

# UMA ABORDAGEM MULTIOBJETIVO DO PROBLEMA DA DIETA VOLTADO PARA O PLANEJAMENTO DO CARDÁPIO DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Bárbara Milagres, Carlos Freitas, Eduardo Florinda, Fábio Fernandes, Thiago Borba

Federal University of Ouro Preto (UFOP), Ouro Preto, Brazil

Grupo 3: Problema da Dieta

barbara.leticia@aluno.ufop.edu.br, carlos.gabriel@aluno.ufop.edu.br, eduardo.florinda@aluno.ufop.edu.br

fabio.fernandes@aluno.ufop.edu.br, thiago.dornelas@aluno.ufop.edu.br

## Resumo

Este trabalho tem como proposta uma aplicação do Problema da Dieta Multiobjetivo para gerar um conjunto de cardápios para o restaurante universitário da Universidade Federal de Ouro Preto, com o objetivo de maximizar as preferências dos estudantes e minimizar o custo de cada refeição, respeitando o consumo diário de nutrientes proposto pela OMS (Organização Mundial da Saúde). Para verificar a eficiência do algoritmo foram realizados testes considerando a base de dados obtida pela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO) (UNICAMP, 2011) e uma tabela contendo os alimentos e pratos fornecidas pelo RU da UFOP. No total foram utilizados 133 alimentos para a base de dados e os valores nutricionais destes alimentos foram retirados da TACO e Tabela de Composição Nutricional dos Alimentos Consumidos no Brasil. Os valores dos custos de cada alimento foram calculados considerando o valor médio praticado por supermercados da região de Ouro Preto. Para calcular as preferências alimentares dos estudantes, foi elaborado um questionário via Google Formulários. A partir de 197 respostas, foram coletadas as médias das preferências dos usuários que responderam o questionário. Para obter um conjunto de cardápios para o RU, foi utilizado o algoritmo genético multiobjetivo *Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm - II* (NSGA-II). Ao final deste trabalho, concluiu-se que a metodologia proposta foi capaz de gerar um conjunto de soluções factíveis e não dominadas, respeitando os objetivos propostos e também às restrições do problema.

## Keywords

Problema da Dieta, Planejamento de Cardápios, Restaurante Universitário, NSGA-II, Nondominated Sorting Genetic Algorithm II

## ACM Reference Format:

Bárbara Milagres, Carlos Freitas, Eduardo Florinda, Fábio Fernandes, Thiago Borba. 2022. UMA ABORDAGEM MULTIOBJETIVO DO PROBLEMA DA DIETA VOLTADO PARA O PLANEJAMENTO DO CARDÁPIO DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO

PRETO. In *Proceedings of ACM Conference (Conference'17)*. ACM, New York, NY, USA, 9 pages. <https://doi.org/10.1145/nnnnnnnn.nnnnnnnn>

## 1 Introdução

Em muitas tarefas do dia a dia, como encontrar um bom apartamento para morar, planejar a melhor rota numa viagem de carro ou comprar em um supermercado a maior quantidade de produtos com o menor gasto possível, se busca encontrar a melhor possibilidade ou a mais correta dentre um conjunto de possibilidades existentes. Problemas desta natureza ocorrem constantemente não somente em nossa vida diária, mas também nas diversas áreas das ciências. Neste processo de busca pela melhor “possibilidade”, espera-se encontrar a solução mais adequada para o problema. Este processo também é conhecido por otimização.

Nos problemas de otimização, encontrar uma solução não é uma tarefa difícil, porém, encontrar uma boa ou a melhor pode ser extremamente difícil. A dificuldade pode estar relacionada a limitações financeiras, tempo, escassez de informações, natureza conflitante das nossas necessidades ou até mesmo ao excessivo número de alternativas disponíveis. Esses problemas podem ser encontrados em diversas áreas como engenharia, arquitetura, economia, logística e medicina, entre outras. Dentre eles, podemos citar, por exemplo, o Problema da Dieta, que é o objeto de estudo deste trabalho de Iniciação Científica.

O Problema da Dieta foi proposto pela primeira vez por Stigler [22]. Seu propósito era minimizar o custo e satisfazer as condições nutricionais necessárias para o exército americano. Porém, seu modelo era inviável na prática, pois os cardápios gerados não levavam em conta a palatabilidade. A partir disso, outros modelos foram desenvolvidos levando em conta outros aspectos e melhorias em relação ao modelo proposto por Stigler [22].

Esse tipo de problema geralmente é aplicado em dietas humanas [8]; [21]; [11]; [23]; e também pode ser adaptado e aplicado em dietas para animais [10]; [17]. Para tanto, basta alterar os dados da base nutricional de acordo com o grupo ao qual é destinado. Geralmente as recomendações nutricionais são aplicadas nas restrições do problema para que se obtenha uma dieta saudável, porém isso pode variar. Há casos em que satisfazer a quantidade de um ou mais nutrientes pode se tornar o objetivo do problema. No trabalho de Delinski [8], por exemplo, minimizar a quantidade de colesterol é um dos objetivos.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than ACM must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from [permissions@acm.org](mailto:permissions@acm.org).

Conference'17, July 2017, Washington, DC, USA

© 2022 Association for Computing Machinery.

ACM ISBN 978-x-xxxx-xxxx-x/YY/MM...\$15.00

<https://doi.org/10.1145/nnnnnnnn.nnnnnnnn>

Existem várias aplicações deste problema, desde para ambientes escolares até mesmo para ambientes hospitalares. Ademais, o público ao qual este problema é destinado varia muito. De modo geral, o Problema da Dieta se trata de um problema que visa gerar uma dieta saudável e adaptável ao público para o qual ela é destinada, seja restringindo calorias, minimizando o custo ou considerando outro aspecto desejado.

Os trabalhos Spak [21], Hernández et al. [11] e Sufahani and Ismail [23] têm a minimização do custo como objetivo do problema, estudantes como público alvo, mas se diferem pela faixa etária considerada, uma vez que Spak [21] se trata de um Restaurante Universitário, enquanto Hernández et al. [11] e Sufahani and Ismail [23] abordam escolas públicas de ensino médio, mudando completamente os dados da base nutricional do problema. Outra diferença é a região onde esses trabalhos foram realizados, pois alimentos típicos são considerados de acordo com a região tratada, isso faz com que os resultados obtidos sejam diferentes e sejam adequados conforme os hábitos alimentares locais.

Apesar da minimização do custo ser um dos objetivos comuns nas aplicações do Problema da Dieta, há trabalhos que tratam, além do custo, um segundo objetivo. Em Delinski [8] os objetivos considerados tratam-se de maximizar a preferência dos estudantes e minimizar o colesterol presente na dieta. A existência de dois ou mais objetivos faz com que o problema tratado seja considerado um problema multiobjetivo. Em Delinski [8], há ideias advindas de Spak [21], que considera como único objetivo a minimização do custo, e a preferência é tratada como restrição do problema.

Neste contexto, este trabalho visa a aplicação do Problema da Dieta para gerar um cardápio para o restaurante universitário (RU) da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), onde se pretende atender as preferências dos estudantes e ao mesmo tempo minimizar o custo da refeição. Além disso, pretende-se elaborar um cardápio com dietas que respeitem o consumo diário de nutrientes proposto pela OMS (Organização Mundial da Saúde). A formulação matemática considerada tem como base o modelo desenvolvido por Delinski [8] fundamentado nas ideias propostas por Spak [21]. Para tratar o problema utilizou-se o algoritmo multiobjetivo *Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm - II* (NSGA-II). A escolha do NSGA-II para tratar o problema da dieta foi baseada em algumas aplicações bem sucedidas de problemas de otimização multiobjetivo via NSGA-II encontradas na literatura.

Para verificar a eficiência do algoritmo foram realizados testes considerando a base de dados obtida pela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO) (UNICAMP, 2011) e a tabela de alimentos fornecidas pelo RU da UFOP. A TACO fornece a análise nutricional de 597 alimentos. Desse total, para a presente pesquisa, foram desconsiderados alguns itens alimentícios, e de alguns grupos foram considerados apenas alguns alimentos avulsos para formulação de receitas. Os grupos que não tiveram seus alimentos utilizados diretamente foram: açucarados, nozes e sementes, bebidas alcoólicas, leites e derivados.

Verificou-se que a metodologia proposta foi capaz de gerar um conjunto de soluções não dominadas do problema, onde cada ponto deste conjunto representa uma solução de compromisso entre os dois objetivos considerados. Cada solução não dominada obtida representa um possível cardápio para o RU da UFOP. Além disso,

vale destacar que as dietas geradas apresentaram além da palatabilidade e diversidade, todos os valores nutricionais recomendados por *Dietary Reference Intakes* (DRI), atestando a qualidade das soluções obtidas.

## 1.1 Justificativa

Cada vez mais as pessoas se interessam por uma alimentação saudável, saborosa e completa. Uma alimentação correta e equilibrada pode proporcionar vários benefícios.

Conforme foi descrito em Delinski [8] e Spak [21], os estudantes fazem parte de um grupo de pessoas muito afetado pela má alimentação, devido às grandes mudanças nas quais são submetidos. A não ingestão ou excessos de alguns nutrientes podem acarretar em doenças e até mesmo afetar o desempenho escolar e a concentração.

Segundo uma pesquisa realizada em Alves and Boog [1], a maioria dos estudantes almoçam em restaurantes universitários, o que justifica o estudo proposto neste trabalho, tendo em vista que um RU deve servir refeições nutricionalmente adequadas para suprir parte das necessidades diárias de um estudante com um custo acessível pela maioria. Além disso, se for possível atender nos cardápios a preferência dos alimentos da grande dos usuários, a satisfação dos consumidores será maior.

Do ponto de vista acadêmico e teórico, a motivação para estudar este problema se deve a sua complexidade computacional por se tratar de um problema da classe NP-Difícil. Ou seja, apesar de existirem algoritmos exatos para tratar o problema, esses algoritmos não são capazes de encontrar a solução ótima em tempo polinomial. Assim, o estudo e a utilização de heurísticas e meta-heurísticas para tratar problemas multiobjetivo e de natureza combinatória são indicados.

## 1.2 Organização do Trabalho

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: na seção 2 são apresentados os objetivos deste trabalho. A seção 3 apresenta as questões de pesquisa. A seção 4 descreve as metodologias usadas no desenvolvimento do trabalho. A seção 5 apresenta um levantamento bibliográfico dos artigos utilizados na presente pesquisa. A seção 6 apresenta a fundamentação teórica para uma melhor compreensão do artigo e a seção 7 apresenta os trabalhos relacionados. Os resultados são apresentados no capítulo 8 e concluídos no capítulo 9.

## 2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo aplicar o Problema da Dieta para gerar um cardápio de refeições para o Restaurante Universitário da Universidade Federal de Ouro Preto, de forma que as refeições sejam nutricionalmente adequadas, possuam um preço mínimo e atendam às preferências dos estudantes da universidade. Para tanto, são objetivos específicos:

- Com base em uma lista de alimentos ofertados pelo RU da UFOP, identificar quais as preferências dos estudantes em relação a esses alimentos pré-selecionados, com o intuito de gerar um cardápio que maximize essas preferências;
- Garantir que cada refeição gerada atenda os requisitos nutricionais necessários ao ser humano, considerando neste trabalho, a faixa etária dos alunos em questão;

- Adaptar o modelo matemático proposto por Delinski [8] e por Spak [21] para tratar os objetivos e restrições consideradas neste estudo de caso;
- Adaptar o algoritmo multiobjetivo NSGA-II para obter os cardápios do RU da UFOP.

### 3 Questões de Pesquisa

Este artigo trata um estudo de caso aplicado na Universidade Federal de Ouro Preto, que tenta responder explicitamente as seguintes questões de pesquisa: (QP1) Como é possível gerar um cardápio que atenda tanto às preferências dos estudantes quanto as necessidades nutricionais de tais e que possua o menor custo possível? (QP2) Como é possível gerar um cardápio ovo-lacto-vegetariano que siga essas mesmas restrições?

### 4 Metodologia

Este capítulo detalha os procedimentos implementados da seguinte maneira: a Subseção 4.1 inicialmente, as etapas realizadas para a descrição deste trabalho. Em seguida, a Subseção 4.2 descreve a criação do banco de dados utilizados para resolver o problema. Na Subseção 4.3 é descrito como foram obtidos os valores nutricionais dos alimentos utilizados nesse trabalho. A Subseção 4.4 apresenta como foram obtidas as preferências alimentares dos estudantes. Logo em seguida, a Subseção 4.5 são apresentados os valores nutricionais necessários ao ser humano. Por fim, na Subseção 4.6 é apresentado o modelo matemático usado para o desenvolvimento desse trabalho.

#### 4.1 Método de Trabalho

Para atingir os objetivos deste trabalho foi necessário seguir às seguintes etapas do desenvolvimento:

- Seleção dos alimentos, além dos alimentos já ofertados no Restaurante Universitário, bem como seus valores nutricionais;
- Aplicação de um questionário nos alunos da Universidade Federal de Ouro Preto- UFOP para coleta das preferências alimentares;
- Determinação das médias das preferências dos usuários por cada tipo de alimento;
- Obtenção dos valores nutricionais diários necessários ao ser humano;
- Desenvolvimento de um modelo multiobjetivo a partir do arcabouço Deb et al. [7] para elaboração dos cardápios.

#### 4.2 Banco de dados

A base de dados utilizada neste trabalho é composta por um conjunto de alimentos e, as informações nutricionais, o custo e a preferência dos usuários acerca de cada um deles. Os alimentos utilizados foram selecionados com base em cardápios fornecidos pelo restaurante universitário da UFOP e o custo dos alimentos foram calculados considerando o valor médio praticado por supermercados da região em que se encontra o RU. Detalhes sobre os alimentos e o custo utilizados neste trabalho estão disponíveis na plataforma GitHub e podem ser acessadas por meio do link <<https://github.com/BarbaraLeticiaRM/ProblemaDaDieta>> As informações inseridas na base de dados são descritas nas subseções seguintes. A Subseção 4.3 apresenta como foram obtidas as informações nutricionais dos alimentos utilizados e a Subseção 4.4 descreve

como foram obtidas e calculadas as preferências alimentares dos estudantes da UFOP que frequentam o RU.

#### 4.3 Informações Nutricionais

Neste trabalho, os valores nutricionais dos alimentos utilizados foram retirados da 4ª edição da Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO) desenvolvida pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) TACO [24]. A TACO possui, atualmente, 597 alimentos que são divididos em grupos alimentares, sendo estes: Verduras, hortaliças e derivados; Frutas e derivados; Gorduras e óleos; Pescados e frutos do mar; Carnes e derivados; Leite e derivados; Bebidas (alcoólicas e não alcoólicas); Ovos e derivados; Produtos açucarados; Miscelâneas; Outros alimentos industrializados; Alimentos preparados; Leguminosas e derivados; Nozes e sementes. Como se trata do desenvolvimento de um cardápio para almoço ou jantar, alguns desses grupos foram desconsiderados, como por exemplo Produtos açucarados. Além disso, alguns alimentos considerados “caros” demais também foram descartados, por se tratar de um restaurante universitário e o custo não poder ser muito elevado. Os alimentos considerados pratos prontos, que não possuíam, seu valor na tabela TACO, foram consideradas receitas e, os valores nutricionais desses alimentos (pratos) foram obtidos através da média aritmética dos nutrientes dos seus ingredientes. Neste trabalho foram utilizados um total de 133 alimentos. Este valor se difere da quantidade de alimentos presente na TACO, visto que nem todos os ali presentes foram utilizados. Também é importante destacar que alguns dos ingredientes, e até mesmo alimentos, ofertados pelo RU, não estavam presentes na TACO. Assim, para estes, foi utilizada a Tabela de Composição Nutricional dos Alimentos Consumidos no Brasil, que se trata de uma pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) [9].

#### 4.4 Preferências alimentares

Para determinar as preferências alimentares das pessoas que frequentam o RU do UFOP foi elaborado um questionário via Formulário Google. O questionário foi encaminhado aos colegiados dos cursos da UFOP e solicitado o encaminhamento aos estudantes da instituição. O público alvo, a princípio, foi os alunos regularmente matriculados na UFOP. O formulário gerado foi baseado no questionário proposto em Spak [21]. Foram realizadas algumas modificações para se adaptar ao cardápio do RU da UFOP, sendo essas, o acréscimo da opção ovo-lacto-vegetariana, prato proteico e sobremesa. Também, ao invés de utilizar carnes separadamente, optou-se por utilizar os pratos proteicos como citado anteriormente. Outra alteração foi as perguntas pessoais, optou-se por perguntar apenas o vínculo do aluno com a universidade e quais refeições o mesmo realiza no RU. Ao todo foram 133 alimentos considerados no questionário final. A escala utilizada para preferência alimentar foi a mesma utilizada por Spak [21] e Delinski [8], de nove pontos, hedônica. Como não haviam perguntas pessoais, o questionário foi anônimo e não houve restrição de idade para respondê-lo, obtivemos um total de 197 respostas. O formulário na íntegra e um relatório com a conclusão mais detalhada acerca das respostas está disponível na plataforma GitHub. Através das respostas obtidas no questionário, foi possível calcular as preferências de cada alimento. A princípio, foi utilizada a média aritmética para determinar os valores das preferências, que estão descritas nas Figuras 1, 2 e 3.

Alimentos	Preferencia	Alimentos	Preferencia
Beterraba Crua	5.54	Bife bovino à milanesa	7.25
Beterraba Cozida	6.17	Bisteca Suína Grelhada	6.34
Rabante Cru	4.79	Lombo em Cubos Grelhado	6.45
Abobrinha Italiana Crua	4.55	Bife de Lombo Suíno	6.62
Abobrinha Italiana Cozida	5.95	Frango Assado	7.5
Cenoura Crua	6.81	Filé de Frango Grelhado	7.77
Cenoura Cozida	6.497	Isca de Frango Grelhada	7.34
Chuchu Cozido	5.64	Filé de Peixe Frito	6.23
Alface Lisa Crua	7.44	Moqueca de Peixe	4.38
Alface Crespa Crua	7.41	Filé de Frango a Milanesa	7.79
Almeirão Cru	5.05	Croquete de Carne	6.24
Rúcula Crua	5.75	Quibe frito	6.37
Couve Manteiga Crua	6.58	Quibe Assado	6.14
Chicória Crua	4.96	Filé de Peixe Grelhado	6.104
Espinafre Cru	5.07	Filé de Peixe Assado	5.52
Tomate Cru	7.49	Yakissoba de Legumes	6.18
Couve-flor Cozida	6.64	Soja em Grãos ao Molho	4.46
Brócolis Cozido	7.03	Ovos Cozidos c/ Molho	4.63
Salpicão de frango	7.66	Grão de Bico à Indiana	4.695
Berinjela Frita	5.22	Moqueca de Legumes	4.38
Berinjela Assada	5.01	Estrogonofe de Legumes	5.02
Couve Manteiga Refogada	6.94	Quibe de Soja	4.16
Feijoada	6.79	Grão-de-Bico ao vinagrete	4.66
Estrogonofe de Frango	7.56	Hambúrguer de Lentilha	4.85
Estrogonofe de carne	6.77	Hambúrguer de grão-de-bico	4.78

Figura 1: Preferências Alimentares - Parte 1

Alimentos	Preferencia	Alimentos	Preferencia
Ovos cozidos	6.15	Repolho Branco Cru	6.096
Ovos fritos	6.17	Repolho Roxo Cru	5.99
Omelete	6.73	Nabo	4.59
Salada Marroquina	4.92	Pepino	5.81
Batata Inglesa Cozida	7.73	Berinjela Cozida	4.65
Batata Inglesa Sauté	7.85	Salada de legumes cozida no vapor	6.96
Repolho Roxo Refogado	5.98	Vaca atolada	6.395
Abóbora Moranga Refogada	6.24	Almôndegas ao molho	6.27
Mandioca Cozida	7.74	Carne Bovina Moída c/ Molho	5.66
Vagem Crua	5.599	Bife Bovino c/ Molho	6.48
Quiabo Refogado	6.03	Bife Acebolado	7.297
Batata Baroa Cozida	6.96	Pernil Assado c/ Molho	7.03
Angu (Polenta)	6.27	Lombo Assado c/ Molho	7.05
Crema de Milho	6.71	Linguiça Assada c/ Molho	5.82
Bolinho de Arroz	6.101	Frango Xadrez	6.67
Macarrão molho bolognesa	7.101	Sobrecoxa de Frango Enopado	6.17
Batata chips palha	8.07	Bife de Panela	6.64
Canjiquinha	6.18	Frango com Quiabo	6.12
Farofa de Legumes	6.39	Lasanha de frango	7.63
Repolho Verde Refogado	6.07	Lasanha de carne moída	7.06
Farofa com alguma proteína	7.37		
Arroz Branco - Tipo 1, cozido	7.7		
Arroz à grega	6.91		
Arroz Integral, cozido	6.99		
Tutu de feijão	6.81		

Figura 2: Preferências Alimentares - Parte 2

Ovos Mexidos	6.12	Polenta (com molho)	6.299
lasanha de berinjela	4.82	Pirão	5.34
Omelete com legumes ou verduras	5.79	Bambá de couve	5.83
Berinjela ao Alho e Óleo	4.46	Batata gratinada	8.09
Quibe Vegetariano*	4.77	Macarrão alho e óleo	7.32
Cuscuz de Legumes	4.44	Macarrão molho sugo	6.92
Hambúrguer de soja	4.599	Feijão Carioca Cozido	7.86
Hambúrguer de berinjela	4.15	Feijão Tropeiro Mineiro	7.49
Hambúrguer de feijão	4.29	Feijão Preto Cozido	7.74
Bolinho de Batata	6.81	Laranja pera	7.75
Bolinho de chuchu	4.42	Banana Prata	8.01
Bolinho de espinafre	5.27	Melancia	7.88
Feijão Branco ao Vinagrete	4.36	Melão	6.64
Feijão Branco ao Molho de Tomate	4.06	Goiaba	6.94
Lentilha com Legumes	4.53	Mamão Formosa	6.77
Abobrinha à Parmegiana	5.56	Mexerica	7.88
Assado de batata com soja	4.96	Gelatina	6.83
Feijoada de Legumes	4.44	Doce de leite	7.19
Grão-de-Bico com Abobrinha	4.42	Doce de abóbora	4.65

Figura 3: Preferências Alimentares - Parte 3

## 4.5 Valores Nutricionais necessários ao ser humano

Os valores considerados foram baseados em *Dietary Reference Intakes* (DRI) (INSTITUTE OF MEDICINE – US, 2005, 2001, 2000, 1998, 1997). Segundo Padovani et al. [15] o DRI é uma revisão dos valores energéticos e nutricionais ao ser humano. Para a presente pesquisa foram considerados os seguintes nutrientes: energia, proteína, carboidrato, fibra alimentar, magnésio, manganês, fósforo, ferro, cobre, zinco, tiamina, cálcio e vitamina C.

Os valores nutricionais utilizados estão apresentados na Figura 4 e são os mesmos utilizados em Delinski [8] adaptado de of Medicine [14].

	Quantidade necessária para um dia		Quantidade necessária para as refeições principais (almoço ou jantar)	
	Mínimo (mg)	Máximo (mg)	Mínimo (mg)	Máximo (mg)
Proteína	56.000	-	22.400	-
Carboidrato	130.000	-	52.000	-
Fibra alimentar	38.000	-	15.200	-
Cálcio	1.000	2.500	400	1.000
Magnésio	400	-	160	-
Manganês	2.3	11	0.9	4.4
Fósforo	700	4.000	280	1.600
Ferro	18	45	7.2	18
Cobre	0.90	10	0.36	4
Zinco	11	40	4.4	16
Tiamina	1.2	-	0.5	-
Vitamina c	90	2.000	36	800

Figura 4: Valores nutricionais necessários ao ser humano. Fonte: Retirado de [8] onde foi adaptado de [4] e [15].

Assim como em Delinski [8], a faixa etária utilizada nesse trabalho é de 19 a 30 anos e a refeição obtida corresponde a 40% das necessidades diárias do ser humano. Dado que o valor energético diário recomendado ao ser humano é de, no máximo, 2900 kcal para homens e 2200 kcal para mulheres Council et al. [6], considerando uma média de 2550 kcal foi fixado um limite de 1020 kcal para a refeição tratada, o que equivale aos 40% nas necessidades diárias.

## 4.6 Formulação Matemática do Problema Da Dieta Multiobjetivo

O modelo multiobjetivo utilizado nesse trabalho foi baseado no modelo proposto por Delinski [8] baseado em Balintfy et al. [2]. As variáveis utilizadas na formulação matemática do problema são:

$x_j$ : variável que indica o alimento  $j$  usado na função;

$p_j$ : variável que indica a preferência do alimento  $j$ ;

$c_j$ : variável que indica o custo do alimento  $j$ ;

$e_j$ : quantia de energia que o alimento  $j$  apresenta;

$E_{max}$ : máximo necessário de energia contida em uma refeição;

$a_{ij}$ : quantidade de nutriente  $i$  presente no alimento  $j$ ;

$N_{max}$ : máximo de nutriente  $i$  contido em uma refeição;

$N_{min}$ : mínimo de nutriente  $i$  contido em uma refeição.

A formulação matemática do problema é então definida por:

$$\text{Maximizar} \quad \sum_{j=1}^n x_j p_j \quad j \in \{1, 2, 3 \dots n\} \quad (1)$$

$$\text{Minimizar} \quad \sum_{j=1}^n x_j c_j \quad j \in \{1, 2, 3 \dots n\} \quad (2)$$

Sujeito a :

$$\sum_{j=1}^n x_j e_j \leq E_{max} \quad j \in \{1, 2, 3...n\} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_j a_{ij} \leq N_{max} \quad i \in \{1, 2, 3...m\} \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n x_j a_{ij} \geq N_{min} \quad i \in \{1, 2, 3...m\} \quad (5)$$

## 5 Levantamento Bibliográfico

[8] [21] [7] [15] [2] [22] [5] [12] [20] [19] [23] [13] [10] [17] [1] [18] [25]

## 6 Background

### 6.1 Problema Abordado

Este trabalho trata de uma variação do problema da dieta multi-objetivo baseado nos trabalhos de Delinski [8] e Spak [21]. Tem como objetivo gerar cardápios para o restaurante universitário da Universidade Federal de Ouro Preto que sejam nutricionalmente adequados de acordo com a média de valores nutricionais para pessoas do sexo feminino e masculino na faixa etária média dos alunos da universidade, possua o menor custo possível e atenda às preferências da maioria dos alunos. Neste contexto, na Seção 6.2 é apresentado o Problema da Dieta clássico e na Seção 6.3 a abordagem multiobjetivo do problema da Dieta tratada nesta pesquisa.

### 6.2 Problema da Dieta

O Problema da Dieta foi proposto inicialmente por Stigler [22] e tem como objetivo geral gerar dietas que sejam adequadas nutricionalmente. Fora esse objetivo, outros como, obter o menor custo possível ou fazer uma dieta restrita em calorias, podem ser adicionados. O problema se adapta à situação em que ele é proposto, por exemplo, o de Stigler [22] se trata de uma dieta para soldados do exército americano, seu foco era minimizar o custo e manter uma dieta nutricionalmente adequada. Um dos problemas encontrados foi que, a dieta gerada não era palatável, e isso acabou se tornando uma melhoria do problema.

O problema proposto por Spak [21] se trata de uma variação mono-objetivo do problema da dieta e tem como objetivo a minimização do custo, como apresentado anteriormente. No caso deste, a palatabilidade é levada em consideração, e para que essa seja atendida, os alimentos são divididos em grupos, onde cada um representa um grupo de alimentos definido pela própria autora e que, no caso, pode variar de acordo com a refeição proposta.

### 6.3 Problema da Dieta Multiobjetivo

Uma das variações do problema da dieta é a multiobjetivo. Na abordagem proposta por Delinski [8], pode-se ver essa variação. Nela, os objetivos do problema são minimizar o custo da refeição, maximizar a preferência dos alunos e minimizar o colesterol. Ao todo são três objetivos, e assim como em Spak [21], a palatabilidade é feita da mesma forma. Além disso, ainda nas restrições, é definido o mínimo e o máximo de porções de determinado alimento.

Visto isso, existem vários outros objetivos que podem ser incluídos, assim como Delinski [8] minimiza o colesterol, algum outro

nutriente, com base no estudo em que é proposto, pode ser minimizado ou maximizado, dentre outros objetivos. Os objetivos propostos nesse trabalho são minimizar o custo da refeição e atender as preferências dos estudantes, os requisitos nutricionais mínimos e máximos são atendidos através das restrições do problema.

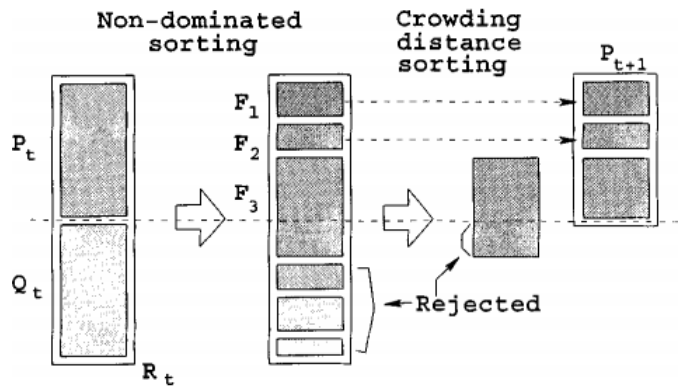
Segundo Pareto [16], o conceito de Pareto-ótimo constitui a origem da busca na otimização multiobjetivo. Por definição, um vetor  $z$  é Pareto-ótimo se não existe um outro vetor viável  $z^*$  que possa melhorar algum objetivo, sem causar uma piora em pelo menos um outro objetivo. Em outras palavras, um vetor solução  $z$  pertence ao conjunto de soluções Pareto-ótimo se não existe nenhum vetor solução  $z^*$  que o domine. Partindo disto, uma solução não dominada é uma solução para a qual não existe outra solução admissível que melhore simultaneamente todas as funções objetivo. Já uma solução factível é uma solução que atende a todos os objetivos e restrições do problema.

### 6.4 NSGA-II

O *Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm-II* (NSGA-II) é um algoritmo genético multiobjetivo proposto por Deb et al. [7], que utiliza do princípio da teoria da evolução das espécies de Charles Darwin e possui os seguintes recursos: um princípio elitista, um mecanismo explícito de preservação da diversidade e enfatiza soluções não dominadas.

A implementação geral do NSGA-II foi obtida no arcabouço Blank and Deb [3] e foram realizadas algumas adaptações para tratar o problema da dieta.

A diferença do NSGA-II dos outros algoritmos genéticos mais simples se dá pelo processo de seleção, onde é utilizado dois operadores: o operador classificação rápida por não dominância (*Fast Non-Dominated Sorting*) e o operador de distância de agrupamento (*Crowding Distance*).

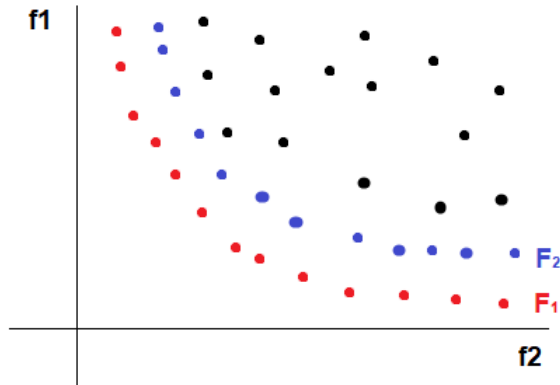


Fonte: nsga2

Figura 5: Funcionamento do NSGA-II

Ao observar a Figura 5, tem-se o seguinte: na primeira etapa de execução do algoritmo é gerada uma população  $Q_t$  derivada de  $P_t$  através de operadores genéticos. Logo após, são determinados os fronts e a sua ordenação (*crowding distance sorting*). E então, é feita a seleção para gerar a população da próxima geração  $P_{t+1}$ .

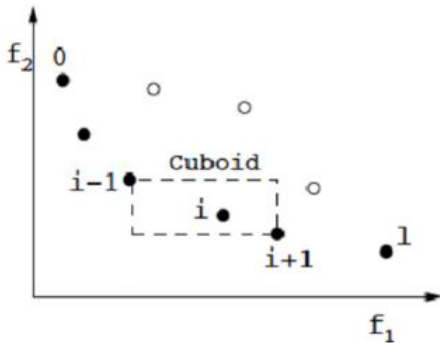
- **Fast Non-Dominated Sorting:** Classifica indivíduos  $I$  de uma população  $P$ , de acordo com o grau de dominância, em diversos níveis de dominância  $F_1; F_2; \dots, F_n$ , onde  $n$  é o número de níveis de dominância. Como exemplificado na Figura 6,  $F_1$  possui os indivíduos não dominados de toda a população.  $F_2$  possui os indivíduos não dominados de  $F_1$ , e assim sucessivamente [5].



Fonte: Autoria Própria de Bárbara Milagres

Figura 6: Fast Non-dominated Sort

- **Crowding Distance:** Este procedimento foi criado visando garantir a diversidade das soluções presentes na fronteira de Pareto. Basicamente, consiste em um método que possibilita calcular uma estimativa de densidade das soluções que se encontram em torno de cada um dos indivíduos da população. Para que isso aconteça, é necessário estimar a distância das duas soluções adjacentes de cada um dos indivíduos para todos os objetivos existentes. No fim, os indivíduos são classificados quanto à sua distribuição no conjunto solução e são priorizados os mais espalhados [5].



Fonte: [7]

Figura 7: Crowding Distance

A estimativa da densidade ilustrada na Figura 7 calcula a distância média normalizada em relação aos vizinhos. Os pontos

representados pelos círculos preenchidos são as soluções da primeira fronteira. A estimativa de densidade das soluções ao redor de uma solução particular da fronteira é dada pelo cálculo da distância Euclidiana dos  $k$  pontos ao redor da solução, onde  $k$  representa a quantidade de objetivos.

## 6.5 Operadores Genéticos

**Operador de Cruzamento:** É utilizado no algoritmo genético para gerar novos cromossomos que irão permanecer na próxima geração a partir de pais selecionados. O método de *crossover* utilizado neste trabalho é *single-point crossover*, que consiste em escolher um único ponto nos vetores que representam os pais para se fazer um corte e desse corte recombinar os dados genéticos deles afim de gerar dois novos indivíduos;

**Operador de Mutação:** O operador de mutação utilizado no presente trabalho consiste em: dada uma população, há uma pequena porcentagem de que alguns indivíduos terão seu material genético mutado, no caso, apenas 10% deles foram alterados. Os indivíduos que sofreram mutação tiveram apenas um cromossomo aleatório alterado, também de forma aleatória;

**Operador de Seleção:** O método de seleção utilizado foi o Torneio, que consiste em escolher aleatoriamente indivíduos de uma população e realizar uma competição entre eles. O vencedor de cada torneio é selecionado para *crossover*.

## 6.6 Problemas-teste

Neste trabalho, é utilizado o algoritmo NSGA-II no problema da dieta multiobjetivo. O algoritmo implementado possui quatro parâmetros:

**Número de Gerações:** envolve o número de iterações do algoritmo;

**Tamanho da População:** a quantidade total de indivíduos;

**Taxa de Cruzamento:** envolve a taxa de probabilidade do cruzamento acontecer;

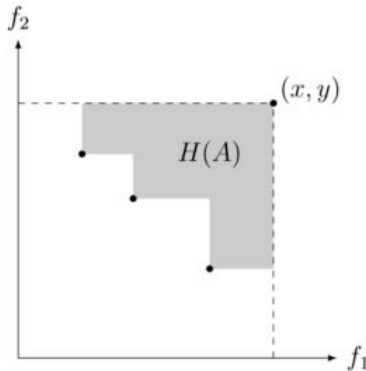
**Taxa de Mutação:** envolve a taxa de probabilidade da mutação ocorrer;

As soluções podem variar muito entre uma execução e outra, devido à natureza do algoritmo, que se dá de forma estocástica. Por se tratar de um problema multiobjetivo, sua solução não é dada por apenas um ponto mas sim por um conjunto de pontos. Devido a isso, será utilizada a métrica do Hiper-volume (Subseção 6.7) para comparar o desempenho do algoritmo.

## 6.7 Hiper-volume

A métrica hiper-volume, proposta por Zitzler and Thiele [25], é o valor área da região de dominância de um conjunto não dominante  $A$ . A área em questão será calculada a partir de um ponto de referência que é definido a partir de um conjunto de soluções pertencentes a um conjunto referência  $J$ . Temos  $H(A)$  como o hiper-volume do conjunto  $A$ , conforme mostra a figura 8.

**Figura 8: Região representada pelo hiper-volume referente ao conjunto A**



Fonte: Rego [18]

## 7 Trabalhos Relacionados

Spak [21] trata uma variação do problema da dieta baseada no modelo de Balintfy et al. [2]. O estudo em questão propõe a geração de cardápios para restaurantes universitários utilizando um modelo matemático mono objetivo que tem como objetivo minimizar o custo da refeição. Além disso, as restrições do problema são utilizadas para atender as preferências dos alunos, obtidas através de um questionário aplicado na Universidade Tecnológica do Paraná. As demais restrições tratam de tornar a refeição nutricionalmente adequada ao grupo no qual ela é destinada. Em relação aos resultados, o modelo foi utilizado para geração de 5000 refeições, das quais apenas 22% atenderam o que foi pedido.

Delinski [8], tem seu estudo baseado no de Spak [21] e, em sua pesquisa, tem como objetivo gerar um cardápio para o Restaurante Universitário da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) que atenda aos requisitos nutricionais adequados ao público-alvo, possua a menor quantidade de colesterol possível, atenda à preferência da maioria dos estudantes e tenha o custo minimizado. Para obtenção deste, é utilizado um modelo matemático multiobjetivo, baseado no de Balintfy et al. [2], onde os objetivos são minimizar o custo e colesterol e maximizar a preferência. Para saber as preferências, foram utilizados os resultados de um questionário antes aplicado por Spak [21]. Para alcançar um resultado mais próximo do real do que a média, a autora utilizou o processo de fuzzificação assimétrica para o valor referente à preferência de cada alimento. Partindo da quantidade de alunos de cada sexo e a média das idades da universidade, são calculados os requisitos nutricionais necessários e adicionados às restrições do problema a quantidade mínima e máxima de cada nutriente. Para este cálculo, também é levado em conta que o almoço deve conter, no mínimo, 40% das necessidades nutricionais diárias. Em relação à obtenção dos resultados, foram utilizados pesos 0,5, 0,4 e 0,1 para minimização de preço, maximização da preferência e minimização do colesterol respectivamente, porém, o cardápio gerado não foi considerado adequado pois se obteve uma quantidade alta de colesterol, levando em consideração que deve ser consumindo o mínimo possível e

os estudantes ainda farão outras refeições ao longo do dia com o provável consumo de colesterol [8].

O estudo proposto por Marrero et al. [12] foi projetado para escolas e cantinas, tem como objetivos a minimização do custo e da repetição dos cardápios e grupos de alimentos específicos. Para a resolução, é utilizada uma variação do Algoritmo Evolutivo Multiobjetivo com base na decomposição (MOEA/D) utilizando Pesquisa Local Iterada (ILS) para a fase de melhoria da abordagem ILS-MOEA/D. Em comparação com o Algoritmo Memético mono objetivo, ILS-MOEA/D, produz cardápios com um custo semelhante mas, com um nível de repetição significativamente melhor [12]. Cada execução dos experimentos foi repetida 30 vezes, foram gerados almoços para  $n$  dias, incluindo uma entrada, um prato principal e uma sobremesa por dia.

Em Silva et al. [19], o objetivo é formular uma dieta que minimize o número de calorias ingeridas, além disso, ele visa desenvolver uma dieta saborosa que pode ser facilmente adotada por um grande número de indivíduos [19]. É apresentado um algoritmo genético para gerar seis refeições diferentes: café da manhã, lanche, almoço, lanche, jantar e ceia. A função objetivo visa desenvolver uma dieta com 1200 kcal, este número foi fixado porque é o mais indicado para redução de peso [19]. Há também penalização para restrições violadas. Os resultados dessa pesquisa mostraram que o algoritmo genético proposto superou o algoritmo de evolução diferencial proposto por [20].

Sufahani and Ismail [23] tem como objetivo em seu estudo desenvolver um modelo matemático de programação linear multiobjetivo que atenda às necessidades nutricionais de um aluno do ensino médio, além de minimizar o orçamento fornecido pelo governo e maximizar a variedade de ingestão de alimentos [23]. Ao final dos experimentos, os resultados obtidos atenderam aos objetivos e tiveram melhor desempenho com relação a métodos heurísticos.

No estudo proposto por Obsequio-Namoco et al. [13] é utilizado um modelo de programação linear mono objetivo que tem como objetivo minimizar o custo de refeições para que atendam à capacidade de compra dos alunos, a partir de um subsídio médio diário. Além disso, visa atender valores nutricionais dos alunos, que estão em uma faixa etária entre 13 e 15 anos, e também atender aos valores palatáveis que são dados a partir de uma tabela.

O presente estudo se baseia no proposto por Delinski [8], as principais diferenças são os objetivos, nos quais foi desconsiderada a minimização do colesterol no presente trabalho, além de ser utilizada uma meta-heurística, o algoritmo genético, para resolver o problema, em contraposição a utilização da programação linear inteira em Delinski [8]. Além disso, o tamanho das porções de alimentos utilizadas no presente trabalho foram baseados nos de Spak [21].

## 8 Resultados

Nesta sessão são apresentados os resultados obtidos pela metodologia proposta. O algoritmo foi codificado utilizando a linguagem python 3 e todos os experimentos realizados através do Google Colaboratory. O Google Colaboratory, executado na nuvem, é um ambiente de notebooks Jupyter, com 12, 69 GB de RAM e 107, 72 GB de disco. A implementação geral do NSGA-II foi obtida no arcabouço Blank and Deb [3].



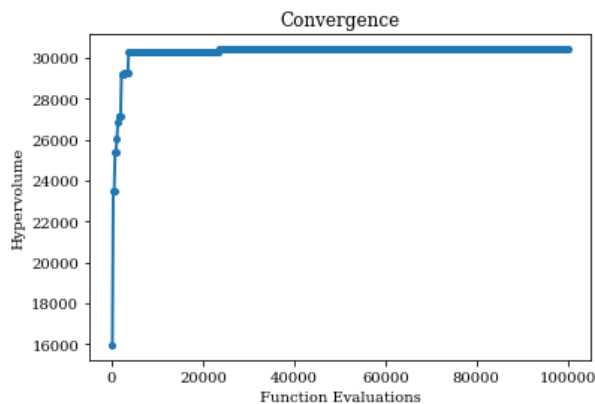
Para realização dos experimentos, foram utilizados 133 alimentos e para cada alimento foi atribuído um valor de custo e de preferência alimentar. Foram considerados também a nível de restrições 13 nutrientes. O banco de dados com todas as informações está disponível na plataforma GitHub<sup>1</sup>.

A seguir são apresentados os resultados finais, após 30 execuções e com 500 gerações como critério de parada. Além disso, foram utilizados como parâmetros:

- Tamanho da população: 200
- Taxa de Mutação: 10%
- Taxa de cruzamento: 50%

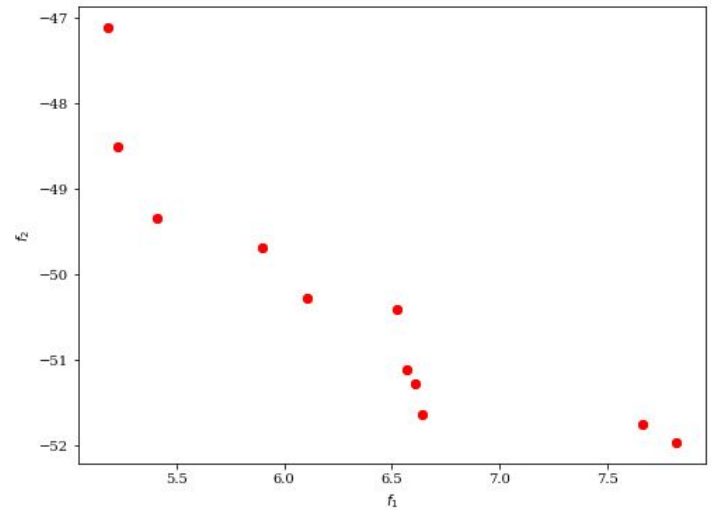
A Figura 9 apresenta o gráfico de convergência do algoritmo, é possível observar que quanto maior o número de indivíduos avaliados, maior é o hiper-volume. O hiper-volume médio para uma população de tamanho 200 foi de 28941.889.

Figura 9: Gráfico de Hiper-volume



A Figura 10 evidencia uma das Curvas de Pareto gerada para 500 gerações do algoritmo.

Figura 10: Curva de Pareto para uma solução com prato proteico a base de carne



A Tabela 1 mostra um exemplo de solução de dieta gerado pelo algoritmo multiobjetivo genético proposto, sendo essa a opção de prato proteico a base de carne.

Tabela 1: Uma solução para o problema

Tipo de Alimento	Alimento	Quantidade (g)
Salada 1	Alface Lisa Crua	100
Salada 2	Tomate Cru	100
Prato proteico	Frango Assado	100
Guarnição	Creme de Milho	100
Acompanhamento	Arroz Integral cozido	150
Acompanhamento	Feijão Preto Cozido	100
Sobremesa	Melancia	100
<b>Valor total de custo: R\$ 7,66</b>		
<b>Média de Preferência: 7,393</b>		

Fonte: Autoria Própria de Bárbara Milagres

<sup>1</sup>As informações estão disponíveis em <<https://github.com/BarbaraLeticiaRM/ProblemaDaDieta>>, sendo essa a opção ovolactovegetariana.

A Tabela 2 mostra um exemplo de solução de dieta gerado pelo



**Tabela 2: Uma solução para o problema**

Tipo de Alimento	Alimento	Quantidade (g)
Salada 1	Tomate Cru	100
Salada 2	Salada de legumes cozida no vapor	100
Opção ovolactovegetariana	Grão-de-Bico com Abobrinha	100
Guarnição	Creme de Milho	100
Acompanhamento	Arroz Integral cozido	150
Acompanhamento	Tutu de feijão	100
Sobremesa	Melancia	100
<b>Valor total de custo: R\$ 5,40</b>		
<b>Média de Preferência: 6,751</b>		

Fonte: Autoria Própria de Bárbara Milagres

Neste trabalho, os resultados não serão comparados com os estudos propostos por Delinski [8], visto que existem diferenças entre os problemas abordados, além de ser um estudo de caso na Universidade Federal de Ouro Preto e alguns dos alimentos utilizados serem diferentes.

## 9 Conclusão

Foi verificado que a metodologia proposta foi capaz de gerar um conjunto representativo de soluções não dominadas, evidenciando-se assim a relação de compromisso entre as funções objetivo tratadas na versão multiobjetivo do problema da dieta. Em outras palavras a diminuição do custo do cardápio corresponde a não diminuição da preferência alimentar dos estudantes. Assim, cada solução do conjunto de soluções não dominadas obtido representa um possível cardápio para o RU da UFOP. As dietas geradas apresentaram, além de palatabilidade e diversidade, todos os valores nutricionais recomendados pelas referências consultadas.

Com isso, as questões de pesquisa (QP1) e (QP2) foram respondidas, uma vez que foi possível gerar cardápios que atendiam às restrições e os objetivos propostos, tanto para opções com prato proteico à base de carne quanto para opções ovolactovegetarianas.

Os resultados obtidos foram satisfatórios, uma vez que o custo não foi elevado e a escala de preferências se manteve boa. Além disso, os requisitos nutricionais apresentados anteriormente foram atendidos, foi possível gerar dietas palatáveis, saudáveis, baratas e que atendiam às preferências dos alunos.

Como trabalhos futuros, pretende-se:

- Calcular as preferências alimentares por meio da fuzzificação dos resultados;
- Acrescentar uma estratégia de busca local ao NSGA-II para melhorar a exploração do espaço de soluções;
- Resolver o modelo de programação linear do problema abordado;
- Aplicação da metodologia proposta na geração dos cardápios do RU da UFOP, se possível.

## Referências

- [1] Hayda Josiane Alves and Maria Cristina Faber Boog. 2007. Comportamento alimentar em moradia estudantil: um espaço para promoção da saúde. *Revista de*

- Saúde Pública* 41 (2007), 197–204.
- [2] Joseph L Balintfy, G Terry Ross, Prabhakant Sinha, and Andris A Zoltners. 1978. A mathematical programming system for preference and compatibility maximized menu planning and scheduling. *Mathematical Programming* 15, 1 (1978), 63–76.
- [3] J. Blank and K. Deb. 2020. Pymoo: Multi-Objective Optimization in Python. *IEEE Access* 8 (2020), 89497–89509.
- [4] Sheila Campbell. 2004. Dietary reference intakes: water, potassium, sodium, chloride, and sulfate. *Clinical Nutrition Insight* 30, 6 (2004), 1–4.
- [5] Vitor Nazário Coelho, Marcone Jamilson Freitas Souza, Igor Machado Coelho, Frederico Gadelha Guimarães, and Raphael Carlos Cruz. 2012. UMA ABORDAGEM MULTIOBJETIVO PARA O PROBLEMA DE PLANEJAMENTO OPERACIONAL DE LAVRA. (2012).
- [6] National Research Council et al. 1989. Recommended dietary allowances. (1989).
- [7] Kalyanmoy Deb, Amrit Pratap, Sameer Agarwal, and TAMT Meyarivan. 2002. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE transactions on evolutionary computation* 6, 2 (2002), 182–197.
- [8] Luciana Maichaki Marçal Delinski. 2019. *Utilização da modelagem matemática multiobjetivo na geração de dieta para um restaurante universitário*. Master's thesis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa.
- [9] Tabelas de Composição Nutricional dos Alimentos. 2011. Consumidos no Brasil do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE, POF 2008-2009, Ministério da Saúde, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. *Rio de Janeiro* (2011).
- [10] Radha Gupta, Manasa Chandan, and Dr Kuntal. 2013. HEURISTIC APPROACHES IN SOLVING NON LINEAR MODEL OF LIVESTOCK RATION FORMULATION. 6 (08 2013), 2231–6604.
- [11] Mónica Hernández, Trinidad Gómez, Laura Delgado-Antequera, and Rafael Caballero. 2019. Using multiobjective optimization models to establish healthy diets in Spain following Mediterranean standards. *Oper Res Int J* (2019). <https://doi.org/10.1007/s12351-019-00499-9>
- [12] Alejandro Marrero, Eduardo Segredo, Coromoto Leon, and Carlos Segura. 2020. A Memetic Decomposition-Based Multi-Objective Evolutionary Algorithm Applied to a Constrained Menu Planning Problem. *Mathematics* 8 (11 2020), 1960. <https://doi.org/10.3390/math8111960>
- [13] Sarah I. Obsequio-Namoco, Rhoda A. Namoco, and Consorcio S. Namoco Jr. 2015. Utilizing optimization technique in the formulation and development of snacks for public secondary school students of the philippines. *Pakistan Journal of Nutrition* 14 (July 2015), 370–376. <https://doi.org/10.3923/pjn.2015.370.376>
- [14] Institute of Medicine. 2005. *Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids*. The National Academies Press, Washington, DC. <https://doi.org/10.17226/10490>
- [15] Renata Maria Padovani, Jaime Amaya-Farfán, Fernando Antonio Basile Colugnati, and Semiramis Martins Álvares Domene. 2006. Dietary reference intakes: aplicabilidade das tabelas em estudos nutricionais. *Revista de Nutrição* 19 (2006), 741–760.
- [16] Vilfredo Pareto. 1896. *Cours d'économie politique: professé à l'Université de Lausanne*. Vol. 1. F. Rouge.
- [17] Candido Pomar, François Dubeau, marie-Pierre Letourneau, C. Boucher, and Pierre-Olivier Julien. 2007. Reducing phosphorus concentration in pig diets by adding an environmental objective to the traditional feed formulation algorithm. *Livestock Science* 111 (08 2007), 16–27. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.11.011>
- [18] Marcelo Ferreira Rego. 2013. Algoritmos multiobjetivos para o problema de sequenciamento de tarefas em uma máquina com tempo de preparação dependente da sequência e da família. (2013).
- [19] João Silva, Helio Barbosa, Iago Carvalho, Vinicius Vieira, and Carolina Xavier. 2017. Um estudo comparativo entre um algoritmo genético e um algoritmo de evolução diferencial para o problema da dieta restrita em calorias.
- [20] João Gabriel Rocha Silva, Heder Soares Bernardino, Helio José Corrêa Barbosa, Iago Augusto de Carvalho, Vinicius da Fonseca Vieira, Michelli Marlane Silva Loureiro, and Carolina Ribeiro Xavier. 2017. Solving a multiobjective caloric-restricted diet problem using differential evolution. In *2017 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*. <https://doi.org/10.1109/cec.2017.7969554>
- [21] Marcia Danieli Szeremeta Spak. 2017. *Aplicação da modelagem matemática para o planejamento de cardápios para restaurantes universitários*. Ph.D. Dissertation. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa.
- [22] George Stigler. 1945. The Cost of Subsistence. *Journal of Farm Economics* 27 (01 1945), 303–314. <https://doi.org/10.2307/1231810>
- [23] Suliadi Sufahani and Zuhaimy Ismail. 2014. A new menu planning model for Malaysian secondary schools using optimization approach. *Applied Mathematical Sciences* 8 (Oct. 2014), 7511–7518. <https://doi.org/10.12988/ams.2014.49725>
- [24] NEPA TACO. 2011. Tabela brasileira de composição de alimentos. *Revista Ampliada NEPA* (2011).
- [25] Eckart Zitzler and Lothar Thiele. 1999. Multiobjective evolutionary algorithms: a comparative case study and the strength Pareto approach. *IEEE transactions on Evolutionary Computation* 3, 4 (1999), 257–271.