LVI SBPO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
DE 04 ATÉ 07 NOVEMBRO 2024
FORTALEZA | CEARÁ

Otimização Multiobjetivo Para o Problema de Seleção de Fornecedores e Compra de Materiais Hospitalares

Gabriel Vinicius Bacci
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC), Universidade de São Paulo
Av. Trabalhador São-carlense, 400 - Centro, CEP 13566-590, São Carlos - SP.
gabriel.bacci@usp.br

Artur Lovato Cunha
Preditiva Tecnologia da Informação
Rua Miguel João, 279 - Jardim Bandeirantes, CEP 13562-180, São Carlos - SP.
alovato@preditiva.io

Maristela Oliveira Santos
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC), Universidade de São Paulo
Av. Trabalhador São-carlense, 400 - Centro, CEP 13566-590, São Carlos - SP.
mari@icmc.usp.br

RESUMO

Neste artigo é proposto um método para auxiliar na gestão de compras de insumos hospitalares, utilizados pelo centro cirúrgico de um hospital. Sendo eles medicamentos e insumos descartáveis. Os insumos são fornecidos por diferentes fornecedores, cada um oferecendo um conjunto específico de itens necessários para atender à demanda do hospital. Neste problema, busca-se minimizar os recursos financeiros gastos na aquisição dos itens, ao mesmo tempo em que se tenta utilizar o menor número possível de fornecedores. Objetivos que são conflitantes, não havendo uma solução única que os otimize simultaneamente. Um modelo de otimização inteira biobjetivo é proposto e utilizou o método *epsilon-restrito* para obter a fronteira de Pareto aproximada. Nos testes computacionais, foram utilizados dados reais de um hospital do interior de SP combinados com informações coletadas da internet. Nas análises realizadas, são mostrados os *trade-offs* entre o número de fornecedores e os custos dos insumos.

PALAVRAS CHAVE. Gestão Hospitalar, Otimização Inteira Multiobjetivo, Método *Epsilon-Restrito*.

Tópicos PM – Programação Matemática, SA – PO na Área de Saúde

ABSTRACT

In this article, a method is proposed to assist in the management of purchases of hospital supplies, used by the surgical center of a hospital. These include medications and disposable supplies. The supplies are provided by different suppliers, each offering a specific set of items necessary to meet the hospital's demand. In this problem, the aim is to minimize the financial resources spent on the acquisition of items, while trying to use the smallest possible number of suppliers. These are conflicting objectives, and there is no single solution that optimizes them simultaneously. A bi-objective integer optimization model is proposed and uses the epsilon-constrained method to obtain the approximate Pareto frontier. In the computational tests, real data from a hospital in the interior of SP were used, combined with information collected from the internet. In the analyses carried out, the trade-offs between the number of suppliers and the costs of supplies are shown.

KEYWORDS. Hospital Management. Multi-objective Integer Optimization. Epsilon-constrained Method.

Paper topics PM - Mathematical Programming, SA - OR in Health Sector

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193655
https://proceedings.science/p/193655?lang=pt-br

1. Introdução

Os hospitais são entidades que mais consomem os recursos destinados à saúde Cardoen et al. [2015]. O setor cirúrgico é o que representa maiores gastos em um hospital. Segundo Maria e Loureiro [2010], uma gestão adequada de estoque dos itens utilizados pelo centro cirúrgico pode reduzir de forma significativa os custos hospitalares. Nesse sentido, podemos encontrar na literatura trabalhos que propõem uma abordagem para gerenciar melhor o abastecimento hospitalar, buscando um melhor controle de estoque, ou a redução total dos custos, como Paschoal e Castilho [2010], Oliveira [2017] e Cardoso et al. [2020].

A administração dos recursos materiais engloba a sequência de operações que tem seu início na identificação do fornecedor Martins e Alt [2000]. Segundo Paulus Júnior [2005], uma unidade de gerenciamento de materiais em hospitais deve visar, entre outros fatores, ter conhecimento sobre o mercado e os fornecedores disponíveis. Determinar quais fornecedores serão utilizados para atender a demanda de um hospital, bem como seu processo de contratação, geralmente não é uma tarefa simples, conforme destacado por Lingg et al. [2016] e Andreoli e Dias [2015]. Além disso, esse processo de aquisição pode influenciar de forma significativa o trabalho dos profissionais que atuam nessa área, como investigado por Garcia et al. [2012].

Neste estudo, o processo de aquisição de insumos, abrangendo múltiplos períodos, bem como a seleção de fornecedores que serão contratados pelo hospital, é abordado como um Problema de Otimização Multiobjetivo (POM). Será proposto um modelo biobjetivo para este problema, com o objetivo de encontrar um equilíbrio entre os recursos financeiros despendidos na aquisição e armazenamento dos itens e a quantidade de fornecedores utilizados.

Para escalarizar o POM abordado e obter seu conjunto de soluções eficientes é utilizado o método do *epsilon-restrito*, como visto por Aliano Filho [2016]. Na literatura, existem estudos que utilizam este método para obter o conjunto eficiente de soluções de um POM com duas funções objetivo, como Shariatzadeh et al. [2023], Javadi et al. [2020] e da Silva Mundim [2024]. Devido à natureza potencialmente conflitante do POM considerado, o método proposto permitirá a análise do *trade-off* entre os objetivos, auxiliando assim o tomador de decisão a identificar a solução eficiente que melhor atenda às suas necessidades.

Este trabalho está organizado da seguinte maneira. Na Seção 2, será descrito o problema abordado neste trabalho. Na Seção 3 será descrita a modelagem do problema, apresentando o modelo elaborado e detalhando os parâmetros, variáveis, funções objetivos e restrições utilizadas pelo mesmo. A Seção 4 descreve como o método do *epsilon-restrito* foi aplicado para encontrar o conjunto de soluções eficientes, geradas pelo modelo. Na Seção 5 é apresentado os testes computacionais realizados. Por fim, a Seção 6 apresenta as conclusões obtidas.

2. Descrição do Problema

O problema proposto consiste em determinar quais itens serão comprados em cada período considerado. Isso inclui a possibilidade de estocar itens para utilizá-los em períodos posteriores, visando atender toda a demanda do setor cirúrgico do hospital para a realização de cirurgias de diversos procedimentos cirúrgicos. Os itens considerados podem ser divididos em duas classes, sendo elas "Drogas/Medicamentos"e "Materiais hospitalares". Cada item pertencente à classe “Drogas/Medicamentos” possui um princípio ativo, que é responsável pelo seu efeito farmacológico. Itens com o mesmo principio ativo podem ser usados como substitutos entre si. Para os itens da classe "Materiais hospitalares", considera-se que seu princípio ativo é o próprio item. Estes insumos, são fornecidos por uma variedade de fornecedores, cada uma disponibilizando um conjunto específico de itens.

Cada fornecedor estabelece um valor mínimo de venda, denominado carrinho mínimo, tornando a aquisição viável somente se o valor total dos itens, adquiridos deste fornecedor, atender

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193655
https://proceedings.science/p/193655?lang=pt-br

ou exceder esse limite. Frequentemente, para atender à demanda do centro cirúrgico, o hospital precisa adquirir itens de múltiplos fornecedores. Consequentemente, o processo de contratação se torna progressivamente mais complexo à medida que o número de fornecedores utilizados aumenta, especialmente em contextos de recursos públicos. Diante deste cenário, o objetivo é encontrar alternativas que permitam minimizar tanto a quantidade de recursos despendidos na aquisição e armazenamento de itens quanto o número de fornecedores utilizados.

3. Modelagem do problema

É considerado que todo item, possui um principio ativo *i*. Todo item com princípio ativo *i* pode ser substituído por outro com o mesmo princípio ativo, incluindo ele mesmo, conforme ilustrado na Figura 1. Por conveniência, o princípio ativo *i* é chamado de item *i*, e o item que o representa é designado como item alternativo *a*. Por exemplo, no contexto de um centro cirúrgico, se houver dois itens com o mesmo princípio ativo (a e b), ambos podem ser usados com resultados equivalentes, como ilustrado pela Figura 2. No entanto, seus custos e unidades podem ser distintos.

Figura 1: Ilustrando a possibilidade de itens alternativos

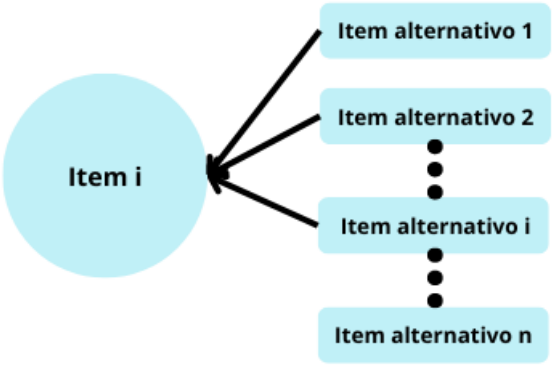
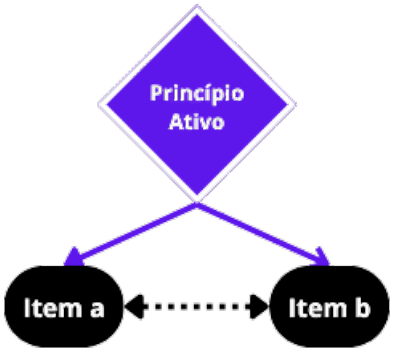


Figura 2: Ilustrando a possibilidade de itens alternativos



O modelo proposto nesta etapa aborda o planejamento para aquisição de itens ao longo de um horizonte composto por múltiplos períodos. Adicionalmente, são levados em consideração diversos fornecedores, juntamente com seus requisitos de compra mínima (carrinho mínimo) e as embalagens de itens que oferecem. É importante ressaltar que um único item pode ser disponibilizado por diversos fornecedores distintos.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193655
https://proceedings.science/p/193655?lang=pt-br

3.1. Parâmetros e Variáveis

Na modelagem proposta, o parâmetro I representa o conjunto de itens cirúrgicos *i* considerados. O parâmetro A_i representa um conjunto de itens alternativos *a* que podem substituir o item *i*. O parâmetro F representa o conjunto de fornecedores f disponíveis e T o conjunto de períodos *t* considerados. O parâmetro H simboliza o número máximo de itens alternativos *a* permitidos para o mesmo item *i*. c_f^a representa o respectivo custo de compra um item alternativo *a* do fornecedor *f* e p_f^a simboliza quantos itens alternativos *a*, a caixa do fornecedor *f*, contém. β^a, representa o custo de armazenamento de um item *a*. B_f simboliza o valor mínimo de compra de um fornecedor *f*. D_{it}, expressa quantos itens *i* são necessários para um período *t*. Por fim, M expressa um número suficientemente grande. Além disso, foi necessário o uso do parâmetro auxiliar δ_{if}^a que indica se um item alternativo *a* para o item *i* é fornecido pelo fornecedor *f*, valendo 1 em caso afirmativo e 0 caso contrário.

A variável inteira x_{ift}^a representa o número de caixas de itens alternativos *a*, para um determinado item *i*, comprados do fornecedor f em um período *t*. A variável inteira E_{it}^a simboliza o número de itens alternativos *a*, para um item *i*, em estoque, no final do período *t*. A variável binária s_{ft} é usada para indicar se algum item do fornecedor f foi comprado no período *t*. A variável binária h_{ia} verifica se um item alternativo *a* é usado como alternativo para o item *i*. Por fim, a variável binária y_f é usada para indicar se o fornecedor f foi selecionado ou não.

Um resumo dos parâmetros e variáveis descritas é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros e variáveis para o modelo.

Parâmetros	
I	Conjunto de itens, $i \in I$.
F	Conjunto de fornecedores, $f \in F$.
T	Conjunto de períodos, $t \in T$.
A_i	Conjunto de itens alternativos *a* para o item *i*, $a \in A_i$.
H	Número máximo de itens alternativos *a* permitidos para o item *i*.
B_f	Valor mínimo de compra para o fornecedor *f*.
c_f^a	Custo associado a compra de uma caixa do item alternativo *a*, fornecido pelo fornecedor *f*.
p_f^a	Quantidade de itens alternativos *a* presentes na caixa fornecida pelo fornecedor *f*.
β^a	Custo de estocar uma unidade do item alternativo *a*.
δ_{if}^a	1, se o item alternativo *a* para o item *i* é vendido pelo fornecedor *f*. 0, caso contrário.
M	Número suficientemente grande.
D_{it}	Demanda do item *i* o período *t*.
Variáveis	
h_i^a	1, se o item alternativo *a* é usado para representar o item *i*. 0, caso contrário.
y_f	1, se o fornecedor f é selecionado. 0, caso contrário.
s_{ft}	1, se algum item do fornecedor f é comprado no período *t*. 0, caso contrário.
x_{ift}^a	Caixas de itens alternativos *a* para o item *i* comprados do fornecedor f no período *t*.
E_{it}^a	Quantidade de itens alternativos *a* para o item *i* em estoque, no final do período *t*.

3.2. Modelo Elaborado

$$\text{Minimizar } F_{CT} = \sum_a \sum_i \sum_f \sum_t (c_f^a x_{ift}^a) + \sum_a \sum_i \sum_t (\beta^a E_{it}^a) \tag{1}$$

$$\text{Minimizar } F_{FC} = \sum_f y_f \tag{2}$$

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193655
https://proceedings.science/p/193655?lang=pt-br

Sujeito a:

$$\sum_{a} \sum_{i|\delta^a_{if}=1} (c^a_f x^a_{ift}) \geq B_f s_{ft} \quad \forall f \in F, \quad \forall t \in T \tag{3}$$

$$x^a_{ift} \leq M h^a_i \qquad \forall a \in A_i, \quad \forall i \in I, \quad \forall f \in F, \quad \forall t \in T \tag{4}$$

$$x^a_{ift} \leq M s_{ft} \quad \forall a \in A_i, \quad \forall i \in I, \quad \forall f \in F, \quad \forall t \in T \tag{5}$$

$$\sum_{a} h^a_i \leq H \qquad \forall i \in I \tag{6}$$

$$s_{ft} \leq y_f \quad \forall f \in F, \quad \forall t \in T \tag{7}$$

$$\sum_{a} E^a_{it-1} + \sum_{a} \sum_{f|\delta^a_{if}=1} p^a_f x^a_{ift} - \sum_{a} E^a_{it} = D_{it} \quad \forall i \in I, \quad \forall t \in T \tag{8}$$

$$x^a_{ift} \in \mathbb{N} \qquad \forall a \in A_i, \quad \forall i \in I, \quad \forall f \in F, \quad \forall t \in T \tag{9}$$

$$E^a_{it} \in \mathbb{N} \qquad \forall a \in A_i, \quad \forall i \in I, \quad \forall t \in T \tag{10}$$

$$h^a_i \in \{0,1\} \qquad \forall a \in A_i, \quad \forall i \in I \tag{11}$$

$$s_{ft} \in \{0,1\} \qquad \forall f \in F, \quad \forall t \in T \tag{12}$$

$$y_f \in \{0,1\} \qquad \forall f \in F \tag{13}$$

A função objetivo (1) minimiza o custo de compra e estoque dos itens, enquanto (2) minimiza o número de fornecedores utilizados. As restrições (3) garantem que os itens sejam adquiridos apenas de fornecedores que podem fornecê-los e cujos preços atinjam o mínimo de compra. As restrições (4) asseguram que um item alternativo *a* só possa ser adquirido se for viável como substituto para o item *i*. As restrições (5) garantem que um item alternativo *a* só possa ser adquirido de um fornecedor *f* se este puder fornecer algum item no período *t*. As restrições (6) limitam o número máximo de tipos de itens alternativos *a* distintos para o item *i*. As restrições (7) garantem que só sejam comprados itens de fornecedores válidos. As restrições (8) asseguram que a demanda necessária do item *i* para o período *t* seja atendida. As restrições (9) - (13) são de domínios das variáveis.

4. Método *epsilon-restrito*

O método *epsilon-restrito* foi proposto por Haimes et al. [1971] e pode ser de grande ajuda para resolver problemas de otimização multiobjetivo. Mais detalhes sobre o método, principalmente para o caso biobjetivo, podem ser encontrados em Aliano Filho [2016].

Neste artigo, a função F_{CT} foi escolhida como função-objetivo para o subproblema restrito, e a função F_{FC} foi escolhida como restrição, pois seu valor objetivo só assume valores inteiros e sua amplitude é consideravelmente menor, se comparada a F_{CT}. O problema restrito é definido a seguir, onde $\rho > 0$:

$$\begin{aligned} \text{Minimizar} \quad & F_{CT} + \rho \cdot F_{FC} \\ \text{Sujeito a:} \quad & F_{FC} < \epsilon \\ & (3) - (12) \end{aligned} \tag{14}$$

O parâmetro ρ é um pequeno valor positivo que é adicionado à função objetivo para dar uma pequena prioridade à minimização do número de fornecedores utilizados, permitindo assim encontrar o conjunto de soluções eficientes do nosso problema.

Como F_{FC} toma apenas valores inteiros num intervalo fechado, é razoável considerar ϵ variando no intervalo $I = [LFC, UFC]$, onde LFC e UFC é o menor e o maior valor que F_{FC}

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193655
https://proceedings.science/p/193655?lang=pt-br

pode assumir, respectivamente, para garantir que todas as soluções eficientes sejam obtidas. Uma nova solução eficiente é obtida, resolvendo o problema 14, para cada valor de ϵ no intervalo I.

Primeiro, é necessário calcular os pontos lexicográficos LFC e UFC, resolvendo, respectivamente, 15 e 16, obtendo assim duas soluções eficientes. Logo após, será resolvido a sequência de subproblemas restritos, iniciando com $\epsilon = LFC + \delta$, incrementando-o de δ unidades até que atinja $\epsilon = UFC - \delta$, valor máximo de I.

$$\begin{aligned} \text{Minimizar} \quad & F_{CT} + \rho \cdot F_{FC} \\ \text{Sujeito a:} \quad & (3) - (12) \end{aligned} \tag{15}$$

$$\begin{aligned} \text{Minimizar} \quad & F_{FC} + \rho \cdot F_{CT} \\ \text{Sujeito a:} \quad & (3) - (12) \end{aligned} \tag{16}$$

5. Testes Computacionais

5.1. Dados Utilizados

Para testar o modelo proposto, foi utilizada uma base de dados fornecida pela Santa Casa de São Carlos, SP, complementada com dados coletados dos sites de Medicamentos Equivalentes [2024] e Remédios [2024]. Detalhes adicionais sobre a base de dados e os sites utilizados serão apresentados, respectivamente, nas Subseções 5.1.1 e 5.1.2. A partir desses dados, foram elaboradas 12 instâncias para testar o modelo, conforme descrito na Subseção 5.1.3.

5.1.1. Base de Dados

A base de dados utilizada refere-se às movimentações farmacêuticas do centro cirúrgico, contendo informações sobre mais de 2200 itens, abrangendo mais de 13 mil cirurgias e 897 tipos de procedimentos cirúrgicos. A análise dos dados revelou que um número limitado de tipos de procedimentos representa uma parcela significativa do volume total de cirurgias realizadas, sendo que os 20 procedimentos mais frequentes correspondem a 50% do volume total de cirurgias. Os itens considerados para determinar a demanda foram aqueles com uma taxa de uso de pelo menos 30% nos procedimentos considerados, resultando em um total de 228 itens.

Além disso, a base de dados inclui informações sobre as datas de realização das cirurgias, que variam de 1º de janeiro de 2017 a 12 de junho de 2018. Para os testes, foi utilizado um período de uma semana, extraindo-se 10 períodos de teste, começando em 1º de janeiro e terminando em 12 de março de 2017, totalizando aproximadamente dois meses e meio. Com base na utilização dos 228 itens determinados, foi determinada a demanda de cada um deles para cada período. Esses dados também foram utilizados em Dias et al. [2021].

5.1.2. Coleta de Dados

A base de dados mencionada na Subseção 5.1.1 não contém informações sobre custos dos insumos, fornecedores e alternativas dos itens selecionados. Para contornar essa limitação, foram desenvolvidos dois programas utilizando a linguagem de programação *Python*. O primeiro programa tem como objetivo encontrar itens alternativos para os 228 itens previamente identificados, utilizando o site de Medicamentos Equivalentes [2024]. O segundo programa busca identificar fornecedores, bem como seus respectivos custos e tamanhos de embalagens, para os itens alternativos encontrados pelo primeiro programa, utilizando o site Remédios [2024].

Após todas as análises, foram identificados 405 itens alternativos para os 228 itens iniciais. Para 146 itens, não foi possível encontrar alternativas além do próprio item original; para 44 itens, foi encontrada 1 alternativa; para 8 itens, foram encontradas 2 alternativas; para 3 itens, foram encontradas 3 alternativas; e para 27 itens, foram encontradas 4 alternativas. O segundo programa identificou 30 fornecedores que fornecem pelo menos um dos itens alternativos obtidos.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193655
https://proceedings.science/p/193655?lang=pt-br

5.1.3. Instâncias

Com base nos dados descritos na Subseção 5.1, foram elaboradas 12 instâncias para os experimentos computacionais, variando o número de itens, fornecedores e períodos. Os itens considerados podem ser os 100 primeiros ou todos os 228 obtidos. Os períodos são os primeiros 4 (aproximadamente 1 mês) ou todos os 10 (aproximadamente 2 meses e meio). Os fornecedores podem ser os primeiros 10, 20 ou todos os 30. Mais detalhes são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Descrição das instâncias.

Instância	Fornecedores(F)	Itens(I)	Itens alternativos totais(A_i)	Períodos(T)
1	10	100	181	4
2	10	100	181	10
3	10	228	405	4
4	10	228	405	10
5	20	100	181	4
6	20	100	181	10
7	20	228	405	4
8	20	228	405	10
9	30	100	181	4
10	30	100	181	10
11	30	228	405	4
12	30	228	405	10

5.2. Ambiente de Teste

Os testes foram realizados em um computador com processador *Intel Core i7-2600 CPU (3.40GHz)* e *16.0GB* de memória *RAM*, sob o sistema operacional *Windows 10*. O modelo foi implementado em *Python*, utilizando o solver *Gurobi 10.0.2*, acessado via licença acadêmica.

5.3. Resultados Obtidos

Nesta Seção será apresentado os resultados dos experimentos computacionais realizados. O objetivo é demonstrar a eficiência do método *epsilon-restrito* (Seção 4) ao calcular e analisar o *trade-off* entre as soluções eficientes (Seção 3). Inicialmente, os pontos lexicográficos de cada instância foram calculados com um limite de tempo de 3 horas. O solver encontrou a solução comprovadamente ótima, de ambos os pontos, apenas para a instância 1. Porém, o gap encontrado pelo solver para as instâncias foi, no pior dos casos, inferior a 5%. O gap é dado por: $gap = |fp - fd|/|fp|$, onde fp é o limite superior e fd é o limite inferior. Assim, as soluções encontradas são potencialmente os pontos extremos de Pareto de suas respectivas instâncias. Detalhes adicionais são fornecidos na Tabela 3.

A análise da Tabela 3 revela que o intervalo de fornecedores permitidos para a geração da aproximação da curva de Pareto varia de 5 a 17 no caso mais extremo, dado que F_{FC} só pode assumir valores discretos. Com isso, foi possível calcular todos as soluções potencialmente eficientes, da aproximação da curva de Pareto, gerada pelos pontos lexicográficos exibidos na Tabela 3. Um limite de tempo de 1 hora foi estabelecido para este cálculo.

Entre as instâncias analisadas, apenas a instância 1 apresentou todas as soluções comprovadamente eficientes. A instância 12 exibiu o maior gap na maioria dos casos. Exceto para a primeira solução, que é comprovadamente de Pareto, todas as outras foram consideradas potencialmente de Pareto e utilizadas na análise do *trade-off* entre os objetivos. As instâncias com 10 fornecedores (Tabela 4) apresentaram o menor gap, mas sua aproximação da curva de Pareto, com apenas 3 pontos, limita uma análise significativa do *trade-off*. As instâncias com 20 fornecedores (Tabela 5) mostraram um gap moderado e uma aproximação da curva de Pareto mais ampla com 8 pontos. As instâncias com 30 fornecedores (Tabela 6) tiveram um gap relativamente maior, mas sua

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193655
https://proceedings.science/p/193655?lang=pt-br

Tabela 3: Pontos lexicográficos para todas as instâncias.

Instância	Min $F_{FC} + \rho * F_{CT}$				Min $F_{CT} + \rho * F_{FC}$			
	F_{FC}	F_{CT}	runtime (s)	gap %	F_{CT}	F_{FC}	runtime (s)	gap %
1	5	28290.33	0.39	0.01	18107.37	7	472.45	0.01
2	5	75575.29	1.76	0.01	50030.41	7	10800.52	0.21
3	5	57098.92	0.56	0	44562.44	7	10800.56	0.01
4	5	154680.71	4.35	0	121676.29	7	10801.02	0.05
5	5	28288.14	1.13	0	13492.03	12	10801.37	0.13
6	5	75535.64	11.67	0.01	36648.32	12	10800.20	1.46
7	5	57067.92	1.74	0	37619.57	11	10800.62	0.03
8	5	154677.24	67.39	0	100662.40	12	10800.45	0.24
9	5	28270.33	1.87	0	9677.39	12	10800.44	0.12
10	5	75531.55	10800.78	0.01	23953.18	15	10800.27	4.73
11	5	57020.92	6.54	0	24254.68	17	10800.36	0.05
12	5	154677.24	433.53	0	58535.11	17	10800.50	2.85

aproximação da curva de Pareto mais ampla com 13 pontos permite uma análise mais aprofundada do *trade-off*.

Tabela 4: Resultados obtidos em cada um dos pontos da Curva de Pareto para as instâncias com 10 fornecedores

Instância	ϵ_1			ϵ_2			ϵ_3		
	F_{FC}	F_{CT}	gap %	F_{FC}	F_{CT}	gap %	F_{FC}	F_{CT}	gap %
1	5	28290.33	0.01	6	18541.15	0.01	7	18107.37	0.01
2	5	75575.29	0.01	6	51261.73	0.07	7	50030.41	0.21
3	5	57098.92	0	6	45155.66	0.01	7	44562.44	0.01
4	5	154680.71	0	6	123080.06	0.05	7	121676.29	0.05

Os resultados indicam que as instâncias com mais fornecedores, mesmo quando limitadas ao mesmo número de fornecedores das instâncias com menos opções, apresentam um custo de aquisição de itens significativamente menor. Isso sugere que a consideração de uma gama maior de fornecedores no planejamento da gestão de compras, apesar de aumentar a complexidade do modelo, pode resultar em soluções relativamente melhores, utilizando o mesmo número de fornecedores.

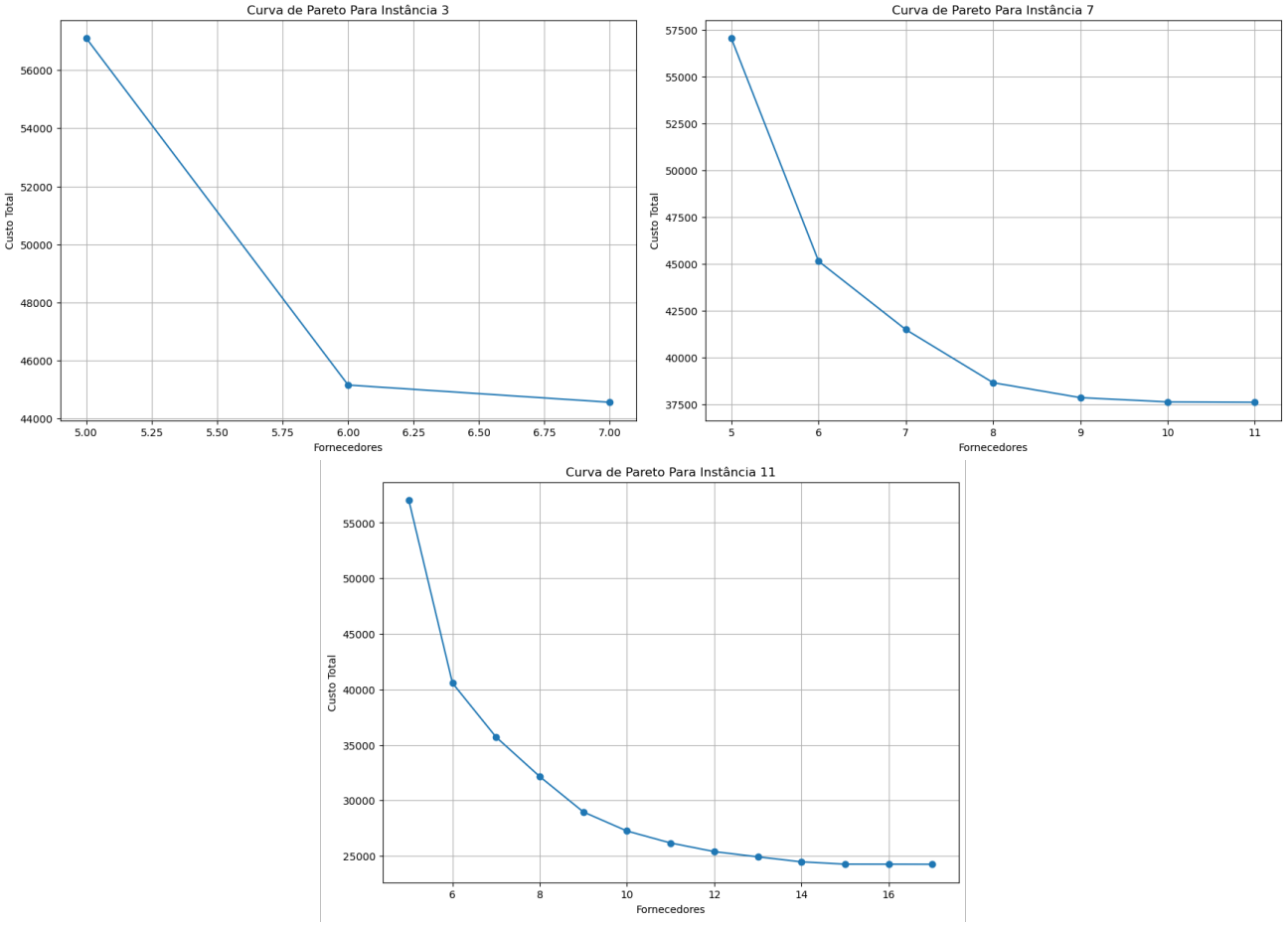
DOI: 10.59254/sbpo-2024-193655
https://proceedings.science/p/193655?lang=pt-br

Tabela 5: Resultados obtidos em cada um dos Pontos da aproximação da Curva de Pareto para as instâncias com 20 fornecedores

Instância	ϵ_1			ϵ_2			ϵ_3			ϵ_4		
	F_{FC}	F_{CT}	gap %	F_{FC}	F_{CT}	gap %	F_{FC}	F_{CT}	gap %	F_{FC}	F_{CT}	gap %
5	5	28288.14	0	6	18541.15	0.01	7	15084.38	0.09	8	14371.23	0.08
6	5	75535.64	0.01	6	51261.73	0.33	7	43179.72	0.35	8	40842.87	0.45
7	5	57067.92	0	6	45155.66	0.01	7	41500.97	0.03	8	38664.63	0.03
8	5	154677.24	0	6	123072.88	0.15	7	114289.19	0.18	8	105924.68	0.17

Instância	ϵ_5			ϵ_6			ϵ_7			ϵ_8		
	F_{FC}	F_{CT}	gap %	F_{FC}	F_{CT}	gap %	F_{FC}	F_{CT}	gap %	F_{FC}	F_{CT}	gap %
5	9	13921.72	0.10	10	13619.59	0.14	11	13502.15	0.15	12	13492.03	0.13
6	9	39192.68	1.06	10	37400.63	0.71	11	36793.54	1.86	12	36648.32	1.46
7	9	37866.60	0.04	10	37638.34	0.04	11	37619.57	0.03	-	-	-
8	9	104103.09	0.20	10	102317.93	0.30	11	101748.16	1.06	12	100662.40	0.24

Figura 3: Fronteiras de Pareto



Foi elaborado uma visualização da aproximação da curva de Pareto para as instâncias 3,

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193655
https://proceedings.science/p/193655?lang=pt-br

Tabela 6: Resultados obtidos em cada um dos Pontos da aproximação da Curva de Pareto para as instâncias com 30 fornecedores

Instância	ϵ_1			ϵ_2			ϵ_3			ϵ_4			ϵ_5		
	F_{FC}	F_{CT}	gap %	F_{FC}	F_{CT}	gap %	F_{FC}	F_{CT}	gap %	F_{FC}	F_{CT}	gap %	F_{FC}	F_{CT}	gap %
9	5	28270.33	0	6	18541.15	0.08	7	14129.15	0.05	8	10571.59	0.12	9	10254.57	0.04
10	5	75531.55	0.01	6	51261.73	0.64	7	37906.73	0.82	8	27769.45	1.48	9	24810.81	2.96
11	5	57020.92	0	6	40566.70	0.01	7	35700.66	0.09	8	32152.80	0.18	9	28963.37	0.06
12	5	154677.24	0	6	110126.15	0.28	7	94294.93	0.22	8	81680.25	0.27	9	78218.82	12.37

Instância	ϵ_6			ϵ_7			ϵ_8			ϵ_9			ϵ_{10}		
	F_{FC}	F_{CT}	gap %	F_{FC}	F_{CT}	gap %	F_{FC}	F_{CT}	gap %	F_{FC}	F_{CT}	gap %	F_{FC}	F_{CT}	gap %
9	10	9797.29	0.12	11	9680.56	0.20	12	9677.39	0.12	-	-	-	-	-	-
10	10	24545.12	7.23	11	24232.62	4.95	12	24129.33	5.72	13	23984.45	3.75	14	23978.04	4.59
11	10	27248.47	0.04	11	26169.34	0.06	12	25394.59	0.02	13	24922.17	0.03	14	24471.32	0.10
12	10	70034.77	6.31	11	67248.29	9.39	12	65509.95	10.79	13	63995.03	10.76	14	61094.67	7.17

Instância	ϵ_{11}			ϵ_{12}			ϵ_{13}		
	F_{FC}	F_{CT}	gap %	F_{FC}	F_{CT}	gap %	F_{FC}	F_{CT}	gap %
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	15	23953.18	4.73	-	-	-	-	-	-
11	15	24265.86	0.15	16	24262.87	0.10	17	24254.68	0.05
12	15	60403.45	6.55	16	58742.54	3.52	17	58535.11	2.85

7 e 11, pois elas apresentam o mesmo número de itens e períodos, variando apenas o número de fornecedores, um gap relativamente baixo para todos os valores obtidos e , respectivamente, 3, 7 e 13 pontos na sua aproximação da curva de Pareto. Com isso, será possível visualizar como essa curva se comporta para diferentes valores de fornecedores, essas curvas são exibidas na Figura 3. Com base nos resultados obtidos e na figura exibida, é perceptível que existe um *trade-off* significativo entre os objetivos. Sendo que a curva apresenta um decrescimento elevado no começo, como é possível ver na Figura 3 e depois de um certo valor, aproximadamente no meio do intervalo da curva, ela se torna quase constante, não havendo, após esse valor, uma diminuição significativa de custo a medida que o número de fornecedores usados aumenta.

6. Conclusão

Este trabalho teve como objetivo principal desenvolver um modelo multiobjetivo para minimizar os recursos despendidos pelo hospital na aquisição e armazenamento de itens, bem como o número de fornecedores utilizados. O método do *epsilon-restrito* foi empregado para obter o conjunto de soluções eficientes, possibilitando a análise do *trade-off* entre os objetivos. Os resultados indicaram um claro *trade-off* entre os objetivos, com a aproximação da curva de Pareto exibindo um decréscimo acentuado inicialmente, que diminui à medida que se utiliza um maior número de fornecedores. Estes resultados permitem ao tomador de decisão, encarregado da gestão de compra dos itens, avaliar qual das soluções eficientes na fronteira de Pareto melhor atende ao seu objetivo no momento.

Vale ressaltar que as instâncias com menor número de fornecedores apresentam uma aproximação da curva de Pareto com intervalo reduzido, o que pode dificultar a análise do *trade-off*. Observou-se que, mesmo quando as instâncias com mais fornecedores estavam limitadas ao mesmo número de fornecedores, o custo de compra dos itens era relativamente menor do que nas instâncias com menos fornecedores. Isso sugere que considerar um maior número de fornecedores pode

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193655
https://proceedings.science/p/193655?lang=pt-br

resultar em soluções de melhor qualidade. Como trabalho futuro, a análise de instâncias maiores poderia elucidar até que ponto um horizonte maior de fornecedores pode beneficiar a gestão hospitalar, considerando o custo de aquisição dos itens e a complexidade do modelo resultante. Além disso, também é possível realizar a criação de alguma heurística, para tentar melhorar a qualidade das soluções obtidas.

Referências

Aliano Filho, A. (2016). *Novas Extensões de Técnicas de Escalarizações no Problema de Corte Unidimensional Inteiro Multiobjetivo*. PhD thesis, Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, Universidade Estadual de Campinas.

Andreoli, G. L. M. e Dias, C. N. (2015). Planejamento e gestão logística de medicamentos em uma central de abastecimento farmacêutico hospitalar. *RAHIS- Revista de Administração Hospitalar e Inovação em Saúde*.

Cardoen, B., Belloen, J., e Vanhoucke, M. (2015). On the design of custom packs: grouping of medical disposable items for surgeries. *International Journal of Production Research*, 53(24): 7343–7359.

Cardoso, A. A. B., Souza, L. M., Reis, A. d. O., e Palha, V. M. (2020). Gestão de custos em organizações hospitalares: sistemática por centro de custos. *Semina: Ciências Sociais e Humanas*, 41 (1):123–138.

da Silva Mundim, A. A. (2024). *Roteamento de Estoque e Transporte de Carga Multimodal: Otimização Bi-objetivo com Considerações Ambientais e Econômicas*. PhD thesis, Programa de Pós-Graduação em Ciências de Computação e Matemática Computacional (PPG-CCMC).

de Medicamentos Equivalentes, L. (2024). Guia de equivalentes: consulta de medicamentos similares equivalentes. `https://guiadeequivalentes.com.br`. Acesso em: 12 de abril de 2024.

Dias, L. L. B., Santos, M. O. d., Okano, E. Y., e Nascimento, M. C. V. (2021). Modelo matemático para a determinação de kits cirúrgicos padronizados. *Anais Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional(SBPO)*.

Garcia, S. D., Haddad, M. C. L., Dellaroza, M. S. G., Costa, D. B., e Miranda, J. M. (2012). Gestão de material médico-hospitalar e o processo de trabalho em um hospital público. *Revista Brasileira de Enfermagem*, 65(2).

Haimes, Y. Y., Lasdon, L. S., e Wismer, D. A. (1971). On a bicriterion formulation of the problems of integrated system identification and system optimization. *IEEE Transactions on Systems*.

Javadi, M., Lotfi, M., Osorio, G. J., Ashraf, A., Nezhad, A. E., Gough, M., e Catalao, J. P. (2020). A multi-objective model for home energy management system self-scheduling using the epsilon-constraint method. In *IEEE 14th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG)*, p. 175–180.

Lingg, M., Wyss, K., e Durán-Arenas, L. (2016). Effects of procurement practices on quality of medical device or service received: a qualitative study comparing countries. *BMC Health Services Research*, 16(1):362.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193655
https://proceedings.science/p/193655?lang=pt-br

Maria, J. e Loureiro, S. A. (2010). GestÃo de estoques: ImplantaÇÃo de revisÃo da polÍtica de estoques na farmÁcia do centro cirÚrgico. *Laboratório de Aprendizagem em Logística e Transportes, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas*.

Martins, P. G. e Alt, P. R. C. (2000). *Administração de materiais e recursos patrimoniais*. Saraiva.

Oliveira, C. (2017). *Gestão de estoques a partir da lista de materiais (bill of materials):o caso de um hospital universitário*. PhD thesis, Trabalho de conclusão de graduação da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Paschoal, M. L. H. e Castilho, V. (2010). Consumo de materiais em centro cirúrgico apos implementação de sistema de gestão informatizado. *Revista Brasileira de Enfermagem*, 63:887 – 893. ISSN 0034-7167.

Paulus Júnior, A. (2005). Gerenciamento de recursos materiais em unidades de saúde. *Revista Espaço para a Saúde*, 7(1):30–45.

Remédios, C. (2024). Consulta remédios: compre online nas farmácias de todo brasil. `https://consultaremedios.com.br`. Acesso em: 12 de abril de 2024.

Shariatzadeh, M., Antunes, C. H., e Lopes, M. A. R. (2023). Bi-objective optimization of ev charging in a workplace parking lot. In *2023 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*, p. 1–6.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193655
https://proceedings.science/p/193655?lang=pt-br