

Modelo Matemático para Otimização de Cardápios e Dietas

Mathematical Model for Optimization of Menus and Diets

Modelo Matemático para Optimización de Menús y Dietas

Carlos Roberto Souza Carmo

Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil

<https://orcid.org/0000-0002-3806-9228>

Guilherme Diniz de Melo

Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil

<https://orcid.org/0000-0001-7873-6219>

Resumo: Esta pesquisa teve por objetivo investigar e propor um modelo matemático de otimização voltado para a identificação de cardápios formados por refeições diárias capazes de atender aos parâmetros nutricionais estabelecidos por profissionais de nutrição, identificando composições saudáveis entre pratos principais e acompanhamentos, gastronomicamente harmonizados e diversificados, e ainda, ao menor custo possível (custo mínimo). Com base em um problema de programação linear binário, no qual assumiu-se o valor 1 (um) para as combinações de receitas de pratos (principal e acompanhamento) a serem utilizados na composição das refeições de dietas nutricionalmente parametrizadas e, conseqüentemente, na formação do cardápio mensal, ou valor 0 (zero) em caso contrário, a aplicação computacional do modelo proposto, baseada em dados reais, resultou na composição de uma dieta formada por combinações de receitas de pratos saudáveis, segundo os parâmetros nutricionais e gastronômicos estabelecidos, e ainda, que permitissem diversificar o respectivo cardápio e apurar o menor custo total possível para a referida dieta.

Palavras-chave: Minimização. Custos. Métodos quantitativos aplicados.

Abstract: This research aimed to investigate and propose a mathematical optimization model aimed at identifying menus formed by daily meals capable of meeting the nutritional parameters established by nutrition professionals, identifying healthy compositions between main dishes and side dishes, gastronomically harmonized and diversified, and yet, at the lowest possible cost (minimum cost). Based on a binary linear programming problem, in which the value 1 (one) was assumed for the combinations of dish recipes (main and side dishes) to be used in the composition of nutritionally parameterized diet meals; and value 0 (zero) otherwise, the computational application of the proposed model, based on real data, resulted in the composition of a diet formed by combinations of recipes of healthy dishes, according to the established nutritional and gastronomic parameters, and still, that

allowed diversify the respective menu and determine the lowest possible total cost for that diet.

Keywords: Minimization. Costs. Quantitative methods applied.

Resumen: Esta investigación tuvo como objetivo investigar y proponer un modelo de optimización matemática encaminado a identificar menús formados por comidas diarias capaces de cumplir con los parámetros nutricionales establecidos por los profesionales de la nutrición, identificando composiciones saludables entre platos principales y guarniciones, gastronómicamente armonizadas y diversificadas, y sin embargo, al mismo tiempo. menor costo posible (costo mínimo). Basado en un problema de programación lineal binaria, en el que se asumió el valor 1 (uno) para las combinaciones de recetas de platos (platos principales y guarniciones) a ser utilizados en la composición de comidas dietéticas nutricionalmente parametrizadas y, consecuentemente, en la formación de los menú mensual, o valor 0 (cero) en caso contrario, la aplicación computacional del modelo propuesto, basado en datos reales, dio como resultado la composición de una dieta formada por combinaciones de recetas de platos saludables, de acuerdo a los parámetros nutricionales y gastronómicos establecidos, y aun así, eso permitió diversificar el menú respectivo y determinar el menor costo total posible para la referida dieta.

Palabras clave: Minimización. Costos. Métodos cuantitativos aplicados.

Introdução

Os profissionais da área de nutrição enfrentam grandes desafios ao planejarem suas ações e tomarem decisões relacionadas a intervenções junto aos seus pacientes e, dessa forma, surgem alguns dos questionamentos e dúvidas recorrentes acerca do processo de elaboração de dietas diante da diversidade de alimentos e seus nutrientes, e ainda, sobre como seria possível minimizar custos dessas dietas (BABU; GAJANAN, 2021).

Além da perspectiva financeira, existe uma série de riscos relacionados ao planejamento de uma dieta que, se mal dimensionada, pode gerar consequências negativas a médio e longo prazo. Pois, dietas mal planejadas podem constituir-se em fatores de riscos que elevam a incidência de doenças crônicas não transmissíveis (DCNT), por exemplo, diabetes tipo 2, doença de Alzheimer e outras demências, doenças cardiovasculares, entre outras (ALU'DATT *et al.*, 2022).

Por outro lado, a despeito da grande quantidade de informações disponíveis *on-line*, o paciente se vê desafiado a encontrar receitas com ingredientes que se ajustem a um determinado conjunto de nutrientes e, simultaneamente, atendam a parâmetros nutricionais de uma dieta saudável; sendo que, tal tarefa torna-se especialmente complicada uma vez que grande parte dessas receitas podem ser consideradas insalubres (CHEN, *et al.*, 2020).

Isso acontece porque a maioria das receitas não seguem parâmetros nutricionais recomendados por profissionais de nutrição e agências internacionais de alimentos, e ainda, no caso específico das receitas *on-line* existe uma correlação negativa entre as classificações (avaliações) recebidas e os parâmetros nutricionais considerados saudáveis, pois os fatores relacionados aos processos de recomendação gastronômica gerada por votos refletem os níveis de preferências do grupo avaliador, e isso, normalmente, tende a ser diferente da demanda individual por nutrientes relacionada a cada praticante de determinada dieta (CHEN, *et al.*, 2020).

Nesse contexto, a presente pesquisa teve por objetivo investigar e propor um modelo matemático de otimização voltado para a identificação de cardápios formados por refeições diárias (almoços ou jantares, por exemplo) capazes de atender aos parâmetros nutricionais estabelecidos por profissionais de nutrição, identificando composições saudáveis entre pratos principais e acompanhamentos, gastronômicamente harmonizados e diversificados, e ainda, ao menor custo possível (custo mínimo).

Para que isso fosse possível, inicialmente, foi realizado o embasamento teórico da pesquisa, no qual, buscou-se analisar o relacionamento entre hábitos alimentares e saúde, as dificuldades relacionadas ao processo de diversificação alimentar e a manutenção da qualidade nutricional de dietas baseadas em refeições das mais variadas composições, e ainda, como a modelagem matemática e as implementações computacionais podem ser úteis à tomada de decisões relacionadas ao planejamento de dietas.

Na sequência, foi pesquisado e proposto um modelo matemático de otimização baseado em programação linear com variáveis de decisão do tipo binária. Ou seja, o modelo proposto teve com base um problema de programação linear no qual assume-se o valor 1 (um) para uma determinada combinação de receitas de pratos (principal e acompanhamento) a serem utilizados na composição das refeições de dietas nutricionalmente parametrizadas; ou, assume-se o valor 0 (zero) em caso contrário. Sendo que, à solução final do problema resulta na composição de uma dieta em que só interessam as combinações de receitas de pratos do tipo 1, pois seriam aquelas que atendem a parâmetros nutricionais e gastronômicos considerados saudáveis, e ainda, que permitem diversificar o respectivo cardápio e apurar o menor custo total possível para a referida dieta.

Após a proposição do modelo matemático de otimização alvo de estudo nesta pesquisa, foram realizados testes computacionais para sua validação mediante análises baseadas nos dados reais fornecidos por uma empresa de *food service* que opera sob o modelo de negócios do tipo *dark kitchen*, no segmento de alimentação *fitness* preparada com produtos orgânicos.

Ao final, além da validação do modelo proposto, foi mensurado qual seria o custo incremental, no total de dieta e a média por refeição, em decorrência do processo de diversificação alimentar; uma vez que todos os parâmetros nutricionais e gastronômicos deveriam ser garantidos a partir da aplicação da modelagem de otimização alvo desta investigação científica de natureza empírica baseada em métodos quantitativos aplicados.

Referencial Teórico

O consumo excessivo de alimentos cada vez mais ricos em açúcares e gorduras saturadas, com alto valor calórico e processados, tornou-se a base da maioria dos sistemas alimentares mundiais, o que tem levado a população à distúrbios e dietas desequilibradas, e ainda, têm feito com que as doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) atingissem a condição de problema de saúde mundial (FUCHS *et al.*, 2020; GURUGUBELLI *et al.*, 2022; HO *et al.*, 2022; SCHOMAKER; VRIENS; JARVA, 2022).

Ao ajudar a prevenir doenças, bons hábitos alimentares são fundamentais para a melhora da qualidade de vida da população mundial (FUCHS *et al.*, 2020), o que tem feito com que a atenção aos conceitos e práticas relacionados a uma alimentação equilibrada tenha se elevado consideravelmente nos últimos anos (HO *et al.*, 2022).

A identificação de alimentos saudáveis e seus sucedâneos por meio de tabelas e bases de dados de composição alimentar são recursos imprescindíveis aos profissionais de nutrição e aos seus pacientes, bem como, a educadores os vários atores dos sistemas de alimentação e saúde. Pois, as listas de trocas (substituições) de alimentos projetadas para o controle das DCNT são ferramentas fundamentais do processo de prevenção (ALU'DATT *et al.*, 2022).

Ao caracterizarem as variações na ingestão alimentar das populações, os padrões alimentares auxiliam os profissionais de nutrição na compreensão das relações entre dieta e doenças (GURUGUBELLI *et al.*, 2022). Contudo, os aspectos que influenciam as preferências alimentares estão relacionados a fatores das mais variadas naturezas, indo desde a afiliação geográfica e cultural (CHEN, *et al.*, 2020), passando pelas intervenções de ações de marketing, condições climáticas e atmosféricas, até alterações hedônicas e fatores psicológicos (SPENCE, 2021).

Ao conjunto de fatores capazes de direcionar a preferência por determinados alimentos em diferentes refeições acrescenta-se o fato de que a quantidade de energia fornecida por cada nutriente é diferente. Ou seja, um grama de gordura fornece nove quilocalorias, um grama de proteína fornece quatro quilocalorias e um grama de carboidrato fornece quatro quilocalorias (HO *et al.*, 2022). Isso torna a necessidade de equilibrar o consumo de calorias e nutrientes um problema ainda mais complexo, uma vez

que ele é influenciado por questões tanto de natureza qualitativa quanto quantitativa (HO *et al.*, 2022).

Nesse contexto, um sistema de substituições poderia ajudar a simplificar o planejamento das refeições e, assim, ajudar a garantir uma dieta nutritiva e equilibrada, além de adicionar diversificação a partir da classificação dos componentes das refeições em grupos intercambiáveis (ALU'DATT *et al.*, 2022).

Cabe observar que um sistema de substituições de alimentos não implica na adoção de determinada receita ou, muito menos, na sua intercalação ou alternância, pois, conforme observado por Chen *et al.* (2020), as receitas demandam a combinação de alimentos e isso nem sempre ocorre de maneira harmônica e nutricionalmente viável.

Segundo Chen *et al.* (2020), o grande problema das receitas de caráter geral, e principalmente daquelas disponíveis *on-line*, é que não se leva em consideração o processo de conclusão da receita. Ou seja, a conclusão de uma receita demanda o conhecimento das relações entre os seus ingredientes e isso é frequentemente ignorado, especialmente no processo de recomendação (avaliação) de receitas *on-line*, no qual as receitas consideradas melhores avaliadas quase sempre não são as mais saudáveis (CHEN *et al.*, 2020).

Além disso, destaca-se o fato de que a nutrição é uma questão bem mais ampla que a simples preferência por esse ou aquele alimento preparado de uma determinada maneira. Isso sem levar em conta as necessidades nutricionais individuais que são direcionadas a partir de uma série fatores clínicos, pessoais, emocionais, entre tantos outros. Dessa forma, é preciso considerar que as receitas são compostas por um conjunto de ingredientes com propriedades nutricionais distintas que são diretamente afetadas pela respectiva forma de preparo, e ainda, pela combinação desses mesmos ingredientes.

Diante do exposto, é possível inferir que a construção de planos de refeições personalizados ou coletivos não é uma tarefa simples. Ao adicionar a esse desafio um conjunto de variáveis de natureza individual propriamente ditas (idade, peso, objetivos e demandas nutricionais), e ainda, uma diversidade de ingredientes utilizáveis em diferentes tipos de preparos, sem perder de vista o respectivo custo, a tarefa em questão tornar-se-ia impossível, para dizer o mínimo.

Se assim não o é (impossível), muito se deve à quantidade e à qualidade de estudos já realizados que utilizaram a programação matemática e a implementação computacional para solucionar esse tipo de problema (ALU'DATT *et al.*, 2022; GURUGUBELLI *et al.*, 2022; HO *et al.* 2022).

Desde a proposição do clássico problema da dieta em 1945 (STIGLER, 1945) e a utilização do método SIMPLEX em 1947 (NASH, 2000), até a utilização dos métodos heurísticos e computacionais nos dias atuais, foram várias as aplicações de programação

matemática e implementação computacional desenvolvidas com vistas à solução de problemas relacionados à alimentação e nutrição (MELO; CARMO, 2021), com destaque para os estudos de Stigler (1945, *apud* OLIVEIRA; BORGES; SILVA, 2020), Wilcke (1973, *apud* HO *et al.* 2022), Anderson *et al.* (1983, *apud* HO *et al.* 2022), Alani *et al.* (2019, *apud* HO *et al.* 2022) e Hall (2020, *apud* HO *et al.* 2022). Sendo que, no contexto nacional, destacam-se as pesquisas de Fernandes e Longhini (2021), Oliveira, Borges e Silva (2020), Verly-Junior *et al.* (2021), entre outros.

Conforme observam Alu'datt *et al.* (2022), as inovações e avanços tecnológicos estimularam o uso de implementações computacionais (baseadas em programação matemática) voltadas para a produção de novas ferramentas em ciência comportamental e nutricional. Nesse sentido, a utilização de sistemas de gestão nutricional pode apoiar cada vez mais comportamentos alimentares saudáveis, nos quais, uma das principais características requeridas é a flexibilidade voltada para a escolha de uma variedade de alimentos (ALU'DATT *et al.*, 2022).

Dessa forma, a modelagem matemática proposta nesta investigação científica leva em conta um conjunto de fatores que podem ser considerados como variáveis-chave do processo de planejamento otimizado de refeições voltado para a identificação de cardápios de refeições diárias que sejam capazes de atender a parâmetros nutricionais previamente estabelecidos, de maneira a identificar um conjunto de refeições saudáveis, gastronomicamente harmonizadas e diversificadas, e ainda, ao menor custo possível. Assim, espera-se que a presente pesquisa possa contribuir para a identificação de um sistema de apoio à tomada de decisões na gestão e planejamento nutricionais, viabilizando e estimulando comportamentos alimentares saudáveis a partir da seleção de receitas para a composição de cardápios voltados para a implementação de dietas, individuais e coletivas, tanto do ponto de vista dos profissionais de nutrição e empresários do ramo de alimentação, quanto dos seus pacientes e clientes.

Modelo Matemático de Otimização de Cardápios e Dietas

Com o objetivo de identificar as possíveis combinações envolvendo receitas de pratos principais (j) e acompanhamentos (k) destinados à composição de cardápios com refeições (i) voltadas para a elaboração de uma dieta baseada em parâmetros nutricionais considerados saudáveis, ao menor custo possível, o modelo pesquisado e proposto nesta investigação científica pode ser descrito a partir da função objetivo representada pela Equação 1 e está sujeito às restrições caracterizadas pelas Equações 2 a 25, cujos índices, variáveis e parâmetros estão descritos no Quadro 1.

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o X_{ijk} (C_j + C_k) \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o Q_j \text{Ekcal}_j X_{ijk} \leq \text{ENRG}_j, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o Q_j \text{Pg}_j X_{ijk} \geq \text{PROTNmin}_j, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o Q_j \text{Pg}_j X_{ijk} \leq \text{PROTNmax}_j, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o Q_j \text{Lg}_j X_{ijk} \leq \text{LIPID}_j, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o Q_j \text{CLmg}_j X_{ijk} \leq \text{COLST}_j, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o Q_j \text{CBg}_j X_{ijk} \geq \text{CARBmin}_j, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o Q_j \text{CBg}_j X_{ijk} \leq \text{CARBmax}_j, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o Q_j \text{Fg}_j X_{ijk} \geq \text{FIBR}_j, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o Q_k \text{Ekcal}_k X_{ijk} \leq \text{ENERG}_k, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o Q_k \text{Pg}_k X_{ijk} \geq \text{PROTNmin}_k, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o Q_k P g_k X_{ijk} \leq PROT Nmax_k, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o Q_k L g_k X_{ijk} \leq LIPID_k, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o Q_k CLm g_k X_{ijk} \leq COLST_k, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o Q_k CB g_k X_{ijk} \geq CARBmin_k, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o Q_k CB g_k X_{ijk} \leq CARBmax_k, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (16)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o Q_k F g_k X_{ijk} \geq FIBR_k, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o Harm X_{ijk} = 1, \text{ em que } \begin{cases} Harm = 1, \text{ se } j \text{ e } k \text{ harmonizam} \\ Harm = 0, \text{ em caso contrário} \end{cases} \quad (18)$$

$$\sum_{j=1}^n C_j X_{ijk} = C_j X_{ijk}, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (19)$$

$$\sum_{j=1}^n C_j X_{ijk} \geq C_j X_{ijk} + 0,00001, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (20)$$

$$\sum_{k=1}^o C_k X_{ijk} = C_k X_{ijk}, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (21)$$

$$\sum_{k=1}^o C_k X_{ijk} \geq C_k X_{ijk} + 0,00001, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (22)$$

$$C_j = \left(\frac{Qcc_j}{(FCOR_j FCOC_j)} \right) PRCcg_j + Cpo_j \quad (23)$$

$$C_k = \left(\frac{Qca_k}{(FCOR_k FCO C_k)} \right) PRCag_k + Cao_k \quad (24)$$

$$X_{ijk} \in \{0; 1\}, \quad i = \{1, \dots, m\} \quad j = \{1, \dots, n\}, \quad k = \{1, \dots, o\} \quad (25)$$

A função objetivo descrita pela Equação 1 tem por finalidade minimizar o custo total da dieta, identificado mediante o somatório (Σ) do custo (C) dos pratos principais (j) com os custos (C) dos acompanhamentos (k) a serem utilizados em cada refeição realizada ao longo de períodos (i) de dieta. Para tanto, ela está sujeita à restrições de 3 naturezas distintas: **restrições nutricionais** (Equações 2, ..., 9 para pratos principais e Equações 10, ..., 17 para acompanhamentos); **restrição para harmonização** gastronômica e/ou nutricional (Equação 18); e, **restrições para diversificação** (Equações 19 e 20 para pratos principais e Equações 21 e 22 para acompanhamentos).

Quadro 1 – Descrição das variáveis, índices e parâmetros do modelo

Legenda	Categoria	Descrição
$i= 1, \dots, m$	índice	índice representativo dos dias de dieta ou de duração do cardápio.
$j= 1, \dots, n$	índice	índice representativo dos tipos de pratos principais utilizados em cada refeição.
$k= 1, \dots, o$	índice	índice representativo dos tipos de acompanhamento utilizado em cada refeição.
X_{ijk}	Variável de decisão	variável de decisão binária, em que o valor 1 (um) identifica o tipo de prato principal (j) e o tipo de acompanhamento (k) a serem utilizados na composição das refeições de cada dia de dieta (i), sendo 0 (zero) em caso contrário (combinação de prato principal e acompanhamento não utilizados no cardápio da dieta).
C	Parâmetro	preço de custo (R\$ g^{-1}).
Q	Parâmetro	quantidade do prato principal ou quantidade de acompanhamento utilizados em cada refeição (g unidade $^{-1}$).
$Ekcal$	Parâmetro	quantidade unitária (g) de calorias por grama ($kcal g^{-1}$) de prato principal ou acompanhamento.
$ENRG$	Parâmetro	quantidade máxima de calorias recomendada para o prato principal/accompanhamento, por refeição ($kcal$ unidade $^{-1}$).
Pg	Parâmetro	quantidade unitária (g) de proteínas por grama (g^{-1}) de prato principal ou acompanhamento.
$PROTNmin$	Parâmetro	quantidade mínima (g) de proteínas recomendada por prato principal/accompanhamento, por refeição (g unidade $^{-1}$).
$PROTNmax$	Parâmetro	quantidade máxima (g) de proteínas recomendada por principal/accompanhamento, por refeição (g unidade $^{-1}$).
Lg	Parâmetro	quantidade unitária (g) de lipídeos por grama (g^{-1}) de prato principal ou acompanhamento.
$LIPID$	Parâmetro	quantidade máxima (g) de lipídeos recomendada por principal/accompanhamento, por refeição (g unidade $^{-1}$).
$CLmg$	Parâmetro	quantidade unitária (mg) de colesterol por grama (mg^{-1}) de prato principal ou acompanhamento.
$COLST$	Parâmetro	quantidade máxima (mg) de colesterol recomendada por principal/accompanhamento, por refeição (mg unidade $^{-1}$).
CBg	Parâmetro	quantidade unitária (g) de carboidratos por grama (g^{-1}) de prato principal ou acompanhamento.
$CARBmin$	Parâmetro	quantidade mínima (g) de carboidratos recomendada por principal/accompanhamento, por refeição (g unidade $^{-1}$).
$CARBmax$	Parâmetro	quantidade máxima (g) de carboidratos recomendada por principal/accompanhamento, por refeição (g unidade $^{-1}$).

<i>Fg</i>	Parâmetro	quantidade unitária (<i>g</i>) de fibras alimentares por grama (g^{-1}) de prato principal ou acompanhamento.
<i>FIBR</i>	Parâmetro	quantidade máxima (<i>g</i>) de fibras alimentares recomendada por principal/acompanhamento, por refeição (g unidade ⁻¹).
<i>Harm</i>	Parâmetro	parâmetro binário que indica a harmonização gastronômica e/ou nutricional entre um determinado tipo de prato principal (<i>j</i>) e um determinado tipo de acompanhamento (<i>k</i>); em que, o valor 1 (um) identifica que um tipo de prato principal (<i>j</i>) pode ser combinado com um certo tipo de acompanhamento (<i>k</i>) em uma refeição, e 0 (zero) em caso contrário (combinação de prato principal e acompanhamento não compatíveis).
<i>Qcc</i>	Parâmetro	quantidade de carne <i>in natura</i> utilizada na preparação de cada prato principal utilizado em uma refeição (g unidade ⁻¹).
<i>FCOR</i>	Parâmetro	fator de correção que indica a perda de peso da carne <i>in natura</i> (1 – perda %) em função do processo da remoção de partes de carne consideradas inadequadas (por exemplo, aparas devido a gordura em excesso), portanto, é o fator que permite identificar a quantidade de carne <i>in natura</i> que será efetivamente preparada para consumo/alimentação.
<i>FCOC</i>	Parâmetro	fator de cocção que indica a perda de peso da carne <i>in natura</i> já limpa, (1 – perda %) em função do processo de preparo (cocção) para consumo/alimentação (cozimento, grelha, etc.).
<i>PRCcg_j</i>	Parâmetro	preço de compra (R\$ g^{-1}) da carne <i>in natura</i> (<i>j</i>) utilizada em determinada receita de prato principal (<i>j</i>).
<i>Cpco_j</i>	Parâmetro	preço de custo (R\$ $prato\ principal^{-1}$) dos outros ingredientes da preparação de determinada receita de prato principal (<i>j</i>).
<i>Qca</i>	Parâmetro	quantidade de ingrediente principal utilizado na preparação de cada acompanhamento(<i>k</i>) utilizado em uma refeição (g unidade ⁻¹).
<i>PRCag_k</i>	Parâmetro	preço de compra (R\$ g^{-1}) do ingrediente principal utilizado em determinada receita de acompanhamento (<i>k</i>).
<i>Caok</i>	Parâmetro	preço de custo (R\$ $acompanhamento^{-1}$) dos outros ingredientes da preparação de determinada receita de acompanhamento (<i>k</i>).

Fonte: elaborado pelos autores a partir dos dados pesquisa.

As restrições de natureza nutricional têm por finalidade garantir que as quantidades mínimas e/ou máximas recomendadas para os nutrientes (calorias, proteínas, lipídeos, colesterol, carboidratos e fibras alimentares) sejam respeitadas, de acordo com as receitas analisadas para identificação dos pratos principais (Equações 2, ..., 9) e seus acompanhamentos (Equações 10, ..., 17).

A restrição de harmonização descrita pela Equação 18 garante que somente sejam realizadas composições de receitas entre pratos principais e acompanhamentos que sejam compatíveis, tanto do ponto de vista gastronômico quanto nutricional. Sendo que, ela pode ser implementada para quantas combinações forem necessárias mediante a simples atribuição de valor 0 (zero) para aquelas consideradas incompatíveis e 1 (um) para as compatíveis.

As restrições para diversificação dos pratos principais (Equações 19 e 20) e dos acompanhamentos (Equações 21 e 22) têm por finalidade garantir que as combinações somente sejam repetidas, ou não, de acordo com o intervalo de tempo estabelecido pelo usuário. Ou seja, uma vez que a função objetivo (Equação 1) buscará minimizar o custo total (Σ), e para isso ela identifica o menor custo individual (C_j e C_k), as restrições descritas pela Equações 19 e 21 identificam o prato principal (*j*) e o acompanhamento (*k*), respectivamente, de menor custo (*C*). A seguir, as Equações 20 e 22 garantem que seja

identificada a combinação de prato principal (j) e o acompanhamento (k), respectivamente, com o segundo menor custo, pois, foi acrescentado um milésimo de centavo ($0,00001$) ao custo da combinação escolhida anteriormente, e assim sucessivamente para quantos dias (i) forem necessários diversificar (variar) os pratos principais (j) e/ou acompanhamentos (k).

As Equações 23 e 24 são utilizadas para cálculo do custo (C) dos pratos principais (j) e acompanhamentos (k), respectivamente, cujas receitas estão sendo avaliadas pelo modelo.

Em relação ao cálculo do custo dos pratos principais (C_j), na Equação 23, assumiu-se o pressuposto de que pratos principais seriam preparados à base de carne (bovina, suína, frango, peixe, etc), pois, culturalmente, uma parcela expressiva das receitas são baseadas nesse tipo de ingrediente (CARMO *et al.*, 2021; RIBEIRO; CORÇÃO, 2013, GASPAR, 2021). Adicionalmente, levou-se em conta que a carne sofre perdas em função da sua preparação para consumo e em decorrência do seu cozimento, o que torna necessário ajustar as respectivas quantidades compradas levando-se em conta tais perdas (MELO; CARMO, 2021; RIBEIRO *et al.*, 2015). Por isso, fez-se o uso dos fatores de correção (FCOR) e de cocção (FCOC) e dos respectivos preços de compra *in natura*, conforme proposto por Ribeiro *et al.* (2015) e Melo e Carmo (2021). Em relação ao custo das respectivas preparações (C_{c_j}), por se tratar de temperos e adições de naturezas diversas utilizados em quantidades bem menos significativas, levou-se em conta apenas o respectivo custo total da preparação do prato principal propriamente dito.

Em relação ao cálculo do custo dos acompanhamentos (C_k), na Equação 24, assumiu-se uma premissa análoga àquela utilizada para a carne no prato principal, porém, aplicada ao ingrediente principal do acompanhamento, tanto em relação à sua quantidade *in natura* quanto ao seu preço de compra. Contudo, em relação aos respectivos fatores FCOR e FCOC, o que se observa é que os ingredientes dos acompanhamentos têm comportamento inverso ao da carne, isso é, os processos de preparação e cocção, bem como, as combinações com outros ingredientes fazem que eles aumentem o respectivo volume. Em relação ao custo das preparações ($C_{a_{ok}}$), por se tratar de temperos e adições de naturezas diversas, utilizados em quantidades bem menos significativas, levou-se em conta apenas o respectivo custo total na preparação.

Finalmente, a Equação 25 descreve a composição dos conjuntos referentes à variável de decisão binária (X_{ijk}), aos dias de dieta (i) para composição do cardápio, aos pratos principais (j) e os seus possíveis acompanhamentos (k).

Base de Dados e Testes Computacionais

Para validação do modelo proposto foram realizados testes computacionais com dados reais fornecidos por uma empresa de *food service* que opera sob o modelo de negócios do tipo *dark kitchen*, no segmento de alimentação *fitness* preparada com produtos orgânicos na cidade Uberlândia-MG. A empresa em questão opera somente em dias úteis, durante o horário de almoço, e vende uma média de 4.000 marmitas/refeições por mês, cujos parâmetros individuais seguem a composição descrita no Quadro 2, tanto em termos nutricionais quanto em relação às porções utilizadas nas refeições.

Quadro 2 – Parâmetros nutricionais utilizados para composição das refeições

Refeição Parâmetros	Prato principal (j)		Acompanhamento (k)	
	Mínimo (min)	Máximo (max)	Mínimo (min)	Máximo (max)
Carboidrato (g) ou <i>CARB</i>	0,00	0,00	18,00	45,00
Proteína (g) ou <i>PROT</i>	22,00	45,00	0,00	0,00
Fibra alimentar (g) ou <i>FIBR</i>	0,00	0,00	1,30	0,00
Lipídeos (g) ou <i>LIPID</i>	0,00	18,00	0,00	9,00
Energia (Kcal) ou <i>ENRG</i>	0,00	342,00	0,00	261,00
Colesterol (mg) ou <i>COLST</i>	0,00	268,00	0,00	132,00
Porção refeição ⁻¹ (g) ou <i>Q</i>	0,00	150,00	0,00	140,00

Fonte: elaborado pelos autores a partir dos dados pesquisa.

Os pratos principais de cada marmita/refeição são elaborados à base de carne e seguem a escala diária e os parâmetros de harmonização gastronômica descritos no Quadro 3. Sendo que, a referida harmonização foi estabelecida pelo chefe de cozinha da empresa a partir do histórico de pedidos dos clientes.

Quadro 3 – Ingredientes dos pratos principais utilizados para composição das refeições diárias

<i>i</i>	Dia	Tipo de carne	<i>i</i>	Dia	Tipo de carne	<i>i</i>	Dia	Tipo de carne
1	Semana 1: 1º dia	bovina	11	Semana 2: 4º dia	suína	21	Semana 3: 7º dia	suína
2	Semana 1: 2º dia	suína	12	Semana 2: 5º dia	frango	22	Semana 4: 1º dia	frango
3	Semana 1: 3º dia	frango	13	Semana 2: 6º dia	peixe	23	Semana 4: 2º dia	bovina
4	Semana 1: 4º dia	bovina	14	Semana 2: 7º dia	bovina	24	Semana 4: 3º dia	suína
5	Semana 1: 5º dia	suína	15	Semana 3: 1º dia	suína	25	Semana 4: 4º dia	frango
6	Semana 1: 6º dia	frango	16	Semana 3: 2º dia	frango	26	Semana 4: 5º dia	peixe
7	Semana 1: 7º dia	bovina	17	Semana 3: 3º dia	bovina	27	Semana 4: 6º dia	bovina
8	Semana 2: 1º dia	suína	18	Semana 3: 4º dia	suína	28	Semana 4: 7º dia	suína
9	Semana 2: 2º dia	frango	19	Semana 3: 5º dia	frango	29	Semana 5: 1º dia	frango
10	Semana 2: 3º dia	bovina	20	Semana 3: 6º dia	bovina	30	Semana 5: 2º dia	bovina
Relação de incompatibilidades (harm = 0)								
Tipos de carnes				Ingredientes principais de acompanhamentos				
bovina				feijão				
frango				feijão, grão de bico e lentilha				
peixe				feijão, cará, grão de bico, inhame e lentilha				

Fonte: elaborado pelos autores a partir dos dados pesquisa.

A empresa trabalha com 16 tipos de carnes grelhadas para composição dos seus pratos principais, segundo os parâmetros nutricionais e custos detalhados no Quadro 4.

Quadro 4 – Parâmetros nutricionais e custos dos ingredientes base utilizados nos pratos principais

<i>j</i>	Descrição	Energia (kcal)	Protein. (g)	Lipid. (g)	Colest. (mg)	Carb. (g)	Fibra (g)	Fator de cocção	Fator de correção	Preço (<i>C_j</i>) (R\$100 g ⁻¹)
1	contrafilé	156,62	24,00	6,01	59,46	0,00	0,00	0,700	0,813	3,50
2	coxão mole	169,07	21,23	8,70	83,82	0,00	0,00	0,700	0,952	2,85
3	filé mignon	142,87	21,60	5,62	54,77	0,00	0,00	0,700	0,613	4,70
4	lagarto	134,87	20,55	5,23	55,79	0,00	0,00	0,700	0,869	2,79
5	maminha	152,77	20,94	7,03	50,80	0,00	0,00	0,700	0,793	2,99
6	miolo de alcatra	162,88	21,61	7,83	60,37	0,00	0,00	0,700	0,884	3,00
7	patinho	133,47	21,73	4,52	55,61	0,00	0,00	0,700	0,840	3,42
8	lombo	175,63	22,61	8,77	55,39	0,00	0,00	0,750	0,840	1,88
9	pernil	186,06	20,13	11,10	58,69	0,00	0,00	0,750	0,840	1,92
10	peito, sem pele	119,16	21,53	3,02	58,69	0,00	0,00	0,800	0,917	1,50
11	sobrecoxa	161,80	17,57	9,62	84,09	0,00	0,00	0,800	0,763	1,30
12	cação, posta	83,34	17,86	0,79	36,13	0,00	0,00	0,650	0,847	2,25
13	corvina do mar	94,00	18,57	1,59	67,07	0,00	0,00	0,650	0,840	1,90
14	dourada de água doce	131,21	18,82	5,65	51,99	0,00	0,00	0,650	0,847	2,66
15	pescada, filé	107,21	16,65	4,01	64,84	0,00	0,00	0,650	0,840	2,11
16	pintado	91,09	18,56	1,32	50,30	0,00	0,00	0,650	0,793	2,80

Fonte: elaborado pelos autores a partir dos dados pesquisa.

Em relação aos acompanhamentos para composição das marmitas/refeições, a empresa utiliza um total de 81 receitas à base de 4 grupos de ingredientes principais, além de legumes e outros componentes de menor relevância, ou seja: arroz (integral e normal); massas (integral e normal); tubérculos; e oleaginosas.

Os parâmetros nutricionais e os custos das receitas dos acompanhamentos utilizados pela empresa podem ser observados pela descrição exemplificada no Quadro 5, no qual, foram apresentados os parâmetros de apenas 10 exemplos das receitas de acompanhamentos, pois seria inviável reproduzir os parâmetros de todas as 81 receitas utilizadas pela empresa.

Quadro 5 – Parâmetros nutricionais e custos dos ingredientes base utilizados nos acompanhamentos

<i>k</i>	Descrição	Energia (kcal)	Protein. (g)	Lipid. (g)	Colest. (mg)	Carb. (g)	Fibra (g)	Fator de cocção	Fator de correção	Preço (<i>C_k</i>) (R\$100 g ⁻¹)
1	arroz carreteiro, com arroz integral cozido	153,78	10,83	7,13	0,00	11,59	1,51	4,600	2,000	2,90
15	risoto de couve, com arroz cateto cozido	174,00	2,61	6,60	20,00	21,69	1,00	4,000	2,000	2,02
23	macarrão integral com molho vermelho	83,00	3,05	0,47	0,00	16,76	1,40	5,000	2,000	0,11
35	nhoque de batata ao sugo	132,31	3,17	3,51	0,00	21,80	1,70	3,680	2,000	1,95
42	batata baroa cozida com molho branco	85,42	2,96	4,17	0,00	16,72	0,88	2,300	2,000	2,34
61	cará cozido com ervas	77,93	2,00	0,35	0,00	19,46	4,04	1,90	4,820	1,06
65	inhame cozido com ervas	97,00	2,07	0,45	0,00	23,49	3,11	2,280	4,280	1,10

74 ...	feijão tropeiro mineiro, com feijão carioca cozido	151,57	10,18	6,80	0,00	19,59	3,58	4,1500	2,000	2,15
76 ...	tutu de feijão carioca com couve e farinha de mandioca	89,64	2,98	3,00	0,00	16,05	10,42	4,120	2,000	1,69
80 ...	lentilha refogada com tomate cereja	82,41	3,92	1,87	0,00	9,91	8,87	3,030	2,000	1,96

Fonte: elaborado pelos autores a partir dos dados pesquisa.

Todas as informações utilizadas para os testes computacionais foram previamente analisadas e tecnicamente validadas pelo nutricionista da empresa. Sendo que, o referido profissional de nutrição declarou que a escolha das composições de pratos principais e acompanhamentos das refeições se processa de maneira subjetiva, baseada no seu conhecimento empírico e, portanto, sem levar em conta um critério de avaliação objetiva baseada em dados quantitativos que pudesse ser adotado de maneira uniforme para todas as situações comerciais possíveis.

Para a solução do modelo proposto foi utilizado um computador com processador Intel® Core™ i3-1005 G1, CPU @ 1.20 GHz e 1.19 GHz, com 4,00 GB de memória RAM instalada, e ainda, com o auxílio do pacote analítico OpenSolver (Copyright © 2011-2017), versão 2.9.3, de 01/03/2020 (MASON, 2011).

Análise dos Dados e Resultados

Uma vez definidos os grupos gerais de ingredientes dos pratos principais utilizados para composição das refeições diárias à base de carne (bovina, suína, frango e peixe), conforme descrito anteriormente no Quadro 3, o modelo proposto buscou identificar, dentre as opções descritas anteriormente no Quadro 4, o tipo de carne que permitisse minimizar o custo das refeições, e ainda, procurou realizar combinações de acompanhamentos possíveis dentro do conjunto das 81 receitas utilizadas pela empresa, exemplificadas anteriormente no Quadro 5, sempre respeitando os parâmetros gastronômicos de harmonização e de nutrição previamente estabelecidos como restrições à função objetivo.

Na primeira análise realizada, além das demais restrições do modelo, foram utilizadas as restrições para diversificação dos pratos principais (Equações 19 e 20) durante 3 dias seguidos (i , $i+1$, $i+2$), sendo repetidas a cada 13 dias para as opções de carne de peixe ($i=13$ e $i=26$), segundo a solicitação da empresa. Isso fez com que ocorresse a diversificação do grupo animal da carne, sem a diversificação de cortes/tipos, mas, como esse é o sistema de trabalho da empresa, ele foi integralmente respeitado.

Ainda nessa primeira análise, e em caráter experimental, não foram aplicadas as restrições para diversificação dos acompanhamentos (Equações 21 e 22), de tal forma que,

foi diversificado o tipo/grupo animal da carne, não foi diversificado o tipo de corte de carne, e ainda, experimentalmente, não foi diversificado o acompanhamento.

Na segunda análise, foi repetido o procedimento de diversificação dos tipos/grupos animais de carne, sem diversificação de cortes, porém, foram aplicadas as restrições para diversificação dos acompanhamentos (Equações 21 e 22) em todos os dias e de maneira sequencial. Ou seja, o modelo foi implementado com uma diversificação que demandava 30 acompanhamentos diferentes, portanto, um acompanhamento diferente a cada dia.

Assim, conforme pode ser observado na Tabela 1, a variável de decisão (X_{ijk}) tem seus dois primeiros índices idênticos (i e j), tanto na coluna das informações “**sem diversificação**” quanto na coluna “**com diversificação diária**”. Isso acontece porque o índice i diz respeito aos dias de planejamento da dieta e o índice j diz respeito ao prato principal à base de carne, e eles foram iguais em ambas as análises.

Por outro lado, o terceiro índice (k) da variável de decisão (X_{ijk}) é distinto, pois na primeira análise não houve diversificação do acompanhamento e na segunda isso ocorreu a diversificação diariamente. Isso é, na primeira análise, a proposição de dieta identificada pelo modelo diversificaria a carne diariamente, contudo, manteria o mesmo acompanhamento, que no caso seria o “macarrão integral e molho vermelho” (veja a coluna “**sem diversificação**” na Tabela 1). Ao passo que, na segunda análise, a proposição de dieta identificada pelo modelo diversificaria a carne diariamente e diversificaria também acompanhamento diariamente, (veja a coluna “**com diversificação diária**” na Tabela 1).

Tabela 1 – Cardápio mensal de uma refeição dia⁻¹ (almoço) identificado com base no modelo

Dia	Prato principal (150 g)	Sem diversificação		Com diversificação diária	
		X_{ijk}	Acompanhamento (140 g)	X_{ijk}	Acompanhamento (140 g)
1º	coxão mole bov. grelhado	1 2 23	macarrão int. e molho vermelho	1 2 23	macarrão int. e molho vermelho
2º	lombo suíno grelhado	2 8 23	macarrão int. e molho vermelho	2 8 56	batata inglesa sauté
3º	peito de frango grelhado	3 10 23	macarrão int. e molho vermelho	3 10 33	macarrão int. e legumes
4º	coxão mole bov. grelhado	4 2 23	macarrão int. e molho vermelho	4 2 32	macarrão int. e molho de ricota
5º	lombo suíno grelhado	5 8 23	macarrão int. e molho vermelho	5 8 63	cará cozido e açafrão
6º	peito de frango grelhado	6 10 23	macarrão int. e molho vermelho	6 10 26	macarrão int. e creme de cenoura e alho-poró
7º	coxão mole bov. grelhado	7 2 23	macarrão int. e molho vermelho	7 2 67	inhame cozido e açafrão
8º	lombo suíno grelhado	8 8 23	macarrão int. e molho vermelho	8 8 47	batata doce cozida picada e ervas
9º	peito de frango grelhado	9 10 23	macarrão int. e molho vermelho	9 10 31	macarrão int. e molho pesto de rúcula
10º	coxão mole bov. grelhado	10 2 23	macarrão int. e molho vermelho	10 2 48	batata doce cozida e ervas
11º	lombo suíno grelhado	11 8 23	macarrão int. e molho vermelho	11 8 24	macarrão int. e molho de ricota e espinafre
12º	peito de frango grelhado	12 10 23	macarrão int. e molho vermelho	12 10 61	cará cozido e ervas
13º	corvina do mar grelhada	13 13 23	macarrão int. e molho vermelho	13 13 6	baião de 2 com feijão-de-corda e arroz tipo 2
14º	coxão mole bov. grelhado	14 2 23	macarrão int. e molho vermelho	14 2 49	batata doce cozida e salteada no azeite
15º	lombo suíno grelhado	15 8 23	macarrão int. e molho vermelho	15 8 34	yakissoba de macarrão int.
16º	peito de frango grelhado	16 10 23	macarrão int. e molho vermelho	16 10 13	arroz tipo 1 e açafrão

17º coxão mole bov. grelhado	17 2 23	macarrão int. e molho vermelho	17 2 52	batata doce cozida e chimichurri
18º lombo suíno grelhado	18 8 23	macarrão int. e molho vermelho	18 8 51	batata doce cozida e molho de tomate
19º peito de frango grelhado	19 10 23	macarrão int. e molho vermelho	19 10 27	macarrão int. e creme de milho e brócolis
10º coxão mole bov. grelhado	20 2 23	macarrão int. e molho vermelho	20 2 4	baião de 2 com feijão-de-corda e arroz int.
21º lombo suíno grelhado	21 8 23	macarrão int. e molho vermelho	21 8 50	purê de batata doce cozida purê
22º peito de frango grelhado	22 10 23	macarrão int. e molho vermelho	22 10 68	inhame cozido salteado e azeite
23º coxão mole bov. grelhado	23 2 23	macarrão int. e molho vermelho	23 2 66	inhame cozido e molho de brócolis
24º lombo suíno grelhado	24 8 23	macarrão int. e molho vermelho	24 8 12	arroz tipo 1 e cenoura
25º peito de frango grelhado	25 10 23	macarrão int. e molho vermelho	25 10 62	cará cozido e molho de brócolis
26º corvina do mar grelhada	26 13 23	macarrão int. e molho vermelho	26 13 71	mandioca cozida e ervas
27º coxão mole bov. grelhado	27 2 23	macarrão int. e molho vermelho	27 2 35	nhoque de batata ao sugo
28º lombo suíno grelhado	28 8 23	macarrão int. e molho vermelho	28 8 21	risoto de cenoura, alho-poró e arroz cateto
29º peito de frango grelhado	29 10 23	macarrão int. e molho vermelho	29 10 70	mandioca cozida e molho de tomate
30º coxão mole bov. grelhado	30 2 23	macarrão int. e molho vermelho	30 2 38	nhoque de batata ao creme de palmito
Custo total da dieta (principal + acompanhamento)		R\$ 147,39		R\$ 193,79
Custo computacional do processamento		04m 38s		1h 08m 13s

Fonte: elaborado pelos autores a partir dos dados pesquisa.

Dessa maneira, além de identificar uma dieta com 30 refeições diárias (almoços), as análises realizadas com base no modelo proposto permitiram apurar um custo médio unitário de R\$ 4,91 refeição⁻¹ na dieta sem diversificação, cujo custo total foi de R\$ 147,39 para 30 dias, e um custo médio unitário de R\$ 6,46 refeição⁻¹ na dieta com diversificação diária, cujo custo total foi de R\$193,79 para 30 dias. Ou seja, para diversificar diariamente a dieta incorrer-se-ia em um custo incremental com a diversificação na ordem de R\$ 46,40, ou R\$ 1,55 refeição⁻¹ em média, conforme pode ser inferido a partir da análise das informações resumidas na Tabela 1.

Assim, além de propor e identificar um planejamento ótimo do cardápio de dietas, o modelo proposto permite avaliar qual o custo de diversificação que satisfaria o usuário, tanto do ponto de vista gastronômico, quanto financeiro e, principalmente, nutricional.

Uma vez identificados os cardápios com mínima diversificação e máxima diversificação, e por consequência o de menor custo e o de maior custo respectivamente, foram realizadas análises com níveis intermediários de diversificação alimentar dos acompanhamentos de cada refeição.

Nesse sentido, com diversificação de acompanhamentos para 7 dias, ou seja, variando a carne diariamente e consumindo 7 acompanhamentos diferentes e alternados, a dieta subiria de R\$ 147,39 para R\$172,88, perfazendo um custo com diversificação na ordem R\$ 26,49. Ou, com uma diversificação de acompanhamentos para 15 dias, ou seja, variando a carne diariamente e consumindo 15 acompanhamentos diferentes e alternados, o custo mínimo da dieta subiria para R\$180,12 ou R\$ 6,00 por refeição, perfazendo um custo com diversificação na ordem R\$ 32,73.

Segundo as informações da empresa que forneceu a base de dados para realização dos testes computacionais do modelo proposto, o seu custo unitário médio é de R\$9,53 refeição⁻¹. Logo, mesmo com uma diversificação bem maior que aquela adotada pela empresa (para 20 dias de trabalho, o modelo identificou um custo ótimo (mínimo) de R\$ 6,46 refeição⁻¹ (R\$ 193,79 / 30 refeições), portanto, uma economia de R\$ 3,07 refeição⁻¹, o que representa quase um terço (32,21%) do custo real da empresa (R\$3,07 / R\$9,53 \approx 0,3221 x 100 = 32,21%).

Por fim, cabe observar que ao impor ao modelo uma restrição com 100% de diversificação, ou diversificação diária ao longo do período de planejamento, o custo computacional tornou-se mais significativo. Por outro lado, considerando a dificuldade de se realizar um planejamento dessa natureza manualmente, e porque não a impossibilidade dessa tarefa, o custo computacional torna-se relativamente baixo.

Com base nos dados utilizados para realização dos testes computacionais, não só foi possível validar o funcionamento do **modelo matemático de otimização de cardápios e dietas** proposto nesta pesquisa, como também, foi possível realizar inferências acerca do custo da diversificação dieta, além de garantir o atendimento aos parâmetros nutricionais estabelecidos para os testes.

6 Conclusão

Por contar com um conjunto de restrições voltadas para o atendimento de parâmetros nutricionais variados (energia, quantidade de proteína, quantidade de lipídeos, colesterol e carboidratos e fibra alimentar), o modelo proposto é capaz de se ajustar às necessidades individuais de qualquer usuário (profissional de nutrição, paciente, empresas de *food service* etc.), podendo também ser utilizado para o planejamento de cardápios coletivos.

Uma vez que aquele conjunto de restrições nutricionais pode ser dimensionado de forma distinta em relação ao prato principal e/ou em relação ao seu acompanhamento, é possível diversificar as combinações de receitas, conferindo maior flexibilização ao planejamento de dietas com base no modelo proposto.

Ao contar com uma restrição destinada especificamente à harmonização entre o prato principal e o respectivo acompanhamento, o modelo proposto torna-se mais funcional, tanto do ponto de vista gastronômico quanto nutricional.

Além da restrição de harmonização, o modelo pesquisado conta com restrições voltadas para a diversificação das refeições diárias planejadas, ou seja, é possível estabelecer a identificação de uma combinação de pratos diferentes a cada dia, ou ainda, diferenciá-los de acordo com intervalos de tempo desejados.

Por não ser direcionado a um grupo específico de refeições (café da manhã, almoço ou jantar), o modelo ora proposto pode ser aplicado a receitas agrupadas de acordo a finalidade alimentar desejada, por exemplo, só para receitas de pratos destinados ao almoço ou pratos destinados ao jantar, ou só para lanches, entre outras possibilidades.

Uma vez que as receitas são selecionadas e tem seus parâmetros informados pelo usuário, o modelo em questão permite que se analise o grupo de receitas que melhor se adapte às predileções individuais de cada usuário específico, podendo ser aplicável também a receitas para cardápios de refeições coletivas, pois, conforme dito inicialmente, só serão selecionadas aquelas receitas de pratos que atendam aos parâmetros nutricionais previamente estabelecidos.

Em função da natureza das restrições do modelo proposto (nutricionais, harmonização e diversificação), em conjunto com a possibilidade de se utilizar diferentes grupos de receitas (pratos para almoço, jantar, café da manhã, por exemplo), o objetivo geral da modelagem alvo desse estudo está direcionado para a minimização do custo total do respectivo cardápio, além de garantir combinações alimentares saudáveis de acordo com os parâmetros nutricionais estabelecidos.

Cabe observar que a formulação proposta para o modelo poderia ser bem mais “enxuta”, caso fosse constituído um conjunto / de nutrientes e as restrições descritas pelas Equações 2, ..., 17 fossem substituídas por uma única restrição que testaria todas as combinações para os dois tipos de pratos (principal e acompanhamento), de acordo com cada elemento desse conjunto (*l*). Contudo, isso não foi realizado dessa forma mais direta para que os leitores menos familiarizados com a parte matemática do processo de modelagem pudessem compreender mais facilmente o funcionamento geral do modelo proposto. Valendo ressaltar que tal fato não prejudica em nada o funcionamento e a aplicação prática da modelagem alvo desta investigação científica.

Assim, espera-se que as contribuições trazidas por essa pesquisa possam ser somadas aos achados de outros estudos de natureza correlata, contribuindo para o planejamento otimizado de dietas e para a adoção de hábitos alimentares mais saudáveis por parte da sociedade em geral, além de facilitar a tomada de decisões dos profissionais relacionados à nutrição.

Referências

ALU'DATT, M. H.; KHAMAYSEH, Y.; ALHAMAD, M. N.; TRANCHANT, C. C.; GAMMOH, S.; RABABAH, T.; KUBOW, S.; AL OBAIDY, S. S.; ALROSAN, M.; ALZOUBI, H.; TAN, T.. Development of a nutrition management software based on selected Middle Eastern and Mediterranean dishes to support personalized diet and weight management. **Food**

Chemistry, [s. l.], v. 373, part B, e-article 131531, 30 March 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131531>. Acesso em: 30 mar. 2022.

BABU, S. C.; GAJANAN, S. N.. **Food security, poverty and nutrition policy analysis: statistical methods and applications**. 3th edition. [S. l.]: Academic Press/Elsevier, 2021. Chapter 15. p. 557-573. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820477-1.00028-0>. Acesso em: 11 abr. 2022.

CARMO, L. A. M do; MESQUITA, M. C.; RESENDE, S. P; PINTO, M. de R.. “O pão nosso de cada dia”: Representações dos pratos alegóricos do Brasil e de suas culinárias regionais. **Pista: Periódico Interdisciplinar**, Belo Horizonte, v.3, n.1, p. 55-70 fev./jun. 2021. Disponível em: <http://seer.pucminas.br/index.php/pista/article/view/26611>. Acesso em: 05 abr. 2022.

CHEN, M.; JIA, X.; GORBONOS, E.; HOANG, C. T.; YU, X.; LIU, Y.. Eating healthier: exploring nutrition information for healthier recipe recommendation. **Information Processing & Management**, [s. l.], v. 57, issue 6, e-article 102051, November 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2019.05.012>. Acesso em 01 abr. 2022.

FERNANDES, B. M.; LONGHINI, T. M.. Uso da simulação computacional para análise de atendimento de um restaurante industrial self service. **Tekhne e Logos**, Botucatu, v.12, n.1, p. 85-102, abril, 2021. Disponível em: <http://revista.fatecbt.edu.br/index.php/tl/article/view/732>. Acesso em: 30 mar. 2022.

FUCHS, K.; GRUNDMANN, T.; HALDIMANN, M.; FLEISCH, E.. Supporting food choices in the Internet of People: automatic detection of diet-related activities and display of real-time interventions via mixed reality headsets. **Future Generation Computer Systems**, [s. l.], v. 113, p. 343-362, December 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.07.014>. Acesso em: 11 abr. 2022.

GASPAR, M. C. de M. P.. Entre normas socioculturais e dietéticas: o almoço para nutricionistas e mulheres leigas brasileiras, espanholas e francesas. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 26 (suplemento 2), n. 30, p. 3928-3936, ago. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-81232021269.2.09172020>. Acesso em: 24 mar. 2022.

GURUGUBELLI, V. S.; FANG, H.; SHIKANY, J. M.; BALKUS, S. V.; RUMBUT, J.; NGO, H.; WANG, H.; ALLISON, J. J.; STEFFEND, L. M.. A review of harmonization methods for studying dietary patterns. **Smart Health**, [s. l.], v. 23, e-article 100263, March 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.smhl.2021.100263>. Acesso em: 10 abr. 2022.

HO, H.-P.; LIN, Y.-C.; FU, C. J.; CHANG, C.-T.. On the personal diet considering qualitative and quantitative issues. **Computers & Industrial Engineering**, [s. l.], v. 164, e-article 107857, February 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107857>. Acesso em: 10 abr. 2022.

MASON, Andrew J. OpenSolver: an open source solver-in para solve linear and integer programmes in Excel. In: KLATTE, Diethard; LÜTHI, Hans-Jakob; SCHMEDDERS, Karl (eds). **Operations Research Proceedings** (GOR (Gesellschaft für Operations Research e.V.)).

Berlin Heidelberg: Springer, 2011. p 401-406. Disponível em:

https://doi.org/10.1007/978-3-642-29210-1_64. Acesso em: 01 nov. 2021.

MELO, G. D. de; CARMO, C. R. S. C.. **LAJBM**, Taubaté, .v. 12, n. 2, p. 72-85, jul-dez/2021.

Disponível em: <https://lajbm.com.br/index.php/journal/article/view/665/323>. Acesso em: 12 abr. 2022.

NASH, J. C.. The (Dantzig) simplex method for linear programming. **Computing in Science & Engineering**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 29-31, Jan.-Feb. 2000. Disponível em:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/814654?msclkid=104aafffbf411ec8a511ac182e4dfbe>. Acesso em 14 abr. 2022.

OLIVEIRA, D. E. de; BORGES, A. C. A.; SILVA, V. V. da. Uma aplicação do problema da dieta para se encontrar o menor custo de refeições diárias para idosos na cidade de Monte Carmelo–MG. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 6, p. 36025-36034, jun. 2020.

Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n6-229>. Acesso em: 07 abr. 2022.

RIBEIRO, C. da S. G.; CORÇÃO, M.. O consumo da carne no brasil: entre valores sócios culturais e nutricionais. **Demetra: alimentação, nutrição e saúde**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 3, p. 425-438, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/demetra.2013.6608>. Acesso em: 14 abr. 2022.

RIBEIRO, A. B. D. L.; DIÓGENES, A. K.; MARQUES, M. M.; SILVA, S. F.; SANTOS, A. T. dos; UCHOA, F. N. M.; LIMA, A. P. O. Mo.. Investigação dos fatores de correção, fator de cocção e perda em diferentes tipos de carnes em uma Unidade de Alimentação e Nutrição hospitalar. **Revista Intertox-EcoAdvisor de Toxicologia Risco Ambiental e Sociedade**, São Paulo, v.8, n. 3, p. 71-78, out. 2015. Disponível em:

<http://autores.revistarevinter.com.br/index.php?journal=toxicologia&page=article&op=view&path%5B%5D=219&path%5B%5D=431>. Acesso em:14 abr. 2022.

SCHOMAKER, J.; VRIENS, M.; JARVA, H. A..Healthy or not: influencing attention to bias food choices. **Food Quality and Preference**, [s. l.], v 96, e-aticle 104384, March 2022.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104384>. Acesso em: 01 abr. 2022.

SPENCE, C. Explaining diurnal patterns of food consumption. **Food Quality and Preference**, [s. l.], v. 91, e-article 104198, July 2021. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104198>. Acesso em: 08 abr. 2022.

STIGLER, G. J.. The Cost of Subsistence. **Journal of Farm Economics**, [s. l.] v.27, n. 2, p. 303-314, Mai, 1945 (Published by: Oxford University Press on behalf of the Agricultural & Applied Economics Association, Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/1231810>).

Disponível em:

<https://web.archive.org/web/20141130214303/http://math.berkeley.edu:80/~mgu/MA170/Diet.pdf>. Acesso em 14 abr. 2022.

VERLY-JUNIOR, E.; OLIVEIRA, D. C. R. S. de; PINTO, R. L.; MARQUES, E. S.; CUNHA, D. B.; SARTI, F. M.. Viabilidade no atendimento às normas do Programa Nacional de Alimentação Escolar e sua relação com custo dos cardápios. **Ciência & Saúde**

Coletiva, Rio de Janeiro, v. 26, n. 2, p. 749-755, fev. 2021. Disponível em:
<https://doi.org/10.1590/1413-81232021262.01012019>. Acesso em: 07 abr. 2022.

Sobre o autor

Carlos Roberto Souza Carmo

Mestre em Ciências Contábeis pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP), Doutor em Agronomia com ênfase em Energia na Agricultura pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP) e Professor adjunto da Faculdade de Ciências Contábeis da Universidade Federal de Uberlândia (FACIC-UFU).

Guilherme Diniz de Melo

Graduado em Nutrição pelo Centro Universitário do Triângulo. Proprietário da empresa Carcará- Marmitaria, Uberlândia, MG.