

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Diego de Freitas Silva

Programação linear aplicada à otimização de dietas para portadores de Diabetes Mellitus

Uberlândia, Brasil

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Diego de Freitas Silva

Programação linear aplicada à otimização de dietas para portadores de Diabetes Mellitus

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, como requisito exigido parcial à obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Orientador: Paulo Henrique Ribeiro Gabriel

Universidade Federal de Uberlândia – UFU

Faculdade de Computação

Bacharelado em Sistemas de Informação

Uberlândia, Brasil

2019

Agradecimentos

Agradeço à minha família, colegas de trabalho, amigos e ao meu orientador Paulo Henrique Ribeiro Gabriel, por todo incentivo, apoio e orientação durante o desenvolvimento do trabalho.

“Se podemos sonhar, também podemos tornar nossos sonhos realidade.”

- Walt Disney

Resumo

O novo padrão de vida e de consumo de alimentos das pessoas, nas últimas décadas do século XX e nas primeiras do século XXI, trouxe como consequência direta o aumento do número de pessoas diagnosticadas com Diabetes Mellitus (DM). O principal sintoma dessa doença é o aumento dos níveis de açúcar no sangue, causado pela incapacidade de produção ou resistência a um hormônio chamado insulina. Os portadores de diabetes devem seguir uma dieta com uma quantidade controlada de carboidratos e outros nutrientes, que, se consumidos em excesso, podem promover um aumento excessivo da glicemia capilar. Dessa forma, a utilização de uma ferramenta computacional que auxilie na tomada de decisão de profissionais que trabalham com gestão nutricional de portadores de DM é significativa e desejada. Este Trabalho de Conclusão de Curso apresenta um modelo de Programação Linear capaz de auxiliar na tomada de decisões na escolha de dietas para portadores de Diabetes Mellitus, tendo como base o Problema da Mochila Binária. O modelo matemático proposto foi implementado na Linguagem GNU/MathProg e executado utilizando o *GNU Linear Programming Kit* (GLPK). Para validar o modelo, foi considerada uma base com informações nutricionais de 597 alimentos e foram analisados três diferentes estudos de casos com indivíduos hipotéticos portadores de DM, com diferentes necessidades nutricionais. A dieta ótima resultante atendeu às necessidades mínimas e/ou máximas impostas pelas restrições para cada estudo de caso.

Palavras-chave: Diabetes Mellitus, Otimização de Dieta, Programação Linear, Problema da Mochila Binária, GLPK.

Lista de tabelas

Tabela 1 – Diagnóstico do diabetes mellitus e alterações da tolerância à glicose de acordo com valores de glicose plasmática	12
Tabela 2 – Recomendações nutricionais para portadores de Diabetes Mellitus	13
Tabela 3 – Valores e pesos dos itens A,B,C e D	16
Tabela 4 – Necessidades nutricionais de três indivíduos hipotéticos.	18
Tabela 5 – Dieta diária ótima para o Indivíduo 1.	24
Tabela 6 – Quantidades máximas e/ou mínimas nutricionais exigidas pelo modelo e fornecidas pela dieta do estudo de caso 1.	25
Tabela 7 – Dieta diária ótima para o Indivíduo 2.	26
Tabela 8 – Quantidades máximas e/ou mínimas nutricionais exigidas pelo modelo e fornecidas pela dieta do estudo de caso 2.	27
Tabela 9 – Dieta diária ótima para o Indivíduo 3.	28
Tabela 10 – Quantidades máximas e/ou mínimas nutricionais exigidas pelo modelo e fornecidas pela dieta do estudo de caso 3.	29

Lista de abreviaturas e siglas

ADA	American Diabetes Association
DM	Diabetes Mellitus
DM1	Diabetes Mellitus Tipo 1
DM2	Diabetes Mellitus Tipo 2
DMG	Diabetes Mellitus Gestacional
IDF	International Diabetes Federation
GLPK	GNU Linear Programming Kit
PO	Pesquisa Operacional
PPL	Problema de Programação Linear
PL	Programação Linear
SBD	Sociedade Brasileira de Diabetes
TACO	Tabela Brasileira de Composição de Alimentos

Sumário

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivos	9
1.2	Desenvolvimento	10
1.3	Organização do Trabalho	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	Diabetes Mellitus	11
2.2	Programação Linear	14
2.3	Problema da Mochila Binária	15
3	DESENVOLVIMENTO	17
3.1	Função Objetivo	18
3.2	Restrições do Problema	19
3.2.1	Restrições de Consumo Calórico	19
3.2.2	Restrição de Consumo de Carboidratos	20
3.2.3	Restrições de Consumo Proteico	20
3.2.4	Restrição de Consumo de Fibras Alimentares	21
3.2.5	Restrição de Consumo de Cálcio	21
3.2.6	Restrição de Consumo de Magnésio	21
3.2.7	Restrição de Consumo de Fósforo	21
3.2.8	Restrição de Consumo de Ferro	21
3.2.9	Restrição de Consumo de Potássio	22
3.2.10	Restrição de Consumo de Zinco	22
3.2.11	Restrição de Consumo de Vitamina B1	22
3.2.12	Restrição de Consumo de Vitamina B2	22
3.2.13	Restrição de Consumo de Vitamina C	22
3.2.14	Restrição de Consumo de Vitamina A	23
3.2.15	Restrição de Consumo de Colesterol	23
3.2.16	Restrição de Consumo de Sódio	23
3.2.17	Restrição de Consumo de Lipídeos	23
4	EXPERIMENTOS E RESULTADOS	24
4.1	Estudo de Caso 1	24
4.2	Estudo de Caso 2	25
4.3	Estudo de Caso 3	26
4.4	Discussão	27

5	CONCLUSÕES	30
	REFERÊNCIAS	31
	APÊNDICES	33
	APÊNDICE A – MODELO MATEMÁTICO EM GNU/MATHPROG	34

1 Introdução

Nas últimas décadas do século XX e nas primeiras do século XXI, a população mundial passou por diversas mudanças culturais que influenciaram diretamente no padrão de saúde e na forma como as pessoas consomem alimentos. Esse novo padrão de vida e de consumo de alimentos trouxe como consequência direta o aumento do número de pessoas diagnosticadas com Diabetes Mellitus (DM).

Segundo o Atlas do Diabetes (CHO et al., 2018), em 2017 existia cerca de 425 milhões de diabéticos em todo o mundo. Só no Brasil foram mais de 12,5 milhões de pessoas diagnosticadas com a enfermidade e o país chegou a ocupar o quarto lugar entre os 10 países com maior número de indivíduos portadores da doença. Até em 2045 estima-se que 629 milhões de pessoas no mundo terão desenvolvido o diabetes (CHO et al., 2018).

O DM pode ser conceituado como “um grupo de doenças metabólicas caracterizadas por hiperglicemia crônica, resultante de defeitos na secreção de insulina e/ou em sua ação” (GROSS et al., 2002). Essa hiperglicemia crônica está associada a danos de longo prazo como disfunção e falha de diferentes órgãos, olhos, rins, nervos, coração e vasos sanguíneos (ADA, 2010). Os indivíduos que possuem essa doença devem seguir uma dieta com uma quantidade controlada de nutrientes. Assim, a composição nutricional de cada elemento é fator determinante para um bom controle glicêmico e impedimento de hiperglicemias crônicas.

1.1 Objetivos

Um dos maiores obstáculos enfrentados pelos especialistas que trabalham com portadores de DM é a gestão nutricional dos pacientes, tendo em vista que é necessário respeitar as necessidades nutricionais e ponderar alimentos que promovam um aumento excessivo da glicemia capilar. Dessa forma, a utilização de uma ferramenta computacional para auxiliar na tomada de decisão desses especialistas na escolha de uma dieta completa que se encaixe no perfil de uma pessoa diagnosticada com DM torna-se significativa e desejada.

Nesse contexto, Paulino (2017) propôs a resolução desse problema por meio de um modelo matemático de programação linear desenvolvido no *software* GAMS© (General Algebraic Modeling System). Para um determinado conjunto de alimentos, o modelo matemático se mostrou capaz de escolher a quantidade e quais os alimentos deveriam compor uma dieta que atenda às quantidades pré-determinadas de nutrientes, de acordo

com o critério de minimização da ingestão de alimentos que influenciem diretamente na elevação da glicemia.

Porém, a autora considera relativamente poucos alimentos para compor a dieta gerada pelo modelo. Assim, este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem como objetivo estender o trabalho de [Paulino \(2017\)](#) de modo a incluir uma base maior de alimentos ([UNICAMP, 2011](#)). Nesse contexto, este TCC propõe encontrar uma dieta ótima para portadores de DM por meio de um modelo matemático de Programação Linear respeitando as restrições e necessidades nutricionais inerentes da doença.

1.2 Desenvolvimento

No problema de otimização de dietas para portadores de DM, a função objetivo consiste em minimizar a quantidade de carboidratos que compõem a dieta, respeitando as quantidades mínimas de outros nutrientes como vitaminas e proteínas necessárias à alimentação humana. Para isso, utilizou-se como base de desenvolvimento o Problema da Mochila Binária ([ARENALES et al., 2015](#)), que consiste em selecionar diversos itens (no caso, alimentos) respeitando um conjunto de restrições.

Para validação do modelo, foi utilizada a linguagem de modelagem *GNU/Math-Prog*, devido à sua facilidade de implementação e o bom desempenho de processamento. O modelo implementado foi executado sobre a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO), composta por 597 alimentos diferentes ([UNICAMP, 2011](#)) e foi capaz de encontrar a melhor dieta, considerando as restrições e necessidades nutritivas de pacientes portadores de Diabetes Mellitus.

1.3 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado em cinco capítulos, sendo esta Introdução o primeiro. O segundo capítulo discorre sobre conceitos gerais de Diabetes Mellitus, Programação Linear e o Problema da Mochila Binária, importantes para o entendimento do trabalho. O terceiro capítulo apresenta o modelo desenvolvido para a solução do problema de otimização de dietas para diabéticos. O quarto capítulo por sua vez, descreve as validações, experimentos e resultados do modelo desenvolvido e apresentado no Capítulo 3. Por fim, o quinto capítulo apresenta as conclusões obtidas do trabalho e propostas de trabalhos futuros.

2 Referencial Teórico

Neste capítulo, são apresentados conceitos gerais sobre Diabetes Mellitus, Programação Linear e o Problema da Mochila Binária. Tais conceitos são importantes para o entendimento do restante deste trabalho.

2.1 Diabetes Mellitus

O Diabetes Mellitus (DM) é um distúrbio metabólico de etiologia múltipla, caracterizado por hiperglicemia crônica com distúrbios do metabolismo de carboidratos, gorduras e proteínas resultantes de defeitos na secreção de insulina, ação da insulina ou ambos ([WHO, 1999](#)).

De acordo com a American Diabetes Association ([ADA, 1999](#)), o DM é um problema mundial de grande importância no âmbito de saúde pública. As taxas de morbidade, mortalidade e sequelas causadas pela doença (como cegueira, retinopatia diabética, insuficiência renal terminal e amputações de membros inferiores) crescem a cada ano, tendo como consequência direta o aumento nos gastos públicos nessa área.

No ano de 2017, foram registradas no mundo todo cerca de quatro milhões de mortes decorrentes de diabetes. Nesse mesmo ano, existiam em torno de 425 milhões de pessoas diagnosticadas com a doença e estima-se que até em 2045 o número atinja a marca de 629 milhões, representando um aumento no total de 48%. O Brasil ocupava, em 2017, o quarto lugar entre os 10 países com maior número de indivíduos com DM e o sexto lugar entre os países que mais gastam em saúde com problemas relacionados à doença ([CHO et al., 2018](#)).

A Sociedade Brasileira de Diabetes (SBD), classifica a doença em três diferentes tipos ([SBD, 2019b](#)): Tipo 1, Tipo 2 e Gestacional. Além disso, o termo Pré-Diabetes é utilizado quando os níveis de glicose no sangue estão mais altos que o normal, porém, não o suficiente para um diagnóstico de Diabetes Tipo 2 ([SBD, 2019b](#)).

Segundo [Gross et al. \(2002\)](#), o diagnóstico de DM é realizado identificando-se alterações da glicose plasmática de jejum ou após uma sobrecarga de glicose por via oral (o chamado teste oral de tolerância à glicose — TOTG), conforme descrito na Tabela 1.

O Diabetes Mellitus Tipo 1 (DM1) é caracterizado pela destruição das células beta pancreáticas pelo próprio sistema imunológico do portador da doença. As células beta são responsáveis pela produção do hormônio insulina, que tem como principal função quebrar as moléculas de glicose transformando-as em energia disponíveis para as células evitando o estado de hiperglicemia crônica. Os portadores de DM1 são insulino-dependentes, pois

Tabela 1 – Diagnóstico do diabetes mellitus e alterações da tolerância à glicose de acordo com valores de glicose plasmática (em miligramas por decilitros – mg/dl).

Categoria	Jejum	TOTG 75g
Normal	< 110	< 140
Glicose plasmática de jejum alterada	≥ 110 e < 126	
Tolerância à glicose diminuída	< 126	≥ 140 e < 200
Diabetes Mellitus (Tipos 1 e 2)	≥ 126	≥ 200 e < 200
Diabetes Gestacional	≥ 110	≥ 140

o seu pâncreas produz pouca ou nenhuma insulina.

Entre os principais sintomas de DM1 estão: sede, diurese, fome excessiva, emagrecimento, cansaço e fraqueza nos casos menos agressivos. Nos casos mais graves, além dos sintomas citados anteriormente, o portador pode ter desidratação severa, sonolência, vômitos, dificuldades respiratórias e coma. Estima-se que entre 5 e 10% do total de pessoas com DM sejam portadores de DM1. De maneira geral, o DM1 aparece na infância ou adolescência, mas pode ser desencadeado em qualquer faixa etária.

O Diabetes Mellitus Tipo 2 (DM2) por sua vez, atinge em torno de 90% do total de diabéticos. Nessa vertente da doença, as células beta pancreáticas conseguem produzir insulina; no entanto, o portador da doença apresenta uma resistência à mesma, levando-o, assim, ao quadro de hiperglicemia crônica. Sintomas como sede, aumento da diurese, dores nas pernas, alterações visuais, aparecem de forma mais lenta, mas se não forem tratados podem levar o paciente a casos mais graves de desidratação e coma.

Esse tipo da doença está diretamente associado com a obesidade, sedentarismo e principalmente a maus hábitos alimentares, como, por exemplo, consumo excessivo de alimentos gordurosos e com grandes quantidades de carboidratos. O diagnóstico é mais comum em adultos a partir dos 50 anos de idade (SBEM, 2019).

Por fim, o Diabetes Mellitus Gestacional (DMG) ocorre no período de gravidez, em que a mulher passa por uma adaptação endócrino-metabólica devido à produção de hormônios na placenta que reduzem a sensibilidade à insulina. O pâncreas materno aumenta a quantidade de insulina produzida para tentar evitar o quadro de hiperglicemia crônica. Em algumas mulheres, entretanto, esse aumento de produção de insulina não ocorre, levando ao aumento dos níveis de açúcar na corrente sanguínea da mãe. Não é comum a presença de sintomas e, por esse motivo, o acompanhamento da glicemia deve ser feito durante todo o período de gravidez visto que o aumento excessivo de glicose na corrente sanguínea materna pode levar a várias complicações: crescimento fetal excessivo, partos traumáticos, hipoglicemia neonatal, bom como o desenvolvimento de DM2 na mãe (SBD, 2019a).

Segundo Souza et al. (2012), o Pré-Diabetes é um estado de risco caracterizado

pela elevação anormal dos níveis de glicose no sangue, mas não suficiente para diagnóstico de DM2. Indivíduos Pré-Diabéticos apresentam maior risco de desenvolvimento de DM2.

Para todos os tipos e vertentes da doença o portador deve fazer um acompanhamento médico para receber orientações sobre a doença e o tratamento. Parte dessas orientações estão diretamente ligadas à ingestão adequada de calorias, carboidratos, proteínas, vitaminas e sais minerais. Na Tabela 2 é mostrado um plano alimentar indicado para portadores de DM segundo [SBD \(2009\)](#).

Tabela 2 – Recomendações nutricionais para portadores de Diabetes Mellitus

Nutrientes	Ingestão diária recomendada
Carboidratos	Carboidratos totais: Em média 45% do Valor Energético Total Não inferiores a 130g/dia
Fibra Alimentar	Mínimo de 30g/dia ou 14g/1.000kcal
Gordura Total	Até 30% do Valor Energético Total
Colesterol	<290mg/dia
Proteínas	Mínimo de 28,4g/dia
Cálcio	Mínimo de 850mg/dia
Ferro	Mínimo de 18mg/dia
Zinco	Mínimo de 15mg/dia
Potássio	Mínimo de 3500mg/dia
Fósforo	Mínimo de 700mg/dia
Magnésio	Mínimo de 400mg/dia
Vitamina B1	Mínimo de 0,98mg/dia
Vitamina B2	Mínimo de 1,35mg/dia
Vitamina C	Mínimo de 200mg/dia
Sódio	Até 2000mg

Para a quantidade de calorias tem-se um caso específico, uma vez que não são consideradas componentes nutricionais nos alimentos. O termo “caloria” representa a quantidade de energia que determinado alimento é capaz de fornecer após ser ingerido e metabolizado pelo organismo. Para os homens, as necessidades calóricas básicas são de 35 kcal/kg por dia, enquanto que, para as mulheres, são de 25 kcal/kg por dia ([PAULINO, 2017](#)).

Diante da grande diversidade de alimentos disponíveis no Brasil e da recente proximidade das áreas de tecnologia e medicina, o problema da escolha de alimentos para compor uma dieta que respeite as necessidades e restrições nutricionais para diabéticos pode se tornar desgastante e impreciso. Por esse motivo, neste trabalho de conclusão de curso, optou-se por descrever esse problema por meio de um modelo matemático de Programação Linear, similar ao apresentado por [Paulino \(2017\)](#). Nas próximas seções, são descritos conceitos relacionados a tais modelos, bem como o modelo que foi utilizado como base para tratar o problema aqui estudado.

2.2 Programação Linear

[Marins \(2011\)](#) define Programação Linear (PL) como um conjunto de técnicas e métodos científicos que têm como objetivo encontrar a melhor solução para problemas que tenham seus modelos matemáticos representados por expressões lineares. A resolução do problema consiste, basicamente, em maximizar ou minimizar uma função linear, denominada de função objetivo. Além disso leva-se em consideração um sistema linear de igualdades ou desigualdades, que recebem o nome de restrições do modelo. As restrições definem o conjunto viável da solução, pois limitam os recursos disponíveis para resolução do problema. Dentro do conjunto viável, escolhe-se a melhor solução, chamada de solução ótima para o problema.

A PL, se aplica a uma grande variedade de situações e problemas do mundo real, pois contém algoritmos e técnicas científicas bastante eficientes para resolução destes problemas.

Ainda de acordo com [Marins \(2011\)](#), um modelo matemático de um problema real é uma representação através de expressões matemáticas e variáveis que descrevem a essência do problema. A modelagem matemática de um Problema de Programação Linear (PPL) é composta pela identificação das variáveis de decisão, restrições e função objetivo.

As variáveis de decisão são aquelas que descrevem como o objetivo do problema deverá ser alcançado. Por exemplo, seja uma empresa que produz para vendas os produtos A , B e C . A quantidade que será produzida de cada um desses produtos para que a empresa alcance o lucro máximo são decisivas para a resolução do problema. Neste caso, os valores das variáveis de decisão vão representar as quantidades de produtos A , B e C a serem produzidas.

As restrições estão diretamente ligadas às limitações do PPL. Para o exemplo da produção de uma empresa para vendas, a quantidade de matéria-prima ou mão-de-obra disponíveis para produção de A , B e C são restrições do problema, uma vez que, em um problema do mundo real, essas quantidades são limitadas.

A função objetivo descreve a meta a ser alcançada com a resolução do PPL. No exemplo da produção para vendas, o objetivo poderia ser maximizar o lucro total com a venda dos produtos. Outra possível meta é a minimização do custo total de tempo para ter uma produção em maior escalabilidade.

Um outro exemplo clássico de problema de PL é o Problema da Dieta. Esse problema consiste em escolher quais alimentos irão compor uma dieta respeitando determinadas restrições nutritivas. No caso particular do problema da Dieta de Diabéticos, um modelo matemático poderá auxiliar na tomada de decisão de quais alimentos (variáveis de decisão) consumir, minimizando a quantidade de carboidratos ingeridos (função objetivo) e levando em consideração as necessidades nutritivas (restrições) do paciente ([PAULINO](#),

2017).

No contexto desta monografia, deseja-se selecionar um conjunto de itens, no caso, porções de diferentes alimentos. Assim, na definição da função objetivo, optou-se por utilizar como base o problema da mochila binária, descrito a seguir, uma vez que este problema é amplamente estudado e de fácil adaptação para este trabalho.

2.3 Problema da Mochila Binária

O problema da mochila tem esse nome em conformidade com a decisão de quais itens colocar em uma mochila sem exceder o limite máximo de peso. Esse problema aparece como um caso particular de diversos problemas de otimização combinatória (ARENALES et al., 2015).

Um das principais variações deste problema consiste na mochila 0/1, ou mochila binária, definido da seguinte maneira. Seja uma mochila de capacidade b e sejam n itens, sendo que cada item j possui um valor de utilidade (lucro, por exemplo) v_j e um peso p_j . Deseja-se escolher quais itens serão colocados na mochila de modo que o valor de utilidade total seja o maior possível, sempre respeitando a restrição de capacidade.

Define-se, assim, uma variável binária x_j para cada item j que possa ser empacotado na mochila. Assim, se o item j é escolhido para ser colocado dentro da mochila, então $x_j = 1$; caso contrário, tem-se $x_j = 0$. Em termos matemáticos, tem-se:

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{se o item } j \text{ é selecionado} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

O problema, por sua vez, é modelado da seguinte maneira (ARENALES et al., 2015):

$$\begin{aligned} &\text{maximizar} && \sum_{j=1}^n v_j x_j \\ &\text{sujeito a} && \sum_{j=1}^n p_j x_j \leq b \\ &&& x_j \in \{0,1\} \quad \forall j = 1,2,\dots,n \end{aligned}$$

A função objetivo do problema visa a maximização do valor de utilidades dos itens que serão escolhidos para preencher a mochila. Já a restrição e as variáveis de decisão do problema são definidas, respectivamente, pelo peso máximo que a mochila suporta e se o item é selecionado ou não.

Tabela 3 – Valores e pesos dos itens A,B,C e D

Item	Valor	Peso
A	8	5
B	11	7
C	6	4
D	4	3

Por exemplo, dado uma caixa com os itens A, B, C e D de diferentes pesos e valores, deseja-se escolher quais itens maximizam a soma dos seus valores, respeitando o peso máximo de 15 quilos para uma mochila, de acordo com a Tabela 3:

A resolução deste exemplo é definida pela equação (2.1):

$$\begin{aligned} \text{maximizar } Z &= 8x_1 + 11x_2 + 6x_3 + 4x_4 \\ \text{sujeito a} \quad &5x_1 + 7x_2 + 4x_3 + 3x_4 \leq 15 \\ &x_1, x_2, x_3, x_4 \in \{0,1\} \end{aligned} \tag{2.1}$$

Em que Z representa o valor total dos itens escolhidos e x_1, x_2, x_3 e x_4 , podem assumir o valor 1 se o item é escolhido para ser adicionado à mochila ou 0 caso o contrário.

Escolhendo os itens A, B e D, temos $x_1 = 1, x_2 = 1, x_3 = 0$ e $x_4 = 1$. A soma do valor total dos itens Z é 23 e o peso total é de 15. Para esta solução temos a maximização do valor de retorno dos itens não ultrapassando o limite de capacidade da mochila.

Para o caso específico de escolha de alimentos para compor uma dieta, o problema da mochila binária é adaptado como segue: dado um conjunto de alimentos A disponíveis, com valores nutricionais n , escolhem-se quais alimentos irão compor a dieta de acordo com o objetivo específico da mesma. Uma dieta para perda de peso, por exemplo, tem como objetivo minimizar a quantidade de calorias ingeridas; nesse caso, as restrições representariam as necessidades mínimas de nutrientes essenciais ao corpo, como vitaminas, sais minerais, proteínas, lipídios, etc. O modelo proposto neste trabalho é detalhado no próximo capítulo.

3 Desenvolvimento

Para o desenvolvimento deste TCC, inicialmente, projetou-se um modelo matemático com o objetivo de selecionar quais alimentos poderiam compor uma dieta ótima, sempre respeitando as restrições de quantidades mínimas e máximas diárias de nutrientes, segundo recomendações nutricionais apresentadas na Tabela 2.

A coleta de informações nutricionais dos alimentos foi feita através da Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO-Unicamp 4.0) (UNICAMP, 2011). A escolha por sua utilização se deu devido ao fato de contemplar uma grande variedade de alimentos e informações nutricionais relevantes para o problema.

Segundo UNICAMP (2011), o projeto TACO, coordenado pelo Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação (NEPA) da UNICAMP e com financiamento do Ministério da Saúde (MS) e Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à FOME (MDS) é uma iniciativa que objetiva disponibilizar “dados de um grande número de nutrientes em alimentos nacionais e regionais obtidos por meio de amostragem representativa e análises realizadas por laboratórios com competência analítica comprovada por estudos interlaboratoriais, segundo critérios internacionais” (UNICAMP, 2011).

A TACO é composta por 597 alimentos em diferentes estados (cru, cozido, enlatado, etc.) e quantifica para cada um deles nutrientes como: quilocalorias (kcal), proteínas, lipídeos, colesterol, carboidratos, fibras alimentares, cinzas, cálcio, magnésio, manganês, fósforo, ferro, sódio, potássio, cobre, zinco, tiamina (vitamina B), riboflavina (vitamina B2), vitamina C, etc. Os dados nutricionais que compõem a tabela foram analisados para uma quantidade de 100g de cada alimento.

Diferente da proposta de Paulino (2017), optou-se pela utilização da tabela completa, ou seja, considerou-se todos os 597 alimentos presentes na TACO, sem nenhum pré-processamento prévio para escolha de alimentos mais comuns ou por região do cardápio alimentício brasileiro. Além disso, neste TCC optou-se por uma dieta que desconsidera a divisão em refeições diárias, como café da manhã, almoço e jantar.

Para avaliar e validar o modelo, foram considerados três indivíduos hipotéticos portadores de Diabetes Mellitus de diferentes sexos, alturas e intensidade de atividades físicas. A Tabela 4 mostra os valores de necessidades mínimas de calorias e carboidratos, e a quantidade máxima permitida para o consumo de gorduras para cada indivíduo. As necessidades calóricas e de carboidratos dos indivíduos foram estabelecidas com base na Tabela 2.

Para a quantidade de carboidratos, foi considerado que o indivíduo tem a necessi-

Tabela 4 – Necessidades nutricionais de três indivíduos hipotéticos.

Indivíduo	Sexo	Altura (m)	Nível de atividade física	Calorias necessárias (kcal)	Carboidratos necessários (g)	Gorduras Totais máxima (g)
1	Feminino	1.50	Moderada	1800	202,5	60
2	Masculino	1.70	Leve	2100	236,5	70
3	Feminino	1.75	Intensa	3000	337,5	100

dade mínima de 45% do valor total de calorias. Além disso, considerou-se que cada grama de carboidrato equivale a quatro calorias. A Equação (3.1) mostra como a quantidade de carboidratos necessária foi calculada.

$$qtdCarboidratosTotal = \frac{qtdCaloriasNecessarias * 0.45}{4} \quad (3.1)$$

Para o cálculo da quantidade de gorduras totais máxima foi considerado o valor de 30% do valor total de calorias. Cada grama de gordura equivale a nove calorias. A Equação (3.2) mostra como a quantidade máxima de gorduras totais permitida foi calculada.

$$qtdGordurasTotal = \frac{qtdCaloriasNecessarias * 0.30}{9} \quad (3.2)$$

O modelo matemático para otimizar a dieta foi implementado em linguagem GNU/MathProg e os experimentos computacionais foram processados utilizando o *GNU Linear Programming Kit* (GLPK). O GLPK é um pacote de software *opensource* destinado a resolver problemas de programação linear, programação inteira mista ou outros problemas relacionados. A descrição de um modelo matemático em GNU/MathProg no GLPK consiste basicamente em: variáveis de decisão do problema, função objetivo, restrições e parâmetros (GNU, 2019). O código escrito em GNU/MathProg e utilizado nesses experimentos pode ser consultado no Apêndice A desta monografia.

3.1 Função Objetivo

A função objetivo representa o propósito em termos nutricionais a serem atingidos pela dieta. Para o caso de uma dieta de diabéticos, o objetivo é minimizar a quantidade de carboidratos ingeridos, uma vez que eles são os nutrientes que mais elevam os índices glicêmicos dos portadores da doença. A função objetivo está descrita na Equação (3.3).

$$\min \sum_{j=1}^n carb_j a_j \quad (3.3)$$

Para um conjunto de n alimentos disponíveis, $carb_j$ representa a quantidade de carboidratos presentes em 100 gramas do alimento j . A variável de decisão a_j representa se o j -ésimo alimento foi ou não escolhido para compor a dieta. Portanto:

$$a_j = \begin{cases} 1 & \text{se o alimento } j \text{ é selecionado para compor a dieta} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

3.2 Restrições do Problema

As restrições representam no modelo matemático as necessidades mínimas ou limites de nutrientes na dieta. Para nutrientes como carboidratos, calorias, proteínas, fibras, cálcio, magnésio, fósforo, ferro, potássio, zinco e vitaminas temos restrições de quantidades mínimas a serem fornecidas pela dieta, pois estes são nutrientes essenciais ao organismo. Além disso, para nutrientes como proteínas e calorias também foram definidas restrições de consumo máximo, uma vez que esses nutrientes, se consumidos em excesso, podem causar problemas sérios de saúde como obesidade e problemas renais.

Para a definição das restrições do problema, foi considerado o mesmo conjunto n de alimentos disponíveis da função objetivo descrita na Equação (3.3). As variáveis de decisão a_j que representam a presença ou ausência do alimento j seguem a mesma lógica para as restrições.

3.2.1 Restrições de Consumo Calórico

$$\sum_{j=1}^n cal_j a_j \geq qtdMinCalorias \quad (3.4)$$

onde cal_j representa a quantidade de calorias presentes em 100 gramas do alimento j . A quantidade mínima de calorias necessárias na dieta é representada por $qtdMinCalorias$. Essa variável tem valor flexível para atender às particularidades de cada indivíduo hipotético utilizado na validação do modelo, de acordo com a Tabela 4.

$$\sum_{j=1}^n cal_j a_j \leq qtdMaxCalorias \quad (3.5)$$

onde cal_j representa a quantidade de calorias presentes em 100 gramas do alimento j . A quantidade máxima de calorias permitidas na dieta é representada por $qtdMaxCalorias$. A Equação (3.6) mostra como o valor da variável $qtdMaxCalorias$ foi calculado:

$$qtdMaxCalorias = qtdMinCalorias + (qtdMinCalorias * 0.10) \quad (3.6)$$

onde $qtdMinCalorias$ representa a quantidade mínima de calorias necessárias definida pela Equação (3.4).

A restrição de quantidade máxima de calorias diárias ingeridas tem como objetivo principal limitar a quantidade de calorias fornecidas diariamente pela dieta, uma vez que o excesso de calorias pode causar obesidade.

3.2.2 Restrição de Consumo de Carboidratos

$$\sum_{j=1}^n carb_j a_j \geq qtdMinCarboidratos \quad (3.7)$$

onde $carb_j$ representa a quantidade de calorias presentes em 100 gramas do alimento j . De acordo com a (SBD, 2019b), os indivíduos portadores de DM devem minimizar a quantidade de carboidratos ingeridos diariamente, porém não devem deixar de ser consumidos, pois são nutrientes essenciais para o organismo, uma vez que são os principais provedores de energias para as células.

A quantidade mínima de carboidratos necessários é representada pela variável $qtdMinCarboidratos$ na Equação (3.7). Essa variável tem valor flexível para atender às particularidades de cada indivíduo hipotético utilizado na validação do modelo, de acordo com a Tabela 4.

3.2.3 Restrições de Consumo Proteico

$$\sum_{j=1}^n prot_j a_j \geq 28,4g \quad (3.8)$$

onde $prot_j$ representa a quantidade de proteínas presentes em 100 gramas do alimento j . A restrição descreve que a necessidade de proteínas diária é de no mínimo de 28.4 gramas. Foi considerado que os indivíduos hipotéticos apresentam a função renal normal e não tem nenhum problema com relação a ingestão de proteínas.

$$\sum_{j=1}^n prot_j a_j \leq 38,4g \quad (3.9)$$

onde $prot_j$ representa a quantidade de proteínas presentes em 100 gramas do alimento j . A restrição descreve que a quantidade de proteínas consumidas diariamente deve ser de no máximo 38.4 gramas. Foi considerado que os indivíduos hipotéticos apresentam a função renal normal e não tem nenhum problema com relação a ingestão de proteínas.

3.2.4 Restrição de Consumo de Fibras Alimentares

$$\sum_{j=1}^n fib_j a_j \geq 30g \quad (3.10)$$

onde fib_j representa a quantidade de fibras alimentares presentes em 100 gramas do alimento j . A restrição descreve que a necessidade de fibras alimentares diária é de no mínimo 30 gramas.

3.2.5 Restrição de Consumo de Cálcio

$$\sum_{j=1}^n calc_j a_j \geq 850mg \quad (3.11)$$

onde $calc_j$ representa a quantidade de cálcio presente em 100 gramas do alimento j . A restrição descreve que a necessidade de cálcio diária é de no mínimo 850 miligramas.

3.2.6 Restrição de Consumo de Magnésio

$$\sum_{j=1}^n mag_j a_j \geq 400mg \quad (3.12)$$

onde mag_j representa a quantidade de magnésio presente em 100 gramas do alimento j . A restrição descreve que a necessidade de magnésio diária é de no mínimo 400 miligramas.

3.2.7 Restrição de Consumo de Fósforo

$$\sum_{j=1}^n fosf_j a_j \geq 700mg \quad (3.13)$$

onde $fosf_j$ representa a quantidade de fósforo presente em 100 gramas do alimento j . A restrição descreve que a necessidade de fósforo diária é de no mínimo 700 miligramas.

3.2.8 Restrição de Consumo de Ferro

$$\sum_{j=1}^n fer_j a_j \geq 18mg \quad (3.14)$$

onde fer_j representa a quantidade de ferro presente em 100 gramas do alimento j . A restrição descreve que a necessidade de ferro diária é de no mínimo 18 miligramas.

3.2.9 Restrição de Consumo de Potássio

$$\sum_{j=1}^n pot_j a_j \geq 3500mg \quad (3.15)$$

onde pot_j representa a quantidade de potássio presente em 100 gramas do alimento j . A restrição descreve que a necessidade de potássio diária é de no mínimo 3500 miligramas.

3.2.10 Restrição de Consumo de Zinco

$$\sum_{j=1}^n zinc_j a_j \geq 15mg \quad (3.16)$$

onde $zinc_j$ representa a quantidade de zinco presente em 100 gramas do alimento j . A restrição descreve que a necessidade de zinco diária é de no mínimo 15 miligramas.

3.2.11 Restrição de Consumo de Vitamina B1

$$\sum_{j=1}^n vitb1_j a_j \geq 0,98mg \quad (3.17)$$

onde $vitb1_j$ representa a quantidade de vitaminas B1 presentes em 100 gramas do alimento j . A restrição descreve que a necessidade de vitaminas B1 diária é de no mínimo 0.98 miligramas.

3.2.12 Restrição de Consumo de Vitamina B2

$$\sum_{j=1}^n vitb2_j a_j \geq 1,35mg \quad (3.18)$$

onde $vitb2_j$ representa a quantidade de vitaminas B2 presentes em 100 gramas do alimento j . A restrição descreve que a necessidade de vitaminas B2 diária é de no mínimo 0.98 miligramas.

3.2.13 Restrição de Consumo de Vitamina C

$$\sum_{j=1}^n vitc_j a_j \geq 200mg \quad (3.19)$$

onde $vitc_j$ representa a quantidade de vitaminas C presentes em 100 gramas do alimento j . A restrição descreve que a necessidade de vitaminas C diária é de no mínimo 200 miligramas.

3.2.14 Restrição de Consumo de Vitamina A

$$\sum_{j=1}^n vita_j a_j \geq 80 \mu g \quad (3.20)$$

onde $vita_j$ representa a quantidade de vitaminas A presentes em 100 gramas do alimento j . A restrição descreve que a necessidade de vitaminas C diária é de no mínimo 80 microgramas.

3.2.15 Restrição de Consumo de Colesterol

$$\sum_{j=1}^n colest_j a_j \leq 290mg \quad (3.21)$$

onde $colest_j$ representa a quantidade de colesterol presente em 100 gramas do alimento j . A restrição descreve que a quantidade máxima de colesterol ingerido diariamente deve ser de 290 miligramas.

3.2.16 Restrição de Consumo de Sódio

$$\sum_{j=1}^n sod_j a_j \leq 2000mg \quad (3.22)$$

onde sod_j representa a quantidade de sódio presente em 100 gramas do alimento j . A restrição descreve que a quantidade máxima de sódio ingerido diariamente deve ser de 2000 miligramas.

3.2.17 Restrição de Consumo de Lipídeos

$$\sum_{j=1}^n lip_j a_j \leq qtdMaxLipideos \quad (3.23)$$

onde lip_j representa a quantidade de lipídeos ou gorduras totais, presente em 100 gramas do alimento j . A quantidade máxima de lipídeos necessárias na dieta é representada pela variável $qtdMaxLipideos$. Essa variável tem valor flexível para atender às particularidades de cada indivíduo hipotético utilizado na validação do modelo, de acordo com a Tabela 4.

4 Experimentos e Resultados

Para avaliação e validação do modelo foram realizados três diferentes Estudos de Casos. Considerou-se, para cada Estudo, indivíduos de diferentes sexos, intensidades de atividades físicas, alturas e consumo calórico, de acordo com a Tabela 4. O objetivo desses experimentos é encontrar a solução ótima, também denominada de Dieta Ótima Diária (DOD), respeitando as restrições impostas de acordo com as necessidades nutricionais pelo modelo desenvolvido.

A Dieta Ótima Diária foi encontrada para cada Estudo de Caso, considerando os 597 alimentos e nutrientes presentes na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos ([UNICAMP, 2011](#)).

4.1 Estudo de Caso 1

O primeiro Estudo de Caso foi realizado considerando um indivíduo portador de Diabetes Mellitus do sexo feminino, com altura de 1,50m e que faz exercícios físicos de forma moderada, tendo uma necessidade média de 1800 calorias por dia.

Os alimentos presentes na DOD para o Indivíduo 1 estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5 – Dieta diária ótima para o Indivíduo 1.

Alimentos
Arroz tipo 2 cozido
Mingau tradicional
Alface americana
Alface roxa
Batata baroa
Caruru
Chicória
Suco concentrado de cajú
Sardinha, conserva em óleo
Leite de vaca desnatado, UHT
Leite de vaca integral
Chá de erva-doce infusão 5%
Chá preto infusão 5%
Água de Coco
Chantilly
Camarão à baiana
Tucupi com pimenta-de-cheiro
Farinha de mesocarpo de babaçu

Nota-se que foram encontrados alguns alimentos mais comuns em determinadas regiões do Brasil, como, por exemplo, o caruru, tucupi com pimenta-de-cheiro, farinha de mesocarpo de babaçu. O caruru é uma comida típica e muito conhecida do estado da Bahia. A farinha de mesocarpo de babaçu é um alimento que tem origem nas palmeiras de babaçu e é típico dos Estados do Pará, Maranhão e Piauí. O tucupi com pimenta-de-cheiro, por sua vez, é típico da região Norte do país, comumente servido acompanhado com a carne de pato.

As quantidades mínimas e/ou máximas exigidas pelas restrições do modelo juntamente com informações nutricionais da dieta encontrada no Estudo de Caso 1 foram dispostas na Tabela 6. É possível perceber que as exigências nutricionais impostas pelas restrições do modelo foram atendidas.

Tabela 6 – Quantidades máximas e/ou mínimas nutricionais exigidas pelo modelo e fornecidas pela dieta do estudo de caso 1.

Nutriente	Quantidade exigida pelo modelo	Quantidade fornecida pela dieta
Calorias(kcal)	$\geq 1800\text{kcal}$ e ≤ 1960	1804,84kcal
Proteínas(g)	$\geq 28,4\text{g}$ e $\leq 38,4\text{g}$	38,34g
Lipídeos(g)	$\leq 60\text{g}$	59,91g
Colesterol(mg)	$\leq 290\text{mg}$	203,59mg
Carboidratos(g)	$\geq 202,5$	275,54g
Fibras Alimentares(g)	$\geq 30\text{g}$	32,95g
Cálcio(mg)	$\geq 850\text{mg}$	2053,7mg
Magnésio(mg)	$\geq 400\text{mg}$	417,09mg
Fósforo(mg)	$\geq 700\text{mg}$	1498,34mg
Ferro(mg)	$\geq 18\text{mg}$	74,59mg
Sódio(mg)	$\leq 2000\text{mg}$	1098,7mg
Potássio(mg)	$\geq 3500\text{mg}$	3503,22mg
Zinco(mg)	$\geq 15\text{mg}$	26,74mg
Vitamina B1(mg)	$\geq 0,98\text{mg}$	8,44mg
Vitamina B2(mg)	$\geq 1,35\text{mg}$	1,48mg
Vitamina C(mg)	$\geq 200\text{mg}$	235,46mg
Vitamina A(μ)	$\geq 80\ \mu\text{g}$	1554.14 μg

4.2 Estudo de Caso 2

O segundo Estudo de Caso considerou um indivíduo hipotético portador de DM, do sexo masculino, com altura de 1,70m e que faz exercícios físicos de forma leve, com uma necessidade média de 2100 calorias por dia. Os alimentos presentes na DOD para o Indivíduo 2 estão dispostos na Tabela 7.

Comparando as dietas encontradas nos estudos de casos 1 e 2, é possível notar que alimentos como o mingau tradicional, caruru, chicória, leite de vaca desnatado UHT, água

Tabela 7 – Dieta diária ótima para o Indivíduo 2.

Alimentos
Farinha de arroz enriquecida
Mingau tradicional
Aipo
Batata inglesa
Caruru
Chicória
Maxixe
Suco de laranja baía
Toucinho
Iogurte natural desnatado
Leite de cabra%
Leite de vaca desnatado, UHT
Bebida isotônica
Café infusão 10%
Chá preto infusão 5%
Água de Coco
Molho cuxá
Tucupi com pimenta-de-cheiro
Farinha de mesocarpo de babaçu

de coco, chá preto infusão 5%, tucupi com pimenta-de-cheiro e farinha de mesocarpo de babaçu se mantiveram em ambas as dietas. Por outro lado, alguns dos alimentos na dieta encontrada do Estudo de Caso 1 não se mantiveram na dieta do Estudo de Caso 2, no qual novos alimentos apareceram a fim de atender às necessidades nutricionais impostas pelas restrições do modelo.

A presença de alimentos típicos de algumas regiões do Brasil como o maxixe e o molho cuxá também estão presentes na dieta do indivíduo 2. O maxixe é um vegetal de origem africana, muito utilizado na culinária das regiões norte e nordeste do Brasil. O molho cuxá é típico da culinária do estado do Maranhão, feito com vinagreira, gergelim, camarão seco, farinha de mandioca seca e pimenta-de-cheiro.

As quantidades mínimas e/ou máximas exigidas pelas restrições do modelo juntamente com informações nutricionais da dieta encontrada no estudo de caso 2 foram dispostas na Tabela 8. É possível perceber que as exigências nutricionais impostas pelas restrições do modelo foram atendidas.

4.3 Estudo de Caso 3

Por fim, o terceiro Estudo de Caso levou em consideração um indivíduo hipotético portador de DM, do sexo masculino, com altura de 1,75m e que faz exercícios físicos

Tabela 8 – Quantidades máximas e/ou mínimas nutricionais exigidas pelo modelo e fornecidas pela dieta do estudo de caso 2.

Nutriente	Quantidade exigida pelo modelo	Quantidade fornecida pela dieta
Calorias(kcal)	$\geq 2100\text{kcal}$ e ≤ 2310	2100,35kcal
Proteínas(g)	$\geq 28,4\text{g}$ e $\leq 38,4\text{g}$	38,35g
Lipídeos(g)	$\leq 70\text{g}$	70g
Colesterol(mg)	$\leq 290\text{mg}$	163,03mg
Carboidratos(g)	$\geq 236,5$	325,76g
Fibras Alimentares(g)	$\geq 30\text{g}$	33,86g
Cálcio(mg)	$\geq 850\text{mg}$	1865mg
Magnésio(mg)	$\geq 400\text{mg}$	428,27mg
Fósforo(mg)	$\geq 700\text{mg}$	1116,05mg
Ferro(mg)	$\geq 18\text{mg}$	101,23mg
Sódio(mg)	$\leq 2000\text{mg}$	1788,79mg
Potássio(mg)	$\geq 3500\text{mg}$	3525,31mg
Zinco(mg)	$\geq 15\text{mg}$	33,91mg
Vitamina B1(mg)	$\geq 0,98\text{mg}$	10,05mg
Vitamina B2(mg)	$\geq 1,35\text{mg}$	1,56mg
Vitamina C(mg)	$\geq 200\text{mg}$	358,68mg
Vitamina A(μ)	$\geq 80\ \mu\text{g}$	1588.88 μg

de forma intensa, com uma necessidade média de 3000 calorias por dia. Os alimentos presentes na DOD para o Indivíduo 3 estão dispostos na Tabela 9.

Como o indivíduo considerado para este estudo de caso possui uma necessidade calórica maior em relação aos outros dois, alguns alimentos com índices calóricos altos passaram a compor a dieta, como por exemplo o toucinho, amido de milho e o prato vaca atolada.

O alimento típico regional presente nesta dieta é o prato vaca atolada, um prato caipira típico dos estados de São Paulo, Minas Gerais e Pernambuco. Geralmente é feito a base de costela bovina, mandioca e legumes.

As quantidades mínimas e/ou máximas exigidas pelas restrições do modelo juntamente com informações nutricionais da dieta encontrada no estudo de caso 2 foram dispostas na Tabela 10. É possível perceber que as exigências nutricionais impostas pelas restrições do modelo também foram atendidas.

4.4 Discussão

O modelo proposto neste TCC se mostrou capaz de selecionar uma dieta ótima para cada um dos casos descritos neste capítulo. Além disso, a execução do GLPK para o modelo se mostrou bastante eficiente, consumindo, em média, 577,4 segundos de processamento em um computador *MacBook Pro* 2017 com um processador 2,3GHz Intel(R)

Tabela 9 – Dieta diária ótima para o Indivíduo 3.

Alimentos
Arroz tipo 2 cozido
Farinha de arroz enriquecida
Amido de milho
Mingau tradicional
Alface roxa
Batata baroa
Batata inglesa
Caruru
Suco de laranja valência
Suco de maracujá concentrado
Toucinho
Iogurte natural desnatado
Leite de vaca desnatado, UHT
Leite de vaca integral
Café infusão 10%
Chá preto infusão 5%
Água de Coco
Chantilly
Tucupi com pimenta-de-cheiro
Vaca atolada
Farinha de mesocarpo de babaçu

Core(TM) i5 Dual-Core, memória principal de 8,0GB e SSD com capacidade de 128GB.

Tabela 10 – Quantidades máximas e/ou mínimas nutricionais exigidas pelo modelo e fornecidas pela dieta do estudo de caso 3.

Nutriente	Quantidade exigida pelo modelo	Quantidade fornecida pela dieta
Calorias(kcal)	$\geq 3000\text{kcal e } \leq 3300$	3009,9kcal
Proteínas(g)	$\geq 28,4\text{g e } \leq 38,4\text{g}$	38,34g
Lipídeos(g)	$\leq 100\text{g}$	100g
Colesterol(mg)	$\leq 290\text{mg}$	109,24mg
Carboidratos(g)	$\geq 337,5$	479,49g
Fibras Alimentares(g)	$\geq 30\text{g}$	34,3g
Cálcio(mg)	$\geq 850\text{mg}$	1642,74mg
Magnésio(mg)	$\geq 400\text{mg}$	414,37mg
Fósforo(mg)	$\geq 700\text{mg}$	1057,65mg
Ferro(mg)	$\geq 18\text{mg}$	102,14mg
Sódio(mg)	$\leq 2000\text{mg}$	464,33mg
Potássio(mg)	$\geq 3500\text{mg}$	3601,59mg
Zinco(mg)	$\geq 15\text{mg}$	35,1mg
Vitamina B1(mg)	$\geq 0,98\text{mg}$	10,06mg
Vitamina B2(mg)	$\geq 1,35\text{mg}$	1,38mg
Vitamina C(mg)	$\geq 200\text{mg}$	293,89mg
Vitamina A(μ)	$\geq 80\ \mu\text{g}$	1554.14 μg

5 Conclusões

No processo de desenvolvimento e validação do modelo, ficou clara a importância do uso do Problema da Mochila Binária como um meio para a resolução do problema de Dietas para portadores de Diabetes Mellitus (DM), visto que esse é um problema clássico que envolve restrições, tomada de decisão e uma função objetivo.

Observou-se que os resultados experimentais se adequaram à minimização da quantidade de carboidratos fornecidos pela dieta, descrita na modelagem matemática pela função objetivo. O modelo desenvolvido também é parametrizado e adaptável, podendo ser utilizado para dietas com outros tipos de objetivos, como, por exemplo, para pessoas que desejam adotar uma dieta para perda de peso que tem como função objetivo minimizar a quantidade total de calorias ingeridas.

Apesar de o modelo comportar-se da forma esperada respeitando todas as restrições e exigências nutricionais impostas, observou-se que, ao considerar todos os 597 alimentos presentes na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos, chegou-se a alimentos específicos de algumas regiões que podem ser desconhecidos e inacessíveis para as pessoas que desejam seguir a dieta. Além disso, alimentos como o leite e o chá, mesmo sendo de diferentes tipos, apareceram mais de uma vez em alguns resultados dos estudos de casos. Tais alimentos poderiam ser substituídos por outros com propriedades nutricionais parecidas, dando maior diversidade alimentícia à composição da dieta. Para que isso ocorra, será necessária uma pré-seleção e eliminação de alimentos de diferentes tipos, gerando uma nova base inicial de alimentos.

Um aspecto importante a ser aprimorado em trabalhos futuros é, também, considerar a variável “preço”, visto que alguns alimentos podem ser inacessíveis a famílias de baixa renda. Uma modelagem envolvendo múltiplos objetivos, com a minimização simultânea da quantidade de carboidratos presentes na dieta e do custo financeiro dos alimentos parece ser um bom caminho para tornar as dietas resultantes mais acessíveis.

Apesar de toda complexidade e diversas variáveis envolvidas na modelagem de dietas para diabéticos, o modelo desenvolvido atendeu ao objetivo inicial do trabalho, podendo ser útil aos especialistas que trabalham com gestão de dietas para diabéticos.

Referências

- AMERICAN DIABETES ASSOCIATION. Clinical practice recommendations. *Diabetes Care*, v. 22, n. 1, p. S1–S114, 1999. Citado na página 11.
- _____. Diagnosis and classification of diabetes mellitus. *Diabetes Care*, v. 33, n. 1, p. S62–S69, jan. 2010. Citado na página 9.
- ARENALES, M.; MORABITO, R.; ARMENTANO, V.; YANASSE, H. *Pesquisa operacional para cursos de engenharia*. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus-Elsevier, 2015. 744 p. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 15.
- CHO, N. H.; SHAW, J. E.; KARURANGA, S.; HUANG, Y.; ROCHA FERNANDES, J. D. da; OHLROGGE, A. W.; MALANDA, B. IDF Diabetes Atlas: Global estimates of diabetes prevalence for 2017 and projections for 2045. *Diabetes Research and Clinical Practice*, v. 138, p. 271–281, abr. 2018. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 11.
- GNU SOFTWARE. *GLPK - GNU Linear Programming Kit*. 2019. Disponível em: <<https://www.gnu.org/software/glpk/>>. Acesso em: 10 nov. 2019. Citado na página 18.
- GROSS, J. L.; SILVEIRO, S. P.; CAMARGO, J. L.; REICHEL, A. J.; AZEVEDO, M. J. de. Diabetes melito: diagnóstico, classificação e avaliação do controle glicêmico. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia*, SciELO Brasil, v. 46, n. 1, p. 16–26, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 11.
- MARINS, F. A. S. Introdução à pesquisa operacional. *São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista*, 2011. Citado na página 14.
- PAULINO, J. C. P. L. *Modelagem matemática para otimização de dietas de portadores de Diabetes Mellitus*. 88 p. Dissertação (Mestrado) — Instituto de Computação, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017. Citado 5 vezes nas páginas 9, 10, 13, 15 e 17.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE DIABETES. *Manual de Nutrição*. São Paulo, 2009. 60 p. Citado na página 13.
- _____. *Diabetes Gestacional*. 2019. Disponível em: <<https://www.diabetes.org.br/publico/diabetes-gestacional>>. Acesso em: 30 out. 2019. Citado na página 12.
- _____. *Tipos de Diabetes*. 2019. Disponível em: <<https://www.diabetes.org.br/publico/diabetes/tipos-de-diabetes>>. Acesso em: 20 out. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 20.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENDROCRINOLOGIA E METABOLOGIA. *O que é Diabetes?* 2019. Disponível em: <<https://www.endocrino.org.br/o-que-e-diabetes/>>. Acesso em: 24 out. 2019. Citado na página 12.
- SOUZA, C. F. de; GROSS, J. L.; GERCHMAN, F.; LEITÃO, C. B. Pré-diabetes: diagnóstico, avaliação de complicações crônicas e tratamento. *Arquivos brasileiros de*

endocrinologia & metabologia, São Paulo, v. 56, n. 5, p. 275–284, 2012. Citado na página 12.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. *Tabela Brasileira de Composição de Alimentos*. 2011. Disponível em: <<http://www.nepa.unicamp.br/taco/tabela.php?ativo=tabela>>. Acesso em: 09 nov. 2019. Citado 3 vezes nas páginas 10, 17 e 24.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Definition, diagnosis and classification of diabetes mellitus and its complications: report of a WHO consultation: Part 1, diagnosis and classification of diabetes mellitus*. Geneva, 1999. 59 p. Citado na página 11.

Apêndices

APÊNDICE A – Modelo matemático em GNU/MathProg

A seguir, é apresentado o código-fonte (escrito na linguagem GNU/MathProg) do modelo matemático proposto no Capítulo 3.

```
# Quantidade máximas permitida de colesterol, sódio, lipídeos,
# calorias e proteínas
param qtdMaxColesterol;
param qtdMaxSodio;
param qtdMaxLipideos;
param qtdMaxCalorias;
param qtdMaxProteinas;

# Quantidade necessárias de nutrientes
param qtdMinCarboidratos;
param qtdMinCalorias;
param qtdMinProteinas;
param qtdMinFibras;
param qtdMinCalcio;
param qtdMinMagnesio;
param qtdMinFosforo;
param qtdMinFerro;
param qtdMinPotassio;
param qtdMinZinco;
param qtdMinVitaminaB1;
param qtdMinVitaminaB2;
param qtdMinVitaminaC;
param qtdMinVitaminaA;

# Itens: índice, calorias, proteínas, colesterol, carboidratos, fibras,
#cálcio, magnésio, fósforo, ferro, sódio, potássio, zinco,
# vitaminab1, vitaminab2, vitaminac, vitaminaa, lipídeos
set I, dimen 18;

# Índices
```

```
set J := setof{(i, cal, prot, colest, carb, fib, calc, magn, fosf, fer,
               sod, pot, zinc, vitb1, vitb2, vitc, vita, lip) in I} i;

# Variável de decisão se alimento vai ou não ser colocado na mochila
var a{J}, binary;

# Função objetivo
minimize obj :
    sum{(i, cal, prot, colest, carb, fib, calc, magn, fosf, fer, sod, pot,
         zinc, vitb1, vitb2, vitc, vita, lip) in I} carb*a[i];

#retrições de quantidade máxima
s.t. colesterol :
    sum{(i, cal, prot, colest, carb, fib, calc, magn, fosf, fer, sod, pot,
         zinc, vitb1, vitb2, vitc, vita, lip) in I} colest*a[i]
        <= qtdMaxColesterol;
s.t. sodio :
    sum{(i, cal, prot, colest, carb, fib, calc, magn, fosf, fer, sod, pot,
         zinc, vitb1, vitb2, vitc, vita, lip) in I} sod*a[i]
        <= qtdMaxSodio;
s.t. lipideos :
    sum{(i, cal, prot, colest, carb, fib, calc, magn, fosf, fer, sod, pot,
         zinc, vitb1, vitb2, vitc, vita, lip) in I} lip*a[i]
        <= qtdMaxLipideos;
s.t. maxCalorias :
    sum{(i, cal, prot, colest, carb, fib, calc, magn, fosf, fer, sod, pot,
         zinc, vitb1, vitb2, vitc, vita, lip) in I} cal*a[i]
        <= qtdMaxCalorias;
s.t. maxProteinas :
    sum{(i, cal, prot, colest, carb, fib, calc, magn, fosf, fer, sod, pot,
         zinc, vitb1, vitb2, vitc, vita, lip) in I} prot*a[i]
        <= qtdMaxProteinas;

# Restrições de quantidade necessária
s.t. minCarboidratos :
    sum{(i, cal, prot, colest, carb, fib, calc, magn, fosf, fer, sod, pot,
         zinc, vitb1, vitb2, vitc, vita, lip) in I} carb*a[i]
        >= qtdMinCarboidratos;
s.t. minCalorias :
```

```
sum{(i, cal, prot, colest, carb, fib, calc, magn, fosf, fer, sod, pot,
    zinc, vitb1, vitb2, vitc, vita, lip) in I} cal*a[i]
    >= qtdMinCalorias;
s.t. minProteinas :
sum{(i, cal, prot, colest, carb, fib, calc, magn, fosf, fer, sod, pot,
    zinc, vitb1, vitb2, vitc, vita, lip) in I} prot*a[i]
    >= qtdMinProteinas;
s.t. minFibras :
sum{(i, cal, prot, colest, carb, fib, calc, magn, fosf, fer, sod, pot,
    zinc, vitb1, vitb2, vitc, vita, lip) in I} fib*a[i]
    >= qtdMinFibras;
s.t. minCalcio :
sum{(i, cal, prot, colest, carb, fib, calc, magn, fosf, fer, sod, pot,
    zinc, vitb1, vitb2, vitc, vita, lip) in I} calc*a[i]
    >= qtdMinCalcio;
s.t. minMagnesio :
sum{(i, cal, prot, colest, carb, fib, calc, magn, fosf, fer, sod, pot,
    zinc, vitb1, vitb2, vitc, vita, lip) in I} magn*a[i]
    >= qtdMinMagnesio;
s.t. minFosforo :
sum{(i, cal, prot, colest, carb, fib, calc, magn, fosf, fer, sod, pot,
    zinc, vitb1, vitb2, vitc, vita, lip) in I} fosf*a[i]
    >= qtdMinFosforo;
s.t. minFerro :
sum{(i, cal, prot, colest, carb, fib, calc, magn, fosf, fer, sod, pot,
    zinc, vitb1, vitb2, vitc, vita, lip) in I} fer*a[i]
    >= qtdMinFerro;
s.t. minPotassio :
sum{(i, cal, prot, colest, carb, fib, calc, magn, fosf, fer, sod, pot,
    zinc, vitb1, vitb2, vitc, vita, lip) in I} pot*a[i]
    >= qtdMinPotassio;
s.t. minZinco :
sum{(i, cal, prot, colest, carb, fib, calc, magn, fosf, fer, sod, pot,
    zinc, vitb1, vitb2, vitc, vita, lip) in I} zinc*a[i]
    >= qtdMinZinco;
s.t. minVitaminaB1 :
sum{(i, cal, prot, colest, carb, fib, calc, magn, fosf, fer, sod, pot,
    zinc, vitb1, vitb2, vitc, vita, lip) in I} vitb1*a[i]
    >= qtdMinVitaminaB1;
```

```
s.t. minVitaminaB2 :
    sum{(i, cal, prot, colest, carb, fib, calc, magn, fosf, fer, sod, pot,
        zinc, vitb1, vitb2, vitc, vita, lip) in I} vitb2*a[i]
    >= qtdMinVitaminaB2;
s.t. minVitaminaC :
    sum{(i, cal, prot, colest, carb, fib, calc, magn, fosf, fer, sod, pot,
        zinc, vitb1, vitb2, vitc, vita, lip) in I} vitc*a[i]
    >= qtdMinVitaminaC;
s.t. minVitaminaA :
    sum{(i, cal, prot, colest, carb, fib, calc, magn, fosf, fer, sod, pot,
        zinc, vitb1, vitb2, vitc, vita, lip) in I} vita*a[i]
    >= qtdMinVitaminaA;

solve;

data;

param qtdMaxColesterol := 290;
param qtdMaxSodio := 2000;
param qtdMaxLipideos := 100;
param qtdMaxCalorias := 3300;
param qtdMaxProteinas := 38.4;

# Quantidade mínima necessária de nutrientes
param qtdMinCarboidratos := 337.5;
param qtdMinCalorias := 3000;
param qtdMinProteinas := 28.4;
param qtdMinFibras := 30;
param qtdMinCalcio := 850;
param qtdMinMagnesio := 400;
param qtdMinFosforo := 700;
param qtdMinFerro := 18;
param qtdMinPotassio := 3500;
param qtdMinZinco := 15;
param qtdMinVitaminaB1 := 0.98;
param qtdMinVitaminaB2 := 1.35;
param qtdMinVitaminaC := 200;
param qtdMinVitaminaA := 80;
```

```
# Itens: índice, calorias, proteínas, colesterol, carboidratos, fibras,  
# cálcio, magnésio, fósforo, ferro, sódio, potássio, zinco,  
vitaminab1, vitaminab2, vitaminac, vitaminaa, lipídeos  
(* set I := ...  
  
end;
```

Na linha do código iniciada com (*), devem ser inseridos os dados referentes à composição dos alimentos. No caso deste TCC, incluiu-se os valores contidos na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO).