

UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA OBTER UMA CONCENTRAÇÃO IDEAL DE SUBSTITUIÇÃO DA POLPA E FARINHAS DE GABIROBA E SUBPRODUTOS DO PEQUI NO DESENVOLVIMENTO DE PÃES DOCES

USE OF RESPONSE SURFACE METHODOLOGY TO OBTAIN AN IDEAL REPLACEMENT CONCENTRATION OF GABIROBA PULP AND FLOUR AND PEQUI BYPRODUCTS IN SWEET BREAD PRODUCTION

DOI: 10.24933/rep.v10i1.447

v. 10n. 1 (2026)

CUNHA, Mariana¹; CUNHA, Marília²; PEREIRA, Joelma³; ALVES, José Guilherme⁴; VILAS BOAS, Eduardo Valério⁵.

¹Doutora em Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras e Discente do Curso de Nutrição, Universidade São Francisco; Campus Itatiba;

²Doutora em Ciência dos Alimentos da Universidade Estadual de Campinas e Discente do Curso de Nutrição, Universidade São Francisco; Campus Itatiba,

³Professora Doutora do Curso de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras;

^{4,5}Professor Doutor do Curso de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras.

mariana.crivelari@mail.usf.edu.br

RESUMO. Neste estudo, parte dos ingredientes utilizados no preparo de pães (farinha de trigo e água) foram substituídos por farinha de casca de pequi (FCP), farinha de polpa de gabiroba (FPG) e polpa de gabiroba (PG). Para isso, foram utilizados dois delineamentos experimentais, com duas variáveis independentes para cada delineamento. No primeiro, foi avaliado o efeito da substituição de parte da farinha de trigo pela farinha de casca de pequi (x_1) e farinha de polpa de gabiroba (x_2). Já o segundo, consistiu em avaliar o efeito da parte da farinha de trigo pela farinha de casca de pequi (x_1) e parte da água utilizada no desenvolvimento dos pães por polpa de gabiroba (x_2). Para fins comparativos, o ideal de substituição foi baseado nos resultados obtidos referentes à qualidade tecnológica avaliada na formulação padrão. As variáveis dependentes foram: volume de massa; índice de expansão; volume específico; densidade e perfil de textura (TPA). No primeiro delineamento, ambas as variáveis independentes (x_1 : FCP e x_2 : FPG) influenciaram significativamente no volume de massa, volume específico e densidade dos pães, enquanto que, no segundo delineamento, apenas alguns parâmetros da TPA, como dureza e mastigabilidade, foram influenciados pela substituição entre ambas as variáveis independentes (x_1 : FCP e x_2 : PG). De maneira geral, a melhor faixa de substituição foi obtida com a formulação utilizando entre 1,61% a 5% de farinha da casca de pequi; entre 10% a 11,5% de farinha da polpa de gabiroba e até 20% de polpa de gabiroba.

Palavras-chave: *Caryocar brasiliense* Camb.; *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg; Tecnologia da panificação; Substituição de ingredientes; Processamento de alimentos.

ABSTRACT. In this study, part of the ingredients used in the preparation of bread (wheat flour and water), were substituted by pequi husk flour (PHF), gabiroba pulp flour (GPF) and gabiroba pulp (GP). For this, two experimental designs were performed, with two independent variables for each design. First, the effect of replacing part of the wheat flour with pequi husk flour (x_1)

and gabirola pulp flour (x_2), was evaluated. The second consisted of evaluating the effect of partial substitution of the wheat flour by the pequi husk flour (x_1) and of water by gabirola pulp (x_2) in bread formulation. For comparative purposes, the replacement ideal was based on the technological quality of the standard formulation. The dependent variables were: mass volume; expansion index; specific volume; density and texture profile (TPA). The first design, both independent variables (x_1 : PHF and x_2 : GPF) significantly influenced the dough volume, specific volume and density of breads, while in the second design, only a few parameters of TPA, such as hardness and chewiness, were influenced by the substitution between both independent variables (x_1 : PHF and x_2 : GP). In general, the best replacement range was obtained with the formulation using between 1.61% to 5% pequi husk flour; between 10% to 11.5% of gabirola pulp flour and up to 20% of gabirola pulp.

Keywords: *Caryocar brasiliense* Camb.; *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg; Bakery technology; Substitution of ingredient; Food processing.

INTRODUÇÃO

O Cerrado brasileiro reúne uma das maiores biodiversidades do mundo e inclui um grande número de espécies frutíferas com propriedades nutricionais, funcionais e peculiaridades sensoriais (ALMEIDA et al., 2019; UEKANE et al., 2017). O bioma Cerrado é o segundo maior no território brasileiro, atrás apenas da floresta Amazônica (MYERS et al., 2000). Dentre as espécies frutíferas nativas catalogadas e que são convencionalmente chamadas de “potenciais”, destacam-se a gabirola (*Campomanesia xanthocarpa* O. Berg) e o pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.).

A gabirola é um fruto também conhecido como ‘guabirola-do-mato’, ‘guabirola-miúda’, ‘gabirola’, ‘guavirola’ ou ‘guariva’ (LANDRUM, 1986). Produzida por diferentes espécies do gênero *Campomanesia*, família *Myrtaceae*, caracteriza-se por ser um fruto do tipo baga, globoso e arredondado, de epicarpo liso e fino, de coloração amarelo-esverdeada, constituído por uma casca fina e uma polpa amarela, envolvendo diversas sementes (ALVES et al., 2013). A gabirola é apreciada por suas características sensoriais, sendo consumida fresca ou utilizada na produção de sorvetes, geleias e sucos. Várias pesquisas já demonstraram que o fruto apresenta elevado potencial nutricional e funcional (ALVES et al., 2013; EMBRAPA, 2015; MORZELLE et al., 2015; SANTOS et al., 2013; SILVA et al., 2009).

Já o pequi, popularmente conhecido como “Ouro do Cerrado”, é um fruto da espécie *Caryocar brasiliense* Camb., família *Caryocaraceae*, constituído pelo exocarpo (casca) de coloração verde-acinzentada, mesocarpo externo, de coloração amarelo-claro, que juntos compõe cerca de 80% do fruto, além do mesocarpo interno, porção normalmente consumida, endocarpo espinhoso e semente. Normalmente comercializado como fruto, ao ser processado, visando-se o aproveitamento, principalmente do mesocarpo interno, há a geração de uma quantidade muito grande de resíduos, com potencial de serem aproveitados como subprodutos/coprodutos, ainda pouco explorados. Alguns estudos já mostraram que o exocarpo e o mesocarpo externo do pequi apresentam grande potencial funcional e nutricional, no entanto, estas partes do fruto não são utilizadas na alimentação humana, sendo descartadas nas preparações culinárias (LEÃO et al., 2018; LEÃO et al., 2017).

Gabirola e pequi apresentam aplicabilidade tecnológica para a elaboração de novos produtos e podem ser utilizados no enriquecimento nutricional e funcional de alimentos bastante conhecidos e consumidos, com destaque aos produtos de panificação. Dessa forma, a incorporação desses frutos, na forma de farinha e polpa, em produtos panificáveis pode

melhorar seu potencial nutricional, funcional e sensorial, como também, passa a ser uma das formas de difundir e ampliar o consumo desses frutos exóticos.

O pão é um dos alimentos básicos, mais conhecidos e difundidos no mundo, considerado uma importante fonte calórica, embora veicule pouco mais que amido. Conforme Danza et al. (2014), os pães são produzidos com ingredientes simples, como farinha de trigo, sal, fermento e água, e apesar disso, é um dos alimentos mais consumidos no planeta. Conforme o relatório *World: Bread and Bakery* (2018), os países de maior consumo de pão *per capita* foram: Reino Unido (96 kg/ano), Espanha (77 kg/ano), Itália (65 kg/ano), Alemanha (65 kg/ano), Rússia (61 kg/ano) e França (52 kg/ano). No Brasil, segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Panificação (ABIP, 2018), o consumo desse alimento é de 33,5 kg/ano, abaixo do recomendado pela Organização Mundial da Saúde (60 kg de pão por ano).

Pela simplicidade de elaboração e versatilidade de consumo, o pão é considerado um produto adequado para ser enriquecido por meio de substituições de ingredientes, com o propósito de trazer benefícios nutricionais e fornecer apelo referente à saudabilidade ao consumidor. Benassi e Watanabe (1997), Mareti et al. (2010) e Rahaie et al. (2014), salientam que a substituição parcial da farinha de trigo por outros tipos de farinhas é uma alternativa viável e que pode ser adequada desde que não ocasione alterações nos atributos de qualidade dos produtos elaborados. Além disso, destacam também que o tipo de pão produzido e a formulação influenciam no processo de substituição da farinha de trigo, uma vez que, quanto maior for a proporção de ingredientes complementares (açúcar, gordura, leite e ovos), maior será a tolerância à substituição. Dentre as principais modificações da qualidade de pães elaborados com substituição parcial da farinha de trigo por outros tipos de farinhas, os autores destacam: diminuição do volume, alterações na coloração da crosta e miolo, enfraquecimento da rede de glúten, alterações na textura, no sabor e no aroma.

Para estudos de otimização de formulação de alimentos, uma das ferramentas estatísticas mais usadas é a Metodologia de Superfície de Resposta, em que através de planejamentos experimentais consegue-se avaliar os efeitos de cada variável independente sobre as variáveis respostas e estabelecer as melhores concentrações dos ingredientes na formulação do alimento (RODRIGUES; IEMMA, 2014).

O enriquecimento nutricional e funcional do pão, um dos alimentos mais consumidos no mundo, com a gabioba e subprodutos/coprodutos do pequi, pode ser uma forma de disseminar o uso destes frutos, de grande potencial, mas ainda desconhecidos e inexplorados. Ainda, a agregação de valores a esses frutos nativos pode contribuir para a conservação do bioma Cerrado.

Conforme exposto, o propósito do presente estudo foi obter uma faixa de concentração ideal, utilizando a metodologia de superfície de resposta, para a substituição parcial à farinha de trigo, utilizando a farinha da casca de pequi e a farinha da polpa de gabioba, bem como, a substituição parcial da água por polpa de gabioba, a fim de desenvolver um produto de panificação com qualidades tecnológicas comparadas a formulação padrão de pão doce.

MÉTODOLOGIA

Obtenção da matéria-prima

Frutos do pequi foram coletados na região de Montes Claros (18°27'58"S 43°51'45"W) – Minas Gerais, Brasil, enquanto a polpa integral de gabioba, já extraída, embalada e congelada, foi adquirida da empresa Sítio do Bello Frutas Nativas, localizada em Paraibuna (23°22'37"S 45°56'38"W) – São Paulo, Brasil.

Do pequi utilizou-se a casca (exocarpo + mesocarpo externo) e dela obteve-se a farinha, uma das matérias-primas alvo de estudo, utilizada na elaboração dos pães. O processo de elaboração da farinha da casca de pequi foi descrito por Cunha et al. (2021). Para a obtenção da farinha da polpa de gabioba, parte das polpas adquiridas foi disposta em formas de alumínio e submetida à secagem em estufa a temperatura de 65°C, por 24 horas. Em seguida, o material seco obtido foi triturado e peneirado utilizando-se uma peneira de Mesh n° 35, a fim de obter uma farinha com granulidade homogênea. As farinhas obtidas foram seladas a vácuo, enquanto a polpa de gabioba remanescente foi mantida na embalagem original de polietileno e acondicionada a -18°C até a elaboração dos pães.

Processamento dos pães

Os pães controle foram elaborados a partir de uma formulação básica: farinha de trigo (200 g), água (90 g), açúcar cristal (30 g), ovos (30 g), leite em pó (12 g), óleo de soja (10 g), fermento biológico (5 g) e sal (4 g). Os pães enriquecidos apresentaram a mesma formulação, à exceção da substituição parcial da farinha de trigo, por farinhas de casca de pequi e farinha da polpa de gabioba e de água por polpa de gabioba.

Para a formulação dos pães foi realizado o método direto de fermentação, onde todos os ingredientes secos foram misturados: farinha de trigo, açúcar cristal, ovos, fermento, leite em pó. Depois de homogeneizados, seguiu-se a adição dos ingredientes úmidos: água e óleo. Por fim, adicionou-se o sal até o desenvolvimento da rede de glúten ou “ponto de véu”. A massa foi misturada em batedeira Wallita®, com 5 velocidades e 250W de potência, na velocidade máxima por 5 minutos. Posteriormente, a massa foi pesada, dividida, boleada e modelada no modelador de pães G.Painz® e levada à câmara de fermentação Klimaquip® (30°C e ± 90 % UR) por 1 hora e 30 minutos. Logo após a massa fermentada foi submetida ao forneamento em forno elétrico semi-industrial Prática Techicook®, a 150°C por 20 minutos.

Rendimento das farinhas

O rendimento das farinhas foi determinado de acordo com a Equação 1, descrita por Santos, Silva, Santos e Oliveira (2010).

$$R = \frac{F}{P} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que: R: rendimento (%); F = massa de farinha obtida (g); P = massa de polpa e/ou casca (g).

Avaliação tecnológica das massas e dos pães

Volume das massas

Porções de massa de aproximadamente 15 g foram colocadas em provetas de 100 mL para medição dos volumes das massas durante o processo de fermentação que foi conduzido em câmara de fermentação regulada em 30°C e 90% UR por 1 hora e 30 minutos. Para o cálculo do volume produzido (ΔV) utilizou-se a subtração entre o volume final produzido e o volume inicial das massas na proveta, conforme Equação 2. As medidas para cada ensaio foram realizadas em quadruplicata e os resultados expressos em mL (ZAMBELLI, 2015).

$$\Delta V = V_f - V_i \quad (\text{Eq. 2})$$

Índice de expansão

Para o cálculo do índice de expansão (IE) foi utilizada a metodologia descrita por Zambelli (2015) e Machado e Pereira (2010), com adaptações. As massas modeladas foram dispostas em uma forma e feitas às medições do diâmetro e altura, utilizando uma régua milimétrica e um paquímetro digital. A análise foi realizada em quadruplicata. O IE dos pães foi calculado por meio da Equação (3) e os resultados expressos em cm^2 .

$$IE = \frac{\left(\frac{DP+HP}{2}\right)}{\left(\frac{Dm+Hm}{2}\right)} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde: D_P e H_P = Diâmetro e altura dos pães após o forneamento (cm); D_M e H_m = Diâmetro e altura das massas moldadas (cm).

Volume específico

O volume específico dos pães foi medido segundo o método n° 72-10, descrito pela AACC (2000) e Machado & Pereira (2010), por meio do preenchimento de um recipiente de volume conhecido com sementes de painço. O volume específico foi calculado pela divisão do volume deslocado do pão (mL) pela sua massa (g) e os resultados expressos em mL g^{-1} .

Densidade

A densidade foi calculada, em quadruplicata, pela relação inversa entre o volume deslocado (mL) e o peso da amostra assada (g) e os resultados expressos em g mL^{-1} (Machado & Pereira, 2010).

Perfil de textura

As variáveis de textura foram determinadas nos pães assados, de acordo com Garzón et al. (2017) e Jekle, Fuchs e Becker (2018), em um analisador de textura (modelo TA – XT2i, Stable Micro Systems, Reino Unido) usando um teste de dupla compressão de análise de perfil de textura (TPA). As fatias de pão com 1 cm de espessura foram comprimidas a 50% da sua altura original a uma velocidade de teste de 2 mm s^{-1} , com distância de compressão de 5,0 mm; intervalo entre os ciclos de 10 s, utilizando uma probe cilíndrica de 36 mm. Para a realização do teste foram colocadas duas fatias de pão sobrepostas e a análise de cada ensaio foi realizada em quadruplicata. A partir da curva de TPA, foram analisadas as variáveis: dureza, elasticidade, coesividade, mastigabilidade e resiliência.

Produção dos pães doces utilizando a metodologia de superfície de resposta

Dois Delineamentos Compostos Centrais Rotacionais foram conduzidos com duas variáveis independentes para determinar as condições ótimas para o desenvolvimento de pães doces com parâmetros tecnológicos semelhantes ao pão doce convencional (controle).

Os efeitos das variáveis independentes sobre as propriedades da massa e a qualidade dos

pães foram estudados utilizando um planejamento completo 2^2 , incluindo quatro fatoriais (níveis -1 e +1), quatro pontos axiais (níveis $\pm \alpha$) e três repetições no ponto central, totalizando 11 ensaios realizados em quadruplicata (Tabela 1).

O primeiro planejamento experimental foi realizado para avaliar o efeito de duas variáveis independentes: a farinha da casca do pequi (0 a 5%) e a farinha da polpa de gabioba (10 a 20%). O segundo planejamento experimental foi realizado para avaliar também, o efeito de duas variáveis independentes: a farinha da casca do pequi (0 a 5%) e a polpa de gabioba (0 a 40%). As variáveis respostas foram os parâmetros tecnológicos de avaliação da qualidade da massa e dos pães, conforme descrito no item 2.4.

Tabela 1 – Correlação entre níveis codificados e reais das duas variáveis independentes nos dois Delineamentos Compostos Centrais Rotacionais (DCCR).

1° Planejamento experimental					
Variáveis	Níveis				
	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
Farinha da casca do pequi (x_1)	0,00	0,73	2,50	4,27	5,00
Farinha da polpa de gabioba (x_2)	10,00	11,46	15,00	18,54	20,00
2° Planejamento experimental					
Variáveis	Níveis				
	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
Farinha da casca do pequi (x_1)	0,00	0,73	2,50	4,27	5,00
Polpa de gabioba (x_2)	0,00	5,86	20,00	34,14	40,00

Notas: O valor de $\pm \alpha$ corresponde a 1,41.

Para avaliar os efeitos das variáveis nos parâmetros de qualidade das massas e dos pães foi utilizada a análise de regressão multivariada, dado pela Equação 4. Nessa equação estão apresentadas de forma genérica, as respostas em função dos coeficientes lineares, quadráticos e de interação entre os efeitos (RODRIGUES; IEMMA, 2014).

$$y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_j X_j + \sum \beta_{ii} X_i^2 + \sum \beta_{jj} X_j^2 + \sum \beta_{ij} X_{ij} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde: y são as variáveis respostas, X_i e X_j são as variáveis independentes, β_0 é o termo constante e β_i e β_j são os coeficientes dos termos lineares, β_{ii} e β_{jj} são os coeficientes dos termos quadráticos e β_{ij} é o coeficiente dos termos da interação. A significância estatística dos termos nas equações de regressão foi examinada por análise de variância, sendo que, o teste F ($F_{\text{cal}} > F_{\text{tab}}$) foi utilizado para verificar a qualidade do modelo a um nível de significância estabelecido em 5% ($p < 0,05$) e o coeficiente de determinação superior a 0,7 ($R^2 > 0,7$).

Após a obtenção dos modelos ajustados conforme a regressão multivariada de segunda ordem, as curvas de contorno foram determinadas, enquanto a validação dos modelos foi realizada por meio da repetição do ensaio que mais se aproxima ao valor obtido pelo controle e os parâmetros previstos referentes às análises tecnológicas foram comparados com os dados experimentais obtidos. Para o efeito comparativo, foi realizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Statistica® versão 8.0 (STATSOFT, 2008). O teste de Scott-Knott foi aplicado aos resultados da matriz do Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) para efeito comparativo entre os

diferentes ensaios e a formulação padrão utilizando o software Sisvar[®] versão 5.4 (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Rendimento das farinhas

O rendimento da farinha da polpa de gabioba foi de 10,09%, uma vez que foram obtidos 242,34 g de farinha com a secagem de 2.400 g de polpa. Já o rendimento da farinha da casca de pequi foi de 19,41%, sendo obtidos 220,53 g de farinha a partir da secagem de 1.136 g de casca branqueada.

1º Planejamento experimental

Na Tabela 2 são apresentados os valores das respostas obtidas quanto aos efeitos da substituição parcial da farinha de trigo pelas farinhas da casca de pequi (x_1) e farinha da polpa de gabioba (x_2) sobre as propriedades tecnológicas da massa e dos pães elaborados.

De modo geral, a partir das médias apresentadas e seus respectivos desvios padrão, observa-se que os menores níveis de substituição, entre as duas variáveis independentes estudadas, conferem maior volume e índice de expansão, para as massas e maior volume específico e elasticidade e menor densidade, dureza e mastigabilidade aos pães desenvolvidos (Tabela 2). Logo, os menores níveis de substituições entre ambas as variáveis independentes conferem resultados mais próximos aos obtidos na elaboração da formulação padrão.

Somente para as variáveis volume de massa, volume específico e densidade dos pães foi possível verificar efeito significativo ($p < 0,05$) das variáveis independentes, com $R^2 > 0,7$ (Tabela 4). Embora a dureza e a mastigabilidade tenham sido afetadas, significativamente, pelas farinhas, nenhum ajuste foi aceito, em função do baixo coeficiente de determinação ($R^2 < 0,7$). Depreende-se, portanto, a partir das propriedades tecnológicas avaliadas, que o índice de expansão da massa e a textura dos pães não foram afetados pelos níveis de substituições estudados.

Os modelos reparametrizados para as variáveis dependentes volume de massa, volume específico e densidade dos pães, com as variáveis independentes farinha da casca de pequi (x_1) e farinha da polpa de gabioba (x_2), são mostrados nas Equações 5, 6 e 7.

$$\text{Volume de massa} = 12,796 - 2,313x_1 - 3,567x_2 + 2,907x_2^2; R^2 = 87,77\% \quad (\text{Eq. 5})$$

$$\text{Volume específico} = 1,759 - 0,114x_1 - 0,188x_2; R^2 = 75,23\% \quad (\text{Eq. 6})$$

$$\text{Densidade} = 0,582 + 0,038x_1 + 0,065x_2; R^2 = 74,40\% \quad (\text{Eq. 7})$$

Ao analisar as regressões obtidas, um efeito linear negativo das variáveis independentes, farinha da casca de pequi (x_1) e farinha da polpa de gabioba (x_2), é observado sobre as variáveis respostas volume de massa e volume específico, assim como, um efeito linear positivo sobre a densidade dos pães (Equações 5, 6 e 7). Isso indica que o menor nível de substituição de ambas as variáveis independentes proporciona o maior volume de massa e volume específico, com a menor densidade nos pães. Os resultados se justificam, visto que o dimensionamento do volume da massa e volume específico é inversamente proporcional ao da densidade dos pães, conforme a base de cálculo descrito na metodologia de volume específico e densidade.

Tabela 2 - Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) com valores reais e codificados e teste de Scott-Knott para efeito comparativo entre os ensaios e a formulação padrão.

Ensaio	Farinha da casca de pequi (x ₁)	Farinha da polpa de gabioba (x ₂)	Volume de massa (mL)	Índice de expansão	Volume específico (mL g ⁻¹)	Densidade (g mL ⁻¹)	Dureza (g.f)	Elasticidade (g.f)	Coabilidade (g.sec)	Mastigabilidade	Resiliência
1	-1 (0,73)	-1 (11,45)	20,75 ± 1,89 ^b	0,39 ± 0,01 ^b	2,02 ± 0,03 ^b	0,50 ± 0,01 ^c	2.675 ± 354 ^c	0,90 ± 0,05 ^b	0,71 ± 0,03 ^a	1.719 ± 228 ^b	0,35 ± 0,03 ^a
2	+1 (4,27)	-1 (11,45)	17,00 ± 0,82 ^c	0,37 ± 0,01 ^c	1,64 ± 0,14 ^c	0,61 ± 0,05 ^b	2.902 ± 487 ^c	0,89 ± 0,04 ^b	0,71 ± 0,03 ^a	1.837 ± 292 ^b	0,34 ± 0,02 ^a
3	-1 (0,73)	+1 (18,55)	15,25 ± 1,50 ^c	0,37 ± 0,01 ^c	1,53 ± 0,16 ^c	0,66 ± 0,08 ^b	4.000 ± 391 ^a	0,89 ± 0,01 ^b	0,70 ± 0,02 ^a	2.497 ± 257 ^a	0,33 ± 0,00 ^a
4	+1 (4,27)	+1 (18,55)	7,75 ± 0,50 ^d	0,37 ± 0,02 ^c	1,39 ± 0,20 ^c	0,73 ± 0,11 ^a	4.023 ± 826 ^a	0,86 ± 0,05 ^c	0,68 ± 0,03 ^a	2.356 ± 410 ^a	0,32 ± 0,02 ^a
5	-1,41 (0)	0 (15)	15,88 ± 0,85 ^c	0,40 ± 0,02 ^b	1,89 ± 0,12 ^b	0,53 ± 0,03 ^c	3.463 ± 372 ^b	0,89 ± 0,01 ^b	0,69 ± 0,01 ^a	2.125 ± 233 ^a	0,35 ± 0,01 ^a
6	+1,41 (5)	0 (15)	10,75 ± 0,65 ^d	0,38 ± 0,01 ^c	1,61 ± 0,08 ^c	0,62 ± 0,03 ^b	3.606 ± 640 ^b	0,84 ± 0,03 ^c	0,69 ± 0,02 ^a	2.077 ± 303 ^a	0,33 ± 0,02 ^a
7	0 (2,5)	-1,41 (10)	24,00 ± 2,35 ^b	0,40 ± 0,01 ^b	2,06 ± 0,18 ^b	0,49 ± 0,04 ^c	2.400 ± 624 ^c	0,89 ± 0,02 ^b	0,68 ± 0,03 ^a	1.449 ± 369 ^b	0,34 ± 0,02 ^a
8	0 (2,5)	+1,41 (20)	14,25 ± 0,65 ^c	0,36 ± 0,00 ^c	1,52 ± 0,09 ^c	0,66 ± 0,04 ^b	4.259 ± 218 ^a	0,81 ± 0,01 ^c	0,69 ± 0,02 ^a	2.363 ± 137 ^a	0,34 ± 0,01 ^a
9	0 (2,5)	0 (15)	16,25 ± 0,35 ^d	0,36 ± 0,01 ^c	1,91 ± 0,07 ^b	0,53 ± 0,02 ^c	4.465 ± 204 ^a	0,83 ± 0,04 ^c	0,70 ± 0,01 ^a	2.736 ± 221 ^a	0,33 ± 0,01 ^a
10	0 (2,5)	0 (15)	10,13 ± 0,25 ^d	0,38 ± 0,01 ^c	1,89 ± 0,04 ^b	0,53 ± 0,01 ^c	3.596 ± 177 ^b	0,89 ± 0,06 ^b	0,71 ± 0,03 ^a	2.275 ± 262 ^a	0,34 ± 0,02 ^a
11	0 (2,5)	0 (15)	12,00 ± 0,00 ^d	0,38 ± 0,01 ^c	1,89 ± 0,23 ^b	0,54 ± 0,07 ^c	3.120 ± 511 ^c	0,86 ± 0,05 ^c	0,71 ± 0,04 ^a	2.075 ± 21 ^c	0,33 ± 0,02 ^a
Pão Controle	-	-	30,25 ± 2,33 ^a	0,42 ± 0,00 ^a	2,77 ± 0,23 ^a	0,36 ± 0,03 ^d	1551,16 ± 560 ^e	0,98 ± 0,00 ^a	0,74 ± 0,02 ^a	1.105 ± 353 ^c	0,37 ± 0,02 ^a

Notas: Os valores são médios (n=4) ± desvio padrão de análises realizadas em quadruplicata, incluindo a formulação padrão. Diferentes letras na mesma coluna apresentam diferenças significativas a um nível de 5% de significância (p<0,05). **Observação:** Volume de massa e índice de expansão foram determinados na massa antes do assamento.

Borges et al. (2011) afirmam que a incorporação de outras farinhas isentas de glúten é responsável pela baixa retenção de CO₂ oriundo da fermentação, tendo como principal consequência à redução do volume específico e aumento da densidade no produto, como observado no presente trabalho. Essa interferência também foi constatada por Paz et al. (2015), na formulação de pães elaborados com farelo de arroz desengordurado, sendo que os maiores níveis de substituições mostraram-se desfavoráveis quanto às implicações tecnológicas da massa, principalmente devido à redução significativa no volume dos pães desenvolvidos.

Dessa forma, a quantidade de ingredientes utilizados na substituição de parte da farinha de trigo, bem como a forma do processamento pode influenciar negativamente no volume dos pães. A não utilização de melhoradores, bem como o processo tecnológico empregado (método direto de fermentação da massa), justificam os baixos valores para volume específico e densidade dos pães doces encontrados neste trabalho, que são similares aos relatados por Rocha (2007) ao avaliar o efeito da substituição de parte da farinha de trigo por casca e polpa de baru na formulação de pães (2,22 a 3,84 g mL⁻¹ e 0,22 a 0,57 mL g⁻¹, respectivamente).

Os resultados observados no presente trabalho são coerentes com os de Chen et al. (2019), que ao substituírem 10% da farinha de trigo por farinha de casca de manga observaram

redução das propriedades tecnológicas da glutenina, durante o desenvolvimento da massa, o que levou ao desenvolvimento inadequado da rede de glúten e conseqüentemente ao menor desenvolvimento no volume da massa, com redução de 15,40% em comparação a formulação padrão. Além disso, os materiais fibrosos presentes na farinha da casca de manga tendem a se estabelecer em torno da formação da rede de glúten e promover um enfraquecimento da rede viscoelástica. Dessa forma, conforme descrevem Tsatsaragkou, Gounaropoulos e Mandala (2014) e Vilhalva et al. (2011), a redução do volume dos pães e o enfraquecimento da rede de glúten são fenômenos geralmente relatados, tanto maiores quanto maior for a proporção de substituição por farinhas de diferentes fontes vegetais e quanto maior for o teor de fibras presentes na composição dessas farinhas.

Logo, alguns compostos presentes nas farinhas da casca de pequi e polpa de gabirola podem estar associados a esse comportamento, a exemplo dos teores de fibras (dados não mostrados). Os teores de fibras não foram apresentados nos resultados porque o foco principal do estudo foi a otimização de parâmetros tecnológicos (volume de massa, volume específico, densidade e textura), e não a composição nutricional detalhada das matérias-primas. Valores preliminares indicam cerca de 10 a 13% de fibra total na farinha de casca de pequi (Cunha et al., 2023; 2025) e 12% na farinha de polpa de gabirola (Cunha et al., 2025). Conforme visto por Lira (2017), ao aplicar farinhas de cogumelos (shitake e eryngii) na produção de pães, observou que, os teores de fibras presente nesta matéria-prima utilizada como ingrediente, proporcionou a ocorrência de efeitos indesejáveis nos pães, a exemplo, da redução no volume específico – de 2,71 a 1,43 mL g⁻¹ para pães elaborados com farinha do cogumelo shitake e de 3,12 a 1,78 mL g⁻¹ para pães elaborados com farinha do cogumelo eryngii – assim como, um aumento na absorção de água e menor tolerância ao processo fermentativo da massa.

Analisando-se o resultado da análise de variância (ANOVA) para os diferentes modelos de regressão obtidos para volume de massa, volume específico e densidade, verifica-se que os modelos são significativos ($p < 0,05$), devido ao F_{calc} ser maior que o F_{tab} ($F_{calc} > F_{tab}$) e a porcentagem de variação explicada pelos modelos apresentarem um bom ajuste ($R^2 > 0,70$), como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - ANOVA da regressão para a resposta volume de massa, volume específico e densidade.

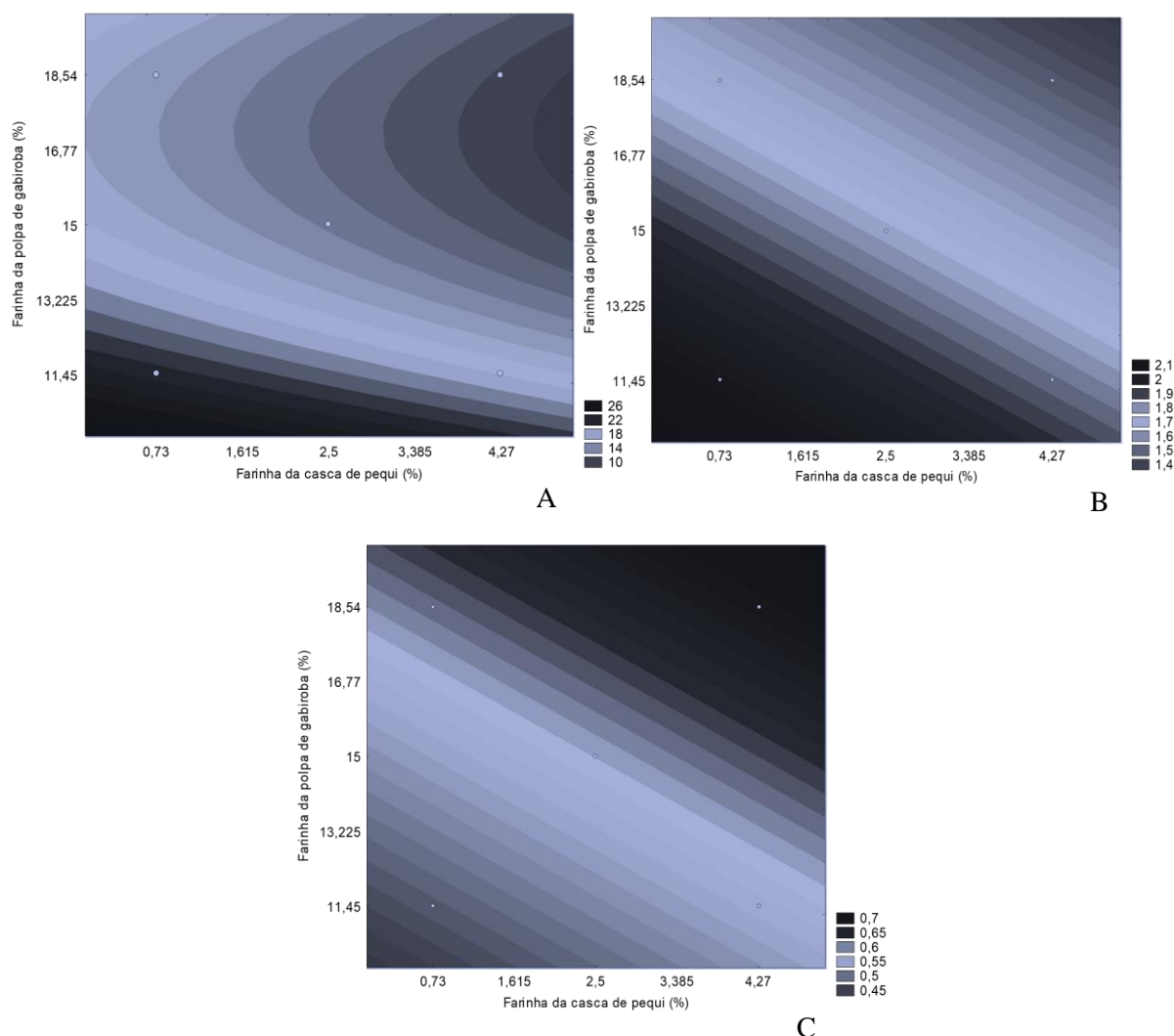
Volume de massa					
FV	SQ	gL	QM	F_{calc}	F_{tab} (5%; 3; 7)
Regressão	196,85	3	65,62	16,75	4,35
Resíduo	27,43	7	3,92		
Total	224,28	10			
Volume específico					
FV	SQ	gL	QM	F_{calc}	F_{tab} (5%; 2; 8)
Regressão	0,39	2	0,19	12,15	4,46
Resíduo	0,13	8	0,02		
Total	0,52	10			
Densidade					
FV	SQ	gL	QM	F_{calc}	F_{tab} (5%; 2; 8)
Regressão	0,05	2	0,02	11,63	4,46
Resíduo	0,02	8	0,00		
Total	0,06	10			

Notas: ^{FV} Fonte de variação; ^{SQ} Soma de quadrados; ^{gL} Graus de liberdade; ^{QM} Quadrado médio.

Ao analisar-se as curvas de contorno (Figura 1) geradas pelos modelos matemáticos referentes à variável volume de massa, nota-se que as faixas de substituição de 0,0% a 1,61% e 10% a 11% de farinha de trigo pelas farinhas da casca de pequi (x_1) e da polpa de gabirola (x_2), respectivamente, refere-se ao volume de massa > 26 mL, equiparável aos obtidos pela

formulação padrão ($30,25 \pm 2,33$ mL; Tabela 2). Da mesma forma, as mesmas faixas de substituição determinaram volume específico $> 2,1$ mL g⁻¹, próximo aos resultados referentes ao volume específico da formulação padrão ($2,77 \pm 0,23$ mL g⁻¹; Tabela 2), bem como resultaram nos menores valores relativos à densidade dos pães ($0,45$ g mL⁻¹), próximos aos encontrados na formulação padrão ($0,36 \pm 0,03$ g mL⁻¹; Tabela 2). Portanto, para a obtenção de um produto de panificação com qualidade tecnológica comparada à formulação padrão de pão doce, pode-se optar em utilizar faixas de substituição que compreendem de 0,0% a 1,61% de farinha da casca de pequi (x_1) e de 10% a 11,5% de farinha da polpa de gabirola (x_2).

Figura 1 - Curva de contorno para (a) volume de massa, (b) volume específico e (c) densidade, em função das variáveis: farinha da casca de pequi e farinha da polpa de gabirola. **Legenda:** (a) volume de massa: 10 a 26 mL; (b) volume específico: 1,4 a 2,1 mL g⁻¹; (c) densidade: 0,45 a 0,70 g mL⁻¹. Em todos os casos, são os resultados médios das variáveis respostas obtidas dos diferentes ensaios experimentais realizados. (Paleta Viridis).



Para verificar a validade dos modelos, foi realizado um experimento em quadruplicata com as mesmas condições da realização do ensaio do primeiro ponto fatorial, com base nas condições de obtenção do maior volume de massa, volume específico e menor densidade dos pães. Dentre os resultados obtidos foram: i) volume de massa médio de $20,00 \pm 2,83$ mL (exp.) e um resultado predito de 21,58 mL, com erro relativo de -7,9%; ii) volume específico de 2,00

$\pm 0,05 \text{ mL g}^{-1}$ (exp.) e um resultado predito de $2,06 \text{ mL g}^{-1}$, com erro relativo de $-3,0\%$; iii) densidade de $0,50 \pm 0,01 \text{ g mL}^{-1}$ (exp.) e um resultado predito de $0,47 \text{ g mL}^{-1}$, com erro relativo de $6,0\%$. Pode-se observar que o erro relativo para os modelos volume de massa, volume específico e densidade foram baixos, indicando que o modelo foi validado.

2º Planejamento experimental

No segundo experimento foram avaliados os efeitos da substituição parcial da farinha de trigo pela farinha da casca do pequi e da água pela polpa de gabioba. Os resultados referentes à avaliação tecnológica da massa (volume de massa e índice de expansão) e dos pães (volume específico, densidade e perfil de textura) em função das substituições (farinha da casca de pequi = x_1 e polpa de gabioba = x_2) estão demonstrados na Tabela 4. Utilizou-se a mesma formulação padrão adotada no delineamento anterior.

De forma geral, as substituições promoveram redução do volume de massa e redução da densidade e aumento do volume específico dos pães. Os tratamentos com 4,27% de farinha de casca de pequi (FCP) e 34,18% de polpa de gabioba (PG) e 2,5% de farinha da casca de pequi (FCP) e 40% de polpa de gabioba (PG) apresentaram maior dureza, embora a mastigabilidade tenha aumentado apenas no tratamento com 4,27% de farinha da casca de pequi (FCP) e 34,18% de polpa de gabioba (PG). Conforme Boz e Murat Karaoğlu (2013), a mastigabilidade é uma variável dependente da dureza e, portanto, ambas, normalmente, seguem um mesmo comportamento.

A partir da análise da estimativa dos efeitos (dados não mostrados), verifica-se que as variáveis independentes utilizadas nas formulações dos pães não afetaram significativamente ($p > 0,05$) as variáveis respostas volume e índice de expansão da massa, bem como o volume específico e densidade dos pães, embora as variáveis texturais tenham sido influenciadas. Entretanto, somente os ajustes obtidos para dureza e mastigabilidade foram aceitos, por apresentarem coeficiente de determinação superior a 70%. Logo, os seguintes modelos matemáticos reparametrizados foram obtidos (Equações 8 e 9).

$$\text{Dureza} = 1721,156 + 157,320x_1^2 + 188,643 x_2 + 167,270x_1x_2; R^2 = 84,64\% \quad (\text{Eq. 8})$$

$$\text{Mastigabilidade} = 1155,307 + 97,877x_1^2 + 111,460x_2 + 138,947x_1x_2; R^2 = 75,41\% \quad (\text{Eq. 9})$$

Quanto à dureza do miolo, de fato, os resultados mostraram que a farinha da casca de pequi (x_1) e a polpa de gabioba (x_2) apresentaram um efeito quadrático e linear, respectivamente, significativos ($p < 0,05$), influenciando positivamente essas variáveis texturais. Mesma condição observada para a interação entre os dois fatores analisados (x_1 e x_2) (Equação 6). Dessa forma, pode-se prever que o aumento no nível de substituição entre ambas as variáveis independentes promove um incremento significativo ($p < 0,05$) na textura e mastigabilidade (Equação 7). Esse incremento pode ser relacionado com a redução da quantidade de água utilizada no processo de fabricação dos pães.

O volume e índice de expansão da massa e volume específico e densidade dos pães não se alteraram, em comparação ao controle ($p < 0,05$), a despeito das quantidades substituídas de farinha da casca de pequi (x_1) e polpa de gabioba (x_2). No entanto, alguns estudos verificaram que o aumento do percentual de incorporação de suco de manga, de goiaba, suco misto de acerola e manga e polpa de manga Ubá, utilizados para enriquecer nutricionalmente diferentes formulações de pães promoveram uma redução no volume específico desses produtos

panificáveis desenvolvidos (AMAYA et al., 2013a; AMAYA et al., 2013b; BRASIL, 2017; ZAMBELLI et al., 2014). De acordo com Paz et al. (2015), esses resultados são atribuídos à descontinuidade do glúten, sugerindo que a incorporação desses ingredientes restringe o desenvolvimento adequado da rede proteica viscoelástica – assim como a redução de parte da água, conforme visto neste estudo – podendo ocasionar redução no volume da massa e consequentemente proporcionar um incremento na dureza e mastigabilidade.

Tabela 4 - Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) com valores reais e codificados e teste de Scott-Knott para efeito comparativo entre os ensaios e a formulação padrão.

Ensaio	Farinha da casca de pequi (x ₁)	Polpa de gabioba (x ₂)	Volume de massa (mL)	Índice de expansão	Volume específico (mL g ⁻¹)	Densidade (g mL ⁻¹)	Dureza (g.f)	Elasticidade (g.f)	Coabilidade (g.seg)	Mastigabilidade	Resiliência
1	-1 (0,73)	-1 (5,86)	25,63 ± 1,11 ^d	0,40 ± 0,01 ^b	2,41 ± 0,02 ^e	0,41 ± 0,00 ^b	1.847 ± 290 ^b	0,95 ± 0,03 ^a	0,75 ± 0,02 ^a	1.323 ± 197 ^a	0,37 ± 0,02 ^a
2	+1 (4,27)	-1 (5,86)	22,50 ± 1,29 ^e	0,40 ± 0,01 ^b	2,36 ± 0,15 ^e	0,43 ± 0,03 ^b	1.637 ± 291 ^b	0,93 ± 0,04 ^a	0,68 ± 0,04 ^a	1.034 ± 173 ^b	0,30 ± 0,02 ^a
3	-1 (0,73)	+1 (34,18)	17,50 ± 0,58 ^e	0,41 ± 0,01 ^b	2,41 ± 0,13 ^e	0,42 ± 0,02 ^b	1.902 ± 241 ^b	0,95 ± 0,01 ^a	0,73 ± 0,03 ^a	1.310 ± 146 ^a	0,33 ± 0,01 ^a
4	+1 (4,27)	+1 (34,18)	20,38 ± 1,11 ^f	0,38 ± 0,01 ^b	2,02 ± 0,13 ^f	0,50 ± 0,03 ^a	2.362 ± 317 ^a	0,92 ± 0,06 ^a	0,73 ± 0,01 ^a	1.577 ± 125 ^a	0,34 ± 0,01 ^a
5	-1,41 (0)	0 (20)	27,25 ± 1,32 ^c	0,40 ± 0,00 ^b	4,02 ± 0,13 ^b	0,25 ± 0,01 ^d	2.115 ± 141 ^a	0,92 ± 0,02 ^a	0,74 ± 0,02 ^a	1.438 ± 45 ^a	0,35 ± 0,02 ^a
6	+1,41 (5)	0 (20)	23,88 ± 1,03 ^e	0,40 ± 0,01 ^b	3,90 ± 0,06 ^c	0,26 ± 0,00 ^d	1.839 ± 261 ^b	0,89 ± 0,04 ^a	0,70 ± 0,03 ^a	1.148 ± 118 ^b	0,31 ± 0,03 ^a
7	0 (2,5)	-1,41 (0)	32,25 ± 2,22 ^b	0,43 ± 0,01 ^a	4,49 ± 0,12 ^a	0,22 ± 0,01 ^e	1.491 ± 152 ^b	0,97 ± 0,01 ^a	0,71 ± 0,02 ^a	1.033 ± 108 ^b	0,33 ± 0,01 ^a
8	0 (2,5)	+1,41 (40)	21,50 ± 1,00 ^f	0,40 ± 0,02 ^b	4,14 ± 0,08 ^b	0,24 ± 0,00 ^d	2.007 ± 339 ^a	0,92 ± 0,04 ^a	0,70 ± 0,02 ^a	1.288 ± 219 ^b	0,30 ± 0,02 ^a
9	0 (2,5)	0 (20)	36,00 ± 0,00 ^a	0,42 ± 0,03 ^a	4,44 ± 0,03 ^a	0,23 ± 0,00 ^e	1.569 ± 274 ^b	0,92 ± 0,04 ^a	0,74 ± 0,03 ^a	1.066 ± 198 ^a	0,33 ± 0,01 ^a
10	0 (2,5)	0 (20)	27,00 ± 1,41 ^c	0,42 ± 0,01 ^a	4,02 ± 0,15 ^b	0,25 ± 0,01 ^d	1.725 ± 387 ^b	0,92 ± 0,02 ^a	0,74 ± 0,03 ^a	1.173 ± 270 ^b	0,34 ± 0,02 ^a
11	0 (2,5)	0 (20)	27,25 ± 1,26 ^c	0,41 ± 0,01 ^b	3,83 ± 0,12 ^c	0,26 ± 0,01 ^d	1.696 ± 147 ^b	0,92 ± 0,02 ^a	0,71 ± 0,04 ^a	1.101 ± 122 ^b	0,31 ± 0,04 ^a
Pão Controle	-	-	31,50 ± 1,73 ^b	0,40 ± 0,02 ^b	2,60 ± 0,18 ^d	0,39 ± 0,03 ^c	1.827 ± 161 ^b	1,02 ± 0,14 ^a	0,72 ± 0,09 ^a	1.218 ± 205 ^a	0,33 ± 0,06 ^a

Notas: Os valores são médios (n=4) ± desvio padrão de análises realizadas em quadruplicata, incluindo a formulação padrão. Diferentes letras na mesma coluna apresentam diferenças significativas a um nível de 5% de significância (p<0,05). **Observação:** Volume de massa e índice de expansão foram determinados na massa antes do assamento.

A ANOVA (Tabela 5) corresponde aos modelos de regressão ajustados para as variáveis dureza e mastigabilidade, em função das variáveis farinhas da casca de pequi (x₁) e polpa de gabioba (x₂). Verifica-se que os modelos são significativos (p<0,05), devido ao F_{calc} ser maior que F_{tab} (F_{calc}>F_{tab}) e a porcentagem de variação explicada pelos modelos apresentarem um bom ajuste (R²>0,70).

Pela análise das curvas de contorno (Figura 2), referente ao modelo obtido da variável resposta dureza, para a obtenção de um produto que se assemelha a formulação padrão (1.827 ± 161 g.f; Tabela 5), pode-se optar em utilizar as faixas de substituição que compreendem entre 1,6% a 5,0% de farinha da casca de pequi (x₁) e entre 0% a aproximadamente 18% de substituição por polpa de gabioba (x₂), uma vez que, tais níveis de substituições compreendem resultados que equiparam-se a formulação padrão (1.800 g.f; Figura 2). Mesma condição é

observada para a variável referente à mastigabilidade do miolo. Desta forma, os menores níveis de substituições entre 1,6% a 5,0% de farinha da casca de pequi (x_1) e até 20% de polpa de gabirola (x_2), determinam mastigabilidade de 1.200,00 (Figura 2) que mais se aproxima à obtida para formulação padrão (1.212 ± 205 ; Tabela 5). Portanto, pode-se optar em utilizar faixas de substituição que compreendem de 1,6% a 5,0% de farinha da casca de pequi (x_1), em relação à farinha de trigo e até 20% de polpa de gabirola (x_2), em relação à água utilizada no processo de elaboração dos pães.

Tabela 5 - ANOVA da regressão para a resposta dureza e mastigabilidade.

Dureza						
FV	SQ	gL	QM	F _{calc}	F _{tab} (5%; 3; 7)	
Regressão	549.604	3	183.201	12,86	4,35	
Resíduo	99.743	7	14.249			
Total	649.347	10				
Mastigabilidade						
FV	SQ	gL	QM	F _{calc}	F _{tab} (5%; 2; 8)	
Regressão	235.831	2	78.610	7,15	4,46	
Resíduo	76.900	8	1.0985			
Total	312.732	10				

Notas: FV Fonte de variação; SQ Soma de quadrados; gL Graus de liberdade; QM Quadrado médio.

Para verificar a validade dos modelos, foram realizadas as mesmas condições do ensaio do primeiro ponto fatorial (ensaio 1), com base nos resultados obtidos pela formulação padrão, para as variáveis dureza e mastigabilidade (Tabela 4). Dessa maneira, os resultados experimentais foram comparados a partir de teste de médias, com os resultados preditos. Dentre os resultados obtidos foram: i) dureza de 1.627 ± 152 g.f. (exp.) e um resultado predito de 1.857 g.f., com erro relativo de -14% e ii) mastigabilidade de 1.247 ± 153 (exp.) e um resultado predito de 1.280, com erro relativo de -2,7%. Pode-se observar que o erro relativo para os modelos dureza e mastigabilidade foram baixos, indicando que o modelo foi validado.

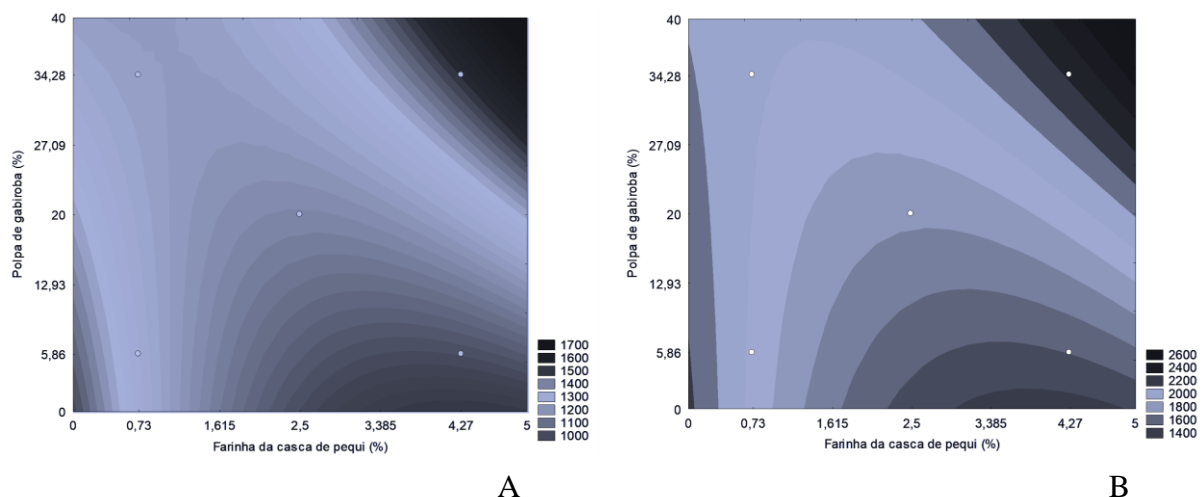


Figura 2 - Curva de contorno para (a) dureza e (b) mastigabilidade, em função das variáveis: farinha da casca de pequi (x_1) e polpa de gabirola (x_2). **Legenda:** (a) dureza: 1.400 a 2.600 g.f; (b) mastigabilidade 1.000 a 1.700 (adimensional). Em ambos os casos, são os resultados médios das variáveis respostas obtidas dos diferentes ensaios experimentais. (Paleta Viridis).

CONCLUSÃO

A substituição parcial da farinha de trigo pela farinha da casca de pequi e farinha da polpa de gabioba não afeta as variáveis analisadas nas massas e nos pães, com exceção ao volume de massa, volume específico e densidade dos pães – quanto menor o nível de substituição da farinha de trigo pelas farinhas desses frutos e seus coprodutos, maior será o volume da massa e menor será a densidade dos pães doces.

A substituição parcial da água pela polpa de gabioba e da farinha de trigo pela farinha da casca de pequi não afeta as variáveis analisadas nas massas e nos pães, com exceção a dureza e mastigabilidade dos pães – quanto menor a substituição da água pela polpa, menor a dureza e mastigabilidade dos pães doces.

As faixas ideais de substituição de farinha de trigo por farinha da casca de pequi e farinha da polpa de gabioba compreendem de 1,61% a 5,0% e 10% a 11,5%, respectivamente, e a substituição de água por polpa de gabioba, até 20%.

FOMENTO

Os autores agradecem a CAPES (PROCAD 88881.068456/2014-01), ao CNPq (PQ304413/2016-0) e a FAPEMIG (PPM-00355-17) pelo aporte financeiro.

REFERÊNCIAS

AACC. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists** (10th edition). St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 2000. Disponível em: <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=1488371>. Acesso em: 05 out. 2024.

ABIP. **Indicadores da panificação e confeitaria 2018**. Disponível em: <https://www.abip.org.br/site/tendencias-de-mercado-e-indicadores-2018/>. Acesso em: 05 out. 2024.

ALMEIDA, A. B.; SILVA, A. K. C.; LODETE, A. R.; EGEEA, M. B.; LIMA, M. C. P. M.; SILVA, F. G. Assessment of chemical and bioactive properties of native fruits from the Brazilian Cerrado. **Nutrition and Food Science**, v. 403, n. 6772, p. 853–858, 2019. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/NFS-07-2018-0199/full/html>. Acesso em: 05 out. 2024.

AMAYA, D. A. D.; PINHEIRO, G. K.; BRASIL, D. L.; GOES, T. S.; ZAMBELLI, R. A. Influência do suco de goiaba na capacidade de expansão das massas para produção de pães tipo forma. **Revista Magistra**, v. 26, p. 1886–1890, 2013a.

AMAYA, D. A. D.; PINHEIRO, G. K.; BRASIL, D. L.; MELO, P. E. F.; ZAMBELLI, R. A. Incorporação de suco de manga em formulações de pães tipo forma: avaliação das características físicas. **Revista Magistra**, v. 26, p. 1825–1828, 2013b.

BENASSI, V. T.; WATANABE, E. **Fundamentos da tecnologia de panificação**. Rio de

Janeiro: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Tecnologia Agroindustrial de Alimentos, 1997. 60p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/410301>. Acesso em: 05 out. 2024.

BORGES, J. T. S.; PIROZI, M. R.; DE PAULA, C. D.; RAMOS, D. L.; CHAVES, J. B. P. Caracterização físico-química e sensorial de pão de sal enriquecido com farinha integral de linhaça. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 29, n. 1, p. 83–96, 2011. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/alimentos/article/view/22758>. Acesso em 05 out. 2024.

BOZ, H.; KARAOĞLU, M. M. Improving the quality of whole wheat bread by using various plant origin materials. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 31, n. 5, p. 457–466, 2013. Disponível em: https://cjfs.agriculturejournals.cz/artkey/cjf-201305-0007_improving-the-quality-of-whole-wheat-bread-by-using-various-plant-origin-materials.php. Acesso em: 05 out. 2024.

BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Valor nutricional da guariroba**. 2015. Colombo - PR, Brasil. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/131712/1/2015-folder-guabiroba-ef.pdf>. Acesso em: 05 out. 2024.

Brasil, D. L. **Pão de forma adicionado de polpa de manga ubá e sem adição de sacarose: Análises físicas, químicas e reológicas**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, 2017. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/07c9620e-d9b7-488e-a8a9-edb58319026a/content>. Acesso em: 05 out. 2024.

CHEN, Y.; ZHAO, L.; HE, T.; OU, Z.; HU, Z.; WANG, K. Effects of mango peel powder on starch digestion and quality characteristics of bread. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 140, p. 647–652, 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31446101/>. Acesso em: 05 out. 2024.

CUNHA, M. C.; CUNHA, M. C.; LAGO, R. C.; MELO, R. S.; ALMEIDA, L. C.; PEREIRA, J.; ALVES, J. G. F.; CARVALHO, E. E. N.; VILAS BOAS, E. V. B. Using Response Surface Methodology to evaluate of pequi flour and pulp on sweet bread development. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 43, n. 1, e51850, 2021. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/51850>. Acesso em: 05 out. 2024.

CUNHA, M. C.; TERRA, L. H.; CAMPOS E SOUSA, P.; VILELA, D. R.; OLIVEIRA, A. L.; SILVA, J. S.; SIMÃO, S. D.; PEREIRA, J.; ALVES, J. G. L. F.; CARVALHO, E. E. N.; VILAS BOAS, E. V. B. Physical, chemical and sensory implications of pequi (*Caryocarpus brasiliense* Camb.) sweet bread made with flour, pulp and fruit by-product. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 95, n. 2, e20201550, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/zczxpwh9bFvJw8mc5PjbDyd/?format=html&lang=en#>. Acesso em: 02 jan. 2026.

DA CUNHA, M. C.; CAMPOS E SOUSA, P.; TERRA, L. H.; SANTOS, J. S.; LIMA, L. M.

Z.; CARVALHO, E. E. N.; VILAS BOAS, E. V. B. Gabiroba e pequi como ingredientes funcionais em pães doces: efeitos nutricionais e sensoriais. **Revista Unimontes Científica**, v. 27, n. 2, 2025. Disponível em:

<https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/unicientifica/article/view/8596>. Acesso em: 02 jan. 2026.

DANZA, A.; MASTROMATTEO, M.; COZZOLINO, F.; LECCE, L.; LAMPIGNANO, V.; LAVERSE, J.; NOBILE, M. A. DEL. Processing and characterization of durum wheat bread enriched with antioxidant from yellow pepper flour. **LWT - Food Science and Technology**, v. 59, p. 479–485, 2014. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643814003533>. Acesso em: 05 out. 2024.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039–42, 2011. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cagro/a/yjKLJXN9KysfmX6rvL93TSh/?lang=en>. Acesso em: 05 out. 2024.

GARZÓN, R.; ROSELL, C. M.; MALVAR, R. A.; REVILLA, P. Diversity among maize populations from Spain and the United States for dough rheology and gluten-free breadmaking performance. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 4, p. 1000–1008, 2017. Disponível em: <https://colab.ws/articles/10.1111%2Fijfs.13364>. Acesso em: 05 out. 2024.

JEKLE, M.; FUCHS, A.; BECKER, T. A normalized texture profile analysis approach to evaluate firming kinetics of bread crumbs independent from its initial texture. **Journal of Cereal Science**, v. 81, p. 147–152, 2018. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0733521018300894?via%3Dihub>. Acesso em: 05 out. 2024.

LANDRUM, L. R. **Campomanesia, Pimenta, Blepharocalyx, Legrandia, Acca, Myrrhinium and Luma (Myrtaceae)**. New York: New York Botanical Garden Press, 1986.

LEÃO, D. P.; BOTELHO, B. G.; OLIVEIRA, L. S.; FRANCA, A. S. Potential of pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) peels as sources of highly esterified pectins obtained by microwave assisted extraction. **LWT - Food Science and Technology**, v. 87, 575–580, 2018. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643817307120?via%3Dihub>. Acesso em: 05 out. 2024.

LEÃO, D. P.; FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S.; BASTOS, R.; COIMBRA, M. A. Physicochemical characterization, antioxidant capacity, total phenolic and proanthocyanidin content of flours prepared from pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) fruit by-products. **Food Chemistry**, v. 225, 146–153, 2017. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814617300262>. Acesso em: 05 out. 2024.

LIRA, A. P. **Aplicação de farinhas de cogumelos na produção de pão e avaliação das propriedades tecnológicas e sensoriais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de

Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2017. Disponível em: <http://www2.uesb.br/ppg/ppgecal/wp-content/uploads/2018/04/ARLYANE-PEREIRA-LIRA-1.pdf>. Acesso em: 05 out. 2024.

MACHADO, A. V.; PEREIRA, J. Efeito do escaldamento nas propriedades tecnológicas e reológicas da massa e do pão de queijo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 2, p. 421–427, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/4d4ZZB84PkBT9qKwDz7yYWD/>. Acesso em: 05 out. 2024.

MARETI, M. C.; GROSSMANN, M. V. E.; BENASSI, M. T. Características físicas e sensoriais de biscoitos com farinha de soja e farelo de aveia. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 4, p. 878–883, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/K8NLZzLc3QpVg7gvWKcmghh/>. Acesso em: 05 out. 2024.

MORZELLE, M. C.; BACHIEGA, P. P.; SOUZA, E. C.; VILAS BOAS, E. V. B.; LAMOUNIER, M. L. Caracterização química e física de frutos de curriola, gabioba e murici provenientes do Cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 1, p. 96–103, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/CspwGdNgSwZbmVzTcGRF8fk/>. Acesso em: 05 out. 2024.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENTS, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 16, n. 4, p. 853–858, 2000. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10706275/>. Acesso em: 05 out. 2024.

PAZ, M. F.; SHUMANN, R. V. M. C.; CORRÊA, L. B.; CORRÊA, É. K. Características tecnológicas de pães elaborados com farelo de arroz desengordurado. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 2, p. 128–136, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/vZrwLDdj9tMv4V6bfY4wyGt/?lang=pt>. Acesso em: 05 out. 2024.

RAHAIE, S.; GHARIBZAHEDI, S. M. T.; RAZAVI, S. H.; JAFARI, S. M. Recent developments on new formulations based on nutrient-dense ingredients for the production of healthy-functional bread: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 11, p. 2896–2906, 2014. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4571229/>. Acesso em 05 out. 2024.

ROCHA, L. S. **Caracterização físico-química, microbiológica e sensorial de pães de forma elaborados com subprodutos de baru (*Dipteryx alata* Vog.)**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Goiás, 2007. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/71/o/Dissertacao_Lorena_2008.pdf. Acesso em: 05 out. 2024.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Experimental Design and Process Optimization** (C. Press, Ed.). Campinas, 2014.

SANTOS, J.; SILVA, G.; SANTOS, J.; OLIVEIRA, A. Processing and evaluation of the stability of the green banana flour. **Exacta**, v. 8, p. 219–224, 2010. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/810/81016917011.pdf>. Acesso em: 05 out. 2024.

SANTOS, M. S.; LIMA, J. J.; PETKOWICZ, C. L. O.; CANDIDO, L. M. B. Caracterização

química e avaliação do potencial antioxidante do doce em massa de gabioba (*Campomanesia xanthocarpa* Berg). **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 35, n. 1, p. 73–82, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/dkr9bkphc5B7HFp7ZnVd8RP/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 05 out. 2024.

SILVA, E. P.; VILAS BOAS, E. V. B.; RODRIGUES, L. J.; SIQUEIRA, H. H. Caracterização física, química e fisiológica de gabioba (*Campomanesia pubescens*) durante o desenvolvimento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 4, p. 803–809, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/6zwHg3nK3wsNzcxDvsnm6kD/>. Acesso em: 05 out. 2024.

Statsoft (2008). **STATISTICA (Data Analysis Software System)**. Disponível em: <http://www.statsoft.com>. Acesso em: 05 out. 2024.

TSATSARAGKOU, K.; GOUNAROPOULOS, G.; MANDALA, I. Development of gluten free bread containing carob flour and resistant starch. **LWT - Food Science and Technology**, v. 58, p. 124–129, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643814001194>. Acesso em: 05 out. 2024

UEKANE, T. M.; NICOLOTTI, L.; GRIGLIONE, A.; BIZZO, H. R.; RUBIOLO, P.; BICCHI, C.; ROCHA-LEÃO, M. H.; REZENDE, C. M. Studies on the volatile fraction composition of three native Amazonian-Brazilian fruits: Murici (*Byrsonima crassifolia* L., Malpighiaceae), bacuri (*Platonia insignis* M., Clusiaceae), and sapodilla (*Manilkara sapota* L., Sapotaceae). **Food Chemistry**, v. 219, p. 13–22, 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27765208/>. Acesso em: 05 out. 2024.

VILHALVA, D. A. A.; JÚNIOR, M. S.; MOURA, C. M. A.; CALIARI, M.; SOUZA, T. A. C.; SILVA, F. A. Aproveitamento da farinha da casca de mandioca na elaboração de pão de forma. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 70, n. 4, p. 514–535, 2011. Disponível em: http://www.ial.sp.gov.br/resources/insituto-adolfo-lutz/publicacoes/rial/10/rial70_4_completa/artigos-separados/1406.pdf. Acesso em: 05 out. 2024.

World: **Bread and Bakery - Market Report**. Analysis and Forecast to 2025. Global bread and bakery consumption continue to experience modest growth. Disponível em: <https://www.bizcommunity.com/PDF/PDF.aspx?l=1&c=162&ct=1&ci=176273>. Acesso em: 30 jun. 2019.

ZAMBELLI, R. A.; ARAÚJO, M. M. N.; MELO, S. C. P.; PINTO, L. I. F.; MELO, P. E. F.; PONTES, D. F. **Inovação tecnológica no processamento de pães: otimização da incorporação de suco de acerola e manga**. ____ In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 19 a 22 de outubro de 2014. Anais Florianópolis - SC, 2014. Disponível em: <https://proceedings.science/cobeq/cobeq-2014/trabalhos/inovacao-tecnologica-no-processamento-de-paes-otimizacao-na-incorporacao-de-suco?lang=pt-br>. Acesso em: 05 out. 2024.

ZAMBELLI, R. A. **Desenvolvimento de uma metodologia de glazeamento para massa congeladas de pães tipo forma**. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) -

Universidade Federal do Ceará, 2015. Disponível em:
<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/20323>. Acesso em: 05 out. 2024.

Recebido em 08/10/2024

Publicado em 31/03/2026