

Algoritmo Genético para Elaboração de Cardápios Nutricionais para Alimentação Escolar

Rafaela Priscila Cruz Moreira
Programa de Pós-Graduação em
Modelagem Matemática e Computacional
CEFET-MG, Belo Horizonte, Brasil
Email: rafaufop@gmail.com

Elizabeth Fialho Wanner
Flávio Vinícius Cruzeiro Martins
Laboratório de Algoritmos, Metaheurísticas e Otimização
CEFET-MG, Belo Horizonte, Brasil
Email: {efwanner, flaviocruzeiro}@decom.cefetmg.br

Resumo—Este artigo trata o problema de planejamento automático de cardápios nutricionais semanais para alimentação escolar. Cada cardápio busca atender alguns princípios do Programa Nacional de Alimentação Escolar: valores nutricionais conforme a faixa etária, características dos alimentos (cor, consistência, variedade) e um limite de custo financeiro. Esses princípios são modelados como objetivos ou restrições e podem ser aplicados a quatro tipos de refeição: desjejum, almoço, lanche e jantar. Um dos objetivos é minimizar o erro nutricional, que é a diferença entre a quantidade de nutrientes necessária e a quantidade de nutrientes fornecida pelo cardápio gerado. Outro objetivo é minimizar o custo total do cardápio. O problema bi-objetivo foi reduzido para mono-objetivo através de um método de escalarização conhecido como soma ponderada e utilizou o Algoritmo Genético para resolvê-lo. Os resultados experimentais obtidos foram satisfatórios, uma vez que cardápios foram gerados atendendo às exigências do PNAE em tempo hábil. A abordagem fornece ao decisor (nutricionista) em torno de 9 soluções eficientes. A escolha do cardápio fica sob a responsabilidade do decisor.

Keywords—Cardápio, Soma ponderada, Algoritmo Genético, Otimização.

I. INTRODUÇÃO

Segundo o Conselho Federal de Nutricionistas do Brasil, “A alimentação escolar é toda a alimentação realizada pelo estudante durante o período em que se encontra na escola” [1]. Desta forma, essa alimentação deve ser um mecanismo eficiente para ofertar além de energia, os micronutrientes que raramente são disponibilizados na alimentação diária que geralmente não atinge as recomendações diárias [2].

O Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) assegura a alimentação escolar dos alunos da educação básica (educação infantil, ensino fundamental, ensino médio e educação de jovens e adultos), transferindo os recursos financeiros para os municípios e estados. Sua finalidade é suprir as necessidades nutricionais dos alunos enquanto estiverem na escola, colaborando para o desenvolvimento, aprendizado e o aproveitamento escolar, além de estimular hábitos alimentares saudáveis [3].

Após a criação do PNAE, percebeu-se a necessidade de um nutricionista responsável pela elaboração do cardápio escolar, cujo o objetivo era desenvolver uma alimentação balanceada aos alunos, uma vez que tal atividade era executada de forma improvisada pelas próprias merendeiras [4]. Para elaborar esses cardápios, o nutricionista gasta muito tempo, visto que

a qualidade, diversidade, preço e necessidades nutricionais devem ser levados em consideração.

Com o objetivo de facilitar o trabalho deste profissional, viu-se a necessidade de aplicar alguma técnica computacional que auxiliasse na elaboração dos cardápios escolares, respeitando os princípios do PNAE, tais como: faixa etária, necessidades nutricionais, tipo de alimentação (almoço/jantar e desjejum/lanche), variedade, cor, consistência dos alimentos e custo.

A proposta de solução apresentada neste artigo visa atender a dois objetivos: o custo do cardápio elaborado e o erro nutricional do mesmo. Propriedades desejáveis como: variedade, cor, consistência dos pratos e limite de custo financeiro, foram modeladas como restrições.

Pelo fato de haver dois objetivos, tem-se então um problema bi-objetivo, porém ele será reduzido para um problema mono-objetivo através de um método escalar conhecido como soma ponderada. O problema mono-objetivo será resolvido usando um algoritmo genético.

Desde 1964, técnicas vem sendo utilizadas para resolver o problema de elaboração de cardápios assistido por computador. Balintfy [5] utilizou técnicas de Programação Linear (PL) para construir o primeiro planejador de cardápios, com a finalidade de encontrar o custo mínimo e satisfazer as exigências diárias, dietéticas e gastronômicas na elaboração desses cardápios. Em 1967, Eckstein [6] propôs uma abordagem randômica, que seleciona itens alimentares aleatoriamente avaliando o custo, a cor, a textura, a forma, a energia, a variedade e a aceitabilidade. Em 2009, uma ferramenta baseada em AG foi desenvolvida para elaborar refeições para diabéticos. Sua proposta é suprir as necessidades nutricionais, satisfazer a preferência de gosto, estilo de vida e controlar a glicose no sangue [7].

II. MODELAGEM DO PROBLEMA

Para um melhor entendimento do modelo de uma solução do problema, abaixo serão apresentadas as características dos alimentos, pratos e referência nutricional.

- **Alimentos:** Sejam os alimentos, ingredientes que compõem os pratos. Na base de Alimentos foram cadastrados os alimentos com suas respectivas características. Para preencher essa base foi considerado a porção de 1g da Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO) [8], constituída por 597 alimentos.

As características de cada alimento são: **1) Nome;** **2) Valor (R\$);** **3) Nutrientes:** Energia (Kcal), Proteínas (g), Carboidratos (g), Lipídeos (g), Fibras (g), Minerais: Cálcio (mg), Ferro (mg), Zinco (mg) e Magnésio (mg); **4) Grupo pertencente:** cereais e derivados, verduras, hortaliças e derivados, frutas e derivados, gorduras e óleos, pescados e frutos do mar, carnes e derivados, leites e derivados, bebidas, ovos e derivados, produtos açucarados, miscelâneas, outros produtos industrializados, alimentos preparados, leguminosas e derivados, nozes e sementes.

- **Pratos:** É uma base de dados que contém preparações individuais compostas por alimentos. Cada preparação possui: **1) Nome;** **2) Tipo do Prato:** Acompanhamento Arroz, Acompanhamento Feijão, Entrada, Guarnição, Principal, Sobremesa, Bebida (Suco ou Outro), Lanche; **3) Consistência:** Líquido/pastoso, Semi-sólido/sólido; **4) Alimentos:** uma lista dos alimentos pertencentes ao prato, incluindo a quantidade necessária de cada alimento.
- **Refeição:** Os tipos de refeições considerados são desjejum, almoço, lanche e jantar.
- **Referência nutricional:** Na base de referência, foram cadastradas algumas referências retiradas do Manual de Orientação para a Alimentação Escolar na Educação Infantil, Ensino Fundamental, Ensino Médio e na Educação de Jovens e Adultos do PNAE [9]. A porcentagem das necessidades nutricionais diárias (n.n.d), são: 20% que equivale a uma refeição para escolas urbanas e 30% que equivale a uma refeição para escolas indígenas ou quilombolas. A Tabela I mostra os valores recomendados para jovens e adultos de 19 a 60 anos. Outras referências podem ser encontradas em [9]. Nessa tabela, CHO refere-se a carboidratos, PTN a proteínas e LIP a lipídeos.

Tabela I. REFERÊNCIA DE NUTRIENTES PARA ADULTOS DE 19 A 60 ANOS [9].

		Adultos: 19 - 60 anos									
% das n.n.d	Idade (anos)	Energia (Kcal)	CHO (g)	PTN (g)	LIP (g)	Fibras (g)	Ca (mg)	Fe (mg)	Mg (mg)	Zn (mg)	
20%	19-30	450,0	73,1	14,0	11,3	6,3	200,0	2,6	71,0	1,9	
	31-60	435,0	70,3	13,6	10,9	5,7	220,0	2,1	74,0	1,9	
30%	19-30	680,0	110,5	21,3	17,0	9,5	300,0	3,9	107,0	2,9	
	31-60	650,0	105,6	20,3	16,3	8,5	330,0	3,2	111,0	2,9	

As diretrizes do PNAE atendem até 70% das necessidades nutricionais diárias. No entanto, para tornar a aplicação mais genérica, é possível personalizar a referência estabelecida, podendo englobar até 100% dessas necessidades. Desta forma, pode-se atender à diversas demandas, por exemplo, hospitais, clínicas e casas de repouso. Tais instituições podem requerer cardápios para pacientes que permanecem internados em tempo integral.

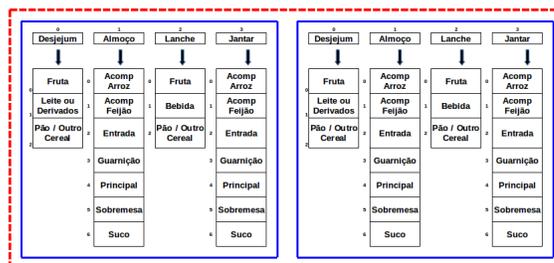
A aplicação aqui desenvolvida possibilita gerar um cardápio semanal completo. O algoritmo é flexível quanto ao número de dias e de refeições, valor máximo a pagar por cada refeição e as referências nutricionais adotadas. Para tal, basta ajustar os seguintes parâmetros: quantidade de dias (máximo 7 dias), tipos de refeições requeridas (desje-

jum/almoço/lanche/jantar), valor máximo para cada refeição e a referência nutricional a adotar.

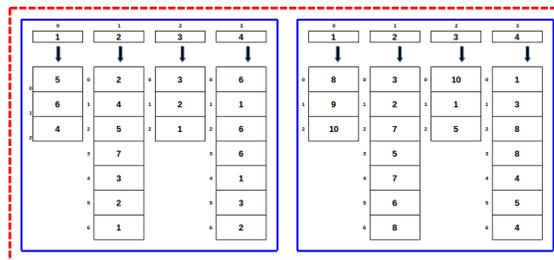
A. Representação da Solução

Uma solução para o problema é um cardápio. Para facilitar a compreensão da representação é importante entender a definição de um cardápio.

Cardápio é um conjunto de refeições, levando em consideração a quantidade de dias. Por exemplo: Um cardápio elaborado para 2 dias, terá dois conjuntos de refeições. A Figura 1 ilustra este exemplo. O bloco tracejado representa o cardápio e os blocos de linha contínua, os dias da semana. Dentro de cada dia, existe uma lista de tipos de refeição: desjejum, almoço, lanche e jantar, respectivamente. Dentro de cada tipo de refeição, os pratos são referenciados a uma outra lista que contém pratos classificados conforme o seu tipo. A lista desjejum é composta por três tipos de pratos: fruta, leite ou derivados e pão ou outro cereal. Exemplo: Fruta referencia uma lista que contém diversas frutas: banana, maçã, goiaba e outras. As listas almoço e jantar são compostas por sete tipos de prato: acompanhamento arroz, acompanhamento feijão, entrada, guarnição, principal, sobremesa e suco. A lista lanche é semelhante à desjejum, com a diferença de permitir suco na bebida. Observando o primeiro bloco (Figura 1b), tem-se que o número 5 na primeira posição da lista 1 representa uma fruta, por exemplo, banana.



(a) Representação Visual



(b) Representação Inteira

Figura 1. Representação de um cardápio de 2 dias

B. Funções de Mérito

Duas funções de mérito foram modeladas para este trabalho, e para cada uma há um conjunto de restrições a serem atendidas que serão descritas a seguir. As funções são: o erro nutricional e o custo.

Sejam d o número de dias, r o número de refeições, p^j o número de pratos na refeição “ j ”, l^k o número de alimentos no prato “ k ”, n o número de nutrientes considerados, x_z^{ijkq} o valor nutricional “ z ” do alimento “ q ” em um prato “ k ”

de uma refeição “j” do dia “i” presente no cardápio, c_q^{ijk} o custo do alimento “q” em um prato “k” de uma refeição “j” do dia “i” presente no cardápio e y_z o valor nutricional da referência diária. Assim, as funções objetivos podem ser definidas conforme as Equações (1) e (2).

1) *Função Objetivo Erro Nutricional*: Como o objetivo é aproximar ao máximo do valor nutricional da referência de acordo com a faixa etária, essa função faz a diferença absoluta da soma dos nutrientes do indivíduo e a soma da referência estabelecida (Equação (1)). Essa função foi baseada na modelagem do problema proposto por [10].

$$f_1 = \left| \sum_{i=1}^d \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^{p^j} \sum_{q=1}^{l^k} \sum_{z=1}^n x_z^{ijkq} - \sum_{z=1}^n y_z \times d \right| \quad (1)$$

2) *Função Objetivo Custo*: Outro fator importante é a busca por cardápios mais baratos. Desta maneira a função de custo se faz indispensável. Ela faz o somatório dos custos de cada refeição presente no cardápio (Equação (2)).

$$f_2 = \sum_{i=1}^d \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^{p^j} \sum_{q=1}^{l^k} c_q^{ijk} \quad (2)$$

C. Restrições

O problema geral de otimização consiste em minimizar ou maximizar uma função objetivo, sujeita, ou não, a restrições de igualdade e desigualdade. Um problema real dificilmente será modelado de forma irrestrita, pois na maioria das vezes existem limitações e requisitos a serem atendidos. O PNAE estabelece algumas restrições para a elaboração de cardápios. As restrições adotadas neste trabalho foram: cor, consistência, variedade e limite de custo financeiro. Estas restrições são classificadas como desejáveis e, ainda que uma delas seja violada, a solução não deixa de ser factível (restrições fracas).

Sejam n_c o número de repetição de cor, n_l o número de pratos classificados como líquido/pastoso, n_v o número de repetição de pratos, c_f o custo financeiro total do cardápio e c_d o custo previamente definido.

As restrições de cor, consistência e variedade dizem respeito à função objetivo de erro nutricional e a restrição de limite de custo financeiro está relacionada à função objetivo de custo. As restrições do problema são descritas a seguir:

- **Cor**: Uma refeição diversificada em cores garante uma alimentação equilibrada e rica em nutrientes. Através das cores é possível identificar substâncias importantes que precisam ser ingeridas pelos seres humanos. Assim, quanto mais colorida uma refeição, mais substâncias serão encontradas, pois cada conjunto de cores predomina certos nutrientes. Para este trabalho foram definidos quatro cores predominantes - amarelo, vermelho, verde e marrom. Essa restrição é verificada apenas para os tipos de prato: entrada, guarnição, sobremesa e bebida, conforme orientação de [10].

Para assegurar essa diversificação de cores, o número de repetição de uma mesma cor em uma determinada refeição deve ser menor ou igual a 2 (Equação 3).

$$\mathbf{r}_1 : n_c - 2 \leq 0 \quad (3)$$

- **Consistência**: A avaliação da consistência ou textura dos pratos envolve os cinco sentidos: visão, tato, olfato, paladar e audição. Cada um dos sentidos tem um papel diferente na definição do alimento. Uma boa textura transmite confiança no que diz respeito à qualidade e aceitabilidade de um alimento. A consistência é classificada em 2 categorias: líquido/pastoso e semi-sólido/sólido. Não é permitido que haja mais de um tipo de prato classificado como líquido/pastoso. Os tipos de prato verificados são: feijão, guarnição e principal (Equação (4)).

$$\mathbf{r}_2 : n_l - 1 \leq 0 \quad (4)$$

- **Variedade**: A alimentação é umas das principais fontes de nutrientes necessários para o bom funcionamento do organismo. Para que todos os nutrientes importantes sejam supridos é indispensável a variedade alimentar, pois os nutrientes estão presentes em diferentes tipos de alimento.

Para certificar que as refeições são variadas, verifica-se a quantidade de tipos de prato repetidos. As repetições são analisadas tanto para refeições em um mesmo dia, quanto para refeições em dias diferentes (Equação (5)).

- Mesmo dia
 - Almoço e jantar - os tipos de prato verificados são: entrada, guarnição, principal, sobremesa e bebida.
 - Desjejum e lanche - os tipos de prato verificados são: fruta, bebida e cereal.
- Dias diferentes
 - Almoço e jantar - os tipos de prato verificados são: entrada, guarnição e principal.

$$\mathbf{r}_3 : n_v - 1 \leq 0 \quad (5)$$

- **Limite de custo financeiro**: A União repassa um valor por dia letivo para cada aluno conforme a modalidade de ensino. Assim, o custo do cardápio tem que ser menor que o custo previamente definido (Equação (6)).

$$\mathbf{r}_4 : c_f - c_d \leq 0 \quad (6)$$

D. Formulação do Problema

A elaboração de cardápios visa criar cardápios que satisfaçam as necessidades nutricionais com um preço previamente estabelecido. Este trabalho pretende resolver o problema de elaboração de cardápios automaticamente com base nas necessidades nutricionais conforme a faixa etária e o custo máximo a ser pago por refeição, sendo no máximo quatro refeições diárias, levando em consideração restrições quanto a cor, consistência e variedade dos pratos, bem como o limite de custo financeiro a ser pago por refeição. Este é um problema de minimização bi-objetivo e sua formulação matemática é dada por:

$$\text{Minimize } f_1 = \left| \sum_{i=1}^d \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^{p^j} \sum_{q=1}^{l^k} \sum_{z=1}^n x_z^{ijkq} - \sum_{z=1}^n y_z \times d \right| \quad (7)$$

$$\text{sujeito a: } \begin{cases} \mathbf{r}_1 \\ \mathbf{r}_2 \\ \mathbf{r}_3 \end{cases} \quad (8)$$

$$\text{Minimize } f_2 = \sum_{i=1}^d \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^{p^j} \sum_{q=1}^{l^k} c_q^{ijk} \quad (9)$$

$$\text{sujeito a: } \{ \mathbf{r}_4 \} \quad (10)$$

A função objetivo f_1 determina o quão próximo o valor nutricional gerado pelo algoritmo se aproxima da referência. Esse cálculo é feito pela diferença absoluta da soma dos nutrientes do indivíduo (x_z^{ijkq}) e a soma da referência estabelecida (y_z). A função objetivo f_2 determina o custo (c_q^{ijk}) em R\$ do cardápio. As restrições \mathbf{r}_1 , \mathbf{r}_2 , \mathbf{r}_3 e \mathbf{r}_4 , respectivamente, representam a restrição quanto a cor, consistência, variedade e limite do custo financeiro.

III. METODOLOGIA

O problema apresentado é caracterizado como um problema bi-objetivo, mas foi transformado em um problema mono-objetivo através de métodos escalares. O método escalar aplicado foi a soma ponderada dos objetivos e o algoritmo escolhido para resolver o problema foi o Algoritmo Genético (AG).

A. Problema Ponderado

O problema ponderado funciona apropriadamente quando as funções são convexas. Quando não é possível verificar tal propriedade, apenas parte do conjunto de soluções eficientes é gerado.

O problema mono-objetivo pode então ser definido por

$$\min_{x \in \mathcal{F}_x} \sum_{i=1}^m \lambda_i f_i(x) \quad (11)$$

em que $\sum_{i=1}^m \lambda_i = 1$, $\lambda_i \geq 0$

sendo \mathcal{F}_x o conjunto factível para o problema e m o número de funções objetivo.

B. Algoritmos Genéticos

Os Algoritmos Genéticos (AG's) podem ser definidos como uma técnica de busca baseada no processo de evolução biológica [11]. À medida que o processo evolui, melhores soluções são obtidas. A partir de uma população inicial, operadores de seleção, mutação e cruzamento são introduzidos para evoluir essa população. A Figura 2 mostra o esquema básico de um AG.

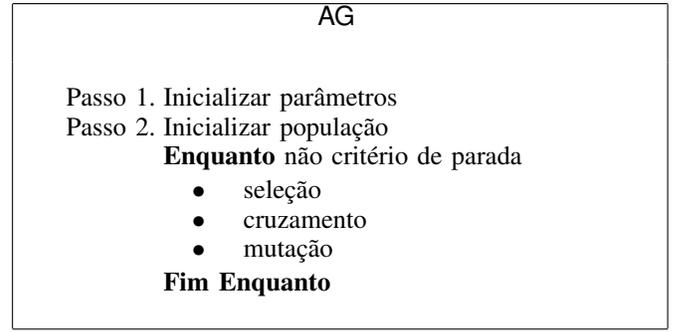


Figura 2. Esquema básico de um AG.

C. Geração da População inicial

A população inicial é gerada de forma aleatória. Conforme o tipo de refeição escolhido, valores aleatórios entre 0 e o tamanho da lista pertencente àquele tipo são gerados. Por exemplo: tipo de refeição escolhido = desjejum. Como o desjejum é composto por um lanche, uma fruta e uma bebida, geram-se 3 valores aleatórios de acordo com o tamanho de cada lista. Esses valores representam a posição na lista correspondida. Em seguida, o conteúdo dessa posição é adicionado na lista Desjejum. Dessa mesma forma acontece nos outros tipos de refeição.

D. Função de Avaliação

A função de avaliação é definida pelo problema ponderado conforme Equação (12).

$$\text{Aptidao}(x) = \lambda f_{o1} + (1 - \lambda) f_{o2} \quad (12)$$

sendo f_{o1} a função objetivo erro nutricional e f_{o2} a função objetivo custo.

Para tratar as restrições, a abordagem escolhida foi a penalização. Ela faz com que a qualidade de uma solução diminua quando uma restrição é violada, em consequência reduz a probabilidade da solução se manter no processo de evolução.

A penalização pode ser classificada quanto ao grau de violação da restrição. Os tipos utilizados são:

- 1) Penalidade linear = $t \times$ (grau de violação);
- 2) Penalidade quadrática = $(t \times$ (grau de violação))².

sendo t uma constante.

As penalidades quanto a cor, consistência e variedade são acrescidas na função objetivo erro nutricional (Equação (14)).

Seja α a soma de todas as penalidades (cor, consistência e variedade). Assim,

$$\alpha = \sum_{i=1}^d \sum_{j=1}^r \Phi_{ij}, \quad (13)$$

sendo Φ_{ij} as penalidades nas refeições em todos os dias.

$$f_{o1} = \left(\sum_{i=1}^d \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^{p^j} \sum_{q=1}^{l^k} \sum_{z=1}^n x_z^{ijkq} - \sum_{z=1}^n y_z \times d \right) + \alpha \quad (14)$$

Seja o grau de violação Y a soma de todos os nutrientes da referência escolhida. Assim, pode ser escrito como:

$$Y = \sum_{z=1}^n y_z \quad (15)$$

As penalizações do tipo linear e quadrática são descritas nas Equações (16) e (17), respectivamente, com t sendo o número de repetições. A penalidade quadrática será usada para diferenciar a restrição que, segundo os autores, é mais importante ser atendida na determinação do cardápio.

$$p = t \times Y \quad (16)$$

$$p = t \times Y^2 \quad (17)$$

Logo a seguir cada penalidade é descrita:

- **Cor:** Considerando um universo de apenas 4 cores básicas, a penalidade quanto a cor é definida por penalização linear (Equação (16)).
 - 1) Se repetir a cor 3 vezes: $t = 1$;
 - 2) Se repetir a cor 4 vezes: $t = 2$.

Observe que repetir a cor 2 vezes não é considerado uma violação da restrição.

- **Consistência:** a penalidade quanto a consistência também é definida por penalização linear (Equação (16)).
- **Variedade:** a penalidade quanto a variedade é definida por penalização quadrática (Equação (17)).

A penalidade de limite de custo financeiro é acrescida na função objetivo custo (Equação (19)).

Sejam β a penalidade, d o número de dias e c_d o limite de custo financeiro estabelecido para cada refeição “ j ”. Assim, a penalidade é definida como:

$$\beta = \sum_{j=1}^r (c_{d_j} \times d) * w_j \quad (18)$$

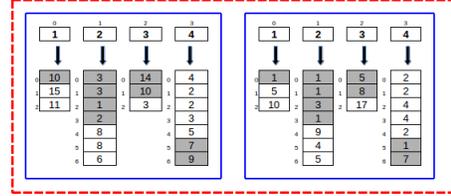
sendo

$$w_j = \begin{cases} 1 & \text{se não houve violação do custo na refeição “j”} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

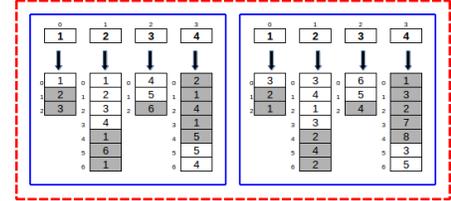
$$f_{o2} = \left(\sum_{i=1}^d \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^{p^j} \sum_{q=1}^{l^k} c_q^{ijk} \right) + \beta \quad (19)$$

E. Operadores Genéticos

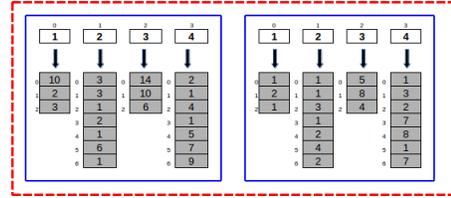
1) **Cruzamento:** O cruzamento é realizado dentro de cada tipo de refeição, conforme a Figura 3. No cruzamento de desjejum e lanche, o ponto de corte varia entre 1 e 3 e no almoço e jantar entre 1 e 7. Assim novos indivíduos são gerados preservando a herança genética de seus pais.



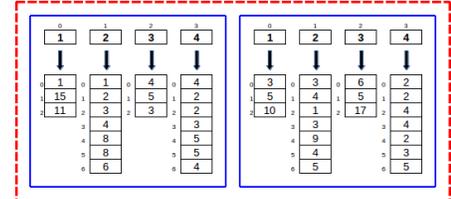
(a) Pai 1



(b) Pai 2



(c) Filho 1



(d) Filho 2

Figura 3. Cruzamento do indivíduo para 2 dias

2) **Mutação:** A alteração é feita em todos os tipos de refeição, sendo escolhido apenas o prato e o dia a ser alterado de forma aleatória. Tal fato pode ser observado na Figura 4.

3) **Seleção:** A seleção utilizada foi torneio, sendo escolhidos dois indivíduos distintos de forma aleatória e o que tiver melhor valor de função de avaliação é selecionado.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A otimização multiobjetivo é caracterizada por retornar um conjunto de soluções eficientes (Pareto) que atendam aos objetivos determinados e por permitir ao usuário escolher dentre as soluções, a que mais lhe for apropriada. O λ foi variado no intervalo [0 1], com espaçamento 0.1. Para cada variação do λ o algoritmo foi executado 30 vezes. Os parâmetros utilizados no algoritmo foram: 100 indivíduos na população, 500 gerações, taxa de cruzamento igual a 0.8, taxa de mutação igual a 0.05, três refeições diárias em 5 dias da

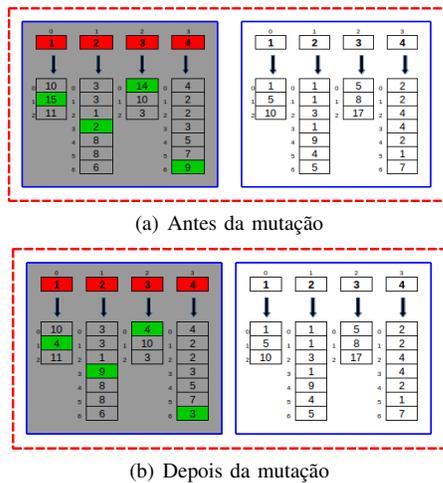


Figura 4. Mutação de um gene do indivíduo em cada tipo de refeição

semana. Os valores limites das refeições foram fixados em: desjejum: R\$ 3,00, almoço: R\$ 6,00 e lanche: R\$ 3,00. A faixa etária considerada foi de 19 a 30 anos. A Figura 5 representa o Pareto-Médio das variações de λ . Considera-se Pareto-Médio ou Pareto-Combinado, o conjunto de soluções não dominadas da união dos Paretos obtidos em cada variação. Foram encontradas 9 soluções factíveis não dominadas no Pareto, com erro nutricional variando de 700 a 1050 e o custo variando de R\$ 35,00 a R\$ 38,00. Se levarmos em consideração os valores máximos definidos de cada refeição, o valor pago do cardápio em 5 dias seria de R\$60,00.

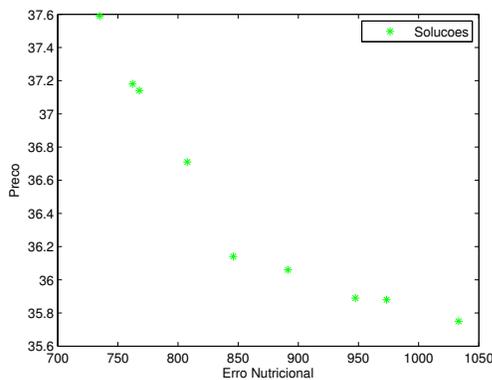


Figura 5. Pareto-médio com variação de λ no intervalo [0,1]

V. CONCLUSÃO

O presente trabalho trata do problema de elaboração de cardápios semanais para escolas. Apresentado o problema, foi mostrada a metodologia utilizada para resolvê-lo. O problema consiste em elaborar cardápios de forma automática, rápida e diversificada, com baixo custo, satisfazendo as exigências estabelecidas pelo governo através do Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE).

O problema bi-objetivo foi reduzido para mono-objetivo através do método escalar conhecido como soma ponderada e um algoritmo genético foi usado para resolvê-lo. Os objetivos

determinados para o algoritmo foram: erro nutricional e custo. O erro equivale à diferença da solução gerada e a referência anteposta. Para cada objetivo existem restrições que são tratadas como penalidades. Como solução é gerada uma curva de Pareto que contém soluções possíveis para o problema. Através dessa curva, o nutricionista escolherá o cardápio que melhor lhe atender.

O método escalar soma ponderada gera todo o conjunto de soluções quando as funções são convexas. Como não foi possível verificar a convexidade das funções, não se pode afirmar que o método é o mais apropriado para fazer a escalarização.

Com os resultados obtidos foi possível concluir que o Algoritmo Genético funcionou de forma eficiente para resolver o problema da elaboração de cardápios, os objetivos propostos foram atingidos e as restrições estabelecidas pelo governo foram respeitadas. Os cardápios foram gerados de forma rápida, com no máximo 3 minutos para os parâmetros apresentados nos testes, o que manualmente poderia levar horas.

Para trabalhos futuros, os autores pretendem utilizar Algoritmos Multiobjetivo para resolver o problema e compará-lo com os resultados obtidos pelo método aplicado neste trabalho, bem como outros métodos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CEFET-MG pela infraestrutura oferecida para realização deste trabalho e as agências de fomento Capes, CNPq e Fapemig pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. Conselho Federal de Nutricionistas. *Dispõe sobre a definição das áreas de atuação do nutricionista e suas atribuições, estabelece parâmetros numéricos de referência, por área de atuação, e de outras providências. Resolução n. 380, de 9 de dezembro de 2005.* Conselho Federal de Nutricionistas, 2005.
- [2] Maria Lúcia Rosa Stefanini. *Merenda escolar: História, evolução e contribuição no atendimento das necessidades nutricionais da criança.* Master's thesis, Universidade de São Paulo, 1997. Departamento de Nutrição da Faculdade de Saúde Pública.
- [3] Brasil. Fundo nacional de desenvolvimento de educação (fn-de) pnae: Alimentação escolar, 2015.
- [4] Jean Márcia Oliveira Mascarenhas and Juliana Cantalino dos Santos. Avaliação da composição nutricional dos cardápios e custos da alimentação escolar da rede municipal de conceição do jacufpe. *Sitientibus: Rev. Univ. Est.* (35):75–90, jul/dez 2006.
- [5] JL Balintfy. Menu planning by computer. *Communications of the ACM*, 7(4):255–259, April 1964.
- [6] EF Eckstein. Menu planning by computer: the random approach. *J Am Diet Assoc.* 51(6):529–533, 1967.
- [7] J Bulka, A Izvorski, J Koleszynska, J Lis, and I Wochlik. Automatic meal planning using artificial intelligence algorithm in computer aided diabetes therapy. *IEEE*, pages 393–397, February 2009.
- [8] NEPA. *Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos - TACO*, 4th edition, 2011.
- [9] Brasil. *Ministério da Educação. Orientação para Alimentação Escolar na Educação Infantil, Fundamental, Médio, Educação de Jovens e Adultos*, 2nd edition, 2012.
- [10] Frederico Renato Gomes. *Pró-dieta: Gerador automático de cardápios personalizados baseado em algoritmo genético.* Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.
- [11] David E. Goldberg. *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning.* 1989.