

Modelo Interativo para o Problema da Dieta

Glauber S. Santos, Alan R. Freitas

* Departamento de Computação, Universidade Federal de Ouro Preto,
MG, (e-mails: glauber.santos@aluno.ufop.edu.br,
alandefreitas@ufop.edu.br)

Abstract: Modern nutrition has a fundamental role in promoting eating habits aimed not only at physical, but also mental and emotional health, interrupting a cycle of inappropriate, restrictive, compulsive and even punitive behavior. Behavioral nutrition is more effective than common restrictive diet plans, as it adapts to the habits of users, promoting greater freedom, health and flavor. Therefore, in this sense, this work proposes an interactive optimization model, solved by a genetic algorithm. Throughout the day, the user interacts with the system, which monitors and rebalances the menu, when necessary, for upcoming meals. In this sense, the model was able to successfully balance meals, as long as they do not exceed, in a single meal, the total calories expected for the day.

Resumo: A nutrição moderna tem um papel fundamental de promover hábitos alimentares que visa uma saúde não somente física, mas também mental e emocional, interrompendo um ciclo de comportamento inadequado, restritivo, compulsivo e até punitivo. A nutrição comportamental se mostrou mais eficaz quando comparada a dietas restritivas, pois se adaptam aos costumes dos usuários, promovendo maior liberdade e saúde. Desta forma, este trabalho propõe um modelo de otimização interativo, resolvido por meio de um algoritmo genético. Ao longo do dia o usuário interage com o sistema, o qual acompanha e reequilibra o cardápio, quando necessário, das próximas refeições. Neste sentido, o modelo conseguiu balancear com sucesso refeições, desde que não excedam, em uma única refeição, o total de calorias esperados para o dia.

Keywords: Artificial Intelligence; Dynamic Optimization; Evolutionary Computation; Diet Problem; Menu Planning Problem.

Palavras-chaves: Inteligência Artificial; Otimização Dinâmica; Algoritmo Evolutivo; Problema da Dieta; Problema do Planejamento de Menus.

1. INTRODUÇÃO

Desde 1945, diferentes técnicas e modelos vem sendo utilizados para resolver o problema da dieta. O PD original Stigler (1945) foi sendo aprimorado até os estudos que encontramos hoje. À época, o trabalho teve o intuito de simular a necessidade de atender as demandas alimentares do exército americano, buscando minimizar seu custo. Em 1992, Lancaster (1992) dividiu as pesquisas relacionadas ao PD em três conjuntos, são eles: os trabalhos que buscavam minimizar os custos, incluir preferências pré-definidas e o último na geração de dietas com demandas específicas do usuário.

Estudos recentes, como os de Tran et al. (2018) e Trattner and Elswiler (2017) demonstram que as novas tendências e demandas por pesquisas nesta área estarão relacionadas à coleta e uso de informações do usuário, ampliação dos dados nutricionais de alimentos e receitas, sistemas que apoiem mudanças de hábitos e, por fim, cardápios com possíveis substituições.

* Os autores agradecem a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - 402956/2016-8), e à Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG - APQ-00040-14) pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

Trabalhos no âmbito nutricional demonstram que dietas restritivas não tornam as pessoas mais saudáveis e nem promovem mudanças comportamentais (Job and de Oliveira Soares, 2019; Sarraceni and Donha, 2018). Existem evidências de que, em indivíduos obesos, as restrições alimentares frequentes são parcialmente responsáveis pelas falhas e rejeições ao tratamento da obesidade (Bernardi et al., 2005). Por outro lado, uma abordagem que se mostra mais efetiva é a nutrição comportamental (NC), centrada no aconselhamento ao invés da restrição (Alvarenga et al., 2015).

Sistemas de recomendação são estudados até hoje para auxiliar os usuários na escolha dos alimentos. O domínio deste problema se torna complexo, não somente pela quantidade de alimentos ou porções, mas pela possibilidade de combiná-los, gerando novas receitas, aumentando assim sua complexidade exponencialmente (Freyne and Berkovsky, 2010).

O trabalho aqui proposto pretende elaborar um modelo dinâmico e interativo que promova maior liberdade ao usuário, favorecendo assim a nutrição comportamental. A formulação inicial busca minimizar o desvio calórico, penalizando desvios nutricionais (Silva et al., 2017), e posteriormente ela é aprimorada por meio da inclusão das divisões de horários. Por fim, é adicionada a otimização dinâmica,

possibilitando a interação do usuário e o rebalanceamento das dietas.

2. DESENVOLVIMENTO

O trabalho desenvolvido considera até 3 porções de um mesmo alimento para cada refeição, tendo como meta calórica o total 2.000 Kcal por dia, conforme recomendado pelo ministério da saúde (MS, 2006). A Tabela 1 apresenta os valores limites considerados na ingestão diária dos nutrientes (ANVISA, 2014; Fortificados et al., 2014).

Mínimo	Nutriente	Máximo
75	$\leq PT \leq$	210
150	$\leq CH \leq$	300
25	$\leq FI \leq$	-
45	$\leq LI \leq$	98
1000	$\leq Ca \leq$	2500
14	$\leq Fe \leq$	45
7	$\leq Zn \leq$	34
700	$\leq Fs \leq$	4000
260	$\leq Mg \leq$	350
2,3	$\leq Mn \leq$	-

Tabela 1. Caption

Os 10 nutrientes considerados são: proteínas (PT), lipídios (LI), carboidratos (CH), magnésio (Mg), ferro (Fe), fósforo (Fs), cálcio (Ca), fibras (FI), zinco (Zi) e manganês (Mn).

Pesquisas mostram que existe uma tendência a comer mais quando passamos por intervalos, sem se alimentar, maiores que 4–5 horas (Munsters and Saris, 2012). Desta forma, é importante realizar lanches nos intervalos entre as refeições principais, motivação pela qual construímos o plano alimentar como na Figura 1.

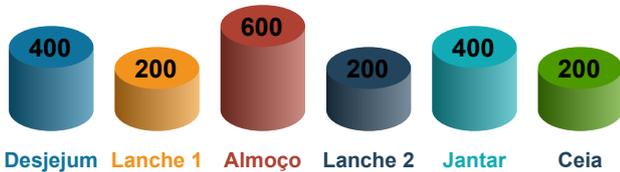


Figura 1. Divisão calórica das refeições.

Buscando evitar que exista a concentração, em um horário apenas, de determinado nutriente, a formulação, baseada na divisão calórica nos horários, considera também o equilíbrio nutricional proporcional a meta calórica daquele horário. A função de avaliação (FA) é mostrada na Equação 1.

$$\min |2000^2 - (\sum_i \sum_j kcal_{i,j} y_{i,j})^2|, \forall i \in H, j \in T \quad (1)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k m_{i,j,k} y_{i,j} \geq b_k, \forall i \in H, j \in T, k \in N \quad (2)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k m_{i,j,k} y_{i,j} \leq B_k, \forall i \in H, j \in T, k \in N \quad (3)$$

$$y_{i,j} \in \{0, 3\}, \forall i \in T \quad (4)$$

Onde temos em H , T e N , respectivamente, a quantidade de refeições, conjunto de alimentos disponíveis e nutrientes considerados no problema, a formulação é definida com inteiros, entre 0 e 3, representados pela variável y , onde $y_{i,j} = 1$ seria a inclusão de uma porção de alimento $j \in T$ na refeição do horário $i \in H$ da dieta. Além disso, $m_{j,k}$ representa a quantidade de nutrientes $k \in N$ que está contida na porção do alimento $j \in T$ com b_k e B_k sendo os requisitos mínimos e máximos para o nutriente $k \in N$. A variável $kcal_{i,j}$ representa a contagem de calorias para o alimento ou receita $j \in T$ para a refeição do horário $i \in H$.

Quando o limite inferior (LB) e superior (UB) de cada nutriente, proporcional ao percentual calórico, são respeitados, o problema utiliza a Equação 1 como função objetivo. No entanto, quando existe violação, um mecanismo baseado em penalidades (Silva et al., 2017), mostrado na Equação 5, é acionado, gerando a Equação 6.

$$\sum_k \frac{(|\sum_{j \in T} i(m_{i,j,k} y_{i,j}) - b_{i,k}|)}{b_{i,k}} . M \quad (5)$$

$$\min |2000^2 - (\sum_i \sum_j kcal_{i,j} y_{i,j})^2| + \sum_i \sum_k \frac{|\sum_{j \in T} i(m_{i,j,k} y_{i,j}) - b_{i,k}|}{b_{i,k}} . M \quad (6)$$

Temos que a variável M , mostrada nas equações, se trata de uma constante com valor alto (1000), usada como taxa de penalidade para restrições violadas. Este valor pode diferir para cada nutriente, de forma a regular a intensidade da penalidade conforme o interesse.

2.1 Interação do usuário

Ao incluir, no sistema, a possibilidade de interação com o usuário, por meio da otimização dinâmica, o mesmo passou a variar suas propriedades e função objetivo, deslocando o valor ótimo para uma diferente posição no espaço de busca. Ilustramos, na Figura 2, um ciclo completo de interações feito por um usuário no decorrer do dia.

Assim que o usuário interage com o sistema, por meio da inserção dos alimentos ingeridos, o total de calorias é somado e comparado com o plano, daquela refeição, proposto anteriormente. Caso exista uma diferença calórica, o cálculo será feito conforme Equação 7, onde a variável i representa o horário da refeição, o qual está relacionado ao número alvo de calorias esperado.

$$dif_i = \sum_{j=1} kcal_{i,j} y_{i,j} - KcalMeta_i \quad (7)$$

A variável $kcal_{i,j}$ representa o valor das calorias no alimento j da refeição i , enquanto $KcalMeta_i$ equivale ao valor calórico esperado para a refeição i .

A diferença calórica total calculada é distribuída nas próximas refeições. A quantidade de refeições restantes é calculado usando a Equação 8,

$$a = \frac{dif_1}{I - i} \quad (8)$$

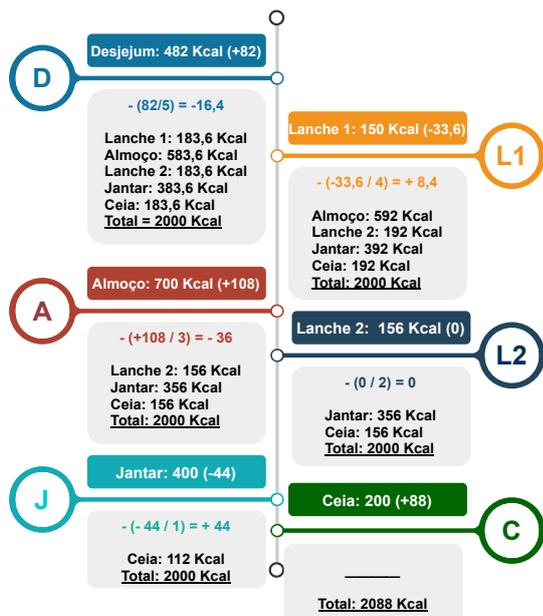


Figura 2. Interação dinâmica compensatória.

As variáveis a , I e i representam, respectivamente, o valor das calorias que serão alteradas nas próximas refeições, a quantidade total de horários e a refeição atual.

Considerando a Figura 2 anteriormente ilustrada, temos que na primeira interação do usuário com o sistema, café da manhã, houve uma diferença calórica em relação ao menu proposto, ultrapassando em 82 Kcal o esperado. A existência desta diferença aciona o sistema compensatório, o qual cria um novo cardápio, modificando as próximas refeições. A mesma situação ocorre para o lanche da manhã (L1), almoço (A) e jantar (J). Quanto ao lanche da tarde (L2), as entradas do usuário, com alimentos e porções, foram as mesmas da proposta, não acionando o mecanismo compensatório. A última refeição (C), apesar de conter uma diferença calórica, não ativa o mecanismo compensatório, pois não existem outras refeições para compensar a diferença final de 88 Kcal.

2.2 Base de dados

Neste trabalho utilizamos, como base de dados, os alimentos e nutrientes existentes na tabela brasileira de composição dos alimentos (TACO) (UNICAMP, 2011). Nesta base de dados é possível encontrar 568 alimentos, divididos por categorias, e suas composições nutricionais. O tamanho das porções presentes na TACO foram modificadas, com base nas categorias de alimentos, conforme mostra a Tabela 2.

2.3 Algoritmo Genético

O algoritmo bioinspirado utilizado possui três aspectos da teoria da evolução (Darwin et al., 1958), são eles o cruzamento (i), a mutação (ii) e seleção (iii). Estes três aspectos, modelados como operadores, são aplicados iterativamente a partir de uma população inicial até que o critério de parada seja alcançado.

Categoria	Intervalo	Tamanho da porção
Amêndoas	1 - 11	20g
Bebidas	12 - 27	200ml
Carboidratos Simples	28 - 89	30g
Carboidratos Compostos	90 - 137	100g
Frutas	138 - 234	100g
Grãos	235 - 268	50g
Lácteos	269 - 292	50g
Óleos	293 - 306	10g
Carnes e peixes	307 - 492	100g
Vegetais	493 - 568	80g

Tabela 2. Tamanho de porção por categoria.

Dado uma população $X = x_1, x_2, \dots, x_{pop}$, onde x_i é o i indivíduo de X . Seja x a população X^g na geração g , dizemos que a população inicial está na primeira geração. No final da iteração, a população resultante $X^g + 1$ estará na geração $g + 1$. A população inicial $X = x_1, x_2, \dots, x_{pop}$ é gerada aleatoriamente com $|X| = P_{op}$ indivíduos. A representação do indivíduo consiste em um vetor de inteiros, onde cada posição representa um alimento diferente, e seu valor, limitado a 3, equivale ao número de porções do alimento incluídas no cardápio.

A respeito dos operadores, o primeiro aplicado em cada geração é o cruzamento. Por meio dele é gerado um novo par de soluções, baseado na combinação de dois indivíduos selecionados da população. O cruzamento ocorre respeitando a probabilidade T_c de cruzamento. O segundo operador aplicado, no vetor que representa a solução, é a mutação, o qual, gera valores diferentes para cada posição, com uma probabilidade T_m . Por fim, o último operador é a seleção, o qual escolhe os indivíduos que farão parte da próxima geração. O modelo proposto é ilustrado na Figura 3.

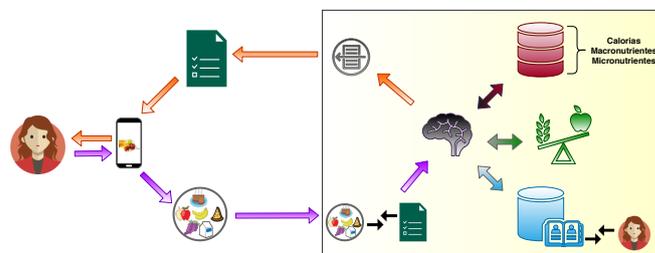


Figura 3. Ilustração do modelo proposto.

A respeito dos parâmetros utilizados no AG, o principal fator foi o método de seleção de pais e filhos. Quando realizado o teste comparativo, para seleção dos parâmetros, o método por torneio obteve os melhores resultados, seguido pelas seleções do tipo *overselection*, torneio *round robin*, uniforme, e roleta. A taxa de cruzamento utilizada foi de 0,6, mutação de 0,4, tamanho da população de 100, número de gerações de 2500, proporção elitista de 0,02 e mutação do tipo *random resetting*.

Por se tratar de um algoritmo estocástico, foram necessárias repetidas execuções (30) de cada experimento, sendo eles realizados na *Google Cloud Platform* em servidores categoria *e2-medium* (2 vCPUs, 4 GB memória) com vCPUs Intel Haswell, executando apenas *Linux Ubuntu Server 20.04*, sem interface gráfica instalada. Os algoritmos foram implementados em C++.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 3 mostra os resultados obtidos pelo modelo estático de refeição única.

Nome	Média	Desvio Padrão
Função objetivo	2,96E+05	3,98E+05
Calorias(g)	2,00E+03	3,05E-01
Proteínas(g)	1,05E+02	2,47E+01
Carboidratos(g)	3,21E+02	3,23E+01
Fibras(g)	8,58E+01	1,16E+01
Gorduras(g)	5,19E+01	9,46E+00
Cálcio(mg)	1,56E+03	3,64E+02
Magnésio(mg)	6,74E+02	1,14E+02
Fosforo(mg)*	1,79E+03	3,58E+02
Ferro(mg)	2,38E+01	5,29E+00
Zinco(mg)	1,49E+01	2,83E+00
Manganés (mg)	1,28E+01	5,28E+00

Tabela 3. Resultados obtidos pelo modelo contendo uma única refeição.

Analisando os resultados notamos que os menus gerados ultrapassaram o limite ($3,50 \times 10^2$) de magnésio, enquanto alguns deles também apresentaram excesso (acima de 3×10^2) de carboidratos.

O segundo modelo, apresentado na Tabela 4, contendo divisão de horários, teve um desvio calórico nos lanches (142 kcal e 146 kcal) e ceia (164 kcal).

Nome	Desjejum		Lanche 1		Almoço		Lanche 2		Jantar		Ceia	
	AVG	+-	AVG	+-	AVG	+-	AVG	+-	AVG	v	AVG	+-
Função Objetivo	2,56E+05	2,22E+05	9,15E+04	6,25E+04	2,76E+05	1,17E+05	1,02E+05	7,71E+04	1,90E+05	1,97E+05	9,87E+04	5,71E+04
Calorias	4,10E+02	2,55E+01	3,42E+02	8,91E+01	6,01E+02	3,66E-02	3,46E+02	7,85E+01	4,07E+02	1,73E+01	3,64E+02	8,35E+01
Proteínas	2,40E+01	6,59E+00	2,03E+01	6,35E+00	3,19E+01	1,19E+01	2,07E+01	5,37E+00	2,17E+01	5,35E+00	2,20E+01	8,92E+00
Carboidratos	8,57E+01	7,16E+00	6,82E+01	1,89E+01	1,15E+02	1,95E+01	7,03E+01	1,71E+01	8,13E+01	8,09E+00	7,27E+01	1,66E+01
Fibras	3,05E+01	5,83E+00	2,54E+01	5,04E+00	3,61E+01	7,81E+00	2,62E+01	7,37E+00	2,71E+01	6,07E+00	2,61E+01	7,40E+00
Gorduras	4,16E+00	1,16E+00	4,57E+00	2,57E+00	9,69E+00	4,17E+00	4,26E+00	2,03E+00	5,83E+00	3,88E+00	4,30E+00	1,87E+00
Cálcio	6,05E+02	1,66E+02	5,74E+02	2,60E+02	6,98E+02	1,73E+02	6,27E+02	2,54E+02	5,69E+02	2,32E+02	5,98E+02	2,28E+02
Magnésio	2,47E+02	4,71E+01	2,38E+02	8,35E+01	2,76E+02	6,86E+01	2,57E+02	1,06E+02	2,33E+02	7,48E+01	2,47E+02	9,84E+01
Fosforo	5,02E+02	1,18E+02	4,07E+02	1,22E+02	6,66E+02	1,13E+02	4,23E+02	1,05E+02	4,56E+02	1,00E+02	4,73E+02	1,58E+02
Ferro	8,47E+00	3,17E+00	7,12E+00	3,56E+00	9,62E+00	3,10E+00	8,06E+00	3,45E+00	8,42E+00	2,68E+00	6,98E+00	2,92E+00
Zinco	4,01E+00	1,10E+00	3,44E+00	1,81E+00	5,31E+00	2,48E+00	4,34E+00	2,27E+00	4,41E+00	2,66E+00	4,42E+00	2,35E+00
Manganés	5,41E+00	3,82E+00	5,62E+00	4,27E+00	4,52E+00	3,37E+00	6,15E+00	4,64E+00	4,93E+00	4,60E+00	5,92E+00	4,38E+00

Tabela 4. Experimentos com divisão de horários.

Com a inclusão das interações, por meio da otimização dinâmica, avaliamos a capacidade do algoritmo em calcular corretamente e gerar um novo menu atendendo a nova meta calórica. Desta forma, o mecanismo compensatório consegue rebalancear as dietas, com base nos alimentos ingeridos, desde que o total de calorias no dia não seja ultrapassado em uma única refeição, por exemplo, consumir mais de 2.000 Kcal no café da manhã.

No resultado calórico dos cardápios rebalanceados, mostrado na Tabela 5, houve maior sucesso no reequilíbrio das dietas para almoço e jantar.

Desvio por horário	Lanche 1(avg +-)	Almoço(avg +-)	Lanche 2(avg +-)	Jantar(avg +-)	Ceia(avg +-)
Café da manhã	332 84	599 0,6	327 137	416 47	308 145
Lanche 2	-	599 0,4	329 113	404 13	330 123
Almoço	-	-	279 110	412 57	256 108
Lanche 2	-	-	-	406 30	264 64
Jantar	-	-	-	-	261 154

Tabela 5. Resultado após rebalancear o desvio calórico.

Cada célula apresenta o valor calórico médio gerado na dieta após acionar o mecanismo compensatório.

Neste artigo podemos descrever suas contribuições da seguinte forma: O primeiro passo foi reproduzir o modelo com uma única refeição. Posteriormente, incluímos as divisões de horários e, por fim, adicionamos às interações, avaliando sua capacidade em reequilibrar cardápios, conforme o consumo do usuário.

4. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O trabalho teve como objetivo propor uma melhora nos modelos de PDs atuais por meio da inclusão de iterações, possibilitando o balanceamento da dieta no decorrer do dia. Considerando que utilizamos uma base de dados real e completa, contendo todos os alimentos em sua forma integral, pode ser interessante considerar a tentativa de resolver o modelo utilizando outras técnicas, buscando melhorar os resultados para as refeições menores, como lanches e ceia, além de gerar cardápios que não exceda o limite superior de manganés. Outro ponto interessante seria possibilitar a predição de preferências por meio da comparação dos itens inseridos pelo usuário e, por fim, ampliar a capacidade de rebalancear dietas, mesmo para consumo calórico a cima do limite, através da recomendação de exercícios físicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - 402956/2016-8), e à Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG - APQ-00040-14) pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Alvarenga, M., Antonaccio, C., Timerman, F., and Figueiredo, M. (2015). *Nutrição comportamental*. Editora Manole.
- ANVISA, S. (2014). Agência nacional de vigilância sanitária.
- Bernardi, F., Cichelero, C., and Vitolo, M.R. (2005). Comportamento de restrição alimentar e obesidade. *Revista de Nutrição*, 18(1), 85–93.
- Darwin, C., Wallace, A.R., et al. (1958). Evolution by natural selection. *Evolution by natural selection*.

- Fortificados, F.t.A., de Nutrição, S.C., Brasil, I., de França, N.A.G., and Martini, L.A. (2014). Funções plenamente reconhecidas de nutrientes.
- Freyne, J. and Berkovsky, S. (2010). Intelligent food planning: personalized recipe recommendation. In *Proceedings of the 15th international conference on Intelligent user interfaces*, 321–324.
- Job, A.R. and de Oliveira Soares, A.C. (2019). Percepção dos acadêmicos de nutrição sobre a efetividade a longo prazo dos métodos de dietas restritivas para a perda e o controle de peso. *RBONE-Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento*, 13(78), 291–298.
- Lancaster, L.M. (1992). The evolution of the diet model in managing food systems. *Interfaces*, 22(5), 59–68.
- MS (2006). Guia alimentar para a população brasileira: promovendo a alimentação saudável.
- Munsters, M.J. and Saris, W.H. (2012). Effects of meal frequency on metabolic profiles and substrate partitioning in lean healthy males. *PloS one*, 7(6), e38632.
- Sarraceni, A.V. and Donha, G.d.S.F. (2018). Percepção de nutricionistas a respeito da prática clínica embasada na nutrição comportamental.
- Silva, J.G.R., Gerais, M., Barbosa, H.J.C., Carvalho, I.A., da Fonseca Vieira, V., and Xavier, C.R. (2017). Um estudo comparativo entre um algoritmo genético e um algoritmo de evolução diferencial para o problema da dieta restrita em calorias.
- Stigler, G.J. (1945). The cost of subsistence. *Journal of farm economics*, 27(2), 303–314.
- Tran, T.N.T., Atas, M., Felfernig, A., and Stettinger, M. (2018). An overview of recommender systems in the healthy food domain. *Journal of Intelligent Information Systems*, 50(3), 501–526.
- Trattner, C. and Elswiler, D. (2017). Food recommender systems: important contributions, challenges and future research directions. *arXiv preprint arXiv:1711.02760*.
- UNICAMP, N. (2011). Tabela brasileira de composição de alimentos–taco.