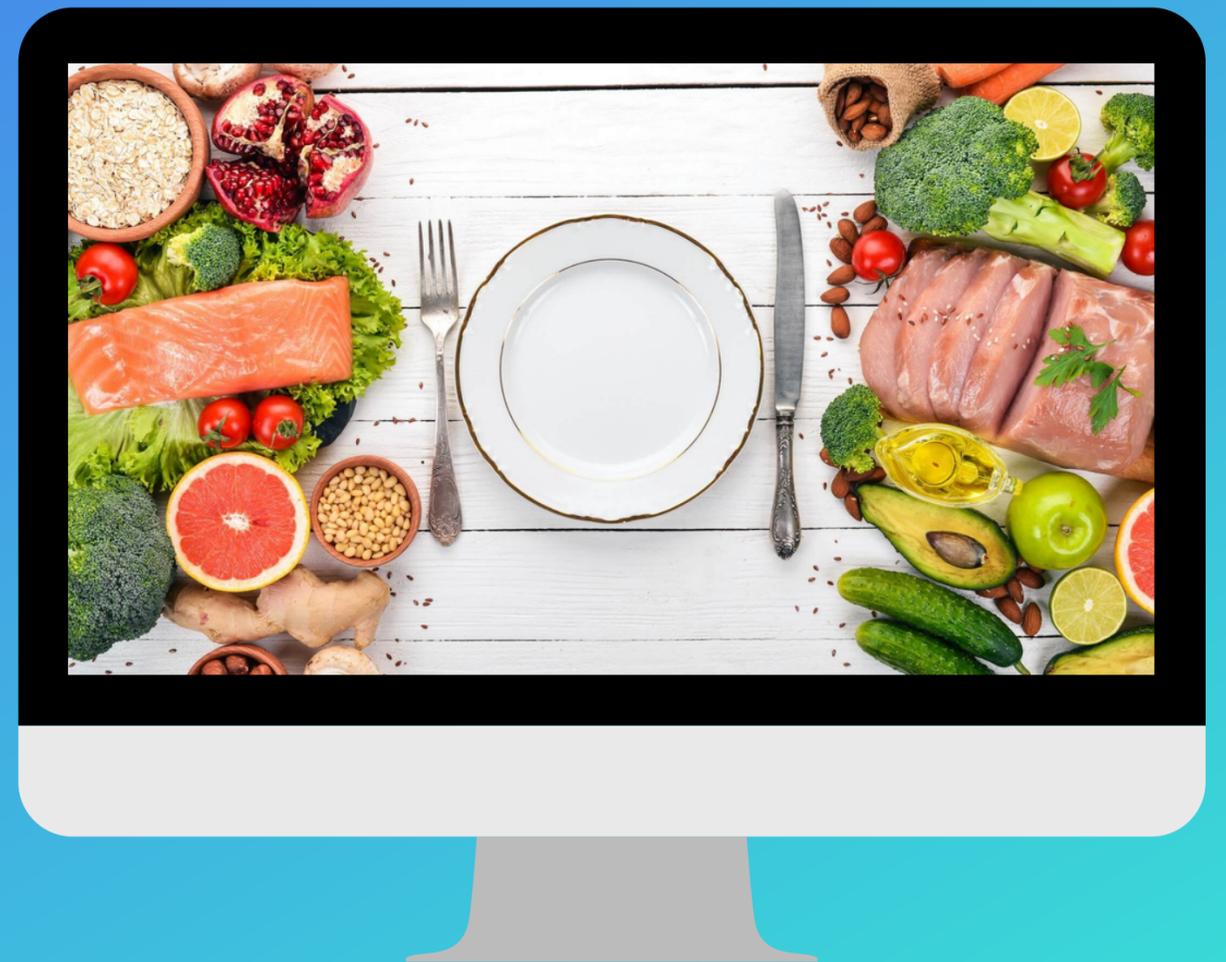


Uma Solução Otimizada para o Planejamento de Cardápios Escolares Eficientes e Automatizados

Rafaela Priscila Cruz Moreira

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Elizabeth Fialho Wanner

Coorientador: Prof. Dr. Flávio Vinícius Cruzeiro Martins



Sumário



INTRODUÇÃO



**CARACTERIZAÇÃO
DO PROBLEMA**



MODELAGEM



TESTES



**CONSIDERAÇÕES
FINAIS**

Introdução



Adaptada de: <https://www.who.int/news/item/06-05-2021-the-unicef-who-wb-joint-child-malnutrition-estimates-group-released-new-data-for-2021>

Introdução

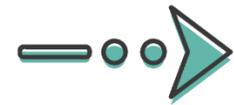
- A alimentação escolar é uma ótima ferramenta para reduzir esses tipos de problemas, através de cardápios bem elaborados.
- Esses cardápios precisam atender as necessidades nutricionais dos estudantes bem como respeitar diretrizes estabelecidas.



Objetivos

- ELABORAR CARDÁPIOS DE FORMA AUTOMATIZADA
- MODELAR O PROBLEMA DE ELABORAÇÃO DE CARDÁPIOS DE ACORDO COM AS DIRETRIZES DO PNAE
- CRIAR CARDÁPIOS PARA N DIAS COMPOSTOS POR:
 - (I) DESEJEJUM
 - (II) ALMOÇO
 - (III) COLAÇÃO
 - (IV) JANTAR

Objetivos



CPLEX



Caracterização do Problema



**Alimentação
Insuficiente**

**Alimentação
Equilibrada**

**Alimentação
em Excesso**



Desnutrição

Saúde

Obesidade



Programa Nacional de Alimentação Escolar

Resolução 20/2020



Oferta de alimentação adequada ao indivíduo em idade escolar é de fundamental importância para o seu crescimento e desenvolvimento



Diretrizes do PNAE

70% DAS NECESSIDADES DIÁRIAS					
Categoria	Idade	Energia (kcal)	Carboidratos (g)	Proteínas (g)	Lípidios (g)
			55% a 65 % do VET	10 a 15% do VET	15% a 30% do VET
Pré-escola	4 - 5 anos	945	130 a 154	24 a 35	11 a 16
Ensino fundamental	6 - 10 anos	1150	164 a 193	30 a 43	13 a 20
	11 - 15 anos	1656	242 a 286	44 a 62	20 a 29
Ensino médio	16 - 18 anos	1902	281 a 332	51 a 71	23 a 34
EJA	19 - 30 anos	1668	229 a 271	42 a 63	19 a 28
	31 - 60 anos	1607	221 a 261	40 a 60	18 a 27

Fonte: Energia – organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), 2004; Carboidrato, Proteína e Lípidio – organização Mundial de Saúde (OMS), 2004 e 2007.
* Para uso de referência dessa resolução, usou-se faixa de carboidrato de 55% a 65% do Valor Energético Total da Dieta (VET).

- Estudantes em período integral devem receber três ou mais refeições (70% de suas necessidades nutricionais diárias)

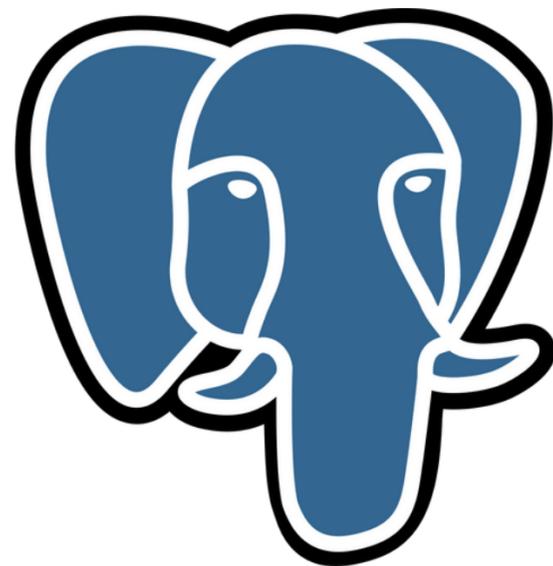
Diretrizes do PNAE

- Em unidades escolares que ofertam alimentação escolar em período integral, os cardápios devem ofertar, obrigatoriamente, no mínimo 520g/estudantes/semana de frutas in natura, legumes e verduras, assim distribuídos:
 - I – frutas in natura, no mínimo, quatro dias por semana;
 - II – verduras e legumes, no mínimo, cinco dias por semana.
- É obrigatória a inclusão de alimentos fonte de vitamina A pelo menos 3 dias por semana nos cardápios escolares.
- Os cardápios devem, obrigatoriamente, limitar a oferta de:
 - bebidas lácteas com aditivos ou adoçados a, no máximo, duas vezes por mês em unidades escolares que ofertam alimentação escolar em período integral;
 - biscoito, bolacha, pão ou bolo a, no máximo, sete vezes por semana quando ofertada três refeições ou mais, em período integral;
 - margarina ou creme vegetal a, no máximo, uma vez por semana em unidades escolares que ofertam alimentação escolar em período integral.

Diretrizes do PNAE

- É obrigatória a inclusão de alimentos fonte de ferro heme no mínimo 4 (quatro) dias por semana nos cardápios escolares. No caso de alimentos fonte de ferro não heme, estes devem ser acompanhados de facilitadores da sua absorção, como alimentos fonte de vitamina C.
- Para as refeições da alimentação dos estudantes com mais de três anos de idade, recomenda-se no máximo:
 - I – 7% (sete por cento) da energia total proveniente de açúcar simples adicionado;
 - II – 15 a 30% (quinze a trinta por cento) da energia total proveniente de gorduras totais;
 - III – 7% (sete por cento) da energia total proveniente de gordura saturada;
 - IV – 1.400 mg (mil e quatrocentos miligramas) de sódio ou 3,5 gramas de sal per capita, em período integral, quando ofertadas três ou mais refeições.
- Recomenda-se que os cardápios do PNAE ofereçam diferentes alimentos por semana, de acordo com o número de refeições ofertadas:
 - Mínimo de 23 alimentos in natura ou minimamente processados por semana, para cardápios que forneçam 3 ou mais refeições/dia ou atendem a 70% das necessidades nutricionais diárias.

Base de Dados



TACO

Tabela Brasileira de
Composição de Alimentos



Conab

Companhia Nacional
de Abastecimento

Cartilhas

Minas Gerais

Uberaba

Rio de Janeiro

Vitória da Conquista



Preços de mercado

Estruturação do Cardápio



DESJEJUM

PÃO/CEREAL (BC)

LATICÍNIOS (DP)

COLAÇÃO

FRUTA (FT)

ALMOÇO/JANTAR

PRINCIPAL (MD)

ARROZ (RC)

FEIJÃO (BE)

SALADA (SL)

Modelagem

Conjuntos

- D: conjunto de dias
 - $D = \{d | d = 1, 2, \dots, d_{max}\}$
- P : conjunto de preparações
 - $P = \{p | p = 1, \dots, p_{max}\}$
- T : conjunto de tipos de preparações
 - $T = \{t | t = \text{Pão ou Cereal(BC), Laticínios (Leite ou Derivados) (DR), Fruta (FT), Salada(SL), Acompanhamento (SD), Principal (MD)}\}$
- SD: preparações servidas como acompanhamento
 - $SD = \{sd | sd = \text{Arroz (RC), Feijão (BE), Nenhum (NO), Arroz e Feijão (RB)}\};$
- N : conjunto dos nutrientes das preparações
 - $N = \{n | n = \text{Carboidratos (CHO), Proteínas (PTN), Lipídeos (LIP), Sódio (NA), Vitamina A (VITA), Vitamina C (VITC), Gordura Saturada (GSAT), Açúcar Adicionado (AS)}\}$
- R: conjunto de refeições
 - $R = \{r | r = \text{Desjejum (BF), Colação (MS), Almoço (LC), Jantar(DN)}\};$

Modelagem

Parâmetros

- c_p : custo da preparação p
- $v_{p,n}$: valor do nutriente n na preparação p
- sumgvf_p : somatório em gramas de verduras, legumes e frutas da preparação p
- min_n : limite mínimo diário para cada nutriente n
- max_n : limite máximo diário para cada nutriente n
- ns : número de semanas
- ds : número de dias em cada semana
- d_{max} : número máximo de dias
- p_{max} : número máximo de preparações

Modelagem

Parâmetros

- M : constante de penalidade positiva
- \max_p : número máximo de repetições para a preparação p em um número pré-especificado de dias consecutivos
- nff_p : número de alimentos frescos ou minimamente processados na preparação p
- tw_p : número de dias consecutivos em que a preparação p não pode ser oferecida mais de \max_p vezes (janela de tempo).
- ac_p, sd : coeficiente que determina se um determinado prato permite acompanhamento sd

Modelagem

Parâmetros

- $w_{p,t} = \begin{cases} 1, & \text{se a preparação } p \text{ é do tipo } t \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$
- $w_{t,r} = \begin{cases} 1, & \text{se o tipo } t \text{ é permitido na refeição } r \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$
- $hi_p = \begin{cases} 1, & \text{se a preparação } p \text{ tem ferro heme} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$
- $g_p = \begin{cases} 1, & \text{se a preparação } p \text{ tem verduras e legumes} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

Modelagem

Parâmetros

- $vita_p = \begin{cases} 1, & \text{se a preparação } p \text{ tem vitamina a} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$
- $vitc_p = \begin{cases} 1, & \text{se a preparação } p \text{ tem vitamina c} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$
- $hi_p = \begin{cases} 1, & \text{se a preparação } p \text{ tem margarina} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

Modelagem

Parâmetros

- $x_{p,r,d} = \begin{cases} 1, & \text{se a preparação } p \text{ é incluída na refeição } r \text{ no dia } d \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$
- $\text{vatVitA}_d = \begin{cases} 1, & \text{se o existe vitamina A no dia } d \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$
- $\text{varHI}_d = \begin{cases} 1, & \text{se existe ferro heme no dia } d \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$
- $\text{varMD}_{p,d} = \begin{cases} 1, & \text{se a preparação } p \text{ é incluída no dia } d \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

Modelagem

Função Objetivo

$$\text{Min } f = \sum_{d \in D} \sum_{r \in R} \sum_{p \in P} c_p \cdot x_{p,r,d}.$$

Modelagem

Restrições

$$\mathcal{C}_{composition} : \sum_{\substack{p \in P \\ |w_{p,t}=1, w_{t,r}=1}} x_{p,r,d} = z \quad \begin{array}{l} \forall d \in D, \\ \forall r \in R, \\ \forall t \in T, t=\{BC, DP, FT, MD, SL\} \end{array}$$

$$\mathcal{C}_{compositionMain} : \sum_{p \in P|w_{p,t'}} a_{C_{p,sd}} \cdot x_{p,r,d} + \sum_{p \in P|w_{p,t''}} a_{C_{p,sd}} \cdot x_{p,r,d} = z \quad \begin{array}{l} \forall d \in D, \\ \forall sd \in SD, \\ \forall \bar{r} \in R, \bar{r}=\{LC, DN\} \\ \forall t' \in T, t'=\{MD\} \\ \forall t'' \in T, t''=\{SD\} \end{array}$$

$$\mathcal{C}_{varMD} : x_{p,r',d} + x_{p,r'',d} - 2varMD_{p,d} \leq 0 \quad \begin{array}{l} \forall d \in D, \\ \forall t \in T, t=\{MD\}, \\ \forall w_{p,t}=1, \\ \forall r', r'' \in R, r'=\{LC\}, r''=\{DN\}, \\ \forall w_{t,r'}=1, \\ \forall w_{t,r''}=1. \end{array}$$

Modelagem

Restrições

$$C_{presenceHemeIron} : \sum_{r \in R} \sum_{p \in P} hi_p \cdot x_{p,r,d} - M \cdot varHI_d \leq 0 \quad \forall d \in D$$

$$C_{presenceVitA} : \sum_{r \in R} \sum_{p \in P} vitA_p \cdot x_{p,r,d} - M \cdot varVitA_d \leq 0 \quad \forall d \in D$$

$$C_{greensVegetable} : \sum_{r \in R} \sum_{p \in P} g_p \cdot x_{p,r,d} \geq 1 \quad \forall d \in D,$$

Modelagem

Restrições

$$C_{minHemeIron} : \sum_{d=1}^{ds} varHI_{d+(j-1)ds} \geq 4 \quad \forall j=1, \dots, ns$$

$$C_{minVitA} : \sum_{d=1}^{ds} varVitA_{d+(j-1)ds} \geq 3 \quad \forall j=1, \dots, ns.$$

$$C_{nonHemeIronVitC} : \sum_{\substack{p \in P \\ |w_{p,t}=1, w_{t,r'}=1, \\ vitC_p=1}} x_{p,r',d} + \sum_{\substack{p \in P \\ |w_{p,t}=1, w_{t,r'}=1, fh_p=1}} x_{p,r',d} \geq 1 \quad \begin{array}{l} \forall d \in D, \\ \forall t \in T, \\ \forall r' \in R, r'=LC, DN. \end{array}$$

Modelagem

Restrições

$$C_{minGVFruit} : \sum_{d=1}^{ds} \left(\sum_{\substack{p \in P \\ w_{p,t}=1, w_{t,r}=1}} sumgvf_p \cdot x_{p,r,d+(j-1)ds} + \sum_{\substack{p \in P \\ |g_p=1}} sumgvf_p \cdot x_{p,r,d+(j-1)ds} \right) \geq 520 \quad \begin{array}{l} \forall t \in T, t=\{FT\} \\ \forall j=1, \dots, ns \end{array}$$

$$C_{minNFF} : \sum_{d=1}^{ds} \sum_{p \in P} nff_p \cdot x_{p,r,d+(j-1)ds} \geq 23 \quad \begin{array}{l} \forall r \in R, \\ \forall j=1, \dots, ns. \end{array}$$

$$C_{marg} : \sum_{d=1}^{ds} \sum_{r \in R} \sum_{p \in P} marg_p \cdot x_{p,r,d+(j-1)ds} \leq 1 \quad \forall j=1, \dots, ns$$

Modelagem

Restrições

$$\mathcal{C}_{ddia} : \sum_{d=j}^{tw_p+d-1} var MD_{p,d} \leq max_p \quad \forall p \in P, \forall r' \in R, r'=LC, DN, w_{p,t}=1, w_{t,r'}=1, \forall t \in T, t=MD, j=1, \dots, dmax-tw_p+1$$

$$\mathcal{C}_{ddia2} : \sum_{d=j}^{tw_p+d-1} x_{p,r,d} \leq max_p \quad \forall p \in P, j=1, \dots, dmax-tw_p+1$$

$$\mathcal{C}_{minMax_n} : min_{\bar{n}} \leq \sum_{r \in R} \sum_{\substack{p \in P \\ |w_{p,t}=1, w_{t,r}=1}} v_{p,\bar{n}} \cdot x_{p,r,d} \leq max_{\bar{n}} \quad \forall d \in D, \forall \bar{n} \in N, \bar{n}=CHO, LIP, PTN, NA, GSAT, AC$$

Modelagem

Minimize $f = \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} \sum_{\substack{p \in P \\ w_{p,t}=1}} c_p \cdot x_{p,t,d},$

subject a: $\left\{ \begin{array}{l} C_{composition} \\ C_{compositionMain} \\ C_{presenceHemeIron} \\ C_{presenceVitA} \\ C_{greensVegetable} \\ C_{varMD} \\ C_{minHemeIron} \\ C_{minVitA} \\ C_{minGVFruit} \\ C_{minNFF} \\ C_{marg} \\ C_{ddia} \\ C_{ddia2} \\ C_{minMaxn} \\ C_{nonHemeIronVitC} \\ x_{p,r,d} \in \{0, 1\} \end{array} \right.$

Testes

01

CARDÁPIOS PARA 20 DIAS

- VARIAÇÃO DO GAP TOLERANCE
 - 40%, 30%, 25%, 20%, 15%, 10%, 5%, 3%, 2.5%, 2% 1.7%

02

CARDÁPIO PARA 20 DIAS

- INCLUSÃO DAS RESTRIÇÕES
 - COMBINAÇÃO DE PREPARAÇÕES
 - REJEIÇÃO DE PREPARAÇÕES
 - LIMITAÇÃO DE INGREDIENTE NO DIA

03

P-EPSILON

- MINIMIZAÇÃO DE SÓDIO
- MINIMIZAÇÃO DE CUSTO
- CONSTRUÇÃO DO PARETO

Testes

01

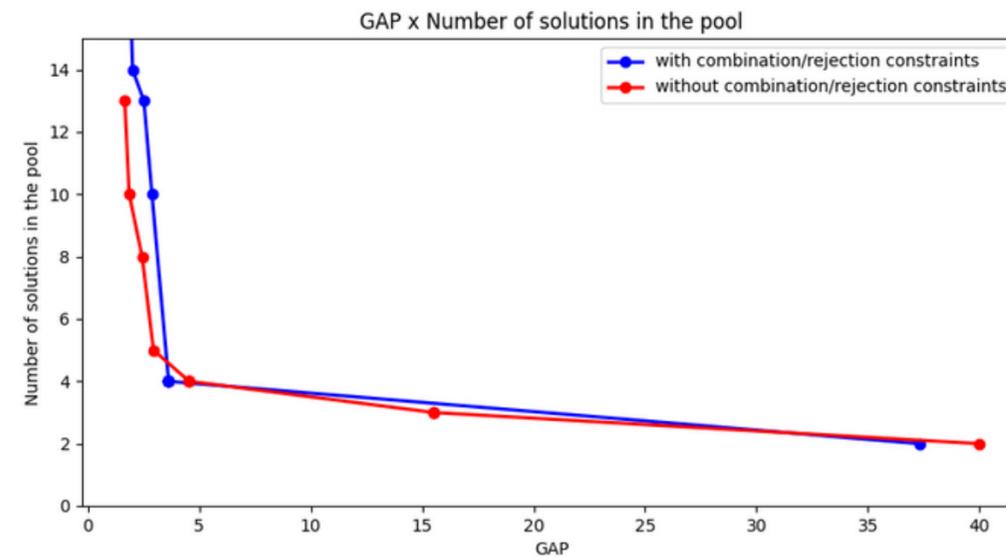
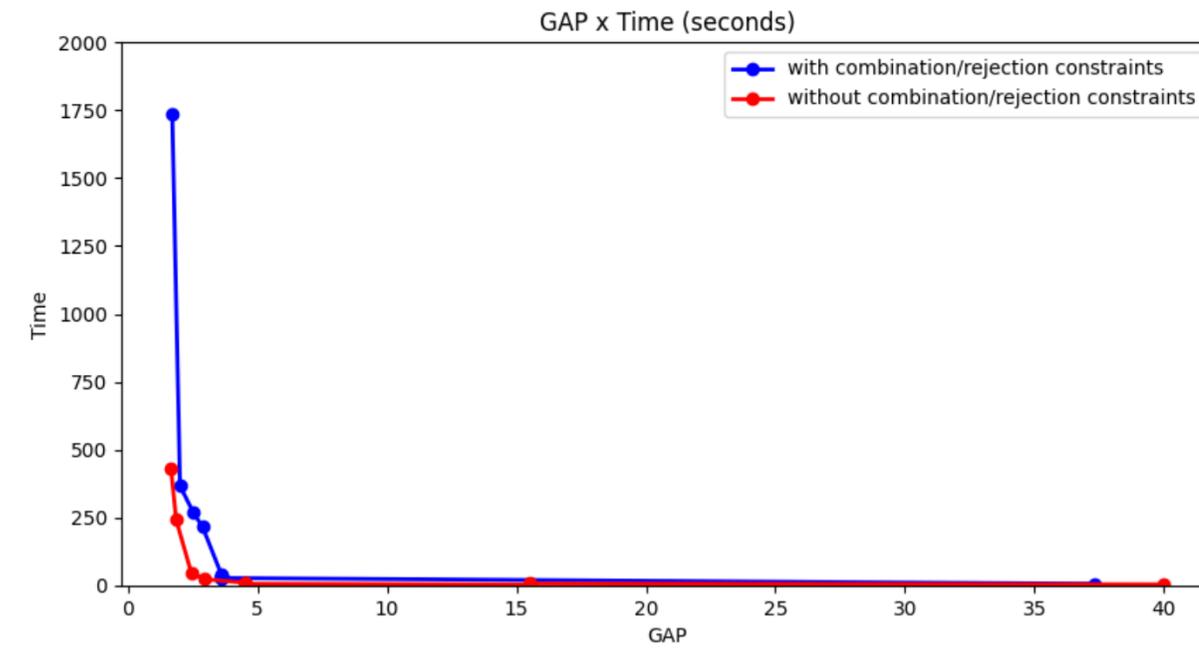
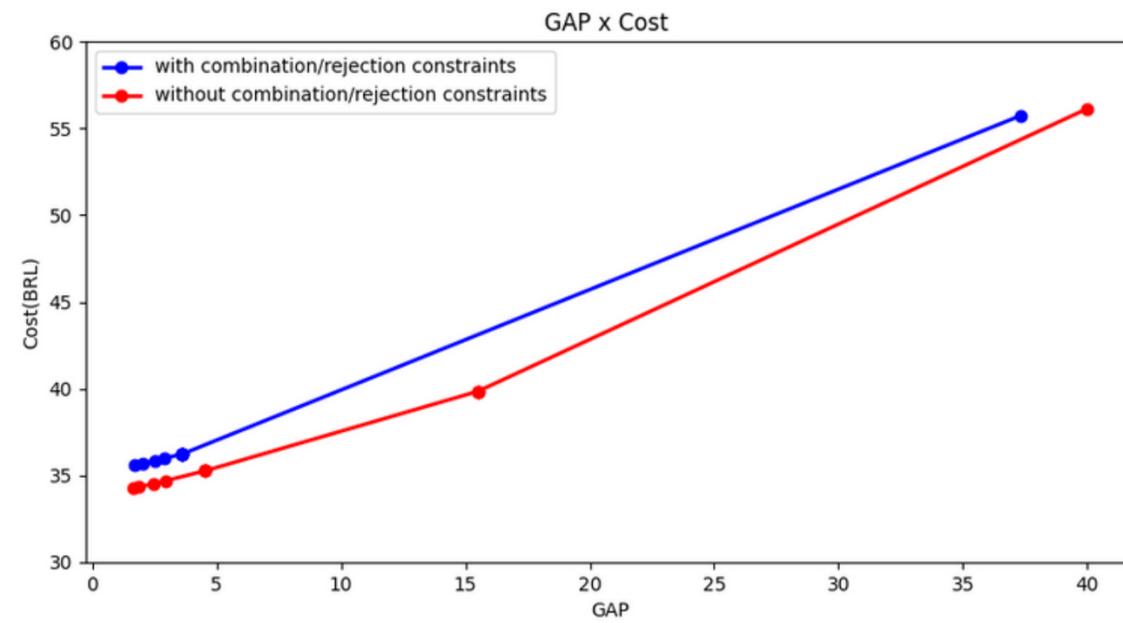
Gap	Gap Retornado	Quantidade de soluções no pool	Tempo para achar a solução	Preço
40,00%	39,98%	2	5,04	56,1064
30,00%	15,51%	3	7,83	39,8521
25,00%	15,51%	3	7	39,8521
20,00%	15,51%	3	5,03	39,8521
15,00%	4,54%	4	7,01	35,2727
10,00%	4,54%	4	10,04	35,2727
5,00%	4,54%	4	11,25	35,2727
3,00%	2,94%	5	23,74	34,6984
2,50%	2,43%	8	49,08	34,5213
2,00%	1,85%	10	242,33	34,3389
1,70%	1,65%	13	433,1	34,2759

Testes

02

Gap	Gap Retornado	Quantidade de soluções no pool	Tempo para achar a solução	Preço
40,00%	37,31%	2	7,22	55,7139
30,00%	3,62%	4	28,57	36,2397
25,00%	3,62%	4	31,57	36,2397
20,00%	3,62%	4	38,9	36,2397
15,00%	3,62%	4	40,17	36,2397
10,00%	3,62%	4	35,71	36,2397
5,00%	3,62%	4	35,73	36,2397
3,00%	2,87%	10	216,66	35,9801
2,50%	2,51%	13	269,84	35,8550
2,00%	2,00%	14	367,09	35,6897
1,70%	1,70%	22	1735,08	35,6027

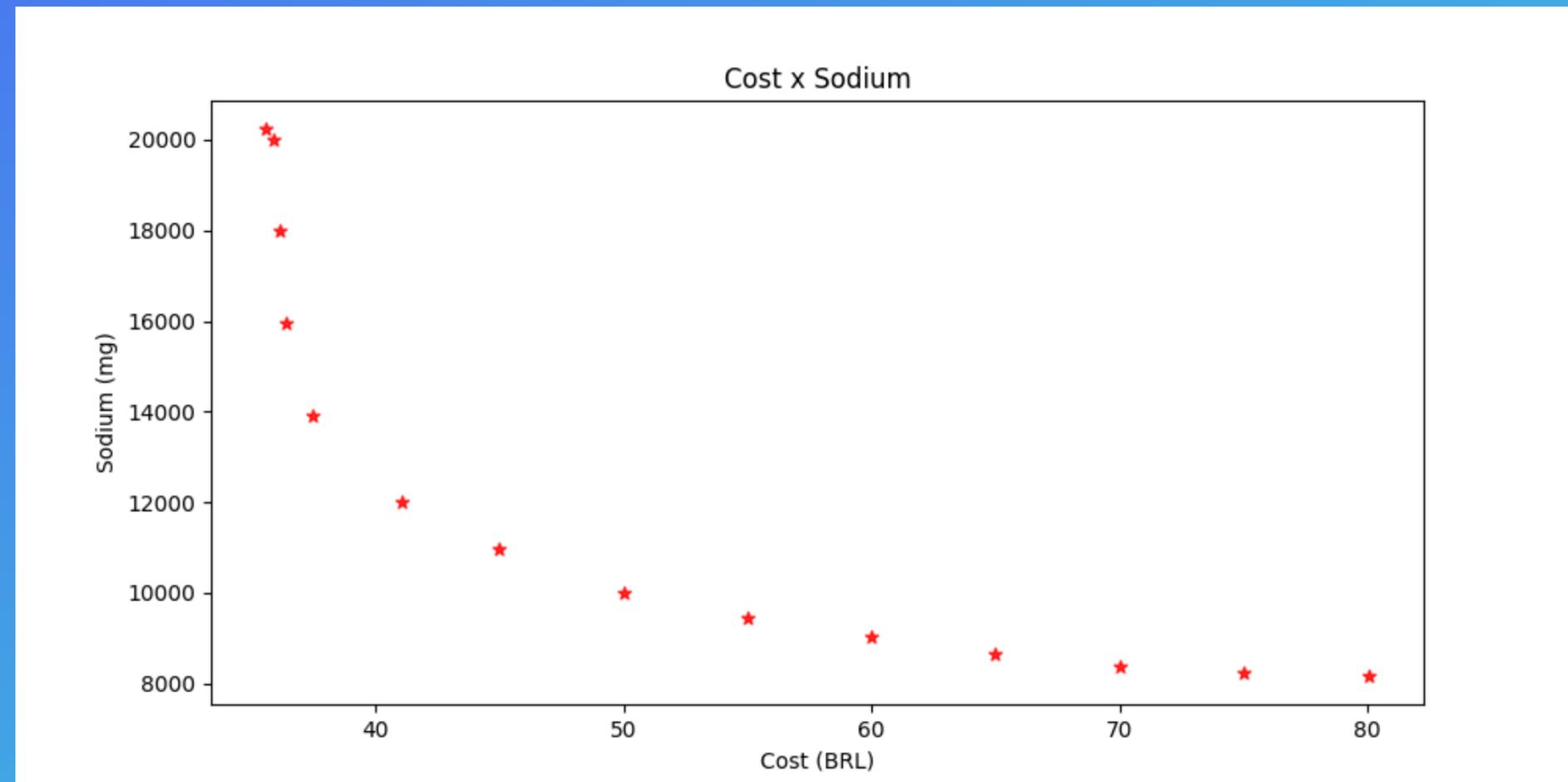
Testes



Testes

03 Preço Sódio GAP

80,04	8147,1325	3%
70	8358,1469	3%
65	8654,7116	3%
60	9042,5823	3%
55	9441,4311	3%
50	9989,9178	3%
45	10.955,6626	5%
41,10	11999,66	5%
37,47	13900,77	3%
36,41	15956,83	3%
36,14	18000	3%
35,93	20000	3%
35,6	20257,76	3%





Considerações Finais

01

Cardápios de acordo com as diretrizes do PNAE

02

Modelagem flexível

03

Adaptações na modelagem



Contato



TELEFONE

(31) 99243-1156



EMAIL

rafapcmor@gmail.com