

FORMULAÇÃO DE UMA DIETA DE CUSTO MÍNIMO PARA OS CADETES DA ACADEMIA DA FORÇA AÉREA: UM ESTUDO SOBRE A CONTRIBUIÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR¹

FORMULATION OF A MINIMUM COST DIET FOR AIR FORCE ACADEMY CADETS: A STUDY ON THE CONTRIBUTION OF LINEAR PROGRAMMING

Paolla Silva de Souza²
Renata Belluzzo Zironi Mori³

RESUMO

O fornecimento de uma alimentação adequada e saudável é um direito fundamental, com especial relevância no âmbito militar, onde a qualidade nutricional está diretamente ligada à capacidade dos militares de cumprirem suas funções. Na Academia da Força Aérea (AFA), a alimentação dos Cadetes deve ser planejada de forma a garantir o atendimento às necessidades nutricionais, contribuindo para seu desempenho físico e mental. Diante das restrições orçamentárias cada vez mais presentes nas instituições públicas, otimizar o uso dos recursos disponíveis torna-se prioridade para assegurar a qualidade das refeições oferecidas aos Cadetes. Nesse contexto, a aplicação de modelos de otimização, como a Programação Linear (PL), configura-se como uma ferramenta promissora no apoio à gestão eficiente dos recursos alimentares. Este estudo teve como objetivo geral avaliar a contribuição da Programação Linear na formulação de cardápios de custo mínimo para os Cadetes da AFA, considerando as exigências nutricionais e o impacto das preferências alimentares na aceitação das refeições. Os objetivos específicos incluíram o estabelecimento das restrições operacionais e nutricionais do modelo; a definição das condições de contorno; a simulação de um cardápio semanal com foco na minimização de custos; a simulação de outro cardápio com foco na maximização da preferência alimentar; e a comparação entre os dois resultados. A metodologia adotada foi de natureza quantitativa, baseada na coleta de dados fornecidos pelos gestores da Seção de Subsistência da AFA, incluindo informações sobre os alimentos disponíveis, suas características nutricionais e respectivos custos. Assim, o modelo de Programação Linear foi construído para processar esses dados e gerar cardápios que atendessem simultaneamente às exigências nutricionais e às restrições financeiras. Os resultados indicaram que o modelo foi capaz de gerar soluções viáveis em diferentes cenários, conciliando custos e preferências alimentares. Além disso, demonstrou flexibilidade diante de situações práticas, como a indisponibilidade de ingredientes ou o aproveitamento de doações, mantendo a qualidade nutricional das refeições.

Palavras-chave: Problema da dieta; Seção de subsistência; Otimização; Minimização de custos; Programação Linear.

¹ Artigo de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Formação de Oficiais Intendentes (CFOInt) da Academia da Força Aérea (AFA).

² Cadete Intendente Paolla do 4º Esquadrão (Turma *Ártemis*, 2025).

³ Professora Associado IV da Academia da Força Aérea e integrante do Grupo de Pesquisa em Modelagem e Matemática Computacional, possui graduação e mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de São Carlos, doutorado em Engenharia Mecânica e especialização em Gestão da Produção pela Universidade de São Paulo. E-mail: renatarbzm@fab.mil.br.

ABSTRACT

The provision of adequate and healthy food is a fundamental right, with particular relevance in the military context, where nutritional quality is directly linked to the ability of service members to perform their duties. At the Brazilian Air Force Academy (AFA), cadet nutrition must be carefully planned to ensure that their nutritional needs are efficiently met, contributing to their physical and mental performance. In light of the growing budgetary constraints faced by public institutions, optimizing the use of available resources becomes a key priority to maintain the quality of meals offered to cadets. In this scenario, the application of optimization models, such as Linear Programming (LP), presents itself as a promising tool to support the efficient management of food resources. This study aimed to assess the potential contribution of Linear Programming in formulating minimum-cost meal plans for AFA cadets, while considering nutritional requirements and the impact of food preferences on meal acceptance. The specific objectives included establishing the operational and nutritional constraints of the model; defining the boundary conditions; simulating a weekly lunch menu focused on cost minimization; simulating an alternative menu aimed at maximizing cadet preference; and comparing the outcomes of both models. The methodology adopted was quantitative in nature and based on data provided by AFA's Subsistence Section managers, including information about the available food items, their nutritional composition, and respective costs. Accordingly, the Linear Programming model was developed to process this data and generate meal plans that simultaneously meet nutritional requirements and financial constraints. The results indicated that the model was capable of producing viable solutions under different scenarios, balancing cost and food preference. Furthermore, it demonstrated flexibility in addressing practical situations such as the unavailability of certain ingredients or the use of donated items, while maintaining the nutritional quality of the meals.

Keywords: Diet Problem; Subsistence Section; Optimization; Cost minimization; Linear Programming.

INTRODUÇÃO

Uma alimentação adequada e saudável é um direito humano fundamental, abrangendo não apenas o acesso regular e justo a alimentos que satisfaçam as necessidades biológicas e sociais dos indivíduos, mas também respeitando particularidades culturais, de sexo, raça e etnia (Burity, 2010). Além disso, a alimentação deve ser equilibrada em quantidade e qualidade baseada em práticas produtivas sustentáveis, que respeitem os princípios de variedade e moderação (Ministério da Saúde, 2014).

No contexto militar, a alimentação desempenha um papel estratégico essencial. A Doutrina de Alimentação e Nutrição do Ministério da Defesa estabelece princípios, normas e regulamentos a fim de fornecer uma alimentação adequada aos militares, visando também à otimização dos recursos disponíveis (Ministério da Defesa, 2018a). Essa otimização é crucial em cenários de

escassez de recursos financeiros (Maia, 2009), em que a eficiência na alocação destes recursos se torna fundamental para assegurar o bem-estar dos militares sem comprometer a qualidade da alimentação fornecida (De Sousa, 2016). Na Academia da Força Aérea (AFA), a Seção de Subsistência é a responsável pela alimentação dos Cadetes, garantindo não apenas a qualidade nutricional das refeições, mas também a regularidade e a adequação às necessidades específicas do corpo discente.

Para o cumprimento dessa atribuição, as Organizações Militares, como a AFA, recebem recursos financeiros destinados à aquisição de insumos alimentares (Ministério da Defesa, 2018b). E, com base em uma previsão de demanda, a Seção de Subsistência estima o número de indivíduos a serem alimentados diariamente, o que ajuda a reduzir o desperdício e a maximizar o uso eficiente dos recursos disponíveis (Linhares; Correia, 2019). Consoante tal perspectiva, a escassez de recursos financeiros no âmbito da administração pública impõe desafios consideráveis às Organizações Militares.. Diante disso, é imprescindível adotar práticas que promovam a gestão eficiente dos recursos disponíveis, assegurando que todos o efetivo tenham acesso a uma alimentação adequada e de qualidade (Mariano, 2007). Nesse contexto, a formulação de uma dieta de custo mínimo surge como uma possível ferramenta estratégica (Melo; Melo, 2018). Ao otimizar os processos de elaboração de cardápios, é possível reduzir desperdícios e maximizar a utilização dos recursos financeiros disponíveis, contribuindo para uma gestão mais eficiente e sustentável (Gramani, 2001).

Diante deste contexto, em um cenário de escassez de recursos, a Pesquisa Operacional (PO) manifesta-se como uma disciplina fundamental, pois aplica métodos científicos para solucionar problemas complexos e apoiar a tomada de decisão de gestores (Arenales *et al.*, 2007). Entre as diversas técnicas oferecidas pela PO, destaca-se a Programação Linear (PL), amplamente utilizada na alocação de recursos escassos. Uma de suas aplicações é o Problema da Dieta, cujo objetivo é selecionar um conjunto de alimentos que satisfaça as necessidades nutricionais diárias, ao mesmo tempo que minimize os custos envolvidos (Arenales *et al.*, 2007).

Nesse sentido, diversos estudos utilizaram o Problema da Dieta a fim de auxiliar no processo de tomada de decisão na elaboração de cardápios em diversos cenários distintos. Proposto inicialmente por Stigler (1945), esta classe de problemas de PL tem sido amplamente utilizada em diversas situações, como por exemplo na confecção de refeições em um restaurante universitário (Dos Santos *et al.*, 2015), na elaboração de cardápios em um restaurante de comida japonesa (Santos *et al.*, 2022) e até mesmo para crianças desnutridas na Etiópia (Ryan *et al.*, 2014).

Levando em consideração o cenário apresentado, a pesquisa em questão justifica-se por pretender proporcionar à Seção de Subsistência da AFA um auxílio ao processo de tomada de decisão dos gestores do refeitório dos Cadetes no que se refere à formulação de cardápios que atendam às necessidades nutricionais com o menor custo possível. Tal auxílio poderá se apresentar como uma oportunidade de aperfeiçoamento da confecção de cardápios, uma vez que pode ser capaz de otimizar o uso dos recursos disponíveis, garantindo tanto a qualidade nutricional quanto a eficiência econômica das refeições oferecidas. A temática veste-se, portanto, de extrema relevância, uma vez que a análise do Problema da Dieta pode ser capaz de diminuir custos, aumentar a eficiência operacional e aprimorar a gestão de processos. Nessa perspectiva, o presente estudo objetiva responder à seguinte pergunta de pesquisa: **“Qual o impacto da implantação da Programação Linear na elaboração do cardápio para os Cadetes da AFA?”**.

Destarte, o objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a potencial contribuição da PL na formulação de cardápios de custo mínimo para os Cadetes da AFA, considerando as exigências nutricionais e o impacto das preferências alimentares na aceitação das refeições. Com o intuito de atingir o propósito final, este estudo teve como objetivos específicos estabelecer as restrições operacionais e nutricionais a serem consideradas no modelo de PL; definir as condições de contorno necessárias para a elaboração do modelo; simular um cardápio semanal para o almoço dos Cadetes com foco na minimização do custo total; simular um cardápio semanal para a mesma refeição com foco na maximização da preferência dos Cadetes; e comparar os resultados dos modelos de minimização de custo e de maximização da preferência.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

No âmbito do Comando da Aeronáutica (COMAER), a alimentação dos militares apresenta uma importância estratégica fundamental, sendo essencial para assegurar o preparo constante e a prontidão dos indivíduos envolvidos em exercícios e operações da Força Aérea Brasileira (FAB). Nesse contexto, o Sistema de Subsistência do Comando da Aeronáutica (SISUB) foi instituído com o propósito de planejar, organizar, coordenar e controlar as atividades de subsistência, de modo a garantir uma alimentação uniforme e eficiente para a tropa (Ministério da Defesa, 2024).

Diante deste cenário, as Seções de Subsistência das diferentes Organizações Militares, comumente denominadas "ranchos", são unidades estruturadas para prover alimentação ao pessoal

militar. Essas seções dispõem da infraestrutura, dos materiais, dos equipamentos e das instalações necessários, além de outros recursos disponíveis nas respectivas Organizações Militares, a fim de garantir a adequada nutrição do efetivo (Ministério da Defesa, 2018b). Dessa forma, as Seções de Subsistência exercem uma função crucial na manutenção da saúde e do bem-estar dos militares.

Para tanto, as Organizações Militares recebem um orçamento específico destinado a custear as refeições diárias dos militares, o qual é calculado com base no número de integrantes de cada instituição (Ministério da Defesa, 2021). Esse financiamento deve ser gerido em conformidade com as normas legais estabelecidas, a fim de assegurar uma alimentação de qualidade e adequada para todos os militares, independentemente de suas patentes, em estrita observância às diretrizes estipuladas no Manual de Alimentação das Forças Armadas (Ministério da Defesa, 2010).

Diante das limitações orçamentárias e da necessidade de garantir que os cardápios oferecidos aos militares atendam a padrões nutricionais adequados, a utilização de modelos de otimização torna-se uma possível ferramenta de auxílio à tomada de decisão de gestores da Seção de Subsistência da AFA. Nesse contexto, a Pesquisa Operacional (PO) se configura como uma área que busca, por meio de técnicas analíticas e quantitativas, desenvolver soluções para problemas complexos, permitindo, dessa forma, uma gestão mais eficiente dos recursos disponíveis (Exler, 2017). Dentro da PO, a PL, mais especificamente o Problema da Dieta, se destaca por permitir que decisões mais racionais sejam tomadas na alocação dos recursos alimentares, equilibrando as necessidades nutricionais com os custos envolvidos. O Problema da Dieta, detalhado a seguir.

1.1 PROBLEMA DA DIETA

A Pesquisa Operacional (PO) é uma disciplina que surgiu durante a Segunda Guerra Mundial, impulsionada pela necessidade de alocar recursos limitados de forma eficiente nas operações militares (Bonini, 2015). Diante desse cenário, a PO aplica métodos científicos que auxiliam gestores na tomada de decisões em problemas complexos, especialmente na alocação de recursos escassos (Arenales *et al.*, 2007). Desse modo, a aplicação de métodos quantitativos e tecnológicos possibilita a resolução eficaz de problemas reais, impactando significativamente a eficiência de diversas organizações pelo mundo (Formigoni, 2016).

A PL pode ser aplicada a diversos problemas dentro da Pesquisa Operacional (PO), mostrando-se eficaz em inúmeros contextos, especialmente na otimização de processos (Goldbarg; Luna, 2005). Uma das aplicações mais clássicas da PL é o Problema da Dieta. O objetivo deste

modelo é identificar a combinação ideal de alimentos que satisfaça as necessidades nutricionais diárias ao menor custo possível (Arenales *et al.*, 2007). Nesse contexto, o modelo clássico do problema da dieta estabelece uma estrutura matemática que auxilia na formulação de uma dieta de custo mínimo, assegurando que todas as necessidades nutricionais sejam atendidas. Dessa forma, a formulação clássica deste modelo está apresentada a seguir (Spak, 2017):

$$\text{Minimizar} = \sum_{i=1}^I c_i x_i \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad [1]$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^I e_i x_i \geq E_{min} \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad [2]$$

$$\sum_{i=1}^I a_{ik} x_i \geq D_k \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad [3]$$

$$x_i \in Z^+ \quad \text{para } i = n \quad [4]$$

Sabendo que:

i = indexador para os alimentos

n = número de alimentos com possibilidade de compor a refeição

k = indexador para o macronutriente

x_i = quantidade de porções do alimento i na refeição

c_i = custo de uma porção do alimento i

e_i = energia total de uma porção do alimento i

E_{min} = energia mínima a ser consumida na refeição

a_{ik} = quantidade do macronutriente k presente no alimento i

D_k = quantidade mínima do macronutriente k na refeição

A função objetivo [1] minimiza o custo total da refeição. A restrição [2] define a quantidade de energia mínima referente ao almoço. A restrição [3] determina a quantidade mínima

de macronutrientes necessária na refeição. A restrição [4] estabelece que a quantidade das porções dos alimentos deve ser números inteiros e positivos.

Vários são os estudos que utilizam o Problema da Dieta na formulação de dietas de custo mínimo. Alguns deles estão apresentados a seguir.

Justus *et al.* (2012) realizaram um estudo com o objetivo de utilizar a PL para otimizar a seleção de cardápios em restaurantes universitários, garantindo que as refeições atendessem às necessidades nutricionais dos estudantes a um custo mínimo. Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que a utilização da modelagem matemática representa uma alternativa prática e eficiente para solucionar problemas de dietas e escolha de cardápios. Ademais, os autores concluíram que o uso de tais ferramentas auxilia o decisor a otimizar os resultados através do controle das variáveis impostas no modelo.

Ryan *et al.* (2014) realizaram uma pesquisa sistemática em bancos de dados de alimentos nacionais e internacionais com o objetivo de compor "alimentos terapêuticos prontos para uso" destinados a crianças desnutridas na Etiópia. Como conclusão desta pesquisa, eles descobriram que a PL foi bastante útil em programas de ajuda alimentar, pois permitiu a formulação de alimentos nutricionalmente adequados com um custo otimizado, sendo mais de 40% mais barato do que os alimentos terapêuticos prontos já disponíveis no mercado.

De forma semelhante, Dos Santos *et al.* (2015), ao aplicar a PL para analisar o custo mínimo de refeições em um restaurante a partir do Problema da Dieta, evidenciaram uma economia significativa no custo diário das refeições, comprovando a eficácia da modelagem matemática na otimização de recursos em ambientes de grande demanda e sua capacidade de balancear custos com as necessidades nutricionais dos consumidores, sem comprometer a qualidade das refeições oferecidas.

Parlesak *et al.* (2016) realizaram um estudo com o objetivo de elaborar uma gama de cestas alimentares que fossem nutricionalmente adequadas, promotoras da saúde e com custos minimizados. Como resultado, a aplicação da PL demonstrou ser eficaz na criação de cestas básicas de baixo custo, que não apenas atendiam às necessidades nutricionais e promoviam a saúde, mas também eram culturalmente aceitáveis. O uso da PL facilitou a otimização das opções alimentares, garantindo tanto a qualidade nutricional quanto a acessibilidade econômica.

Neste mesmo cenário, um estudo de caso realizado por uma empresa de refeições coletivas aplicou a PL na formulação de uma dieta de custo mínimo. Tal pesquisa foi fundamental para determinar a solução ótima do problema, minimizando o custo de elaboração das refeições enquanto

atendia a todas as restrições nutricionais impostas. Como conclusão desta pesquisa, foi evidenciada a utilização da PL como ferramenta de gestão, uma vez que a utilização desta modelagem resultou em uma redução de custo maior que R\$1,5 milhão/ano. (Dos Santos, 2017).

Adicionalmente, Da Cruz *et al.* (2021) realizaram um estudo de caso em uma creche em Minas Gerais, com o objetivo de formular refeições de custo mínimo que atendessem às necessidades nutricionais diárias das crianças. Como resultado, o estudo demonstrou que a PL não apenas proporcionou refeições mais saudáveis, mas também garantiu a otimização dos custos, confirmando sua viabilidade na elaboração de cardápios voltados para o público infantil, sem comprometer a qualidade nutricional.

O estudo realizado por Dooren (2018) analisou a aplicação da PL na otimização de dietas com restrições nutricionais, econômicas e ambientais com o objetivo de verificar se a aplicação desta modelagem matemática, desde os anos 2000, tem fornecido soluções de dietas aceitáveis na prática, especialmente quando restrições ambientais foram incluídas no cenário. As conclusões desta pesquisa indicaram que a PL é uma ferramenta eficaz para auxiliar na confecção de cardápios que abrangem todas as restrições estruturais. Além disso, o estudo destacou que a PL é capaz de converter dietas com limitações nutricionais e financeiras em combinações saudáveis e economicamente viáveis.

Na cidade de Monte Carmelo - MG, foi realizado um estudo que abordou o Problema da Dieta com o objetivo de encontrar o menor custo para refeições diárias destinadas a idosos. Este estudo utilizou alimentos comumente consumidos na região e elaborou cardápios de custo mínimo. Tal estudo permitiu obter uma dieta com um custo significativamente mais baixo em comparação aos preços praticados nos restaurantes da cidade (De Oliveira *et al.*, 2020).

Além disso, o estudo realizado por Santos *et al.* (2022), em um restaurante de comida japonesa, evidenciou que a aplicação de técnicas de Pesquisa Operacional pode não apenas minimizar os custos de elaboração de cardápios, mas também liberar capital de giro, proporcionando uma maior flexibilidade financeira para o estabelecimento.

Diante das conclusões dos estudos abordados anteriormente, pode-se inferir a relevância da análise da utilização da PL, mais especificamente do Problema da Dieta, na elaboração de cardápios. As conclusões das pesquisas demonstraram que o método pode ser capaz de otimizar recursos disponíveis, aprimorar o processo de gestão das instituições, obter economia significativa no custo diário das refeições e, ainda, desfrutar da liberação de capital de giro. Nesse contexto, a análise da construção de um modelo básico do problema da dieta, seguindo as diretrizes desses

estudos, pode ser fundamental para alcançar uma gestão mais eficiente no planejamento alimentar da Instituição.

2 METODOLOGIA

Em termos metodológicos, esta pesquisa pode ser classificada como uma pesquisa quantitativa. Conforme argumenta Lakatos e Marconi (2003), a abordagem quantitativa é caracterizada pelo uso de técnicas estatísticas e numéricas, sendo adequada para estudos que envolvem a análise de dados objetivos e mensuráveis, como é o caso da aplicação da PL.

Quanto aos objetivos, a pesquisa possui cunho exploratório, que, no entendimento de Gil (2017), tem o objetivo de proporcionar maior familiaridade com o problema, tornando-o mais explícito e auxiliando na formulação de hipóteses. Este tipo de pesquisa busca o aprimoramento de ideias e a descoberta de novas perspectivas, o que se alinha diretamente ao objetivo geral deste estudo.

Procedeu-se, ainda, a uma pesquisa do tipo aplicada, cuja principal característica é o foco na solução de problemas práticos e específicos, além de gerar resultados que possam ser utilizados para resolver problemas concretos e situações reais (Thiollent, 2022), como a análise da otimização de recursos financeiros por meio da elaboração de cardápios de custo mínimo para os Cadetes da AFA.

2.1 O PROBLEMA DA DIETA COMO BASE PARA A OTIMIZAÇÃO DO CUSTO DO CARDÁPIO DOS CADETES

A pesquisa apresentada foi desenvolvida a partir da realização das seguintes etapas. Inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica, que, segundo Gil (2017), consiste na análise de materiais previamente publicados, como livros, artigos, teses e dissertações pertinentes ao tema. Esta abordagem tem como objetivo fornecer uma base teórica ao trabalho, permitindo uma exploração aprofundada do problema e garantindo a fundamentação necessária para o desenvolvimento do estudo.

A partir do levantamento bibliográfico, a fim de atingir os objetivos pretendidos, o ciclo da PO será utilizado como base metodológica. De acordo com Arenales *et al.* (2007), a pesquisa operacional, como método científico, utiliza as seguintes fases: formulação do problema, definição

das hipóteses simplificadoras, construção do modelo matemático, obtenção da solução e validação do modelo matemático.

2.1.1 Formulação do problema

Esta etapa teve como objetivo definir os grupos alimentares que compuseram o modelo matemático, assim como as informações necessárias para a construção do modelo de PL. De uma forma geral, as informações necessárias à formulação do problema foram obtidas a partir de dados fornecidos pelos responsáveis pelo refeitório dos Cadetes. Além disso, utilizaram-se tabelas com informações nutricionais obtidas na literatura.

Os grupos alimentares que fizeram parte do modelo aqui proposto foram definidos por meio da análise dos cardápios do ano de 2024, disponibilizados pelos gestores do refeitório dos Cadetes. Ao final desta análise, foram selecionados 32 alimentos, conforme pode ser observado na Tabela 1.

As informações técnicas desses alimentos foram extraídas das Fichas Técnicas, disponibilizadas pela Seção de Nutrição, que detalham os ingredientes utilizados na preparação de cada alimento, bem como as quantidades necessárias para a elaboração de cada porção. A partir dessas informações foi possível calcular o custo de cada alimento. A Tabela 1 apresenta os alimentos selecionados para o cardápio dos Cadetes e o custo médio de cada alimento, em reais, por 100 gramas, conforme os dados obtidos para o refeitório. Os custos apresentados são referentes somente à matéria-prima dos alimentos, sem levar em conta mão de obra, instalações, etc.

Tabela 1 Determinação dos itens fixados para a elaboração do cardápio, variáveis de decisão correspondentes e preço por porção de cada produto

<i>Número (i)</i>	<i>Alimento</i>	<i>Custo</i>
1	Alface	0,615
2	Rúcula	0,45
3	Tabule	0,46
4	Repolho	0,13
5	Salada mista	0,55
6	Beterraba ralada	0,30
7	Pepino	0,38

Tabela 1 Determinação dos itens fixados para a elaboração do cardápio, variáveis de decisão correspondentes e preço por porção de cada produto (continuação...)

8	Tomate	0,75
9	Vinagrete	0,53
10	Cenoura ralada	0,35
11	Frango empanado	1,42
12	Pernil assado	1,22
13	Churrasquinho	1,39
14	Strogonoff de carne	1,43
15	Almôndega	1,04
16	Filé de frango grelhado	1,29
17	Carne assada	2,95
18	Omelete ao forno	1,56
19	Ovo cozido (unidade)	0,43
20	Fricassê de frango	1,26
21	Carne moída ao sugo	1,82
22	Purê	0,39
23	Creme de milho	0,64
24	Macarrão ao alho e óleo	0,42
25	Polenta ao sugo	0,73
26	Legumes sauté	0,41
27	Farofa	0,61
28	Batata palha	1,48
29	Tutu de feijão	0,38
30	Caneloni de presunto e queijo	1,12
31	Arroz	0,27
32	Feijão	0,44

Fonte: elaboração própria com base em dados coletados na pesquisa (2025).

Outras informações essenciais para a formulação do modelo foram retiradas de fontes externas. A fim de obter as necessidades mínimas de nutrientes, considerou-se uma população composta de jovens com atividade física. A partir dessa delimitação, tais informações foram extraídas do Manual de Alimentação das Forças Armadas (Ministério da Defesa, 2010) e do Guia Alimentar para a População Brasileira (Ministério da Saúde, 2014). Tais referências fornecem valores recomendados de energia, proteínas, carboidratos e lipídios para a população de interesse. Essas fontes externas foram fundamentais para definir as exigências nutricionais mínimas para os Cadetes e para garantir que o modelo desenvolvido respeitasse tanto as necessidades básicas de saúde quanto às restrições orçamentárias, otimizando a alocação dos recursos destinados à alimentação.

Diante desse contexto, a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (Taco, 2011) foi utilizada como referência para calcular a composição nutricional de cada alimento em relação a uma porção de 100g. A Tabela 2 apresenta a composição nutricional de cada alimento disponível no refeitório dos Cadetes, com base na tabela de referência. Estas informações permitiram estimar a quantidade de nutrientes presentes em cada porção de 100g dos alimentos selecionados para o cardápio.

Tabela 2 Composição de macronutrientes dos alimentos por 100 gramas

Item	Energia (kcal)	Proteína (g)	Carboidrato (g)	Gorduras totais (g)
Alface	11	1,3	1,7	0,2
Rúcula	13	1,8	2,2	0,1
Tabule	124	1,64	9,94	9,34
Repolho	17	0,9	3,9	0,1
Salada mista	12	1	2,1	0,34
Beterraba ralada	32	1,3	7,2	0,1
Pepino	10	0,9	2	0,16
Tomate	21	0,8	3,92	5,1
Vinagrete	89	0,93	3,97	8,21
Cenoura ralada	30	0,8	6,7	0,2
Frango empanado	232	23,9	7,23	11,35
Pernil assado	211	29,41	0	9,44
Churrasquinho	184	15,81	2,19	12,07

Tabela 2 Composição de macronutrientes dos alimentos por 100 gramas (continuação...)

Item	Energia (kcal)	Proteína (g)	Carboidrato (g)	Gorduras totais (g)
Vinagrete	89	0,93	3,97	8,21
Cenoura ralada	30	0,8	6,7	0,2
Frango empanado	232	23,9	7,23	11,35
Pernil assado	211	29,41	0	9,44
Churrasquinho	184	15,81	2,19	12,07
Strogonoff de carne	154	10,16	5,97	9,91
Almôndegas ao sugo	106	10,8	0	7
Filé de frango grelhado	165	31,02	0	3,57
Carne assada	267	25,91	0	17,32
Omelete ao forno	153	10,62	0,69	12,02
Ovo cozido (unidade)	146	13,3	0,6	9,5
Fricassê de frango	179	18,5	3,52	9,48
Carne moída ao sugo	113	6,54	8,41	6,46
Purê	100	1,8	15,72	3,54
Creme de milho	174	5,62	24,29	6,44
Macarrão ao alho e óleo	220	5,82	31,27	7,83
Polenta ao sugo	192	4,37	40,01	1,23
Legumes sauté	135	1,49	8,61	11,55
Farofa	383	0,29	78,33	7,6
Batata palha	628	3,6	36,4	29,6
Tutu de feijão	155	7,44	22,53	4,21
Caneloni de presunto e queijo	234	12	31	6,7
Arroz	128	2,5	28,1	0,2
Feijão	76	4,8	13,6	0,5

Fonte: elaboração própria com base em dados coletados na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (Taco, 2011).

Com base nas análises apresentadas, a tabela 3 apresenta os valores de referência utilizados para estabelecer as necessidades mínimas de energia, proteínas, carboidratos e lipídios para a alimentação diária dos Cadetes com atividade física leve. A fim de formular as restrições do modelo, esta pesquisa limitou-se apenas ao almoço, sendo considerada a fração de 35% da cobertura nutricional diária, de forma a adequar-se exclusivamente à preparação dessa refeição. Tal

percentual segue a diretriz estabelecida pelo Manual de Alimentação das Forças Armadas (Ministério da Defesa, 2010).

Tabela 3 Valor de nutrientes mínimos necessários para os jovens com atividade leve de exercícios físicos

Macronutrientes	Recomendação diária
Energia (kcal)	2660 kcal
Carboidrato (g)	130 g
Proteína (g)	79,8g
Lipídio (g)	73,88 g

Fonte: elaboração própria com base no Manual de Alimentação das Forças Armadas (Ministério da Defesa, 2010) e Guia Alimentar para a População Brasileira (Ministério da Saúde, 2014).

Em complemento, foi realizada uma pesquisa de opinião para capturar as preferências alimentares dos Cadetes. Essa pesquisa foi realizada por meio de um questionário via Google Forms e a seleção das amostras seguiu o plano de amostragem apresentado no quadro 1⁴. O referido plano de amostragem foi elaborado de forma a garantir a representatividade dos quatro esquadrões do Corpo de Cadetes da AFA e considerou um erro amostral de +/- 10% e um nível de confiança de 95%.

Quadro 1 Plano de Amostragem

Esquadrão	Tamanho da População	Erro Amostral = +/-10%
		Tamanho da Amostra
1°	140 ⁵	43
2°	167	45
3°	166	45
4°	170	45

Fonte: elaboração própria (2025).

O questionário de preferências alimentares foi disponibilizado em formato online aos Cadetes da Instituição⁶, sendo enviado aos Cadetes via plataforma Google Forms no dia 26 de

⁴O quadro elaborado foi baseado no modelo disponibilizado pelo Sebrae, 2013, p.32.

⁵O mês de coleta do tamanho da população foi referente a fevereiro de 2025.

⁶A pesquisa não exigiu submissão do Comitê de Ética em Pesquisa, pois o questionário foi respondido de forma voluntária e anônima, sem identificação dos cadetes ou coleta de dados sensíveis, respeitando os princípios éticos da Resolução nº 510/2016 do CNS.

fevereiro de 2025 e permaneceu disponível para o recebimento de respostas por um período de 12 dias, sendo encerrado no dia 10 de março de 2025. Obteve-se o retorno de respostas do questionário de 178 Cadetes, sendo os respondentes: 45 Cadetes (25,3%) do 4º Esquadrão, 45 Cadetes (25,3%) do 3º Esquadrão, 45 Cadetes (25,3%) do 2º Esquadrão e 43 Cadetes (24,1%) do 1º Esquadrão. Este questionário foi estruturado para avaliar a aceitação dos alimentos oferecidos no cardápio do refeitório da AFA. Nele, os cadetes foram convidados a classificar, em uma escala de 1 a 10, sua preferência por cada alimento listado, sendo 1 para “desgosto muitíssimo” e 10 para “gosto muitíssimo”. Através dessas classificações, foi possível calcular a média de preferência de cada alimento, permitindo a análise quantitativa das preferências alimentares dos Cadetes em relação aos itens do cardápio.

2.1.2 Definição das hipóteses simplificadoras e construção do modelo

A construção do modelo matemático foi fundamentada no problema clássico da dieta, a partir do qual foram elaborados dois modelos com objetivos distintos. Ambos os modelos geraram um cardápio para cinco dias consecutivos de almoço para os Cadetes, oferecendo quatro grupos alimentares, respeitando a estrutura típica das refeições servidas na Seção de Subsistência: dois tipos de saladas, um legume, um prato principal, um acompanhamento, um ovo cozido, arroz e feijão por dia.

O primeiro modelo foi desenvolvido com o objetivo de minimizar o custo do cardápio semanal, estando restrito ao atendimento das necessidades nutricionais mínimas, como quantidade de energia, proteínas, carboidratos e lipídios oferecida diariamente aos Cadetes. Ademais, considerou restrições operacionais como o número mínimo e máximo de porções por alimento e a repetição de alimentos ao longo da semana. Especificamente, a restrição de repetição limita cada alimento a no máximo 2 vezes por semana, com exceção de itens obrigatórios, como arroz, feijão e ovo cozido, que são consumidos todos os dias, conforme as exigências culturais e nutricionais. A obrigatoriedade de incluir arroz e feijão todos os dias, bem como a presença diária de pelo menos uma porção de ovo cozido, foram fixadas como restrições dentro do modelo, com o objetivo de equilibrar as exigências nutricionais e proporcionar um cardápio que atenda às expectativas alimentares dos Cadetes.

O segundo modelo, por sua vez, objetiva maximizar a preferência dos Cadetes em relação aos alimentos oferecidos no cardápio. Assim como no modelo de minimização de custo, as mesmas

restrições operacionais foram mantidas, incluindo a limitação do custo total do cardápio. A restrição de custo semanal no modelo de PL foi criada para garantir que o cardápio desenvolvido se mantenha dentro de um orçamento preestabelecido, refletindo as limitações financeiras da Seção de Subsistência da AFA. Essa restrição visa equilibrar as necessidades nutricionais com a viabilidade econômica, assegurando que o custo total das refeições fornecidas aos Cadetes durante a semana não ultrapasse o valor destinado ao refeitório.

Para a elaboração dos modelos de otimização, as seguintes hipóteses simplificadoras foram elaboradas:

- A. A fim de formular as restrições do modelo, esta pesquisa limitou-se apenas ao almoço, foi utilizada 35% da cobertura necessária para adequar-se somente à preparação do almoço, conforme diretriz estabelecida pelo Manual de Alimentação das Forças Armadas (Ministério da Defesa, 2010).
- B. Para garantir que o almoço atendesse às necessidades energéticas mínimas, adotou-se como referência o Manual de Alimentação das Forças Armadas (Ministério da Defesa, 2010), que recomenda 38 kcal por quilograma de peso corporal para indivíduos com atividade física leve. Com um peso médio de 70 kg, a necessidade energética diária foi calculada em 2.660 kcal. A refeição do almoço deveria suprir 35% dessa necessidade, resultando em 931 kcal/refeição.
- C. O mesmo manual recomenda que 12% da energia diária total provenha de proteínas. Com base na necessidade energética de 2.660 kcal/dia, calculou-se que 319,2 kcal seriam destinados a proteínas, o que equivale a 79,8 g de proteínas/dia. Para o almoço, foi adotado 35% dessa necessidade, resultando em 27,93 g de proteínas por refeição.
- D. Com base no Guia Alimentar para a População Brasileira (Ministério da Saúde, 2014), foi estabelecido que o consumo mínimo de carboidratos para a manutenção da saúde seria de 130 g/dia. Considerando 35% dessa quantidade para o almoço, o valor mínimo de carboidratos por refeição foi calculado em 45,5 g.
- E. O Manual de Alimentação das Forças Armadas (Ministério da Defesa, 2010) recomenda que aproximadamente 25% da energia diária provenha de lipídios. Com uma necessidade energética diária de 2.660 kcal, calculou-se que 665 kcal deveriam ser provenientes de lipídios, o que equivale a 73,88 g/dia. Para o almoço, foi adotado 35% dessa quantidade, resultando em 25,86 g de lipídios por refeição.

- F. Para garantir equilíbrio, variedade e aceitabilidade na alimentação dos Cadetes, o modelo deverá limitar a repetição de cada alimento a, no máximo, duas vezes ao longo da semana. Essa decisão se fundamenta nas orientações da FCA 145-16 (Ministério da Defesa, 2018b), documento normativo do Comando da Aeronáutica que estabelece parâmetros técnicos para a formulação de cardápios no âmbito militar. Esse documento determina que cada alimento deve ser servido, no máximo, duas vezes por semana, salvo exceções justificadas, como ocorre com arroz e feijão, cuja presença diária é culturalmente aceita e nutricionalmente recomendada.
- G. A obrigatoriedade de arroz e feijão todos os dias no cardápio do refeitório dos Cadetes da AFA é justificada tanto pela tradição cultural quanto pela necessidade nutricional. Esses alimentos fazem parte da alimentação tradicional brasileira, sendo amplamente aceitos no contexto militar e garantindo conforto e aceitação das refeições. Nutricionalmente, o arroz fornece carboidratos, essenciais para a energia durante atividades físicas, enquanto o feijão, rico em proteínas e fibras, complementa a dieta ao promover saciedade e recuperação muscular.
- H. Com o intuito de garantir maior equilíbrio nutricional, foi imposta no modelo de PL a obrigatoriedade da seleção de uma porção de ovo cozido por dia. Tal decisão foi fundamentada em dois aspectos principais: o primeiro, de natureza nutricional, está relacionado ao elevado índice de proteína presente no ovo, que contribui significativamente para o atendimento das necessidades proteicas dos Cadetes. O segundo aspecto, de natureza prática e logística, reflete a disponibilidade regular do alimento e a tradição de seu consumo na alimentação militar, sendo o ovo uma opção versátil, de baixo custo relativo e fácil preparo. Matematicamente, a inclusão do ovo cozido como item fixo diário foi representada pela restrição que garante a seleção mínima de uma unidade por dia no cardápio, vinculando a variável de decisão do ovo cozido à obrigatoriedade de sua escolha em todas as soluções geradas pelo modelo. Essa medida visou assegurar que, independentemente da otimização do custo total, o cardápio diário sempre contemplasse essa fonte de proteína.

2.2 GERAÇÃO DE SOLUÇÕES E VALIDAÇÃO DO MODELO

A geração de soluções será realizada por meio do uso do *software LPSolve IDE*, uma ferramenta especializada em PL (disponível em: <https://lpsolve.sourceforge.net/5.5/IDE.htm>). A escolha pelo *software LPSolve IDE* para análise da PL se justifica por sua capacidade de lidar com grandes conjuntos de dados e resolver problemas complexos de otimização com precisão. LPSolve é uma ferramenta de código aberto desenvolvida por Michel Schenker, e é amplamente utilizada para resolver problemas de otimização em PL. O software é especialmente útil em ambientes acadêmicos e de pesquisa, devido à sua flexibilidade e interface amigável.

A validação do modelo foi realizada por meio da comparação entre os resultados obtidos por meio dos dois modelos desenvolvidos. Ambos os modelos foram construídos com base nas mesmas restrições operacionais e nutricionais previamente definidas, o que permite uma comparação consistente e equilibrada entre os resultados. Para cada modelo, será elaborado um cardápio completo de cinco dias. A comparação entre os dois modelos será feita com base nos seguintes indicadores: custo total semanal dos cardápios gerados; índice médio de preferência dos Cadetes; valores nutricionais diários, assegurando o cumprimento das exigências mínimas de energia, proteínas, carboidratos e lipídios. Essa análise permitirá identificar os impactos da otimização de custo na aceitação dos alimentos pelos Cadetes e os efeitos da priorização da preferência sobre o custo operacional. Essa análise permitirá identificar os impactos da otimização de custo na aceitação dos alimentos pelos Cadetes e os efeitos da priorização da preferência sobre o custo operacional.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse tópico são apresentados os resultados obtidos por meio do desenvolvimento da metodologia proposta.

3.1 RESULTADO DA PESQUISA DE PREFERÊNCIA ALIMENTAR

A Tabela 4 apresenta o resultado obtido por meio da pesquisa de opinião com os Cadetes a respeito de suas preferências sobre os alimentos que podem compor o cardápio semanal.

Tabela 4 Índices de preferência dos Cadetes em relação aos alimentos

Item	Preferência Média
Alface	7,837
Rúcula	4,517
Tabule	4,468
Repolho	4,435
Salada mista	6,169
Beterraba ralada	6,220
Pepino	5,440
Tomate	7,477
Vinagrete	7,192
Cenoura ralada	6,859
Frango empanado	9,432
Pernil assado	7,395
Churrasquinho	6,533
Strogonoff de carne	8,61
Almôndega	3,449
Filé de frango grelhado	7,774
Carne assada	7,666
Omelete ao forno	6,994
Ovo cozido (unidade)	8,101
Fricassê de frango	8,367
Carne moída ao sugo	5,813
Purê	8,858
Creme de milho	5,897
Macarrão ao alho e óleo	6,994
Polenta ao sugo	3,767
Legumes sauté	5,602
Farofa	7,548
Batata palha	8,056
Tutu de feijão	7,357
Caneloni de presunto e queijo	9,022
Arroz	7,837

Tabela 4 Índices de preferência dos Cadetes em relação aos alimentos (continuação...)

Item	Preferência Média
Feijão	4,517

Fonte: elaboração própria com base em dados coletados na pesquisa de preferência.

3.2 MODELAGEM E RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

Como dito anteriormente, a fim de atingir os objetivos pretendidos neste artigo foram elaborados dois modelos matemáticos: o primeiro deles teve por objetivo minimizar custos e o segundo de maximizar as preferências. O primeiro deles está apresentado pelas equações de 1 a 15.

Sabendo que:

n = número de alimentos que compõe o cardápio

c_{ij} = custo por porção de 100 g do alimento i no dia j

x_{ij} = número de porções do alimento i na refeição do dia j

e_i = quantidade de energia presente em 100g do alimento i

a_i = quantidade de proteína, carboidrato e lipídio presente em 100g do alimento i

R_i = quantidade máxima de repetições do alimento i ao longo da semana

$$\text{Minimizar} = \sum_{i=1}^I c_i x_i \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad [1]$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^I e_i x_i \geq 931 \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad [2]$$

$$\sum_{i=1}^I a_i x_i \geq 27,93 \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad [3]$$

$$\sum_{i=1}^I a_i x_i \geq 45,5 \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad [4]$$

$$\sum_{i=1}^I a_i x_i \geq 25,86 \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad [5]$$

$$\sum_i x_i \leq 2, \forall_i \quad \text{para } i = 1, \dots, n \neq 19, 31, 32 \quad [6]$$

$$x_{19j} = 1 \quad \text{para } j = 1, \dots, 5 \quad [7]$$

$$1 \leq x_{31j} \leq 2 \quad \text{para } j = 1, \dots, 5 \quad [8]$$

$$1 \leq x_{32j} \leq 2 \quad \text{para } j = 1, \dots, 5 \quad [9]$$

$$\sum_{i \in \text{Saladas}} x_i = 2 \quad \text{para } i = 1, \dots, 5 \quad [10]$$

$$\sum_{i \in \text{Legumes}} x_i = 1 \quad \text{para } i = 6, \dots, 10 \quad [11]$$

$$\sum_{i \in \text{Prato principal}} x_i = 1 \quad \text{para } i = 11, \dots, 21 \quad [12]$$

$$\sum_{i \in \text{Acompanhamento}} x_i = 1 \quad \text{para } i = 22, \dots, 30 \quad [13]$$

$$x_i \in \mathbb{Z}^+ \quad \text{para } i = 19, 31, 32 \quad [14]$$

$$x_i \in \{0, 1\} \quad \text{para } i = 1, \dots, n \neq 19, 31, 32 \quad [15]$$

A equação [1] representa a função objetivo de minimizar o custo total das cinco refeições do cardápio semanal.

A restrição [2] garante que a quantidade de energia mínima necessária para o almoço seja garantida.

As restrições [3], [4] e [5] determinam as quantidades mínimas de proteína, carboidrato e lipídio, respectivamente, a serem oferecidos aos Cadetes em cada refeição.

A restrição [6] limita a quantidade de vezes que os alimentos podem ser repetidos ao longo da semana, com exceção de arroz, feijão e ovo cozido, que são itens obrigatórios.

A restrição [7] estabelece a obrigatoriedade de incluir uma unidade de ovo cozido em cada refeição de almoço.

A restrição [8] assegura a presença de arroz em todas as refeições de almoço ao longo da semana. Especificamente, ela permite que sejam servidas uma ou duas porções por dia, sendo que, nos casos em que houver duplicação, essa escolha será indicada como “2x” no cardápio.

A restrição [9] assegura a presença de feijão em todas as refeições de almoço ao longo da semana. Especificamente, ela permite o fornecimento de uma ou duas porções por dia, sendo que, nos casos em que houver duplicação, essa escolha será indicada como “2x” no cardápio.

A restrição [10] impõe que duas saladas diferentes sejam incluídas no almoço todos os dias.

A restrição [11] determina que apenas um tipo de legume seja servido no almoço.

A restrição [12] especifica que apenas um prato principal deve ser oferecido no almoço.

A restrição [13] define que deve ser oferecido apenas um tipo de acompanhamento no almoço.

A restrição [14] estabelece que a quantidade das porções dos alimentos pertencentes ao intervalo considerado deve ser números inteiros e positivos.

A restrição [15] estabelece que a quantidade das porções dos alimentos pertencentes ao intervalo considerado deve ser números binários.

O segundo modelo visa maximizar a aceitação dos alimentos pelos Cadetes, levando em consideração as preferências alimentares. Neste caso, a função objetivo para a maximização da preferência é dada pela soma das médias de preferência dos Cadetes para cada alimento, multiplicadas pelo número de porções selecionadas de cada alimento na refeição semanal [16]. Ademais, soma-se ao primeiro modelo a restrição de custo máximo a ser atendida [17]. As demais restrições são iguais a [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14] e [15].

Sabendo que:

$p_i = \text{m\u00e9dia de prefer\u00eancia dos Cadetes para o alimento } i$

$$\text{Maximizar} = \sum_{i=1}^l p_i x_i \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad [16]$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^I c_i x_i \leq 30 \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad [17]$$

A função objetivo [16] maximiza a preferência dos Cadetes.

A restrição [17] estabelece um limite máximo para o custo total do cardápio semanal. Esse valor foi definido com base na divisão proporcional do montante destinado à etapa alimentar, considerando-se que o cardápio abrange cinco almoços por semana.

3.3 RESULTADO DA GERAÇÃO DE CARDÁPIOS

A partir da metodologia proposta nesta pesquisa, foram geradas quatro versões de cardápios semanais, cada uma composta por cinco dias de almoço, destinados ao refeitório dos Cadetes da AFA. Os cardápios foram elaborados com diferentes funções-objetivo, de modo a avaliar a aplicabilidade e flexibilidade do modelo desenvolvido. A seguir, apresentam-se os resultados obtidos, acompanhados de suas respectivas análises.

3.3.1 Cardápio gerado pelo modelo matemático minimizando o custo total da refeição

O primeiro cardápio foi gerado com foco na minimização do custo total das refeições, priorizando alimentos mais econômicos, mas ainda respeitando os limites nutricionais e operacionais definidos no modelo. Esse cenário representa uma situação recorrente de restrição orçamentária, em que a limitação de recursos passa a orientar diretamente o processo de tomada de decisão. Os resultados obtidos para este cenário podem ser visualizados no Quadro 2.

Quadro 2 Cardápio gerado pelo modelo matemático minimizando o custo total da refeição

Item	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
		Arroz (2x) ⁷	Arroz (2x)	Arroz	Arroz (2x)
	Feijão	Feijão	Feijão	Feijão	Feijão
Salada 1	Alface	Tabule	Alface	Rúcula	Repolho
Salada 2	Rúcula	Repolho	Salada mista	Tabule	Salada mista
Legume	Cenoura ralada	Beterraba ralada	Vinagrete	Beterraba ralada	Vinagrete
Prato principal	Pernil assado	Filé de frango grelhado	Almôndega	Pernil assado	Almôndega
	Ovo cozido	Ovo cozido	Ovo cozido	Ovo cozido	Ovo cozido
Acompanhamento	Macarrão alho e óleo	Tutu de feijão	Farofa	Macarrão alho e óleo	Farofa
Energia total (kcal)	963	971	951	950	957
Proteínas totais (g)	62,23	65,4	34,92	60,54	34,52
Carboidratos totais (g)	109,49	113,97	128,4	121,01	130,6
Gorduras totais (g)	33,07	27,72	33,55	37,01	33,45
Custo total diário (R\$)	4,465	3,97	4,485	3,99	4
Custo total semanal (R\$)	20,91				
Preferência	154,438				

Fonte: elaboração própria (2025).

Tendo em vista o cardápio acima, a aplicação do modelo de PL com foco na minimização do custo resultou em cardápios nutricionalmente equilibrados e financeiramente viáveis. No entanto, ao analisar os impactos dessa estratégia sobre a preferência alimentar dos Cadetes, observa-se que a busca pela redução de custos pode comprometer, em certa medida, a atratividade destas refeições.

Em função disso, foi desenvolvido um segundo modelo de PL com o objetivo de maximizar a preferência dos Cadetes em relação aos alimentos oferecidos no cardápio. Essa abordagem visou explorar a relação entre o nível de aceitação dos pratos e a composição dos cardápios, respeitando as restrições nutricionais mínimas estabelecidas.

3.3.2 Cardápio gerado pelo modelo matemático maximizando a preferência dos Cadetes

Na sequência da análise, foi aplicado um segundo modelo de PL, desta vez com a função-objetivo voltada à maximização da preferência alimentar dos Cadetes. O objetivo deste cenário foi verificar a capacidade do modelo em gerar cardápios mais atrativos, com base nos dados

⁷ Refere-se à oferta de duas porções do alimento no respectivo dia.

de aceitação dos alimentos, sem comprometer os parâmetros nutricionais estabelecidos. Nesse contexto, o cardápio gerado por esse modelo encontra-se apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 Cardápio gerado pelo modelo matemático maximizando a preferência dos Cadetes

Item	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
		Arroz (2x)	Arroz (2x)	Arroz (2x)	Arroz (2x)
	Feijão (2x)	Feijão	Feijão (2x)	Feijão	Feijão
Salada 1	Alface	Rúcula	Repolho	Rúcula	Tabule
Salada 2	Salada mista	Tabule	Alface	Salada mista	Repolho
Legume	Vinagrete	Tomate	Vinagrete	Cenoura ralada	Tomate
Prato principal	Frango empanado	Fricassê de frango	Carne assada	Filé de frango grelhado	Strogonoff de carne
	Ovo cozido	Ovo cozido	Ovo cozido	Ovo cozido	Ovo cozido
Acompanhamento	Purê	Caneloni de presunto e queijo	Purê	Batata palha	Caneloni de presunto e queijo
Energia total (kcal)	998	1049	1038	1326	1028
Proteínas totais (g)	56,83	57,84	57,44	61,32	48,6
Carboidratos totais (g)	114,72	120,98	109,29	117,8	125,13
Gorduras totais (g)	34,54	41,12	40,27	44,21	41,55
Custo total diário (R\$)	5,355	5,45	6,465	5,53	5,3
Custo total semanal (R\$)	28,1				
Preferência	379,615				

Fonte: elaboração própria (2025).

Essa segunda etapa de modelagem permitiu comparar os resultados obtidos com a estratégia de minimização de custos, evidenciando que a busca pela aceitação alimentar impacta diretamente no aumento dos custos dos cardápios. Vale ressaltar que, mesmo priorizando a preferência, foram mantidas todas as restrições relacionadas ao equilíbrio nutricional, ao número mínimo e máximo de porções por tipo de alimento e aos limites de repetição semanal.

O cardápio gerado com foco na minimização dos custos apresentou refeições nutricionalmente equilibradas e financeiramente viáveis, com custo total semanal de R\$20,91. No entanto, a pontuação de preferência alimentar foi 154,438, indicando que, embora eficiente do ponto de vista orçamentário, essa estratégia pode comprometer a aceitação das refeições pelos Cadetes. Em contrapartida, o modelo voltado à maximização da preferência alimentar resultou em um cardápio com pontuação de 379,615, significativamente superior em termos de aceitação. No entanto, isso implicou em um custo total semanal mais elevado, de R\$28,10. Essa comparação entre os modelos evidencia uma relação de economicidade e atratividade, cabendo ao gestor ponderar, com apoio do modelo, qual critério será priorizado em cada contexto.

3.3.3 Cardápio gerado pelo modelo matemático minimizando o custo e com ausência de carne de porco

Durante o processo de simulação, foi considerada uma situação prática em que não foi possível adquirir a carne suína necessária para o preparo do pernil assado, em razão de uma possível dificuldade no abastecimento. Essa limitação levou à exclusão do referido alimento da base de dados utilizada pelo modelo. Ainda assim, o sistema proposto demonstrou elevada capacidade de adaptação, formulando cardápios alternativos que preservaram o equilíbrio nutricional, o atendimento às exigências mínimas estabelecidas e a estrutura alimentar diária recomendada para os Cadetes.

Além disso, a nova configuração do cardápio manteve a diversidade dos grupos alimentares e respeitou os limites operacionais de porções e repetições, evidenciando a capacidade do modelo de se adaptar a restrições inesperadas. Dessa forma, essa simulação reforça o potencial da PL como ferramenta estratégica de apoio à decisão em contextos reais, nos quais imprevistos como a falta de determinados insumos exigem respostas rápidas, bem fundamentadas e compatíveis com os objetivos da gestão alimentar. O cardápio resultante dessa simulação encontra-se apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 Cardápio gerado pelo modelo matemático minimizando o custo e com ausência de carne de porco

Item	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
		Arroz (2x)	Arroz (2x)	Arroz	Arroz
	Feijão	Feijão	Feijão	Feijão	Feijão
Salada 1	Alface	Tabule	Repolho	Rúcula	Alface
Salada 2	Rúcula	Repolho	Salada mista	Tabule	Salada mista
Legume	Vinagrete	Beterraba ralada	Cenoura ralada	Cenoura ralada	Beterraba ralada
Prato principal	Frango empanado	Almôndega	Frango grelhado	Almôndega	Frango grelhado
	Ovo cozido	Ovo cozido	Ovo cozido	Ovo cozido	Ovo cozido
Acompanhamento	Tutu de feijão	Macarrão alho e óleo	Farofa	Macarrão alho e óleo	Farofa
Energia total (kcal)	975	977	957	971	953
Proteínas totais (g)	58,47	43,56	54,61	43,96	55,43
Carboidratos totais (g)	108,03	122,71	133,33	117,73	131,63
Gorduras totais (g)	34,47	34,77	22,01	39,77	22,01
Custo total diário (R\$)	4,805	3,76	4,07	4,13	4,505
Custo total semanal (R\$)	21,27				
Preferência	156,521				

Fonte: elaboração própria (2025).

A análise do cardápio apresentado no Quadro 4 evidencia que, mesmo com a exclusão da carne suína, o modelo foi capaz de formular uma solução viável e nutricionalmente adequada. O cardápio manteve a variedade entre os grupos alimentares, atendeu aos requisitos mínimos de macronutrientes e respeitou a estrutura alimentar predefinida. O custo total semanal foi de R\$21,27, valor superior ao observado na simulação de menor custo, entretanto ainda dentro de um nível aceitável para os padrões operacionais do refeitório. Além disso, a preferência alimentar total registrada foi de 156,521, o que demonstra que, mesmo com a retirada de um item do cardápio, o modelo manteve sua capacidade de gerar soluções viáveis. Essa configuração reforça a viabilidade do modelo frente a limitações logísticas, permitindo ao gestor adaptar o planejamento alimentar diante de indisponibilidades pontuais de insumos, sem comprometer a qualidade nutricional.

3.3.4 Cardápio gerado pelo modelo matemático minimizando o custo e com doação de filé de frango

Em outra simulação hipotética, foi considerado o cenário de recebimento de doações de filé de frango, o que permitiu sua utilização no preparo do filé de frango grelhado. Para representar essa situação no modelo, o custo do alimento foi zerado e sua inclusão foi definida nos dias 2 e 4 da semana, respeitando os limites de repetição previamente estabelecidos. Embora a doação tenha resultado em uma redução no custo total do cardápio, os demais critérios nutricionais e estruturais foram mantidos, garantindo refeições adequadas às necessidades dos Cadetes. O cardápio gerado a partir dessa condição encontra-se apresentado no Quadro 5, evidenciando que a PL permite acomodar variações no fornecimento de insumos, contribuindo para decisões mais eficientes diante de oportunidades logísticas, como doações.

Quadro 5 Cardápio gerado pelo modelo matemático minimizando o custo e com doação de filé de frango

Item	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
		Arroz (2x)	Arroz (2x)	Arroz (2x)	Arroz (2x)
	Feijão	Feijão	Feijão	Feijão	Feijão
Salada 1	Alface	Repolho	Alface	Rúcula	Tabule
Salada 2	Rúcula	Salada mista	Tabule	Salada mista	Repolho
Legume	Cenoura ralada	Vinagrete	Beterraba ralada	Vinagrete	Beterraba ralada
Prato principal	Pernil assado	Frango grelhado	Almôndega	Frango grelhado	Pernil assado
	Ovo cozido	Ovo cozido	Ovo cozido	Ovo cozido	Ovo cozido
Acompanhamento	Macarrão alho e óleo	Farofa	Macarrão alho e óleo	Farofa	Tutu de feijão
Energia total (kcal)	963	1144	971	1140	1017
Proteínas totais (g)	62,23	57,24	43,96	58,14	63,79
Carboidratos totais (g)	112,27	158,7	120,51	157	113,97
Gorduras totais (g)	28,17	30,22	34,87	30,22	33,59
Custo total diário (R\$)	4,465	3,23	4,245	3,55	3,9
Custo total semanal (R\$)	19,39				
Preferência	158,763				

Fonte: elaboração própria (2025).

A análise do Quadro 5 demonstra que a inclusão do filé de frango como item doado possibilitou uma redução no custo total semanal, sem comprometer a qualidade nutricional do cardápio. Mesmo com a inserção desse insumo gratuito em dois dias da semana, o modelo manteve a estrutura alimentar exigida, respeitando os limites de porções e a variedade dos alimentos. Além disso, a preferência alimentar total registrada foi de 158,763, evidenciando que a introdução do filé de frango como item doado foi compatível com os níveis de preferência observados nas demais simulações.

Com base nas análises apresentadas, os diferentes cenários simulados evidenciam a capacidade de adaptação do modelo de PL diante de múltiplas realidades operacionais. O modelo mostrou-se eficaz tanto na busca por economia quanto na valorização da aceitação alimentar, além de responder de forma eficiente a situações imprevistas, como a indisponibilidade de determinados insumos ou o recebimento de doações. Esses resultados reforçam o potencial da modelagem matemática como uma ferramenta estratégica de apoio à tomada de decisão, contribuindo diretamente para a gestão alimentar no refeitório dos Cadetes.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo geral analisar a contribuição da PL na formulação de cardápios de custo mínimo para os Cadetes da AFA, levando em conta as exigências nutricionais e o impacto das preferências alimentares na aceitação das refeições. Para tanto, este trabalho foi guiado pelo seguinte problema de pesquisa: **“Qual o impacto da implantação da Programação Linear na elaboração do cardápio para os Cadetes da AFA?”**.

Com base nessa indagação, foram estabelecidos objetivos específicos que compreenderam a construção do modelo matemático, a coleta de dados nutricionais e de custos, a análise das preferências alimentares dos Cadetes e a avaliação dos cardápios gerados por meio da ferramenta de otimização. O cumprimento de tais objetivos possibilitou compreender como a PL pode contribuir para otimizar decisões na formulação de cardápios em refeitórios militares, respeitando tanto critérios nutricionais quanto critérios de custos.

Levando em consideração o cenário apresentado ao longo da pesquisa, a construção e aplicação do modelo matemático desenvolvido, fundamentado em dados nutricionais, nos custos dos alimentos e nas preferências dos Cadetes, possibilitou a geração de diferentes alternativas de cardápios semanais viáveis. Foram elaborados cardápios com distintos objetivos, incluindo uma formulação orientada à minimização do custo total da refeição e outra voltada à maximização da aceitação alimentar pelos Cadetes. Além desses, também foram simuladas condições operacionais específicas, como a impossibilidade de aquisição de determinados alimentos e o aproveitamento de itens recebidos por meio de doação.

Essas simulações resultaram em quatro versões distintas de cardápios, cada uma adaptada a um cenário decisório. A análise dos resultados obtidos demonstrou que a PL, além de promover soluções otimizadas sob diversos critérios, apresenta elevada capacidade de adaptação a contextos variáveis. Dessa forma, o modelo mostrou-se apto a responder de maneira eficiente a eventos imprevistos, como restrições de abastecimento ou oportunidades logísticas, garantindo o equilíbrio nutricional das refeições e contribuindo para a satisfação dos comensais. Tais evidências reforçam o potencial da modelagem matemática como ferramenta de apoio à gestão alimentar no âmbito da FAB.

Como proposta para estudos futuros, sugere-se o desenvolvimento de modelos de otimização multicritério, capazes de ponderar simultaneamente os objetivos de redução de custos e de incremento na preferência alimentar dos Cadetes. Tal abordagem permitiria encontrar soluções

mais equilibradas, que respeitem as restrições orçamentárias, sem negligenciar a qualidade percebida e a satisfação dos comensais, que são aspectos fundamentais em um ambiente militar caracterizado por intensa atividade física e exigência operacional.

REFERÊNCIAS

ARENALES, Marcos; ARMENTANO, Vinícius Amaral; MORABITO, Reinaldo; YANASSE, Horacio Hideki. **Pesquisa Operacional**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

BONINI, Anderson Carlos et al. Um estudo teórico sobre a história da pesquisa operacional. **Anais do EVINCI-UniBrasil**, v. 1, n. 4, p. 1666-1670, 2015.

BURITY, Valéria *et al.* **Direito humano à alimentação adequada no contexto da segurança alimentar e nutricional**. Brasília: Abrandh, 2010.

DA CRUZ, Suely Freitas *et al.* **Proposta de cardápio escolar semanal de custo mínimo para crianças em uma creche municipal**. Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento, São Paulo, v. 9, n. 53, p. 467–474, 2015.

DE OLIVEIRA, Danilo Elias; BORGES, Ana Clara André; DA SILVA, Vinycius Vieira. Uma aplicação do problema da dieta para se encontrar o menor custo de refeições diárias para idosos na cidade de Monte Carmelo–MG. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 36025-36034, 2020.

DE SOUSA, Adail José et al. Controladoria na Gestão de Compras como Estratégia na Busca da Eficiência e Otimização do Resultado Econômico. **Management Control Review**, v. 1, n. 1, p. 43-58, 2016.

DOOREN, Corné Van. A review of the use of linear programming to optimize diets, nutritiously, economically and environmentally. **Frontiers in Nutrition**, v. 5, p. 48, 2018. DOI: 10.3389/fnut.2018.00048.

DOS SANTOS, Marcos et al. Aplicação da Programação Linear na formulação de uma dieta de custo mínimo: estudo de caso de uma empresa de refeições coletivas no Estado do Rio de Janeiro. **Anais do XIII Encontro Mineiro de Engenharia de Produção–EMEPRO**. Juiz de Fora (MG), 2017.

DOS SANTOS, Pedro; ZEBEDIFF, Nayara; BRESSAN, Glaucia Maria. **Minimização do Custo da Produção dos Alimentos de um Restaurante Universitário de Acordo com o Cardápio Diário**. Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics, v. 3, n. 1, 2015.

EXLER, Rodolfo Bello; BANDEIRA, Francisco Roque Mendes. A utilização da pesquisa operacional como ferramenta assistente ao processo da tomada de decisão gerencial. **Revista de Administração e Contabilidade da FAT**, v. 2, n. 2, p. 59-69, 2017.

FORMIGONI, Alexandre *et al.* O uso de técnicas de pesquisa operacional para medir a eficiência de um software de roteirização. **South American Development Society Journal**, v. 2, n. 5, p. 14-26, 2016.

GOLDBARG, Marco Cesar; LUNA, Henrique Pacca L. **Otimização Combinatória e Programação Linear: modelos e algoritmos**. 2 ed. Elsevier, 2005. 519 p.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017. 192 p.

GRAMANI, Maria Cristina Nogueira. **Otimização do processo de cortagem acoplado ao planejamento da produção**. 2001. Tese de Doutorado. Tese de doutorado, DENSIS-UNICAMP.

JUSTUS, Camila Clivati; SPAK, Marcia Danieli Szeremeta; COLMENERO, João Carlos. Planejamento de dietas para restaurantes universitários utilizando programação linear inteira e programação por metas. **Revista ADMPG**, v. 5, n. 2, 2012.

LINHARES, Elisabete; CORREIA, Marisa. **Reduzir o desperdício alimentar: aprender e sensibilizar através de um jogo online. Reduce food waste: learn and raise awareness through an online game**, v. 11, 2019.

MAIA, João Paulo Ribeiro. **Otimização estrutural: estudo e aplicações em problemas clássicos de vigas utilizando a ferramenta solver**. Universidade de São Paulo, 2009.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisa; amostragens e técnicas de pesquisa; elaboração, análise e interpretação de dados**. 2012. p. 277-277.

MARIANO, Enzo. Conceitos básicos de análise de eficiência produtiva. **XII Simpósio de Engenharia de Produção**, SIMPEP, 2007.

MELO, K. E.; MELO, I. E. Minimização dos custos de compras para o microempreendedor individual utilizando a programação linear: um estudo de caso em um empreendimento de geleias caseiras. In: **XXV Congresso Brasileiro de Custos**, 2018, [s.l.]. Anais do Congresso Brasileiro de Custos – ABC. São Paulo: Associação Brasileira de Custos, 2018.

MINISTÉRIO DA DEFESA. Comando da Aeronáutica. **FCA 145-16 Elaboração de cardápios e indicadores de subsistência**, 2018b.

MINISTÉRIO DA DEFESA. Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas. **MD42-M-03 Manual de Alimentação das Forças Armadas**, 2010.

MINISTÉRIO DA DEFESA. Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas. **MD42-M-05 Doutrina**

de Alimentação e Nutrição, 2018a.

MINISTÉRIO DA DEFESA. Força Aérea Brasileira. Diretoria de Administração da Aeronáutica. **NCSA 145-1: Sistema de Subsistência do Comando da Aeronáutica (SISUB)**. Rio de Janeiro, RJ, 2024.

MINISTÉRIO DA DEFESA. Secretaria-Geral do Exército. **Portaria-COLOG/C Ex nº 026**, de 2 de março de 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Guia alimentar para a população brasileira – 2. ed.** Brasília: Ministério da Saúde, 2014.

PARLESACK, Alexandr et al. Use of linear programming to develop cost-minimized nutritionally adequate health promoting food baskets. **PLoS one**, v. 11, n. 10, p. e0163411, 2016.

RYAN, Kelsey N. et al. A comprehensive linear programming tool to optimize formulations of ready-to-use therapeutic foods: an application to Ethiopia. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 100, n. 6, p. 1551-1558, 2014.

SANTOS, Yvelyne Bianca Iunes Santos; MONTEIRO, Carlos Fabrício Martins; RAMOS, Kleyson Robson Castro; CORDEIRO, Caren Castro; RIBEIRO, Rafael Luiz Mattos. Modelagem linear aplicada à minimização de custos de produção de um restaurante de comida japonesa: linear modeling applied to the minimization of production costs of a japanese food restaurant. **Revista Gestão e Conhecimento**, 2022. Disponível em: <https://ojs.revistagc.com.br/ojs/index.php/rgc/article/view/216/215>. Acesso em: 10 maio. 2025.

SPAK, Marcia Danieli Szeremeta. **Aplicação da modelagem matemática para o planejamento de cardápios para restaurantes universitários**, 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.

SEBRAE. **Como elaborar uma pesquisa de mercado**. Brasília: SEBRAE, 2013. Disponível em: <https://sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/MG/Sebrae%20de%20A%20a%20Z/Como+Elaborar+uma+Pesquisa+de+Mercado.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2025.

STIGLER, George J. *The cost of subsistence*. **Journal of farm economics**, v. 27, n. 2, p. 303-314, 1945.

TACO, NEPA. Tabela brasileira de composição de alimentos. **Revista Ampliada NEPA**, 2011.