

SISTEMAS EMBARCADOS · UFC · 5 DE JULHO DE 2026

Linear Programming Optimization of Nutritional and Technological Properties in Wheat Bread Fortified With Taioba (*Xanthosoma sagittifolium* L.) Leaf Flour

Por Diana Jessica Souza Guimarães, Bárbara Kelly de Albuquerque Bezerra, Luciana Gama de Mendonça e Rafael Audino Zambelli

Fonte: OpenAlex · UFC · [Publicação original](#)

INOVAÇÃO	APLICABILIDADE	POTENCIAL ECONÔMICO	MATURIDADE
7/10	9/10	7/10	Média

Pesquisa da UFC que aplica programação linear para otimizar a formulação de pães de trigo enriquecidos com farinha de folhas de taioba. O estudo conseguiu equilibrar o aumento nutricional (proteína e cinzas) com a qualidade tecnológica (volume e textura), identificando o nível ideal de inclusão de 11,7%.

NÚCLEO DA ANÁLISE

Ideia de startup ou produto

Plataforma SaaS de 'Formulação Inteligente de Alimentos' que utiliza algoritmos de otimização para ajudar indústrias de alimentos a desenvolverem novos produtos balanceando custo, valor nutricional e viabilidade tecnológica.

Aplicações práticas

Desenvolvimento de produtos de panificação funcional e enriquecidos; utilização de otimização matemática em P&D de alimentos; valorização de culturas nativas do Nordeste (taioba) na indústria alimentícia.

Potencial de mercado

Alto potencial no mercado de alimentos funcionais, saudáveis e 'clean label'. Há uma tendência crescente por fortificação alimentar natural e uso de ingredientes regionais, o que pode agregar valor a marcas de panificação industrial e artesanal.

FUNDAMENTO CIENTÍFICO

Problema abordado

A dificuldade técnica em adicionar farinhas de folhas não convencionais à panificação sem comprometer a estrutura do glúten e o volume do pão, além da necessidade de maximizar o valor nutricional utilizando ingredientes regionais subutilizados.

Metodologia

Foram produzidos pães com 0% a 15% de farinha de taioba. Modelos de regressão linear correlacionando o nível de adição com respostas tecnológicas e nutricionais foram inseridos em um modelo de programação linear para maximizar um escore nutricional sujeito a restrições de qualidade tecnológica.

Principais descobertas

O nível ótimo calculado foi de 11,7% de farinha de taioba. Neste ponto, houve um aumento de 21% nos teores de proteína e 220% nas cinzas, mantendo os parâmetros tecnológicos dentro dos limites de aceitação, validando a eficácia da otimização matemática na formulação de alimentos.

LEITURA PARA GESTÃO PÚBLICA

Implementação da formulação otimizada em programas de alimentação escolar (merenda) no Ceará, combatendo a deficiência nutricional ao mesmo tempo em que incentiva a cadeia produtiva de agricultores familiares de taioba.

PARCERIA UNIVERSIDADE × EMPRESA

Parceria tecnológica com a UFC para transferência da metodologia de otimização para grandes indústrias de moagem e panificação, visando o lançamento de linhas de produtos fortificados.

OPORTUNIDADES DERIVADAS

3 direções estratégicas identificadas

STARTUP · IMPACTO MÉDIO · CIÊNCIA DE DADOS

OptiFood Formulations

Startup de Data Science aplicada à indústria de alimentos, oferecendo um motor de otimização para substituição de ingredientes e fortificação nutricional baseado no modelo validado.

POLÍTICA PÚBLICA · IMPACTO ALTO · GOVTECH

Programa Pão Fortificado Ceará

Adoção da farinha de taioba e da formulação otimizada na rede pública de ensino e hospitais, utilizando a produção local para gerar renda e melhorar a saúde da população.

Linha de Mix Funcional de Panificação

Desenvolvimento de uma pré-mistura de farinhas contendo trigo e taioba na proporção otimizada (11,7%) para venda direta ao consumidor final e padarias industriais.

ABSTRACT ORIGINAL

ABSTRACT Background and Objectives This study applied linear programming to optimize taioba (*Xanthosoma sagittifolium*) leaf flour (TLF) incorporation in wheat bread, balancing nutritional enrichment and technological quality. **Findings** Breads containing 0%–15% TLF (flour basis) were produced and evaluated for composition, dough expansion, specific volume, and crumb structure by image analysis. Linear regression models describing the effect of TLF level on protein, ash, and key technological responses were embedded into a linear programming framework whose objective function maximized a composite nutritional score based on normalized protein and ash contents, subject to minimum constraints for expansion factor, specific volume, and alveoli number. Protein and ash increased linearly with TLF level, whereas expansion factor, specific volume, and alveoli number decreased due to disruption of the gluten–starch matrix by fibrous, mineral-rich taioba particles. The optimization identified an optimal TLF level of 11.7%, at which protein and ash increased by about 21% and 220%, respectively, compared with the control bread, while technological parameters remained within acceptance limits. **Conclusions** The linear programming model identified an optimal TLF level of 11.7%, and experimental validation confirmed the adequacy of this solution in balancing nutritional enrichment and technological quality. **Significance and Novelty** This work introduces a multi-criteria optimization framework for products enriched with unconventional leaf flours, supporting rational formulation of nutritionally improved wheat breads.

MATÉRIA PARA LEIGOS

Para leigos: Matemática ajuda a colocar taioba no pão sem estragar a receita

O cenário atual

Enriquecer alimentos como o pão de trigo com ingredientes não convencionais, como farinhas de folhas, é uma estratégia para melhorar a nutrição. O desafio técnico é adicionar esses ingredientes sem prejudicar a qualidade tecnológica, como o crescimento da massa e a textura do pão. É necessário encontrar um equilíbrio entre ganhar nutrientes e manter a estrutura do produto.

O que os pesquisadores fizeram

Os pesquisadores da Universidade Federal do Ceará (UFC) aplicaram uma técnica matemática chamada programação linear para resolver esse problema. Eles produziram pães com quantidades variadas de farinha de folhas de taioba (TLF), variando de 0% a 15%. Em seguida, avaliaram a composição dos pães e suas características físicas, como expansão da massa, volume específico e estrutura do miolo.

Como funciona na prática

A equipe criou modelos de regressão linear para entender como a quantidade de taioba afeta o pão. O objetivo do modelo matemático era maximizar uma pontuação nutricional baseada no teor de proteínas e cinzas, respeitando limites mínimos de qualidade física. O estudo constatou que quanto mais taioba se coloca, maior o teor de proteínas e cinzas. Porém, a expansão e o volume diminuem porque as partículas fibrosas e ricas em minerais da taioba atrapalham a rede de glúten e amido. A matemática serviu para calcular o ponto exato onde a nutrição é máxima, mas a estrutura do pão ainda segura.

Resultados e evidência

O modelo matemático identificou que o nível ideal de adição é de 11,7% de farinha de taioba. Nessa quantidade, o teor de proteína aumentou cerca de 21% e o de cinzas aumentou cerca de 220% em comparação com o pão de trigo tradicional (controle). A validação experimental confirmou que, mesmo com esse aumento nutricional, os parâmetros tecnológicos permaneceram dentro dos limites aceitáveis de qualidade.

Implicações práticas

Este estudo introduz um método de otimização multi-critérios para produtos enriquecidos com farinhas de folhas não convencionais. A ferramenta permite formular de forma racional pães de trigo nutricionalmente melhorados, garantindo que as propriedades tecnológicas necessárias para a aceitação do produto sejam mantidas.

Limitações e próximos passos

O estudo focou na otimização baseada em propriedades tecnológicas específicas (fator de expansão, volume específico, número de alvéolos) e componentes nutricionais (proteína e cinzas). O paper não detalha análises sensoriais, como sabor ou aceitação por consumidores, nem custos de produção ou validação em escala industrial.

QUEM SÃO OS PESQUISADORES

Quem são os pesquisadores

O estudo foi conduzido por Diana Jessica Souza Guimarães, Bárbara Kelly de Albuquerque Bezerra, Luciana Gama de Mendonça e Rafael Audino Zambelli, todos afiliados à Universidade Federal do Ceará (UFC). O paper não informa a formação acadêmica específica, títulos ou trajetória profissional dos autores, nem detalha papéis individuais distintos no desenvolvimento da pesquisa.

PALAVRAS-CHAVE

Linear programming · Linear regression · Novelty · Linear relationship · Wheat flour · Function (biology)