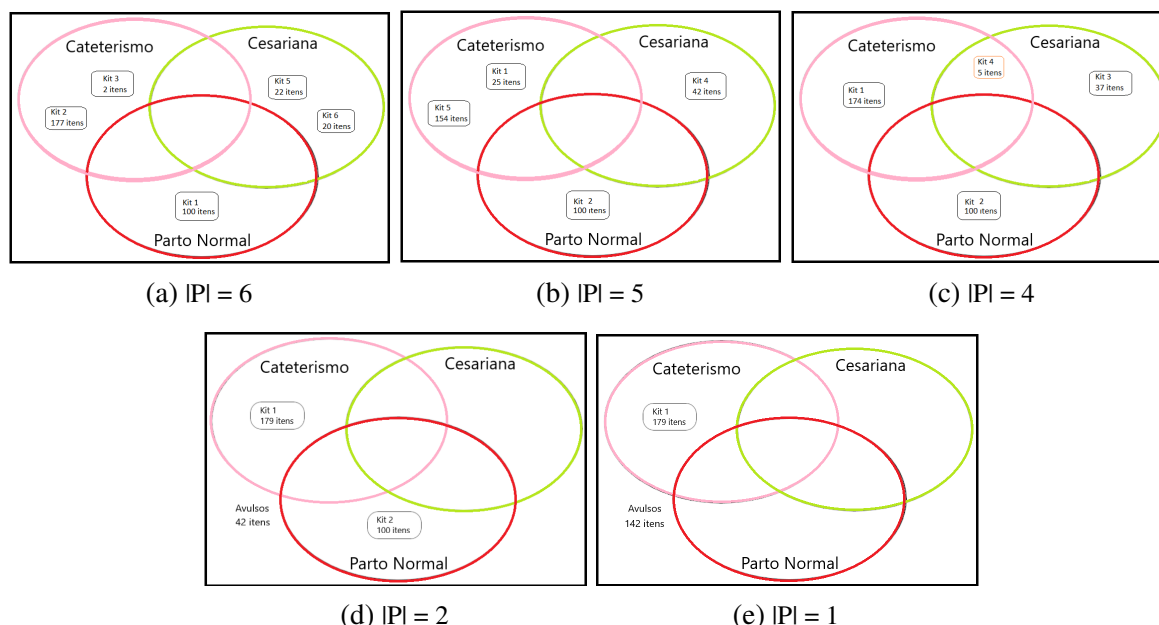
Esta configuração foi utilizada para ver se o modelo gera uma solução alternativa que considere a possibilidade de serem feitos kits que permitam quantidades avulsas e em excesso. Na Tabela 12 são mostrados os dados obtidos e pode ser verificado que foi permitido somente itens avulsos, para instâncias de $|P| = 1$ e $|P| = 2$, os quais também já foram determinados nos estudos anteriores. Neste cenário de testes, somente na instância de $|P| = 4$ foram obtidos kits compartilhados, Figura 19c.

- $\beta_i = 0,5$ e $\gamma_i = 0,1$:

Tabela 12 – Resultados: Análise de Pesos - Configuração 3

$ P $	Gap	LI	LS	Tempo(s)	Valor Objetivo	Avulsos	Excesso
1	0	28,4	28,4	0,049	28,4	142	0
2	0	8,4	8,4	0,069	8,4	42	0
3	0	0,0	0,0	0,091	0	0	0
4	0	0,0	0,0	0,103	0	0	0
5	0	0,0	0,0	0,124	0	0	0
6	0	0,0	0,0	0,140	0	0	0

Figura 19 – Kits configurados: Análise de Pesos - Configuração 3



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os resultados para esta configuração são apresentados na Tabela 13 e, a partir dos dados, pode ser verificado que o modelo atribuiu itens avulsos e itens em excesso aos procedimentos. Este fato ajudou a diminuir o número total de itens a serem retornados para a farmácia hospitalar, porém, ainda continua com a quantidade elevada.

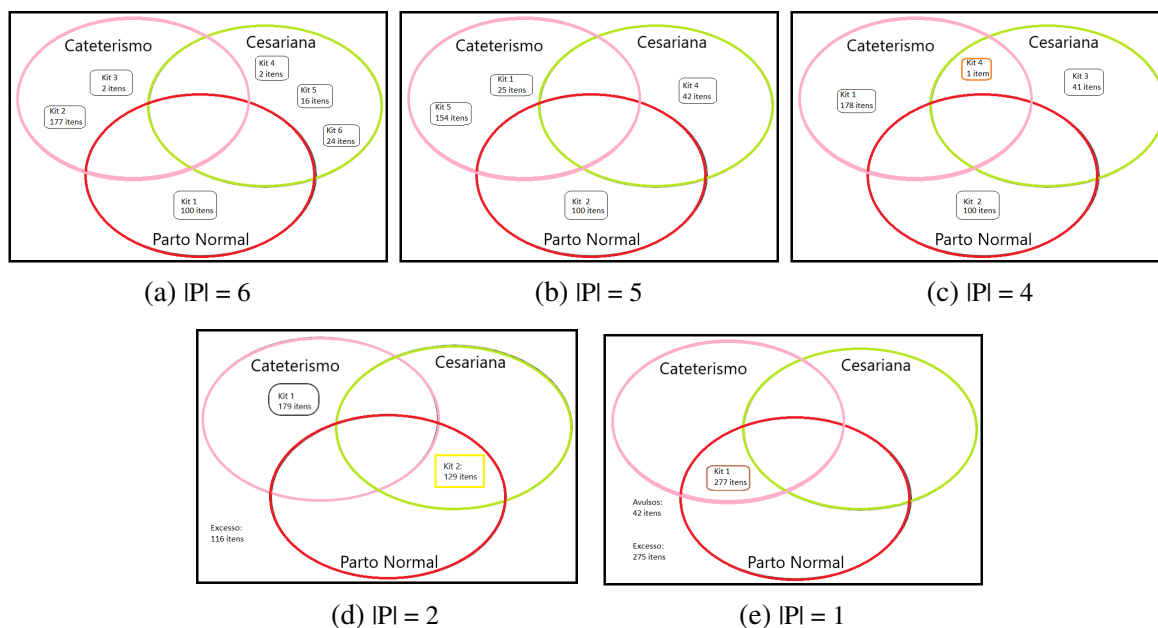
Tabela 13 – Resultados: Análise de Pesos - Configuração 4

$ P $	Gap	LI	LS	Tempo(s)	Valor Objetivo	Avulsos	Excesso
1	0	48,5	48,5	0,052	48,5	42	275
2	0	11,6	11,6	0,073	11,6	0	116
3	0	0,0	0,0	0,079	0	0	0
4	0	0,0	0,0	0,106	0	0	0
5	0	0,0	0,0	0,128	0	0	0
6	0	0,0	0,0	0,148	0	0	0

A representação dos pacotes configurados para este teste, apresentada na Figura 20, mostra que são obtidos pacotes compartilhados em algumas instâncias. Na Figura 20d, em

que foi testado $|P| = 2$, é possível verificar que são obtidos um kit compartilhado entre dois procedimentos e um kit individual, além de quantidades atribuídas ao excesso. No cenário $|P| = 1$, Figura 20e, o modelo configura um kit compartilhado entre dois procedimentos e atribui a quantidade de itens necessários para o terceiro procedimento como avulsos. Com isso, possibilitou diminuir o número total de itens em excesso, o que é bom, entretanto o ideal seria tentar reduzir o excesso.

Figura 20 – Kits configurados: Análise de Pesos - Configuração 4



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.4 Resultados: Biclques Maximais e Heurística

Nesta seção são apresentados os resultados dos testes realizados com o uso do *framework* Biclque e da heurística construtiva proposta, com o intuito de avaliar a eficiência da abordagem de solução na determinação de kits mais genéricos, com maior nível de compartilhamento.

Para os testes computacionais desta abordagem, foram propostas as instâncias mostradas na Tabela 14. Cada instância define diferentes valores para as quantidades de procedimentos e suas respectivas necessidades de itens, visando aumentar o tamanho dos grafos bipartidos que representam cada cenário. Além disso, também são mostradas as quantidades de arestas que compõem cada grafo bipartido. Cabe destacar que a Instância 1, desta abordagem de solução, é a instância utilizada nos testes anteriores via modelagem matemática, em que era definido o parâmetro IPI = 6, ou seja, o modelo poderia configurar até 6 kits. A diferença nos testes desta seção, é que o algoritmo identifica quantos grupos serão definidos para cada instância.

Para compor os cenários de testes, foram considerados os 30 tipos de procedimentos cirúrgicos mais realizados na Santa Casa da Misericórdia de São Carlos, listados na Tabela 15.

Cabe destacar que para identificar os itens necessários para cada procedimento cirúrgico, foram considerados os mais frequentes e utilizados em ao menos 40% dos casos por cirurgia.

Tabela 14 – Instâncias

Instância	1	2	3	4	5	6
Itens	42	58	83	92	101	118
Procedimentos	3	5	10	15	20	30
Arestas	53	98	181	260	333	493

Tabela 15 – Lista de procedimentos

<i>j</i>	Procedimentos Cirúrgicos
1	CESARIANA - FETO MULTIPLO
2	PARTO NORMAL
3	CATETERISMO CARDIACO
4	VIDEO COLECISTECTOMIA
5	CATETERISMO CARDIACO E E OU D COM CINEANGIOCORONARIOGRAFIA E VENTRICULOGRAFIA
6	CURETAGEM POS ABORTO
7	FRATURA FEMUR - TRAT CIRURGICO
8	ANGIOPLASTIA CORONARIANA COM IMPLANTE DE PROTESE INTRALUMINAL
9	BLOQUEIO NEUROLITICO PERIDURAL OU SUBAR
10	CESARIANA - FETO UNICO
11	LAPAROTOMIA EXPLORADORA
12	ANGIOPLASTIA TRANSLUMINAL PERCUTANEA DE MULTIPLOS VASOS COM IMPLANTE DE STENT
13	COLOCACAO URETEROSCOPICA DE DUPLO J
14	DESBRIDAMENTO
15	APENDICECTOMIA
16	URETERORENOLITOTRIPSIA FLEXIVEL UNILATERAL
17	HISTERECTOMIA ABDOMINAL
18	PALPEBRAS
19	ABSCESSO - INCISAO E DRENAGEM
20	FRATURA/LUXACAO TORNOZELO - TRAT CIRURGICO
21	FRATURA/ LUXACAO PUNHO/CARPO - TRAT CIRURGICO
22	COLOCACAO ENDOSCOPICA DE DUPLO J
23	HERNIORRAFIA UMBILICAL
24	FRATURA TIBIAL
25	IMPLANTE DE PROTESE DE MAMA
26	RETIRADA DE MATERIAL DE SINTESE
27	HERNIORRAFIA INGUINAL
28	FISTULA ARTERIO VEN DOS MEMBROS
29	CURETAGEM SEMIOTICA COM OU SEM DILATACAO
30	LAPAROTOMIA C/BIOPSIA

Para mostrar como o problema é solucionado, são expostos os resultados da Instância 1, que possui a menor quantidade total de vértices do grafo bipartido. A Tabela 16 apresenta os grupos encontrados com o uso do pacote Biclique R, que denota cada biclique por $K_{p,q}$ (ou seja, p vértices na partição de itens e q vértices na partição de procedimentos). Além disso, mostra os índices dos itens e, a quais procedimentos correspondem, para cada biclique maximal enumerado.

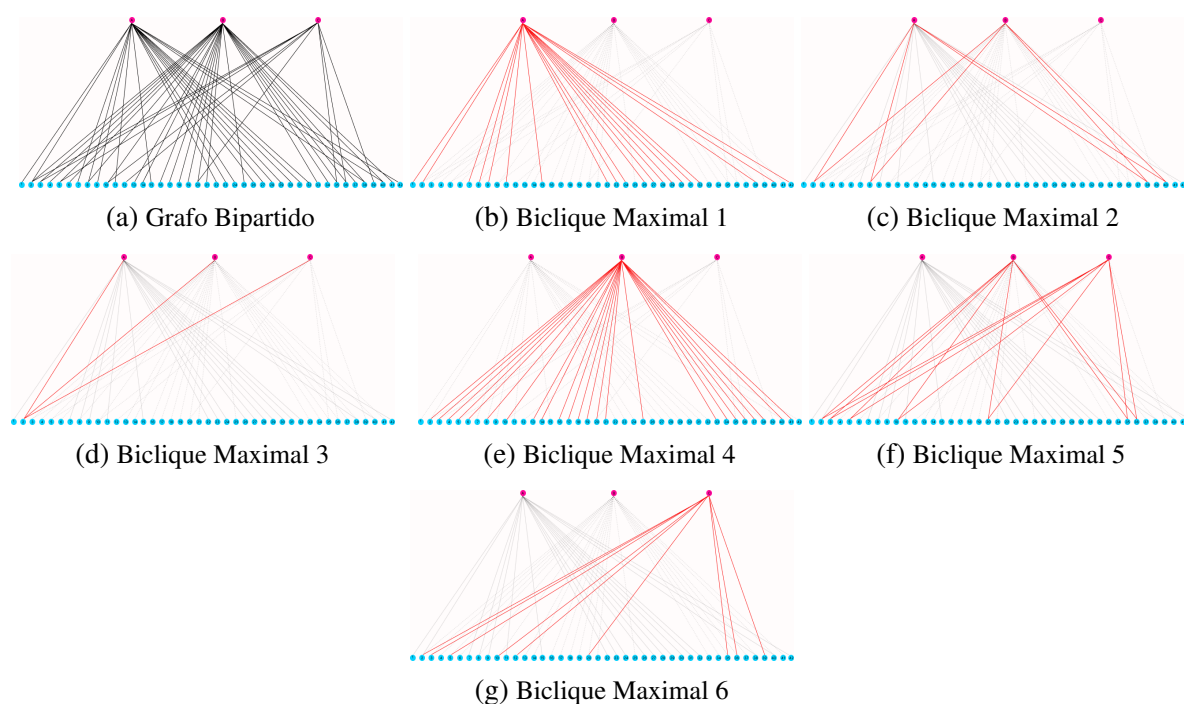
A Figura 21 ilustra o grafo bipartido correspondente ao cenário de teste da Instância 1 e os bicliques maximais enumerados para este problema. Nota-se que foram identificados

Tabela 16 – Resultados: Biclques Maximais - Instância 1

Biclques	Notação	Itens	Procedimentos
1	$K_{20,1}$	0, 1, 6, 7, 8, 10, 14, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 37, 39, 41	Cateterismo
2	$K_{4,2}$	1, 7, 37, 39	Cateterismo e Cesariana
3	$K_{1,3}$	1	Cateterismo, Cesariana e Parto Normal
4	$K_{24,1}$	1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 24, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40	Cesariana
5	$K_{7,2}$	1, 2, 4, 9, 19, 34, 35	Cesariana e Parto Normal
6	$K_{9,1}$	1, 2, 4, 9, 11, 19, 34, 35, 38	Parto Normal

grupos de itens compartilhados entre os procedimentos e grupos que atendem às necessidades individuais, específicas para cada procedimento cirúrgico.

Figura 21 – Grafo Bipartido e Biclques Maximais - Instância 1



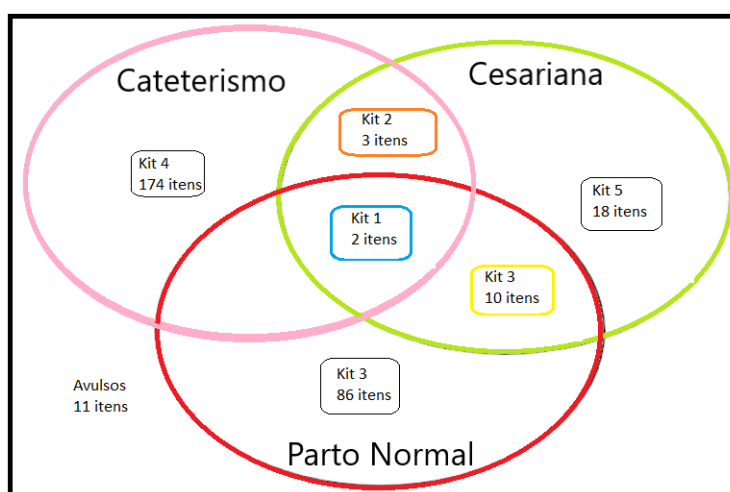
Para formar os kits cirúrgicos, além de identificar os tipos de itens, devem ser adicionadas suas respectivas quantidades ideais para atender às necessidades dos procedimentos. Assim, a partir dos biclques maximais determinados na etapa de enumeração, a heurística construtiva, apresentada na Seção 3.3.2, foi utilizada como etapa de preenchimento dos kits cirúrgicos.

A Tabela 17 apresenta os resultados obtidos pela heurística na Instância 1, identificando a quantidade de itens em cada kit configurado e a quantidade total de itens que devem ser levados como avulsos para a realização dos procedimentos. Pode ser observado que o método constrói cada kit cirúrgico eficientemente e com baixo tempo computacional. Na Figura 22 é apresentada uma ilustração dos kits construídos pela heurística e pode ser observado que foram obtidos kits compostos por itens nas interseções dos procedimentos cirúrgicos.

Tabela 17 – Resultados: Heurística - Instância 1

Kit Cirúrgico	Itens	Avulsos	Tempo(s)
Cateterismo/Cesariana/Parto	2	2	0,002
Cateterismo/Cesariana	3	8	0,001
Cesariana/Parto	10	1	0,001
Parto	86	0	0,007
Cateterismo	174	0	0,000
Cesariana	18	0	0,007

Figura 22 – Kits configurados: Heurística - Instância 1



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 18 apresenta os resultados obtidos em cada etapa de solução, para todas as instâncias utilizadas nos testes. Nota-se que o uso do *framework* para a enumeração das bicliques maximais foi uma estratégia eficaz para identificar todos os relacionamentos entre itens e procedimentos, de forma rápida, mostrando quantos bicliques foram encontrados e identificando quais foram os de máximo vértice e máxima aresta.

Tabela 18 – Resultados: Bicliques Maximais e Heurística

Instância	Enumeração de Bicliques				Heurística		
	Bicliques	Máximo Vértice	Máxima Aresta	Tempo(s)	Kits	Avulsos	Tempo(s)
1	6	$K_{24,1}$	$K_{24,1}$	0,2797	6	11	0,0119
2	16	$K_{24,1}$	$K_{17,2}$	8,9522	14	72	0,0279
3	43	$K_{24,1}$	$K_{16,3}$	7,7120	29	180	0,0599
4	113	$K_{24,1}$	$K_{15,4}$	6,3919	47	819	0,1212
5	197	$K_{24,1}$	$K_{15,4}$	11,4478	59	1198	0,2668
6	451	$K_{2,28}$	$K_{4,18}$	13,2317	76	1619	0,5286

Na etapa da heurística construtiva pode ser analisado que todos os kits foram preenchidos com as quantidades necessárias de itens para os procedimentos com bom tempo de resolução, até mesmo em instâncias que identificaram maior número de bicliques maximais.

Vale ressaltar que como o método heurístico atribui ao kit cirúrgico a quantidade mínima de itens que atende simultaneamente aos procedimentos, em instâncias maiores, a quantidade total de itens avulsos aumenta significativamente. Neste sentido, do ponto de vista de usabilidade, seria mais viável identificar, nos itens avulsos, grupos menores para a composição de sub-kits. Isto por que, muitos itens avulsos geram muitas embalagens individuais sendo abertas durante a realização da cirurgia. Portanto, formar novos kits cirúrgicos compostos por estes itens que ficaram avulsos na solução heurística, seria uma proposta melhor, do ponto de vista prático.

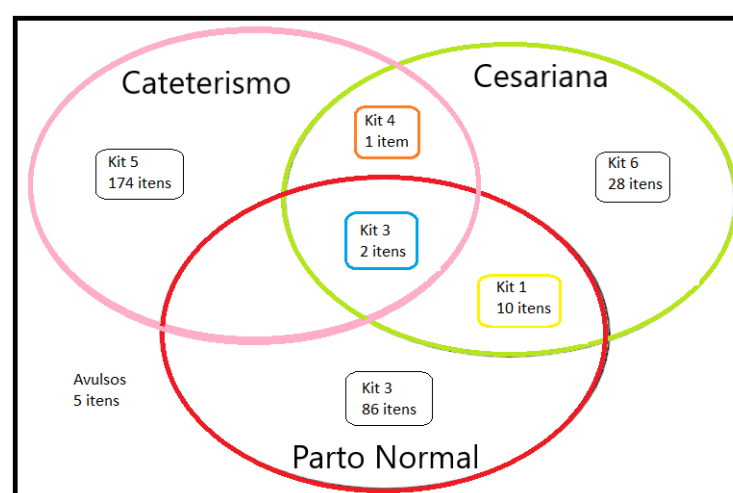
4.5 Resultados: Proposta Adicional de Modelo

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos na adaptação adicional do modelo matemático, apresentado na Seção 3.2.4, proposto para obter soluções comparáveis a abordagem heurística.

Na resolução do problema pela abordagem heurística, foi possível obter kits com maior nível de compartilhamento e também pode ser analisado que, além dos kits construídos, foram atribuídos itens avulsos e, não foi preciso ter quantidades em excesso para determinar kits comuns aos procedimentos.

Com a resolução das instâncias usando o modelo adicional adaptado foi possível obter os kits compartilhados entre os procedimentos. Para visualizar o padrão de configuração, a Figura 23 traz a ilustração da solução, para a Instância 1. Em comparação aos kits obtidos com a heurística, o que pode ser identificado é que o modelo matemático proposto consegue uma configuração alternativa, que reduz a quantidade total de itens que ficam avulsos nos procedimentos.

Figura 23 – Kits configurados - Modelo Adicional - Instância 1



Fonte: Elaborada pelo autor.

O modelo foi testado em todas as instâncias apresentadas na Tabela 14, permitindo, em cada instância, que o modelo configure o mesmo total de kits determinados pela heurística

construtiva. Os resultados são mostrados na Tabela 19 e pode ser notado que nas instâncias pequenas foi possível encontrar as soluções com bom tempo computacional. No entanto, em instâncias maiores, o modelo atingiu o tempo limite e não conseguiu chegar na otimalidade.

Tabela 19 – Resultados: Modelo Matemático

Instância	Kits	Avulsos	Valor Objetivo	LI	LS	Gap	Tempo(s)
1	6	5	5,0	5	5	0	0,40
2	14	53	53,0	53	53	0	22,19
3	29	135	135,0	118	135	12,59	3600,00
4	46	277	277,0	72	277	74,00	3600,00
5	59	342	342,0	0	342	100,00	3600,00
6	69	648	648,0	1	648	99,84	3600,00

Para fins comparativos, a Tabela 20 traz os resultados obtidos pela heurística e pelo modelo adicional proposto, onde podem ser notadas as principais diferenças entre as abordagens. O modelo consegue configurar a mesma quantidade de kits determinadas pela heurística, na maioria das instâncias. Além disso, os itens foram organizados de maneira distinta, que permitiu diminuir a quantidade total de itens avulsos mesmo o modelo não conseguindo chegar na otimalidade no tempo limite estabelecido. Em relação ao tempo computacional, a heurística rapidamente chega em uma solução, que apesar de não ser a ótima, poderia ser uma boa solução de partida para o modelo.

Tabela 20 – Resultados: Heurística x Modelo Matemático

Instância	Heurística			Modelo Matemático		
	Kits	Avulsos	Tempo(s)	Kits	Avulsos	Tempo(s)
1	6	11	0,0119	6	5	0,40
2	14	72	0,0279	14	53	22,19
3	29	180	0,0599	29	135	3600,00
4	47	819	0,1212	46	277	3600,00
5	59	1198	0,2668	59	342	3600,00
6	76	1619	0,5286	69	648	3600,00

4.5.1 Resultados: Proposta Adicional com Excesso

Nesta seção outro ponto de pesquisa é investigado visando analisar o padrão de kits configurados no modelo adicional, proposto na Seção 3.2.4, com a permissão de excesso de itens.

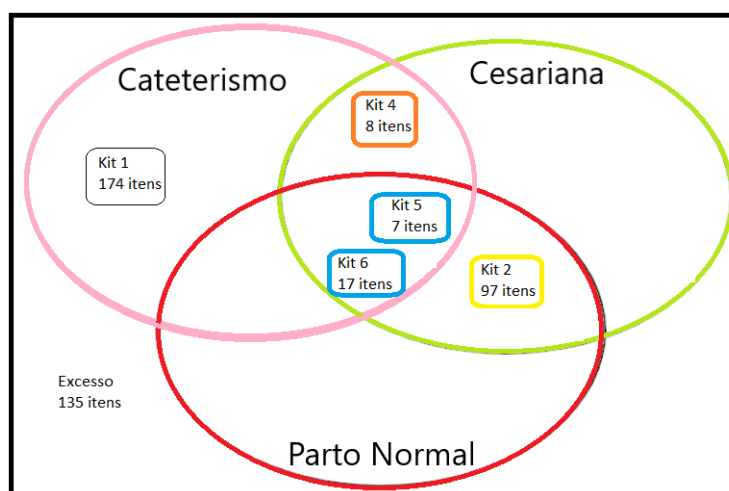
Este cenário retira da formulação matemática da proposta adicional somente a restrição adicional (3.19). Os resultados dos testes são apresentados na Tabela 21. Pode ser analisado que não foram atribuídos itens avulsos, o que gerou muitos itens em excesso nos procedimentos. Além disso, em cada instância foi permitido configurar as mesmas quantidades de kits obtidas no estudo anterior, porém, o modelo diminuiu a quantidade de kits e chegou na otimalidade de forma rápida.

Tabela 21 – Resultados: Modelo Adicional com Excesso

Instância	Kits	Avulsos	Excesso	Valor Objetivo	LI	LS	Gap	Tempo(s)
1	5	0	135	0	0	0	0	0,08
2	11	0	308	0	0	0	0	0,21
3	7	0	1358	0	0	0	0	1,52
4	30	0	1790	0	0	0	0	4,69
5	40	0	2455	0	0	0	0	12,67
6	57	0	4020	0	0	0	0	70,69

A Figura 24 ilustra a solução obtida para a instância 1. Pode ser observado que além de diminuir a quantidade de kits configurados, o modelo consegue configurar mais kits nas interseções entre os procedimentos. No entanto, a quantidade de itens que ficam em excesso nesta instância é elevada, visto que, alguns procedimentos ficaram sem kits específicos, para atender as necessidades individuais.

Figura 24 – Kits configurados - Modelo Adicional com Excesso - Instância 1



Fonte: Elaborada pelo autor.

Portanto, os testes realizados neste cenário mostram que este cenário, que permite ao modelo adicional ter o excesso, não foi eficiente, pois muitas quantidades de itens seriam levadas para realização dos procedimentos de forma desnecessária, o que pode ser evitado.

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Neste trabalho foram aplicadas duas diferentes abordagens de solução para o problema de agrupamento de itens para a formação de kits cirúrgicos, sendo estes passíveis de compartilhamento entre vários procedimentos.

Na primeira abordagem foram propostos testes no modelo de programação linear inteira mista que mais se aproximou ao objetivo da pesquisa, proposto por [Dias *et al.* \(2021\)](#), uma adaptação do modelo apresentado por [Cardoen, Beliën e Vanhoucke \(2015\)](#). Além disso, foram propostas adaptações no modelo base, através da inclusão de restrições para impor que a quantidade de itens nos kits atendam procedimentos cirúrgicos diferentes, e alteração na função objetivo para minimização da quantidade de itens avulsos e em excesso. O principal objetivo era identificar a possibilidade de configuração de kits compostos por itens na interseção dos procedimentos.

A segunda abordagem de solução envolveu duas etapas, sendo a primeira utilizada para identificar grupos de itens relacionados aos procedimentos, na qual o problema foi tratado via agrupamento de dados bipartidos. Em seguida, com os grupos definidos, na segunda etapa foi utilizada uma heurística construtiva, proposta para preencher os kits com as quantidades de itens necessárias para o atendimento da demanda.

Durante a realização deste trabalho, foi feita uma revisão da literatura visando analisar formas de organização de medicamentos no ambiente hospitalar, estudos relacionados a otimização de bandejas cirúrgicas, abordagens sobre a composição de pacotes personalizados e análise de problemas envolvendo bicliques maximais.

Nos experimentos computacionais iniciais foram propostos cenários pequenos para facilitar as análises. O modelo base para os estudos, identificado na literatura, foi testado e também foram propostas novas adaptações visando a obtenção de kits compartilhados entre os procedimentos. Os resultados mostraram que o modelo original proposto por [Dias *et al.* \(2021\)](#) incentiva a composição de poucos kits, compostos por muitos itens, visto que minimiza os pontos

de contato.

Nos cenários de modelos matemáticos que testam diferentes adaptações para o modelo base, pode ser observado que em alguns casos, foram obtidos kits compartilhados entre dois e três procedimentos, porém com um aumento na quantidade total de itens em excesso. Do ponto de vista prático, muitos itens levados de forma desnecessária aos procedimentos gera um grande desperdício.

Os resultados dos testes na segunda abordagem de solução, com o uso do *framework* para enumeração das bicliques maximais e da heurística construtiva proposta, permitiram a configuração de kits compartilhados, e também, kits individuais para atender as necessidades específicas dos procedimentos. Além disso, as instâncias de teste foram resolvidas de forma rápida e eficiente, sem atribuir itens ao excesso. Para instâncias com maiores quantidades de bicliques, o método heurístico aumentou o número de itens a serem atribuídos como avulsos. Do ponto de vista prático, nestas soluções, muitos itens embalados individualmente deveriam ser abertos durante a realização da cirurgia. Assim, seria interessante, em um trabalho futuro, realizar melhorias no método para ser possível identificar novos agrupamentos, visando obter kits ou sub-kits para os procedimentos.

Para obter soluções alternativas e comparáveis ao método heurístico, foi proposta uma adaptação adicional ao modelo matemático. Os testes nesta proposta foram eficientes na determinação de kits comuns aos procedimentos. Para algumas instâncias, o modelo não chegou a otimalidade no tempo limite, porém, conseguiu diminuir a quantidade de itens avulsos em todos os testes. O modelo também foi testado permitindo a atribuição de itens em excesso. Neste estudo, os resultados foram obtidos com bom tempo computacional, porém, foram atribuídas muitas quantidades ao excesso, para permitir o compartilhamento de kits.

Em suma, pode ser constatado que o uso das abordagens apresentadas neste trabalho são eficientes para obter kits cirúrgicos passíveis de compartilhamento. Como perspectivas para trabalhos futuros neste tema de pesquisa, é sugerido: realizar melhorias na heurística proposta para determinação de quantidades de itens nos kits; propor uma segunda heurística que não imponha a limitação de um tipo de item ser atribuído a somente um kit, visando determinar o número de itens conforme as soluções dos modelos; validar os resultados junto a especialistas; propor novos tipos de agrupamentos, analisando os itens atribuídos como avulsos, para formar sub-kits; adaptar o modelo para a obtenção de kits de acordo com uma previsão de cirurgias; geração de novas instâncias reais e artificiais com características diferentes das que foram resolvidas.

REFERÊNCIAS

AHMADI, E.; MASEL, D. T.; HOSTETLER, S. A robust stochastic decision-making model for inventory allocation of surgical supplies to reduce logistics costs in hospitals: A case study. **Operations Research for Health Care**, Elsevier, v. 20, p. 33–44, 2019. Citado nas páginas [25](#), [35](#) e [44](#).

AHMADI, E.; MASEL, D. T.; SCHWERHA, D.; HOSTETLER, S. A bi-objective optimization approach for configuring surgical trays with ergonomic risk consideration. **IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering**, Taylor & Francis, v. 9, n. 4, p. 327–341, 2019. Citado nas páginas [25](#), [35](#), [41](#), [44](#) e [47](#).

ALVES, A. C.; GONÇALVES, A. M.; FERNANDES, J. M.; VAZ, I.; TEIXEIRA, S.; SOUSA, I.; PEREIRA, J. J.; DÓRIA-NÓBREGA, S. Combined tools for surgical case packages contents and cost optimization: a preliminary study. **Procedia Computer Science**, Elsevier, v. 100, p. 393–398, 2016. Citado nas páginas [25](#), [26](#), [38](#) e [44](#).

BAINES, R.; COLQUHOUN, G.; JONES, N.; BATEMAN, R. The benefits of using customised procedure packs. **British Journal of Perioperative Nursing (United Kingdom)**, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 11, n. 1, p. 34–39, 2001. Citado nas páginas [25](#), [26](#) e [36](#).

BURKE, T.; MANGLANI, Y.; ALTAWIL, Z.; DICKSON, A.; CLARK, R.; OKELO, S.; AHN, R. A safe-anesthesia innovation for emergency and life-improving surgeries when no anesthetist is available: a descriptive review of 193 consecutive surgeries. **World journal of surgery**, Springer, v. 39, n. 9, p. 2147–2152, 2015. Citado na página [38](#).

BURKE, T. F.; SUAREZ, S.; SESSLER, D. I.; SENAY, A.; YUSUFALI, T.; MASAKI, C.; GUHA, M.; ROGO, D.; JANI, P.; NELSON, B. D. *et al.* Safety and feasibility of a ketamine package to support emergency and essential surgery in kenya when no anesthetist is available: an analysis of 1216 consecutive operative procedures. **World journal of surgery**, Springer, v. 41, n. 12, p. 2990–2997, 2017. Citado na página [38](#).

CARDOEN, B.; BELIËN, J.; VANHOUCKE, M. On the design of custom packs: grouping of medical disposable items for surgeries. **International Journal of Production Research**, Taylor & Francis, v. 53, n. 24, p. 7343–7359, 2015. Citado nas páginas [25](#), [38](#), [41](#), [42](#), [44](#) e [75](#).

CHEN, L.; LIU, C.; ZHOU, R.; XU, J.; LI, J. Efficient maximal biclique enumeration for large sparse bipartite graphs. **Proceedings of the VLDB Endowment**, VLDB Endowment, v. 15, n. 8, p. 1559–1571, 2022. Citado nas páginas [26](#) e [40](#).

DIAS, L. L. B.; SANTOS, M. O. d.; OKANO, E. Y.; NASCIMENTO, M. C. V. Modelo matemático para a determinação de kits cirúrgicos padronizados. **Anais**, 2021. Citado nas páginas [25](#), [38](#), [41](#), [44](#), [46](#), [58](#) e [75](#).

DOBSON, G.; SEIDMANN, A.; TILSON, V.; FROIX, A. Configuring surgical instrument trays to reduce costs. **IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering**, Taylor & Francis, v. 5, n. 4, p. 225–237, 2015. Citado nas páginas [25](#), [34](#), [41](#) e [44](#).

- DOLLEVOET, T.; ESSEN, J. T. van; GLORIE, K. M. Solution methods for the tray optimization problem. **European Journal of Operational Research**, Elsevier, v. 271, n. 3, p. 1070–1084, 2018. Citado nas páginas 25, 35, 41 e 44.
- FERNÁNDEZ, M. I.; CHANFREUT, P.; JURADO, I.; MAESTRE, J. M. A data-based model predictive decision support system for inventory management in hospitals. **IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics**, IEEE, v. 25, n. 6, p. 2227–2236, 2020. Citado na página 34.
- FREITAS, P. d. S. Padronização de kit de medicamentos para cirurgias cardíacas em um hospital federal do rio de janeiro. 2016. Citado na página 25.
- GELLMAN, C. Or procedure packs. **AORN Journal**, v. 48, n. 1, p. 72–75, 1988. Citado na página 36.
- INSTITUTO PARA PRÁTICAS SEGURAS NO USO DE MEDICAMENTOS. **Segurança no Uso de Medicamentos em Cirurgia**: Boletim ISMP Brasil. [S.l.], 2018. v. 7, n. 2, 10 p. Citado nas páginas 33 e 34.
- JOHN-BAPTISTE, A.; SOWERBY, L.; CHIN, C.; MARTIN, J.; ROTENBERG, B. Comparing surgical trays with redundant instruments with trays with reduced instruments: a cost analysis. **Canadian Medical Association Open Access Journal**, Canadian Medical Association Open Access Journal, v. 4, n. 3, p. E404–E408, 2016. Citado nas páginas 25, 35 e 44.
- LIU, X.; LI, J.; WANG, L. Modeling protein interacting groups by quasi-biclques: complexity, algorithm, and application. **IEEE/ACM transactions on computational biology and bioinformatics**, IEEE, v. 7, n. 2, p. 354–364, 2008. Citado nas páginas 26 e 39.
- LU, Y.; PHILLIPS, C. A.; LANGSTON, M. A. Biclque: an r package for maximal biclique enumeration in bipartite graphs. **BMC research notes**, BioMed Central, v. 13, n. 1, p. 1–5, 2020. Citado nas páginas 26, 39, 50, 51 e 55.
- LYU, B.; QIN, L.; LIN, X.; ZHANG, Y.; QIAN, Z.; ZHOU, J. Maximum biclique search at billion scale. **Proceedings of the VLDB Endowment**, ASSOC COMPUTING MACHINERY, 2020. Citado na página 39.
- MACHLINE, C. A new kind of operations inventory: the pre-assembled kit. **Journal of Operations and Supply Chain Management**, v. 1, n. 1, p. 24–28, 2008. Citado na página 37.
- MAESTRE, J.; FERNÁNDEZ, M.; JURADO, I. An application of economic model predictive control to inventory management in hospitals. **Control Engineering Practice**, Elsevier, v. 71, p. 120–128, 2018. Citado na página 33.
- MATTOS, E. M. S.; FAINTUCH, J.; CECCONELLO, I. Impacto farmacoeconômico da implantação do método de dispensação de drogas em forma de kit em procedimentos cirúrgicos e anestésicos. **ABCD. Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva (São Paulo)**, v. 20, p. 102–105, 2007. Citado nas páginas 25, 32 e 44.
- MUKHERJEE, A. P.; TIRTHAPURA, S. Enumerating maximal bicliques from a large graph using mapreduce. **IEEE Transactions on Services Computing**, IEEE, v. 10, n. 5, p. 771–784, 2016. Citado na página 26.

NAGARAJAN, N.; KINGSFORD, C. Uncovering genomic reassortments among influenza strains by enumerating maximal bicliques. In: IEEE. **2008 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine**. [S.l.], 2008. p. 223–230. Citado nas páginas 26 e 39.

NAST, K.; SWORDS, K. Decreasing operating room costs via reduction of surgical instruments. **Journal of pediatric urology**, Elsevier, v. 15, n. 2, p. 153–e1, 2019. Citado nas páginas 25, 35 e 44.

NOVAES, M. L. d. O.; GONÇALVES, A. A.; SIMONETTI, V. M. M. Gestão das farmácias hospitalares através da padronização de medicamentos e utilização da curva abc. **XIII SIMPEP. São Paulo**, p. 3–8, 2006. Citado nas páginas 31 e 32.

NUNES, D.; BERNARDINO, S.; MOTA, L.; PRÍNCIPE, F. Itens cirúrgicos individualizados e packs cirúrgicos personalizados na gestão do bloco operatório. **Revista de Investigação & Inovação em Saúde**, v. 1, n. 2, p. 37–47, 2018. Citado na página 25.

OLIVEIRA, C. **Gestão de estoques a partir da lista de materiais (bill of materials): o caso de um hospital universitário**. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. Citado nas páginas 25, 38 e 44.

PARANAGUÁ, T. T. d. B.; BRANQUINHO, N. C. S. d. S.; LOURENÇO, P. H. A.; BEZERRA, A. L. Q.; NEVES, M. J. A. d. O. Elaboração do projeto de kit cirúrgico pré-montado como estratégia de melhoria do programa cirúrgico: relato de experiência. **Anais**, 2009. Citado na página 25.

REYMONDON, F.; PELLET, B.; MARCON, E. Methodology for designing medical devices packages based on sterilisation costs. In: **IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)**. Saint - Etienne, France: [s.n.], 2006. v. 12, n. PART 1. Cited By 1. Disponível em: <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01668093>>. Citado nas páginas 25, 36 e 44.

_____. Optimization of hospital sterilization costs proposing new grouping choices of medical devices into packages. **International Journal of Production Economics**, 2008. Citado nas páginas 25, 36, 41 e 44.

SHAHAM, E.; WESTERSKI, A.; KANAGASABAI, R.; NARAYANAN, A.; ONG, S.; WONG, J.; SINGH, M. Using unsupervised learning for data-driven procurement demand aggregation. In: **Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence**. [S.l.: s.n.], 2021. v. 35, n. 17, p. 15175–15184. Citado na página 40.

SÖZDINLER, M.; ÖZTURAN, C. Finding maximum edge biclique in bipartite networks by integer programming. In: IEEE. **2018 IEEE International Conference on Computational Science and Engineering (CSE)**. [S.l.], 2018. p. 132–137. Citado na página 39.

STELZER, I. V.; SIERAWSKA, A.; BUYX, A.; SIMON, J. A network-based mixed methods approach to analyze current perspectives on personalized oncological medicine in austria. **Journal of Personalized Medicine**, MDPI, v. 10, n. 4, p. 276, 2020. Citado na página 40.

THIEME, S.; WALTHER, D. Biclique extension as an effective approach to predict novel interaction partners in metabolic compound-protein interaction networks. **bioRxiv**, Cold Spring Harbor Laboratory, p. 2021–09, 2021. Citado na página 40.

YALAMANCHI, P.; MILLER, J. E.; PROUT, S.; MATTHEWS, E.; SPAGNOL, C.; HARRINGTON, S.; CHANG, H. F.; SPECTOR, M. E.; CASPER, K. A.; MALLOY, K. M. Association of operating room costs with head and neck surgical instrumentation optimization: A surgeon-led quality improvement initiative. **JAMA Otolaryngology–Head & Neck Surgery**, 2022. Citado nas páginas [25](#), [36](#) e [44](#).

YANG, Z.; XU, F.; WANG, H.; TESCHENDORFF, A. E.; XIE, F.; HE, Y. Pan-cancer characterization of long non-coding rna and dna methylation mediated transcriptional dysregulation. **EBioMedicine**, Elsevier, v. 68, p. 103399, 2021. Citado na página [40](#).

ZHANG, Y.; PHILLIPS, C. A.; ROGERS, G. L.; BAKER, E. J.; CHESLER, E. J.; LANGSTON, M. A. On finding bicliques in bipartite graphs: a novel algorithm and its application to the integration of diverse biological data types. **BMC bioinformatics**, Springer, v. 15, n. 1, p. 1–18, 2014. Citado nas páginas [26](#), [39](#), [40](#), [51](#) e [52](#).

