



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS**

FLÁVIA CRISTINA GARCIA

ESTUDO DO POTENCIAL DA FARINHA DE FLAMBOYANT-MIRIM (*Caesalpinia pulcherrima*) GERMINADA E NÃO GERMINADA COMO INGREDIENTE FUNCIONAL EM PÃES

FORTEZA

2025

FLÁVIA CRISTINA GARCIA

ESTUDO DO POTENCIAL DA FARINHA DE FLAMBOYANT-MIRIM (*Caesalpinia pulcherrima*) GERMINADA E NÃO GERMINADA COMO INGREDIENTE FUNCIONAL
EM PÃES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Ciência e tecnologia de produtos de origem vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Audino Zambelli.

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- G199e Garcia, Flávia Cristina.
Estudo do potencial da farinha de flamboyant-mirim (*caesalpinia pulcherrima*) germinada e não germinada como ingrediente funcional em pães / Flávia Cristina Garcia. – 2025.
83 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2025.
Orientação: Prof. Dr. Rafael Audino Zambelli..
1. Sementes. 2. Pão de forma. 3. Valor nutricional. I. Título.

CDD 664

FLÁVIA CRISTINA GARCIA

ESTUDO DO POTENCIAL DA FARINHA DE FLAMBOYANT-MIRIM (*Caesalpinia pulcherrima*) GERMINADA E NÃO-GERMINADA COMO INGREDIENTE FUNCIONAL
EM PÃES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Ciência e tecnologia de produtos de origem vegetal.

Aprovada em: 05/08/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rafael Audino Zambelli (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Luciana Gama de Mendonça
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Profa. Dra. Cândida Hermínia Campos de Magalhães
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, a meu namorado e grande
incentivador.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter permitido que eu chegasse até aqui e por ter me dado forças para superar os desafios ao longo de todo esse processo.

À Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade de ingressar em um programa de pós-graduação, e pela estrutura disponível para os estudos e realização das pesquisas.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos e ao Departamento de Engenharia de Alimentos pela oportunidade de ingresso no curso.

A minha família, pelo apoio de sempre, principalmente, ao meu irmão, José Roberto, pela grande ajuda e incentivo.

Ao meu namorado e companheiro, Menaouar, pela paciência e incentivo.

A minha grande amiga Rosilene Soares, pelas palavras de apoio e por todo o incentivo.

Ao meu orientador, prof. Dr. Rafael Audino Zambelli, pela paciência, disponibilidade, por toda confiança depositada em mim e principalmente pela transmissão de conhecimento.

Aos docentes, pelo conhecimento transmitido ao longo dessa caminhada.

Finalmente a todos os meus amigos que perto ou longe sempre me ajudaram a continuar.

Muito obrigada!

“Ainda que eu ande pelo vale da sombra da morte, não temerei mal algum, pois tu estás comigo”.

Salmo 23:4

RESUMO

O Flamboyant-Mirim (*Caesalpinia pulcherrima*) é uma planta ornamental com potencial estético e científico, especialmente no que diz respeito à germinação de suas sementes e seu uso na indústria alimentícia. Este estudo avaliou o efeito da germinação das sementes nas propriedades bioquímicas e tecnológicas de farinhas obtidas e sua aplicação em pães tipo forma, o processo inclui a imersão das sementes por 24 horas, seguido de incubação a 30°C com luz fluorescente por 144 horas, havendo uma seleção com base na formação ou não de radículas, sendo que as farinhas resultantes, depois das sementes serem desidratadas, foram incorporadas aos pães nas concentrações de 2%, 4%, 6%, 8% e 10%. Os resultados indicaram que a germinação do flamboyant-mirim elevou a atividade antioxidante e os fenólicos totais das farinhas e pães, com destaque para pães com farinha germinada, que apresentaram atividade até seis vezes maior que o padrão. Antocianinas reduziram-se com a germinação, enquanto flavonoides mantiveram-se estáveis. A germinação confirmou-se eficaz para potencializar a bioatividade e o valor funcional dos pães. A germinação também elevou a absorção de água (3,06 g/g) e o poder de inchamento (5,13 g/g) das farinhas. Na panificação, a adição de até 4% de farinha germinada preservou o volume específico, o fator de expansão e a estrutura de alvéolos, enquanto teores superiores comprometeram significativamente essas propriedades. A análise de cor revelou redução da luminosidade e intensificação de tons avermelhados, mais acentuada nas farinhas não germinadas. Micrografias evidenciaram que, acima de 6% de adição, ambas as farinhas prejudicaram a formação da rede de glúten e a porosidade do pão. Conclui-se que a farinha germinada apresenta desempenho tecnológico superior em baixas concentrações, sendo recomendada sua utilização até 4% em formulações de pães fermentados.

Palavras-chave: sementes; pão de forma; valor nutricional.

ABSTRACT

The Flamboyant-Mirim (*Caesalpinia pulcherrima*) is an ornamental plant with aesthetic and scientific potential, especially regarding the germination of its seeds and their use in the food industry. This study evaluated the effect of seed germination on the biochemical and technological properties of the resulting flours and their application in sandwich bread. The process included soaking the seeds for 24 hours, followed by incubation at 30 °C under fluorescent light for 144 hours, with selection based on the presence or absence of radicle formation. The resulting flours, after seed dehydration, were incorporated into bread at concentrations of 2%, 4%, 6%, 8%, and 10%. The results indicated that flamboyant-mirim germination increased the antioxidant activity and total phenolics of both flours and breads, with a remarkable highlight for breads made with germinated flour, which showed activity up to six times higher than the control. Anthocyanin content decreased with germination, while flavonoids remained stable. Germination proved effective in enhancing the bioactivity and functional value of the breads. Germination also increased the water absorption (3.06 g/g) and swelling power (5.13 g/g) of the flours. In breadmaking, the addition of up to 4% germinated flour preserved the specific volume, expansion factor, and crumb cell structure, whereas higher levels significantly impaired these properties. Color analysis revealed a reduction in lightness and an intensification of reddish tones, more pronounced in non-germinated flours. Micrographs showed that, above 6% addition, both flours hindered gluten network formation and bread porosity. It is concluded that germinated flour exhibits superior technological performance at low concentrations, and its use is recommended at levels up to 4% in fermented bread formulations.

Keywords: seeds; sandwich bread; nutritional value.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Árvore de Flamboyant-mirim	17
Figura 2 -	Sementes verdes de Flamboyant-mirim	18
Figura 3 -	Pão tipo forma	23
Figura 4 -	Estrutura do glúten	25
Figura 5 -	Parâmetros da elipse truncada	38
Figura 6 -	Fatia do pão padrão, pão com farinha germinada 10% e pão com farinha não germinada 10%	53
Figura 7 -	Micrografias eletrônicas das farinhas de flamboyant-mirim não germinada (A) e germinada (B)	56
Figura 8 -	Micrografias eletrônicas de varredura dos pães desenvolvidos com diferentes concentrações de farinha de flamboyant-mirim não germinada e pão padrão	58
Figura 9 -	Micrografias eletrônicas dos pães desenvolvidos com farinha de flamboyant-mirim germinada	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Curva padrão de ácido gálico	33
Tabela 2 -	Curva padrão de trolox	37
Tabela 3 -	Formulação padrão de pão tipo forma	37
Tabela 4 -	Atividade antioxidante, teor de polifenóis, antocianinas e flavonóides das farinhas de flamboyant e pães.	43
Tabela 5 -	Análises físicas dos pães adicionados de farinha de semente de flamboyant-mirim germinada e não-germinada	46
Tabela 6 -	Análises físicas da farinha de semente de flamboyant-mirim germinada e não germinada	50
Tabela 7 -	Análise colorimétrica dos pães adicionados de farinha de semente de flamboyant germinada e não-germinada	51
Tabela 8 -	Análise colorimétrica das farinhas de semente de flamboyant-mirim germinada e não-germinada	55
Tabela 9 -	Comparativo da qualidade da microestrutura do pão em função da incorporação de farinhas germinadas e não-germinadas de flamboyant mirim.	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Envelhecimento Acelerado
ABTS	Ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico)
AlCl ₃	Cloreto de Alumínio
ATT	Acidez total titulável
Aw	Atividade de água
DIA	Análise Digital de Imagens
FBBB	Fast Bleu BB
FC	Folin-Ciocalteau
FG	Farinha germinada
FNG	Farinha não germinada
FeCl ₃	Cloreto Férrico
HCl	Ácido Clorídrico
HPLC	Performance liquid chromatography (Cromatografia Líquida de Alta Eficiência)
IE	Índice de expansão
MEV	Microscopia Eletrônica de varredura
NaCl	Cloreto de sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
NIR	Núcleo Interno de Regulação
PANC	Plantas Alimentícias Não Convencionais
pH	Potencial Hidrogeniônico
RAS	Regras para Análise de Sementes
TCA	Ácido Tricloroacético
TCC	Teste de Cloreto de Tetrazólio
TPC	Conteúdo Fenólico Total
UR	Umidade Relativa
VC	Volume Conhecido
VR	Volume Real
VS	Volume Específico

LISTA DE SÍMBOLOS

mL	Milímetro
nm	Nanômetro
Rpm	Rotação por minuto
μ L	Microlitro
cm	Centímetro
g	Grama
ppm	Partes por milhão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	<i>Caesalpinia pulcherrima (L.) Swartz</i>	17
3.2	Sementes	18
3.3	Germinação	19
3.4	Pão tipo forma	22
3.4.1	<i>Farinha de trigo</i>	24
3.4.2	Água	26
3.4.3	<i>Gordura vegetal hidrogenada</i>	27
3.4.4	Açúcar	28
3.4.5	<i>Fermento Biológico</i>	29
3.4.6	Sal	30
4	MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1	Coleta e secagem das sementes	31
4.2	Processo de germinação	31
4.3	Elaboração da farinha das sementes de Flamboyant –Mirim germinadas e não germinadas	32
4.4	Análises Físico-químicas	32
4.4.1	<i>Teor de fenólicos totais</i>	32
4.4.1.1	<i>Procedimentos iniciais: preparo das soluções, curva padrão e extratos</i>	32
4.4.1.2	<i>Obtenção dos extratos dos pães para a análise de Teor de Fenólicos Totais</i>	34
4.4.1.3	<i>Análise por Determinação de teor de fenólicos totais</i>	34
4.4.1.4	<i>Teor de Flavonoides</i>	35
4.4.1.5	<i>Teor de Antocianinas</i>	35
4.4.1.5	<i>Atividade de eliminação de radicais ABTS</i>	36
4.5	Preparo dos pães tipo forma	37

4.5.1	<i>Análises de qualidade das massas e dos pães</i>	38
4.5.1.1	<i>Avaliação do processo de fermentação</i>	38
4.5.1.2	<i>Volume específico</i>	39
4.5.1.3	<i>Índice de expansão</i>	39
4.5.1.4	<i>Volume da massa produzida durante a fermentação</i>	40
4.5.1.5	<i>Análise de estrutura do miolo</i>	40
4.5.1.6	<i>Analise de cor</i>	40
4.5.2	<i>Análises de qualidade das farinhas</i>	41
4.5.2.1	<i>Índice de absorção de água</i>	41
4.5.2.2	<i>Solubilidade em água</i>	41
4.5.2.3	<i>Poder de inchamento</i>	42
4.5.3	<i>Análise microscópica</i>	42
4.5.3.1	<i>Análise de microscopia eletrônica de varredura</i>	42
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1.1	<i>Análise de cor</i>	51
6	CONCLUSÃO	65
	REFERÊNCIAS	66

1. INTRODUÇÃO

A *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Sw, pertencente à família *Fabaceae*, subfamília *Caesalpinoideae*, comumente conhecida como flamboyant-mirim, flamboyanzinho e baio-de-estudante é originária da América Central. A família *Fabaceae* (Leguminosae), distribuída em regiões tropicais é a terceira maior família de Angiospermas, com aproximadamente 727 gêneros e 19.325 espécies; é subdividida em 3 subfamílias bastante distintas: *Faboideae*, *Caesalpinoideae* e *Mimosideae* (LORENZI & SOUZA, 2008).

A espécie vem sendo estudada devido ao seu rápido crescimento e à capacidade de produzir grandes quantidades de sementes. As sementes, compostas por embrião, endosperma e tegumento, desempenham um papel crucial na sobrevivência das espécies vegetais, sendo significativamente influenciadas por fatores ambientais como temperatura, luz e umidade. Esses fatores, além de afetarem a germinação, permitem ajustes controlados para melhorar a velocidade e a uniformidade do processo germinativo (BEWLEY *et al.*, 2013; RADCHUK & BORISJUK, 2014). Além de sua função vital na disseminação e na garantia de sobrevivência das espécies, as sementes desempenham um papel biológico essencial e são amplamente utilizadas na alimentação humana e animal. Compreender como os fatores ambientais afetam a germinação das sementes é de extrema importância, pois, assim, é possível controlar e ajustar esses fatores para melhorar a velocidade e a uniformidade do processo germinativo.

A temperatura influencia diretamente o processo de germinação, afetando a velocidade de absorção de água e a taxa das reações enzimáticas responsáveis pela mobilização de reservas e ressíntese de compostos essenciais ao desenvolvimento da plântula. O uso de temperatura e substrato adequados, bem como a luz, pode ser necessário para otimizar esse processo (SILVA *et al.*, 2017).

Uma temperatura ótima para a maioria das espécies tropicais encontra-se entre 15 °C e 30 °C. Abaixo da temperatura ótima há redução da velocidade com que ocorre o processo, o que pode levar a uma redução no total da germinação (BORGES & RENA, 1993). Quanto a luz, estudos realizados por Alves *et al.* (2018), concluíram que sementes de *C. pulcherrima* germinam na presença e ausência de luz. Sementes fotoblásticas positivas, que são aquelas em que a germinação é estimulada na presença de luz, fotoblásticas negativas, aquelas na qual a germinação pode ser inibida na presença de luz e, por fim, as fotoblásticas neutras, que são indiferentes quanto a presença ou ausência de luz.

A germinação tem sido aplicada a diferentes sementes para aumentar seus valores nutricionais. No entanto, o impacto potencial das espécies ainda não foi considerado

(CORNEJO *et al.*, 2019). Com todo esse potencial, poucos são os estudos envolvendo as características morfométricas de frutos e sementes, ou de informações que possam ser utilizadas em testes de germinação e vigor, bem como para planejar e garantir a conservação do potencial fisiológico das mesmas (ARAÚJO NETO *et al.*, 2014).

A utilização de sementes de plantas na alimentação tem se mostrado uma estratégia eficaz para aumentar o valor nutricional dos alimentos e promover hábitos alimentares mais saudáveis. Além disso, seu consumo é versátil, podendo ser adicionadas a saladas, iogurtes e pães, facilitando a inclusão em diversas refeições e tornando a alimentação não apenas mais nutritiva, mas também mais saborosa e variada.

Uma alternativa muito interessante na alimentação é o uso de plantas alimentícias não convencionais (PANC). Estas, por definição, são plantas que podem ser ingeridas pelo homem e que se desenvolvem em ambientes naturais sem a necessidade de interferência humana para o seu cultivo, como desmatamento e uso de fertilizantes (BARRERA *et al.*, 2015). A inserção das PANC na rotina alimentar pode trazer inúmeros benefícios para a saúde de quem as consome devido à sua riqueza nutricional, além de se apresentar vantajosa economicamente para os seus consumidores (KINUPP & BARROS, 2008).

Nos últimos anos, a ingestão de alimentos com baixo índice glicêmico tem atraído atenção significativa, especialmente, para os diabéticos e sub-indivíduos com tolerância diminuída à glicose. Consequentemente, o ajuste de formulação de alimentos ricos em amido surge como uma estratégia viável para moderar a digestão do amido, liberação de glicose e ingestão de glicose no sangue. Este tem implicações para vários problemas de saúde, por exemplo, obesidade, diabetes tipo II e doenças cardiovasculares.

O pão é considerado um alimento básico em todo o mundo e é uma boa fonte de energia para o corpo humano. No entanto, o pão feito de farinha de trigo refinada é um alimento é um alimento pouco nutritivo. A incorporação de outro tipo de farinha em seu preparo pode produzir pães mais saudáveis, ricos em compostos bioativos. A respeito da qualidade de pães, diversos atributos são considerados, como volume, densidade, sabor, cor e textura, sendo influenciados por mudanças em formulações e processos. Logo observa-se que a qualidade do pão é um resultado complexo de múltiplos fatores, desde a seleção e proporção dos ingredientes até os detalhes específicos do processo de fabricação. Entender como cada variável influencia atributos como volume, cor e textura é fundamental para produzir pães de alta qualidade consistentemente.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver farinha a partir das sementes de flamboyant-mirim (*Caesalpinia pulcherrima*), estudar o processo de germinação e suas influências nas propriedades bioativas da farinha, e avaliar a aplicação dessa farinha na formulação de pães, com foco na análise da qualidade nutricional e tecnológica dos produtos finais.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar as modificações nas propriedades antioxidantes e do teor de compostos fenólicos em função das condições de germinação.
- Acompanhar as modificações dos parâmetros bioquímicos com base na atividade de enzimas hidrolíticas.
- Produzir e aplicar a farinha das sementes de flamboyant-mirim germinadas como ingrediente em formulações de pães tipo forma.
- Estudar a incorporação da farinha das sementes de flamboyant-mirim germinadas nas propriedades físicas dos pães.
- Avaliar o efeito da adição da farinha de flamboyant-mirim nas propriedades físicas e microestruturais do pão.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Swartz

O Flamboyant-de-jardim (*Caesalpinia pulcherrima* (L.) Sw. é um arbusto exótico, originário das Antilhas, amplamente utilizado no paisagismo e na arborização urbana, por ser uma planta muito florífera e apresentar pequeno porte (LORENZI *et al.*, 2013). Caracterizada por ser um arbusto lenhoso, ereto, medindo de 3 a 4 metros de altura (LORENZI & SOUZA, 2008).

Figura 1 - Árvore de Flamboyant-mirim



Fonte: Peacock flower (2023)

Estudos realizados, concluíram que o fruto de *Caesalpinia pulcherrima* é um legume deiscente, glabro, de coloração marrom escuro quando maduro, polispérnico, cuja deiscência dá-se no sentido longitudinal, com aberturas nas suturas ventral e dorsal, causando a separação das valvas, que por sua vez se mantém unidas na base do fruto. Tais valvas, quando abertas, podem apresentar-se torcidas em mais de uma volta. Essa torção faz com que as sementes sejam lançadas a certa distância da planta mãe, caracterizando-se como fruto autocórico com dispersão balística (ARAUJO NETO *et al.*, 2014).

Nos países asiáticos, China e Índia, esta planta é utilizada na medicina local para tratar uma série de doenças, como bronquite, diabetes e infecção por malária (MOTERIYA & CHANDA, 2016). Porém, apesar de ter tantas aplicações, *C. pulcherrima* não dispõe de

informações suficientes para subsidiar a produção de mudas em larga escala (ARAÚJO *et al.*, 2014). Assim, alguns estudos de propagação de sementes da espécie começaram a surgir nos últimos anos (ALVES *et al.*, 2017).

3.2 Sementes

A possibilidade de cultivo de *C. pulcherrima* para uso comercial e industrial destaca oportunidades de desenvolvimento econômico e social no semiárido da caatinga, que é o principal bioma do nordeste brasileiro, pois esta planta está bem adaptada a esse ambiente específico (CERQUEIRA *et al.*, 2011).

As sementes são encontradas dentro do fruto, tipo legume ou vagem, descente, polispérmico, apresentando em média sete sementes, que apresentam formato oblongo-ovalado, (ARAÚJO NETO *et al.*, 2014). São da família *Fabaceae* podendo apresentar diferentes tamanhos, dependendo da sua posição na vagem (ROCHA *et al.*, 2017). O que interfere também no conteúdo das proteínas de reserva, principais fatores responsáveis pela germinação (TAIZ & ZEIGER, 2017). Acumulam quantidades consideráveis de galactomanana com potenciais aplicações na indústria alimentícia, como hidrocolóide, modificador de textura e fonte de fibra alimentar (CERQUEIRA *et al.*, 2011). A figura 2, mostra uma vagem e suas sementes.

Figura 2 - Sementes verdes de Flamboyant-mirim



Fonte: Franco (2023)

A época do ano em que se realiza a semeadura das sementes interfere tanto na germinação quanto no desenvolvimento das mudas, isso ocorre em função dos fatores climáticos (SANTOS, 2019).

A padronização e a qualidade de sementes para fins de fiscalização comercial são determinadas pela RAS (Regras de Análise de Sementes). Por meio disto são avaliado aspectos

como pureza, germinação, vigor e sanidade. Essas regras são utilizadas em laboratórios de análise de sementes para determinar o valor da semente para semeadura, além de serem importantes para a etiquetagem e fiscalização do comércio (BRASIL, 2009b).

Testes visam permitir, que apenas as sementes com maior capacidade de se sobressair a campo, possam seguir adiante, devem simular o mais próximo possível os fatores bióticos e abióticos que ocorrem no campo, e qual será o comportamento destas sementes nestas condições (SANTOS, 2018).

A qualidade fisiológica está associada ao potencial fisiológico da semente, um baixo potencial fisiológico representa baixa capacidade de germinação, resultando em estande desuniforme. Para a germinação a semente precisa de todas as partes do metabolismo funcionando corretamente, após o processo de imbibição o embrião irá liberar enzimas, que vão degradar seu material de reserva, ou seja, o endosperma rico em açúcar e aminoácidos, que posteriormente irão nutrir o embrião na sua escalada até o topo e formação de uma nova planta (SANTOS, 2018). A qualidade fisiológica é avaliada pelo teste de germinação, de acordo com as instruções das Regras para Análise de Sementes – RAS (BRASIL, 2009b).

O vigor da semente é a capacidade que a semente possui de germinar, uma semente com alto potencial fisiológico, possui mais chances de germinar em amplas condições climáticas do que uma com menor capacidade. A classificação das sementes em diferentes níveis de vigor ajuda a separar os lotes, mais ou menos vigorosos, sementes com alto nível de vigor possuem mais chance de se estabelecer, com rápida emergência e alta produtividade (PESKE, 2003).

3.3 Germinação

A germinação da semente é o processo no qual o eixo embrionário retoma seu crescimento antes paralisado, dando origem a uma nova planta. Porém, a germinação é afetada pela atuação de diversos fatores, destacando principalmente luz, temperatura, disponibilidade de água, oxigênio e substrato, cada um, atuando de maneira específica (CARDOSO, 2004).

A maioria das sementes das espécies florestais germina quando são colocadas em condições ambientais favoráveis, porém quando a germinação não ocorre nessas condições as sementes são consideradas dormentes (MENDES *et al.*, 2010).

Nas sementes, a albumina e a globulina são armazenadas principalmente no embrião, servindo como principal fonte de reserva no momento dos processos germinativos, já a prolamina e a glutelina foram encontradas em grandes proporções no endosperma. Assim, estas proteínas são de extrema importância para a germinação das sementes, existindo então uma relação entre a posição da semente no fruto, o teor de proteína e os processos germinativos.

Esta questão, embora discutida desde a década de 1960, raramente é objeto de estudos científicos (MENDONÇA *et al.*, 2016).

Estudos foram realizados para avaliar a germinação e as concentrações das proteínas de reserva em sementes de *Caesalpinia pulcherrima* em função da posição do fruto. Os resultados mostraram que houve influência da posição da semente no fruto na germinação e no teor de proteínas de reserva de *Caesalpinia pulcherrima*, proporcionando excelentes resultados para a posição proximal-mediana (SANTOS, 2019).

Para propagação da espécie *Caesalpinia pulcherrima*, recomenda-se a utilização de sementes de posição mediana, proximal/mediana e proximal, que apresentam alto percentual de germinação e proteínas de reserva. Estudos também foram desenvolvidos com foco na demonstração da viabilidade da análise espectroscópica Núcleo Interno de Regulação (NIR) para detecção de germinação de sementes (XIAO *et al.*, 2023).

O processo de germinação leva à modificação estrutural e síntese de novos compostos com alta atividade biológica e pode aumentar o valor nutricional e a estabilidade dos grãos (CHINMA *et al.*, 2015).

A germinação é uma tecnologia de processamento eficaz e de baixo custo que pode melhorar a composição nutricional, o conteúdo fenólico e as propriedades funcionais para diversas aplicações alimentares (JIMENEZ *et al.*, 2019). Estudiosos também destacaram o processo de germinação como vantajoso por ser natural, simples, barato e amigo do ambiente. O que colocou recentemente o tratamento da germinação (brotação) de sementes de cereais e leguminosas no centro das atenções da investigação (PLAZA *et al.*, 2003; CHINMA *et al.*, 2015; SETIA *et al.*, 2019; SAHNI & SHARMA, 2019).

Os tratamentos de germinação e de secagem alteram a estrutura macromolecular e os compostos nutricionais e bioativos, resultando em produtos, como farinha germinada e brotos, com diferentes propriedades tecno-funcionais. Estimar essas propriedades é vital para o uso de farinhas e brotos germinados em diversos sistemas alimentares (SU, *et al.*, 2020). Além da redução do teor de antinutrientes após a germinação, são alcançadas melhorias na digestibilidade do amido e das proteínas das leguminosas, na bioacessibilidade e na biodisponibilidade dos outros nutrientes e compostos bioativos presentes (CHINMA *et al.*, 2021; SETIA *et al.*, 2019; CHINMA *et al.*, 201). Contudo, os grãos germinados são novas fontes de ingredientes funcionais para a formulação de alimentos promotores de saúde. No entanto, as alterações na composição das leguminosas durante a germinação foram estudadas apenas em alguns grãos de forma limitada (XU *et al.*, 2019).

Há um interesse crescente na utilização da germinação de curto prazo (24-72 horas) para modificar sementes de leguminosas e suas farinhas resultantes, ao contrário da germinação de longo prazo (72-168 horas), devido aos desafios no controle microbiano e ao baixo rendimento de matéria-prima. A germinação de curto prazo (24-72 horas) de leguminosas como ervilha amarela e fava tem sido demonstrada como uma abordagem eficaz para a obtenção de farinhas de leguminosas com diversas propriedades funcionais e melhor digestibilidade de macronutrientes (SETIA *et al.*, 2019).

Outro estudo, envolveu a avaliação dos efeitos da germinação seguida de secagem com ar quente e infravermelho nas propriedades da farinha de cevada pura e do amido, de maneira geral, por 24 e 36 horas com secagem infravermelha induziu alterações significativas de farinha e amido em comparação com a secagem por ar quente. Portanto, a combinação de germinação e secagem infravermelha pode ser sugerida como um método promissor para modificar as propriedades da farinha de cevada e do amido para promover sua aplicação na indústria alimentícia. Com isso pode-se verificar mais uma vantagem do processo germinativo (SU *et al.*, 2020).

A germinação aumenta o conteúdo de nutrientes, compostos bioativos e atividades biológicas nos grãos. Além disso, reduz o conteúdo de componentes antinutricionais, suaviza a estrutura granular e aumenta a digestibilidade de grãos e sementes (XU *et al.*, 2018). Ativa várias enzimas, como amilase, lipase e protease, que decompõe o amido, os lipídios e as proteínas dos grãos em compostos mais simples (SU *et al.*, 2020). Alguns processos dinâmicos, como migração, degradação, acumulação e recombinação de nutrientes, ocorrem durante a germinação dos grãos (CAI & CHENG SHI, 2010).

Um estudo indicou que a germinação aumentou a capacidade antioxidante, os compostos fenólicos e os produtos da reação de Maillard, incluindo produtos finais de glicação avançada, ao mesmo tempo que diminuiu os marcadores de estresse oxidativo. Todos os parâmetros exibiram um padrão de tempo semelhante com um máximo em 72 horas. Além do aumento dos compostos fenólicos e da capacidade antioxidante, a germinação do canihua produziu produtos finais glicados avançados. O impacto na saúde humana destes compostos em sementes germinadas merece atenção futura (ABDERRAHIM *et al.*, 2012).

A germinação é uma das fases mais sensíveis no ciclo de vida dos vegetais, a qual tem início com a hidratação dos tecidos, embebição, responsável por desencadear a retomada das atividades metabólicas (catabolismo), ativando a degradação das reservas que foram armazenadas durante a fase de intenso metabolismo (anabolismo), quando a semente ainda estava ligada à planta-mãe com utilização do oxigênio (respiração), para produção de energia

química responsável para o crescimento do eixo embrionário, culminando com a ruptura da cobertura e protrusão da raiz primária (CARVALHO & NAKAGAWA, 2012).

Os tratamentos de sementes podem ser considerados técnicas promissoras, pois estimulam os processos metabólicos primários durante a germinação, melhoram os sistemas antioxidantes e aumentam a germinação e a emergência sob condições adversas. Os pré-tratamentos ou *priming* de sementes podem fazer contribuições significativas para a melhoria na germinação das sementes e na emergência de plântulas e podem promover atividades metabólicas de plantas cultivadas sob condições de estresse abiótico e também aumentar o rendimento das culturas. Portanto, os tratamentos de sementes têm um papel importante nas fases iniciais de desenvolvimento das plantas, abrangendo a germinação e o estabelecimento das plântulas (TONGUÇ *et al.*, 2023).

Dessa forma, estudos sobre esses fatores têm importância destacada, não apenas do ponto de vista tecnológico, mas também do eco fisiológico, podendo-se chegar a uma avaliação dos níveis de tolerância e da capacidade adaptativa das espécies (PASTORINI *et al.*, 2016).

De modo geral, sementes frescas, maduras e viáveis não germinam após 4 semanas em quaisquer condições ambientais, pois estão dormentes (BASKIN & BASKIN, 2004).

3.4 Pão tipo forma

O pão está ligado aos eventos da humanidade há cerca de 6000 anos e conhecer sua história é conhecer também os povos antigos, que edificaram sua economia, religião e política, em torno desse alimento. A panificação influenciou acontecimentos mundiais, incluindo guerras, relações entre países, e até mesmo modismo na dieta da sociedade (RICHTER *et al.*, 2019).

Por definição, pão é o produto obtido pela cocção, em condições técnicas adequadas, de massa preparada com farinha de trigo, fermento biológico, água e sal, podendo conter outras substâncias alimentícias aprovadas (BRASIL, 2005). Por ser um alimento milenar, o pão é consumido no mundo todo, nos diferentes tipos e formas (NEVES *et al.*, 2020).

No que tange às principais funções tecnológicas desses ingredientes no preparo, destaca-se a hidratação da farinha com a água, estrutura e textura a partir da farinha de trigo, que possibilita a formação do glúten. Além disso, o sal melhora a força do glúten, atenua o sabor e contribui para as características da crosta do pão e a fermentação, geralmente feita com a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, a qual promove a degradação dos carboidratos da farinha,

produção de gás carbônico, que por sua vez, fica aprisionado na rede de glúten com a formação de alvéolos que propiciam o aumento do volume da massa (MAIA *et al.*, 2015).

Como se pode observar, o processo de produção do pão envolve várias etapas, desde a formulação da receita até o produto. O desenvolvimento das formulações de pães tipo forma foi realizado a partir de uma formulação padrão utilizada por Gragnani (2010).

A partir desse padrão de ingredientes utilizados na elaboração de pães, outros ingredientes podem ser adicionados e a variação do preparo objetiva a diversificação de sabores, texturas, composição nutricional e também formas de apresentação (CAMPOS *et al.*, 1997). A figura 3, mostra um pão tipo forma em seu formato tradicional.

Figura 3 - Pão tipo forma



Fonte: Elaborada pela autora (2025)

Atualmente tem-se observado o crescimento da solicitação por alimentos saudáveis, e a indústria alimentícia é a responsável pelo desenvolvimento desses produtos (BADARÓ *et al.*, 2008). A procura e o aumento do consumo de pães integrais, pães adicionados de ingredientes funcionais e cereais tem ampliado bastante os horizontes da indústria de panificação (NOBRE, 2013).

A qualidade nutricional e o potencial bioativo de pães elaborados com substituição parcial da farinha de trigo refinada com 30% ou 45% de farinha de trigo sarraceno refinada ou farinha de trigo sarraceno integral foi avaliada por meio da bioacessibilidade mineral, digestibilidade do amido, teor de fibra alimentar e potencial bioativo pela determinação da rutina e níveis de quercetina durante o processamento (BRITES *et al.*, 2022). Um dos destinos dos subprodutos implementados na alimentação humana é a produção de farinhas, que podem ser incluídas em diversos preparos, agregando valor nutricional aos alimentos.

O pão de forma é um alimento amplamente consumido em diversos países, sendo valorizado pela sua praticidade, versatilidade e valor nutricional. Ele se destaca como uma importante fonte de carboidratos, fornecendo energia essencial para as atividades diárias (SILVA *et al.*, 2021). Além disso, pode ser enriquecido com fibras, grãos e vitaminas, contribuindo para uma dieta mais equilibrada. Seu formato e textura facilitam o preparo de sanduíches, torradas e receitas variadas, adaptando-se a diferentes preferências alimentares (OLIVEIRA & SANTOS, 2020). Por ser um alimento acessível e de fácil conservação, o pão de forma ocupa um espaço importante na rotina alimentar de muitas famílias. Assim, ele não apenas atende às demandas nutricionais, mas também às necessidades práticas do cotidiano.

A substituição da farinha de trigo ocorre parcialmente ou de forma total nos produtos de panificação, dependendo do objetivo final, a escolha do tipo de farinha vai depender das características desejadas no alimento (VILLANUEVA *et al.*, 2019; ZHAO *et al.*, 2019). O uso das farinhas alternativas levanta uma expectativa de produtos de panificação diferenciados quanto às suas qualidades sensoriais, nutricionais e físico-químicas (KHOOZANI; BEKHIT & BIRCK, 2019).

3.4.1 Farinha de trigo

O trigo é o segundo alimento mais consumido no mundo, sendo que só em 2017 foram consumidos mais de 740 milhões de toneladas (ABITRIGO, 2024). Aproximadamente 70 % do trigo produzido no mundo é usado no processamento de alimentos, predominantemente na forma de farinha para pães, bolos, biscoitos, cereais matinais e massas alimentícias (DENDY & DOBRASZCZYC, 2001; CORNELL & HOVELING, 1998).

Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, entende-se por farinha de trigo o produto obtido pela moagem, exclusivamente, do grão de trigo *Triticum vulgare*, beneficiado (BRASIL, 1996).

De acordo com as suas características, a farinha de trigo é classificada em: farinha integral, farinha especial, farinha comum, sêmola, semolina. Sendo a farinha de trigo comum o ingrediente mais importante em panificação, devido à presença de glúten, que forma e mantém a estrutura da massa até a gelatinização do amido no cozimento, quando é formada a estrutura final do pão (SALAS-MELADO, 2003)

A farinha de trigo refinada é composta por amido (70 a 75%), água (12 a 14%), proteínas (8 a 16%) e outros constituintes menores, como polissacarídeos não amiláceos (2 a 3%), lipídios (2%) e cinzas (1%) (MORITA *et al.*, 2002).

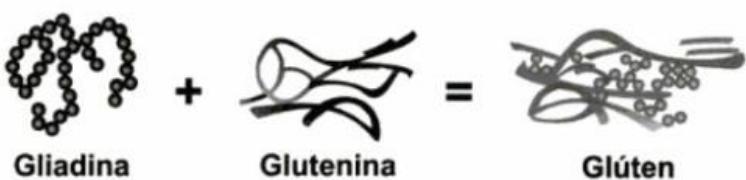
Na farinha de trigo os parâmetros de qualidade são principalmente químicos e reológicos, sendo comumente verificados umidade, acidez, cinzas, proteína, número de queda, teor e força de glúten, absorção de água, propriedades de mistura, capacidade elástica e extensível da massa, e volume do pão (PYLER, 1988).

O teor de proteínas do grão fornece dados sobre a qualidade da farinha de trigo, cujos valores estão diretamente relacionados com o seu destino para elaboração de produtos panificáveis (PARK & BAIK, 2004).

Quando a farinha de trigo é misturada com a água e homogeneizada mecanicamente, no processo de fabricação de pães, há hidratação das proteínas gliadina e glutenina, formando um complexo proteico (glúten), pelo entrelaçamento de suas moléculas, estabelecido por meio de pontes dissulfeto, ligações de Van der Waals e ligação de hidrogênio, entre outros. Suas propriedades estão intimamente ligadas à retenção de gases produzidos durante a fermentação da massa pelas leveduras e forneamento, permitindo sua expansão, característica que determina o volume dos produtos de panificação e a textura do miolo (FUNCK, 2006; GOESAERT *et al.*, 2005).

O glúten, figura 4, é encontrado mais comumente no trigo, cevada e centeio. Essencial para a formação da estrutura do pão, consequentemente, sua quantidade na farinha é primordial para classificar o teor nas farinhas para produção dos pães, porém as farinhas também são classificadas por parâmetros físico-químicos, que analisam as proteínas no geral (D'ALMEIDA *et al.*, 2019).

Figura 4 - Estrutura do glúten



Fonte: Araújo (2008)

A formação da rede de glúten inicia a partir da hidratação e ação mecânica da sova, que formam ligações dissulfeto intermoleculares e intramoleculares. A finalização do desenvolvimento da rede de glúten ocorre com as ligações entre os aminoácidos, sendo essas

ligações, interações hidrofóbicas, ligações iônicas e forças de Van der Waals com moléculas de água contidas no interior (MANDARINO, 1999).

3.4.2 Água

A água é o mais eficiente solvente do planeta, chamado de solvente universal. Com isso, uma das funções do líquido é diluir os ingredientes da massa do pão (BRANDÃO & LIRA, 2011).

A água é indispensável na formação da massa de pão. Permite a formação da rede de glúten e a gelatinização do amido, determina a consistência da massa, controla a temperatura da massa, dissolve os ingredientes sólidos, distribuindo-os de forma uniforme em toda a massa e torna possível a atividade enzimática e ação de leveduras (DE SÁ DIÓRIO *et al.*, 2018; CAUVAIN, 2009). A adição em excesso pode fornecer massa mole e pegajosa, resultando em pães de qualidade inferior. Por outro lado, a escassez de água fornece massas mal desenvolvidas, de difícil fermentação, os pães envelhecem mais rápido e terão menor volume (ZAMBELLI, 2014; MORETTO & FETT, 1999).

A água é tão necessária quanto à farinha. Dependendo do tipo de pão a sua quantidade pode variar entre 55% e 65% de acordo com o peso da farinha. Existem ainda massas superhidratadas que precisam de até 100% de água de acordo com a quantidade de farinha (RICHTER *et al.*, 2019).

Os líquidos auxiliam na formação da rede de glúten, citada anteriormente, favorecem um meio úmido para a ativação das enzimas e ação da fermentação (CAUVAIN & YOUNG, 2009; VIANNA *et al.*, 2018). Além disso, são responsáveis por intumescer os grânulos de amido ocasionando a gelatinização durante o cozimento do pão (BRASIL, 2012).

Imprescindível na formação das massas de pães, a água exerce, principalmente, três funções principais dentro da panificação. São elas: propiciar um meio que favoreça o desenvolvimento da atividade enzimática, o que, por consequência, promove a fermentação do pão, tornar possível a formação da rede de glúten por meio da hidratação das proteínas da farinha de trigo, permitir que ocorra, durante o cozimento do pão, o procedimento conhecido como gelatinização do amido, devido à sua atuação como solvente e plastificante (LIMA, 2015). É válido mencionar, ainda, que, além desses processos principais, a água também atua no controle da consistência e da temperatura da massa, no controle da palatabilidade e da maciez do pão, na homogeneização dos demais ingredientes e na dissolução dos sais.

A absorção de líquidos na massa é influenciada por vários fatores, dentre eles a dureza do trigo, a quantidade de amido danificado, quantidade e qualidade das proteínas que a farinha contém (SAPIRSTEIN *et al.*, 2018). Quanto maior o teor de proteínas maior será a quantidade de líquido utilizado (GUARIENTI, 1993). Para elaboração de pães é utilizado cerca de 40% a 80% de líquidos, porcentagem em relação ao quilograma da farinha de trigo (GUERRINI *et al.*, 2019). Uma massa com maior porcentagem de água favorece melhorias nas propriedades reológicas, o que ocasiona melhor equilíbrio entre a proporção da tenacidade (T) e extensibilidade (E), diminuindo a relação entre eles (T/E), ocasionando melhorias no cozimento e consequentemente na textura (CAPPPELLI *et al.*, 2018; ALVES *et al.*, 2019).

Desta forma, líquidos como a água e o leite auxiliam a agregação dos ingredientes, dando forma a massa, fornecendo maciez e firmeza, possibilitando sua moldura da maneira desejada (ALVES *et al.*, 2018). A quantidade de água em qualquer receita vai depender do tipo de pão produzido, da qualidade da farinha usada, farinhas mais fortes apresentam maior teor de proteína, aproximadamente 12%, absorvendo com isso maior quantidade de água sem que haja diminuição de estrutura (RICHTER *et al.*, 2018).

3.4.3 Gordura vegetal hidrogenada

São vários os tipos de óleos/gorduras que podem ser usados na fabricação de pães. Embora nem todos os pães apresentem esses ingredientes em sua composição, eles desempenham importante papel em produtos de panificação, pois afetam aspectos como incorporação de ar, lubrificação, transferência de calor, maciez, umidade, sabor, aroma, estrutura e aumento da vida útil (ZHONG *et al.*, 2014).

A utilização de produtos à base de lipídios, como óleos ou gorduras nas massas dos pães, melhora a capacidade de formação da rede de glúten, por facilitar a ação mecânica do cisalhamento da massa, otimizando fisicamente a agregação dos ingredientes (BRANDÃO & LIRA, 2011). Contribuindo para a melhora da qualidade final do produto, aumentando seu volume, conferindo texturas mais homogêneas e o realce dos sabores. Além disso, foi observado um aumento do prazo de vida útil e modificações do valor nutricional de acordo com cada alimento.

A gordura em panificação é empregada para contribuir na qualidade do produto, tanto na aparência, em relação ao volume, quanto em sabor, mastigabilidade e textura. Seu emprego na indústria de panificação depende do tipo de produto que irá ser produzido. No caso de pães, seu uso é limitado entre 1 e 5 % com relação à farinha, aumentando o volume do pão através

da lubrificação da massa, pode-se utilizar gordura vegetal hidrogenada, margarina, manteiga e óleo (SILVEIRA *et al.*, 2015).

As gorduras exercem nas massas uma ação física, exibem a capacidade de se posicionarem entre camadas de glúten, facilitando o deslizamento entre essas camadas. Assim, dizemos que lubrificam o glúten, o que resulta em maior extensibilidade das massas. O aumento de volume é significativo, usualmente em torno de 10%. Elas também tornam a massa mais macia, melhorando a textura do miolo e contribuindo para retardar o envelhecimento do pão, fazendo com que este fique macio e palatável por um período mais longo. Atuando ainda, sobre o sabor (principalmente as gorduras animais) e sobre o valor nutricional (PAVANELLI, 2000).

O uso de gordura hidrogenada na produção de pães tem sido tradicionalmente associado a melhorias na qualidade dos produtos devido a várias razões técnicas e funcionais. Oferecendo vantagens significativas na produção de pães devido às suas propriedades de estabilidade, textura e capacidade de melhorar a qualidade do produto final. No entanto, os problemas de saúde associados aos ácidos graxos trans levaram à busca de alternativas mais saudáveis que possam oferecer benefícios semelhantes sem os riscos à saúde (NUNES *et al.*, 2011).

Com isso, observa-se uma diminuição do uso de gordura vegetal hidrogenada na produção de pães é um passo positivo em direção a produtos mais saudáveis e naturais. No entanto, essa transição requer cuidadosa consideração e ajustes na formulação e nos processos de fabricação para garantir que a qualidade do pão não seja comprometida. Com as alternativas corretas e os ajustes apropriados, é possível produzir pães deliciosos e saudáveis sem o uso de gorduras hidrogenadas (MENSINK *et al.*, 1994).

3.4.4 Açúcar

A sacarose, comumente conhecida como açúcar, é o principal ingrediente que contribui para a docura em produtos panificados (STRUCK *et al.*, 2014), além de ser substrato para o fermento, transformando-o em gás carbônico e álcool (MELO FILHO, 2011). Contribui também para o aumento de maciez e volume, desenvolvimento do sabor e cor (AIKAR *et al.*, 1993). Contudo, seu excesso pode retardar a ação do fermento.

O processo de escurecimento do pão é oriundo da caramelização e da reação de Maillard, essa reação é não enzimática que utilizam açúcares redutores, como a glicose e frutose oriunda da sacarose, pois ao assar o pão, surge uma camada fina de coloração castanhocaramelado como resultado, a quantidade ideal para obter a coloração da crosta e manter a umidade do miolo varia de 2 a 10% de açúcar. Em contrapartida, sua utilização em excesso tem como consequência um pão esfarelado (ESTELLER *et al.*, 2004).

O açúcar desempenha um papel fundamental na produção do pão de forma, não apenas conferindo leve dulçor, mas também atuando como alimento para as leveduras durante a fermentação, favorecendo o crescimento da massa (PEREIRA *et al.*, 2021). Além disso, contribui para a coloração dourada da crosta por meio das reações de Maillard e caramelização (SOUZA & LIMA, 2019). Sua presença ainda influencia na textura e na maciez do pão, prolongando sua validade. Assim, o açúcar é um ingrediente essencial para a qualidade sensorial e tecnológica do pão de forma.

3.4.5 Fermento biológico

O fermento é largamente utilizado na panificação e confeitaria. Tem a finalidade de gerar volume, expandir massas e alterar textura, além de agregar sabor. A porção de fermento, que será utilizado dependerá do tipo de preparação.

Fermentar é incorporar leveza e sabor à massa, e isso pode ser feito através da utilização de agente químico, físico ou biológico, que resulte na produção do gás carbônico possibilitando a fermentação (RICHTER *et al.*, 2019).

De acordo com o Brasil (1977), fermento biológico é o produto obtido de culturas puras de leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*) por procedimento tecnológico adequado e empregado para dar sabor próprio e aumentar o volume e a porosidade dos produtos fornecidos.

É um importante ingrediente utilizado na panificação, produz compostos que caracterizam o sabor e o aroma do pão. Além disso, possui a função de expansão da massa, uma vez que os microrganismos que compõem os fermentos são capazes de transformar os açúcares presentes na massa em dióxido de carbono e álcool (GÉLINAS EL-DASH & GERMANI, 1994; BRANDÃO & LIRA, 2011). No geral, o fermento biológico é o ingrediente que caracteriza o pão, sendo encontrados dois tipos: levedura comercial (fermento comercial) e os fermentos naturais (COSTA *et al.*, 2020). A figura 5 mostra o fermento biológico em suas diferentes formas.

De acordo com a bioquímica, a fermentação são trocas ou decomposições químicas que acontecem em substratos orgânicos, mediante a atividade de microrganismos vivos. A fermentação da massa é uma etapa básica e de extrema importância no processo de panificação, seu objetivo é promover uma boa textura e aroma do pão, formação de alvéolos e crescimento da massa (GUARIENTI, 2004).

Os alvéolos consistem nas bolhas de gás que se formam no miolo e dão a textura esponjosa para os pães, estes se formam durante a fermentação e o cozimento da massa. Eles são indicadores importantes da qualidade do pão, afetando sua textura, aparência e até mesmo

o sabor. A formação e o tamanho dos alvéolos são influenciados por diversos fatores, incluindo ingredientes, processos de fermentação e técnicas de cozimento (CAUVAIN, 2012).

3.4.6 Sal

Cloreto de sódio é um ingrediente comum em produtos de panificação, contribuindo em fornecer o gosto salgado ao pão, promovendo melhorias nas propriedades reológicas e diminuição da atividade dos microrganismos contidos no fermento (CAUVAIN, 2007). É um dos ingredientes fundamentais em pães e interage na formação da rede de glúten e controla a fermentação devido ao efeito osmótico na célula da levedura. Apresenta um efeito específico sobre a fermentação: quanto maior a concentração de sal, menor a taxa de fermentação com o mesmo nível de levedura, e vice-versa. O sal é responsável ainda pelo aumento da estabilidade da massa, firmeza e proporciona uma maior conservação do alimento, devido às suas propriedades higroscópicas. No entanto, a sua função mais importante é a de fornecer sabor ao pão (APLEVICZ *et al.* 2014).

O sal desempenha vários papéis importantes na produção de pães, afetando diretamente o miolo. Ele controla a fermentação, retardando-a para uma estrutura de miolo mais uniforme e controlada. O sal fortalece a rede de glúten, melhorando a retenção de gases e resultando em um miolo mais macio e elástico. Além disso, realça o sabor do pão, torna o miolo mais saboroso e evita um gosto insípido. O sal também influencia a hidratação da farinha, ajudando a regular a umidade e a textura do miolo. Indiretamente, o sal afeta a cor da crosta e o aroma, contribuindo para a percepção do sabor do miolo (LIMA, 2015).

A melhoria reológica da massa com a adição do sal é em decorrência do fornecimento de eletrólitos às ligações das proteínas, o que as fortalece e torna a massa com melhor viscosidade e elasticidade, proporcionando maiores tempos de fermentação (IGNÁCIO *et al.*, 2013). No estudo realizado por (LARSSON, 2002), o autor observou que o cloreto de sódio (NaCl), em concentrações de até 2% (0,5; 1 e 2%), proporcionou um aumento da elasticidade da massa.

Já o excesso de sal na formulação pode resultar na redução da fermentação, fortalecimento excessivo do glúten, gerando um pão com textura pesada e dura. Normalmente a quantidade de sal utilizada é de 1% a 2% do peso da farinha, podendo variar a depender do tipo de massa e pode ser aumentado quando o intuito for realçar o sabor (RICHTER *et al.*, 2019).

O sal é um ingrediente essencial na panificação, atuando não só no sabor, mas também na estrutura e fermentação da massa. Ele fortalece o glúten, melhora a textura, regula a atividade

das leveduras e influencia a cor da crosta. Assim, seu uso adequado é fundamental para garantir a qualidade sensorial e estrutural dos produtos de panificação (KTENIOUDAKI *et al.*, 2013; PAREYT & DELCOUR, 2008).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Coleta e secagem das sementes

As sementes de *Caesalpinia pulcherrima* foram obtidas a partir de árvores plantadas em Fortaleza, no estado do Ceará, interior de Minas Gerais e interior de São Paulo. Elas foram colhidas em diferentes estágios de maturação e separadas de acordo com a coloração verde e marrom (madura). Além disso, passaram por um processo de seleção, as sementes que apresentaram sinais de fungos, queimadas, achatadas e danificadas foram descartadas. Em seguida foram transportadas para o Laboratório de Biomateriais Alimentícios, localizado no Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Estado do Ceará.

Após coleta e seleção, todas as sementes de *Caesalpinia pulcherrima* passaram por um processo de secagem em temperatura controlada, etapa fundamental para reduzir a umidade e preservar suas propriedades físico-químicas antes das análises e do processamento. A secagem adequada é essencial para prevenir o desenvolvimento microbiano e a degradação de compostos bioativos, garantindo maior estabilidade e segurança do material vegetal para uso posterior em estudos alimentícios e funcionais.

4.2 Processo de germinação

Após realizada a coleta e seleção das sementes de Flamboyant-Mirim, todas as sementes passaram por um processo de secagem em secador de bandeja (DS 800, Black DAS) por aproximadamente 4 horas, com temperatura controlada de 60°C e armazenadas em temperatura ambiente ($T = 28 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$) até o momento do processo de germinação ou moagem, no caso da farinha de flamboyant-mirim não germinada.

Para a germinação das sementes, estas foram deixadas de molho em água por 24 horas em temperatura ambiente. Passado esse período de 24 horas, as sementes hidratadas foram colocadas em placas de Petri sobre papel toalha umedecido e incubadas em uma Câmara Incubadora com Fotoperíodo-NT 708 Novatecnica, equipada com 4 lâmpadas fluorescentes (2.500 Lux) e controle de temperatura, iniciando assim, o processo de germinação.

O processo de germinação foi conduzido por aproximadamente 144 horas, ou seja, 6 dias. Durante esse período, as sementes foram mantidas a uma temperatura constante de 30°C

e sob iluminação contínua, durante todo o processo. Assim que o processo de germinação se iniciou, com o surgimento das radículas, as sementes foram separadas e encaminhadas para a etapa de secagem, a fim de serem posteriormente transformadas em farinha.

4.3 Elaboração da farinha das sementes de Flamboyant –Mirim germinadas e não germinadas

As sementes germinadas foram então selecionadas de acordo com a presença ou ausência das radículas. Em seguida, passaram por secagem, por aproximadamente 4 horas em um secador de bandejas (Modelo DS-800 Black DAS Desidratadore), sob temperatura controlada de 60°C, por aproximadamente 4 horas. Posteriormente, as sementes germinadas foram trituradas em moinho de facas tipo Willye CE-430 em granulometria 20 mesh.

No processo de elaboração da farinha das sementes de Flamboyant-mirim não germinadas, após realizada a coleta e seleção das sementes de Flamboyant-Mirim, foi realizada a separação das sementes já maduras (secas), estas passaram por um processo de secagem, conforme já mencionado, etapa importante para elaboração da farinha das sementes não germinadas. Em seguida foram trituradas em moinho de facas Tipo Willye - CE-430 CienlaB granulometria 20 mesh. Após a obtenção das farinhas, elas foram armazenadas em temperatura ambiente e ao abrigo da luz até a utilização como ingredientes em formulações de pães tipo forma e análises de qualidade.

4.4 Análises Físico-químicas

4.4.1 Teor de fenólicos totais

4.4.1.1 Procedimentos iniciais: preparo das soluções, curva padrão e extratos

As análises de Teor de Compostos Fenólicos Totais foram realizadas seguindo o método de Khoddami *et al* (2013). Antes de preparar as soluções, foi calculado as quantidades necessárias para a análise, de acordo com a quantidade de amostras a serem analisadas.

A solução de etanol 50% foi preparada diluindo 500 mL de álcool metílico para 1000 mL com água destilada em balão volumétrico; foi homogeneizado e transferido para um frasco de vidro devidamente etiquetado e armazenado em temperatura ambiente até sua utilização.

Para a Solução acetona 70%, foi diluída 700 mL de acetona em 1000 mL com água destilada em balão volumétrico, tal solução foi homogeneizada e transferida para um frasco de

vidro âmbar devidamente etiquetado e armazenada em temperatura ambiente até a sua utilização.

A preparação da solução de Folin Ciocalteau (1:3) foi realizada a partir da diluição de 12,5 mL do reativo Folin Ciocalteau (para fenol) em 37,5 mL de água destilada. A solução foi homogeneizada e transferida para um frasco de vidro âmbar devidamente etiquetado e armazenado em temperatura ambiente até a utilização.

A solução de carbonato de sódio anidro a 20% foi preparada a partir da dissolução de 20g de carbonato de sódio anidro (Na_2CO_3) em 100 mL de água destilada. A solução foi aquecida a 75°C por 5 minutos. Em seguida, a solução foi deixada sob repouso durante 12 horas. Por fim, a solução foi homogeneizada e transferida para um frasco plástico devidamente etiquetado e armazenado até a sua utilização. A solução de ácido gálico a 50 ppm (mg/L) foi preparada a partir da dissolução de 5 mg de ácido gálico (PM = 170, 12) em água destilada até o volume de 100 mL em balão volumétrico. A solução foi acondicionada em frasco âmbar etiquetado e armazenada até o momento de sua utilização em temperatura ambiente.

A curva padrão foi desenvolvida a partir da solução estoque de ácido gálico, onde, foi preparada em triplicata soluções com diferentes concentrações deste analito a partir da pipetagem em tubos de ensaio de alíquotas da solução estoque e água destilada, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Curva padrão de ácido gálico

Concentração (mg/L)	Ácido gálico (μL)	Água destilada (μL)
0	0	500
10	100	400
20	200	300
30	300	200
40	400	100
50	500	0

Após a obtenção de diferentes soluções foi adicionado em cada tubo 500 μL de Folin Ciocalteau (1:3), 1 mL do carbonato de sódio 20% e 1 mL de água destilada. As soluções foram agitadas e inseridas em cubetas para leitura em espectrofotômetro SP- 22 Biospectro no comprimento de onda de 700 nm. Foi realizada a leitura das absorbâncias das soluções preparadas. É importante destacar que toda a análise deve ser realizada na ausência de luz. Para a obtenção da curva os dados foram tratados com o auxílio de planilhas, onde a concentração

de ácido gálico (mg/L) foi colocada no eixo x e as médias das absorbâncias no eixo y. Desta forma, foi possível obter uma modelagem matemática da reta.

4.4.1.2 Obtenção dos extratos dos pães para a análise de teor de fenólicos totais

Os extratos dos pães foram obtidos a partir da moagem das amostras de pães desenvolvidos com farinha germinada e não-germinada de flamboyant mirim. Em seguida, pesou-se 6 gramas das amostras de pães. Tais amostras foram acondicionadas em tubos de ensaio e adicionado 20 mL da solução de etanol 50% e homogeneizada com bastão de vidro. A solução foi deixada em repouso por 60 minutos em temperatura ambiente. Em seguida, a solução foi centrifugada, em centrífuga digital- Modelo NT 809 a 5.000 rpm durante 30 minutos. O sobrenadante foi filtrado em um balão volumétrico de 50 mL, sendo esta considerada a primeira extração. A partir do resíduo desta extração, foi adicionado 20 mL de acetona 70%, homogeneizado e deixado em repouso por 60 minutos em temperatura ambiente. Em seguida, a solução foi centrifugada novamente a 5.000 rpm por 30 minutos, o sobrenadante foi filtrado no mesmo balão da extração anterior, posteriormente a solução foi completada para 50 mL, etiquetada e congelada até o momento de ser utilizada. Todo o procedimento foi realizado ao abrigo da luz.

4.4.1.3 Análise por Determinação de teor de fenólicos totais

Para a análise de determinação de teor de fenólicos totais foi pipetado em tubos de ensaio alíquotas de 100 μ L de extrato, em triplicata, completou-se o volume para 500 μ L de água destilada, logo, foi colocado 400 μ L de água destilada. Preparou-se o branco com dois tubos contendo 500 μ L de água destilada para zerar o equipamento de leitura. Foi acrescentado, nesta ordem, 500 μ L do folin ciocalteu (1:3), 1 mL de carbonato de sódio 20% e 1 mL de água destilada, sempre deve ser colocado nesta ordem, em seguida foi homogeneizado e realizado leitura em espectrofotômetro SP- 22 Biospectro a 700nm. Todo processo foi realizado na ausência de luz.

Os cálculos serão realizados a partir dos valores de absorbância para cada concentração de ácido gálico, uma equação de regressão linear (no formato $y = ax + b$) deve ser obtida. A concentração de ácido gálico (GA) nos 500 μ L corresponderá a soma água + extrato e será determinada pelas equações (1), (2) e (3) e o resultado será expresso em mg GAE/100 g ou μ g GAE/100 mg.

$$\text{Concentração de GA } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(\text{Absorbância} - b)}{a} \quad (1)$$

A concentração equivalente de amostra nesse mesmo volume é dado por:

$$\text{Concentração de amostra } \left(\frac{\text{g}}{\text{L}} \right) = \frac{(\text{amostra (g)}. \text{alíquota} (\mu\text{L}.2))}{\text{volume do balão (mL)}} \quad (2)$$

Finalmente, o teor de ácido gálico na amostra é dado por:

$$\text{Teor de GAE } \left(\frac{\text{mg}}{100\text{mL}} \right) = \frac{(\text{Concentração de GA } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right).100\%)}{\text{Concentração de amostra } \left(\frac{\text{g}}{\text{L}} \right)} \quad (3)$$

4.4.1.4 Teor de Flavonoides

A determinação de flavonoides foi determinada a partir da metodologia descrita por Francis (1982). Em um balão de 250 mL foi adicionado 31,05 mL de ácido clorídrico (HCl) e o volume completado com água destilada. Posteriormente, foi retirado 150 mL da solução e acondicionado em balão de 1000 mL completado com álcool etílico 95%. Para o preparo do extrato foi utilizado 1 mL e inserido em balão âmbar de 50 mL envolto com papel alumínio. O volume do balão foi completado com a solução de etanol-HCl. Em seguida, a solução foi agitada e armazenada por 16 horas em geladeira.

Após o período de armazenamento refrigerado, a solução foi filtrada em um béquer de 50 mL envolvo com papel alumínio. Foram retiradas alíquotas das amostras e acondicionadas em cubetas de quartzo e realizada a leitura das amostras em espectrofotômetro SP- 22 Biospectro no comprimento de onda de 374 nm. Foi realizado também o teste denominado de “branco”, contendo apenas a solução extratora. O resultado foi calculado de acordo com a equação 4.

$$\text{Flavonoides} = \frac{\text{Fator de Diluição .absorbância}}{98,2} \quad (4)$$

4.4.1.5 Teor de Antocianinas

A determinação de antocianinas foi determinada a partir da metodologia descrita por Francis (1982). Em um balão de 250 mL foi adicionado 31,05 mL de ácido clorídrico (HCl) e o volume completado com água destilada. Posteriormente, foi retirado 150 mL da solução e acondicionado em balão de 1000 mL completado com álcool etílico 95%. Para o preparo do

extrato foi utilizado 1 mL e inserido em balão âmbar de 50 mL envolto com papel alumínio. O volume do balão foi completado com a solução de etanol-HCl. Em seguida, a solução foi agitada e armazenada por 16 horas em geladeira.

Após o período de armazenamento refrigerado, a solução foi filtrada em um béquer de 50 mL envolvo com papel alumínio. Foram retiradas alíquotas das amostras e acondicionadas em cubetas de quartzo e realizada a leitura das amostras em espectrofotômetro SP- 22 Biospectro no comprimento de onda de 535 nm. Foi realizado também o teste denominado de “branco”, contendo apenas a solução extratora. O resultado foi calculado de acordo com a equação 5.

$$\text{Antocianinas} = \frac{\text{Fator de Diluição .absorbância}}{98,2} \quad (5)$$

4.4.1.6 Atividade de eliminação de radicais ABTS

Esse método baseia-se na geração ABTS.+ adaptada por Rufino (2007). A solução estoque de ABTS 7 mM foi preparada dissolvendo 192 mg de ABTS em água destilada e completando o volume para 50 mL em um balão volumétrico com água destilada, foi homogeneizado e transferido para um frasco de vidro âmbar, devidamente etiquetado, armazenado sob refrigeração até o momento da utilização. Para a solução de persulfato de potássio 140 mM, dissolvemos 378,4 mg de persulfato de potássio em água destilada, transferiu-se para um balão de 10 mL e completou o volume com água destilada. Foi homogeneizado e transferido para um frasco de vidro âmbar, devidamente etiquetado e armazenado até a sua utilização.

O preparo do radical ABTS+ foi realizado a partir da reação de 5 mL da solução estoque de ABTS 7 mM com 88 µL da solução de persulfato de potássio. A mistura foi mantida por 16 horas na ausência de luz. Em seguida, diluiu-se 1 mL desta mistura em álcool etílico até obtermos uma absorbância de 0,70 nm ± 0,05 nm a 734 nm. Essa mistura final deve ser preparada apenas no dia da análise.

A solução padrão de trolox 2 mM foi preparada diluindo 25 mg de trolox em álcool etílico, transferiu-se para um balão volumétrico de 50mL e completou o volume com álcool etílico. Homogeneizou-se e transferiu-se para um frasco de vidro âmbar, devidamente etiquetado. Tal solução deve ser preparada e usada apenas no dia da análise.

A partir da solução padrão de trolox (2 mM), foi preparado, em balões volumétricos de 5 mL ou tubos de ensaio, soluções variando a concentração de 100 M a 1.500 M, conforme a tabela abaixo:

Tabela 2 - Curva padrão de trolox

Concentração (μM)	Solução padrão de trolox (ml)	Álcool Etílico (ml)
100	0,25	4,75
500	1,25	3,75
1000	2,5	2,5
1500	3,75	1,25
2000	5	0

Em ambiente escuro, foi transferido uma alíquota de 120 μL de cada solução de trolox (100 μM , 500 μM , 1.000 μM , 1.500 μM e 2.000 μM) para tubos de ensaio. Foi misturado com 12 mL da solução do radical ABTS com absorbância entre 0,700 a 0,705 (item Preparo do radical ABTS•+). Homogeneizou-se e foi realizada a leitura (734 nm) após 6 minutos da mistura, foi utilizado álcool etílico como branco para calibrar o equipamento. Será plotado as concentrações de trolox (μM) no eixo X e as respectivas absorbâncias no eixo Y é calculado a equação da reta. Para a obtenção dos extratos dos pães, foi utilizado o mesmo extrato utilizado para a análise de determinação dos fenólicos totais e realizado o cálculo a partir da equação da reta, onde calcularemos a absorbância referente a 1.000 μM de trolox, conforme mostrado a seguir: 1: $y_1 = a_1x_1 + b_1$, onde: $x_1 = 1000 \mu\text{M}$ do trolox e $y_1 =$ absorbância correspondente a 1000 μM de trolox.

4.5 Preparo dos pães tipo forma

Para a produção do pão tipo forma com farinha de sementes de Flamboyant-mirim, foi utilizada como base a metodologia de Guimarães *et al.*, 2025 conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3- Formulação padrão de pão tipo forma

Ingredientes %	
Farinha de trigo	100%
Água¹	55 – 60%
Gordura Vegetal Hidrogenada	3,3%
Açúcar	5,0%
Fermento biológico seco	3,6%
Sal	2,0%

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

¹A quantidade de água variou em virtude dos diferentes graus de absorção de água da farinha a partir da inclusão das farinhas de flamboyant mirim.

Todos os ingredientes foram misturados por 3 minutos em uma masseira (Batedeira Artisan Empire Red - KitchenAid) com capacidade mínima de 2 Kg de massa, até a formação da rede de glúten, em seguida a massa foi modelada e disposta em formas de ferro untadas com margarina. As fôrmas foram levadas para fermentação, onde permaneceram por 90 minutos, até o crescimento da massa. Após o tempo de fermentação as formas foram colocadas no Forno Elétrico - Smart Basic Venâncio à temperatura de 200°C, para o forneamento do pão, por aproximadamente 20 minutos. Análises de qualidade dos pães foram realizadas durante o período de fermentação e após assamento, também foram retiradas amostras e acondicionadas em sacos de papel próprios para o armazenamento de pães frescos até o momento das demais análises.

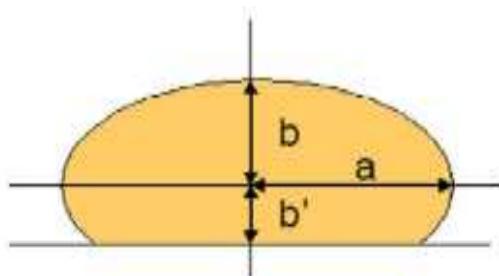
Para a elaboração do pão tipo forma com farinha de sementes de Flamboyant-Mirim, seja germinada ou não, foram utilizadas proporções de 2%, 4%, 6%, 8% e 10%, como complemento a farinha. Estas proporções foram avaliadas para verificação de qual delas proporcionou o melhor resultado no pão.

4.5.1. Análises de qualidade das massas e dos pães

4.5.1.1 Avaliação do processo de fermentação

A expansão das massas durante o processo de fermentação foi avaliada através do procedimento experimental de Perfil Livre de Expansão adotado por Gabric *et al.* (2011), com modificações, onde as massas foram consideradas como elipses truncadas, conforme ilustra a Figura 5. Foram medidas, a cada 10 minutos, as dimensões de altura e comprimento das massas com o auxílio de régua milimetrada simples. Para a avaliação do Perfil Livre de Expansão, as massas foram colocadas em fôrmas de alumínio com dimensões de 30 cm x 30 cm para permitir a sua livre expansão sem restrições dimensionais.

Figura 5 - Parâmetros de elipse truncada



Fonte: Gabric *et al.* (2011)

O volume das massas para cada tempo de medição foi calculado com base na fórmula da elipse e sua rotação em torno do eixo y, conforme demonstra a equação 6. Onde: a = largura da elipse (cm); b = altura da elipse – do centro a elipse superior (cm); b' = altura da elipse – do centro para a parte inferior (cm).

$$V(cm^3) = \pi a^2 \left(\frac{2b}{a} + b' - \frac{b'^3}{3b^2} \right) \quad (6)$$

O fator de expansão do volume (cm^3) – VEF, foi calculado através da equação 7.

$$VEF = \frac{V-V_0}{V_0} \quad (7)$$

Onde:

V = Volume da massa ao longo do tempo de fermentação (cm^3); V_0 = Volume inicial da massa (cm^3).

4.5.1.2 Volume específico

Para obtenção do volume deslocado, um recipiente foi preenchido e tarado com sementes de painço, em seguida parte das sementes substituídas por amostra de pão e seu volume completado até a borda. Por fim, novamente foi realizado o nivelamento com auxílio de régua plástica. As sementes remanescentes corresponderam ao volume deslocado pela amostra, medido utilizando uma proveta graduada (MENDONÇA et al., 2024).

O volume específico foi calculado pela divisão do volume deslocado e seu peso, conforme a Equação (8):

$$\text{Volume específico } \left(\frac{mL}{g} \right) = \frac{\text{Volume deslocado}}{\text{Peso da amostra assada}} \quad (8)$$

4.5.1.3 Índice de expansão

Para o cálculo do índice de expansão foi adaptado a metodologia utilizada por Silva *et al.* (2003). O Índice de Expansão (IE) dos pães foi calculado através da equação (9), onde, D_p e H_p é o diâmetro e altura dos pães após o forneamento (cm). E D_m e H_m é o diâmetro e altura das massas moldadas (cm).

$$\text{Índice de expansão} = \frac{\frac{D_p + H_p}{2}}{\frac{Dm + Hm}{2}} \quad (9)$$

4.5.1.4 Volume da massa produzido durante a fermentação

As análises de medições de volume de massa foram realizadas conforme metodologia indicada por Limongi (2010) na qual foi utilizada uma porção de massa de aproximadamente 120 gramas, fez-se um pão, logo em seguida este foi levado para fermentação com temperatura controlada. O volume foi determinado pela medição do ponto mais alto da massa e seu comprimento, essa medição foi realizada de 10 em 10 minutos até terminar o período de fermentação, 90 minutos.

4.5.1.5 Análise de estrutura do miolo

As estruturas dos miolos dos pães foram avaliadas através de imagens digitais segundo metodologia descrita por Gonzales-Barrón & Butler (2006) e Rosales-Juárez *et al.* (2008) com adaptações realizadas por Zambelli (2014). As imagens foram obtidas por digitalização em resolução de 550 dpi em scanner HP ScanJet 2400, na área central do miolo com resolução de 900x900 pixels. As imagens obtidas foram analisadas com o software ImageJ® 1.47v (National Institute of Health, USA). A partir disso, foi possível obter os valores do número de alvéolos, área, perímetro e circularidade dos poros.

4.5.1.6 Análise de cor

A análise de cor instrumental foi realizada mediante leituras utilizando o Colorímetro portátil - NR110 3nh, sendo estas constituídas de uma fatia de pão cada, as quais foram dispostas em fundo branco para a medição. Foram determinadas as coordenadas L*, a*, b* pelo sistema CIELAB, onde L* ou luminosidade ou claridade (100% correspondem ao branco e 0% ao preto), a* ou intensidade da cor vermelha/verde (quando positivo contribui para cor vermelha e quando negativo para cor verde) e b* ou intensidade da cor amarela/azul (quando positivo contribui para cor amarelo e quando negativo para cor azul) (McGUIRE, 1992). Avaliando-se ainda a cromaticidade ou saturação (C) e a tonalidade (ângulo Hue -h°), conforme a equação 10, baseado nos estudos do SEBRAE (2015), onde C corresponde a cromaticidade e h°

corresponde a tonalidade. Foi calculado o ΔE , que corresponde a uma medida da diferença total de cor entre duas amostras em um espaço de cor tridimensional, geralmente L*, a*, b*.

$$\Delta E = \sqrt{(L1^* - L2^*)^2 + (a1^* - a2^*)^2 + (b1^* - b2^*)^2} \quad (10)$$

4.5.2. Análises de qualidade das farinhas

4.5.2.1 Índice de absorção de água

Pesou-se em balança digital - S203H Bel Engineering, tubos para centrifugação, em triplicata e anotou-se os pesos de cada um. Em seguida foi pesado em cada tudo 1g da amostra das farinhas germinada e não germinada, anotando os respectivos pesos. Adicionou 10 mL de água destilada à cada amostra, agitou por 30 segundos, em seguida, deixou em repouso por 30 minutos, agitando ocasionalmente, passado esse tempo, foi centrifugado em centrífuga digital - NT 809, a 3000 rpm por 15 minutos, retirou cuidadosamente o sobrenadante sem perder material sedimentado. Foi pesado cada tubo com o sedimento úmido, anotando os respectivos pesos. Realizou-se os cálculos de acordo com a equação (11).

A capacidade de absorção de água é expressa em gramas de água retirada por grama de amostra seca.

$$IAA = \frac{g \text{ amostra}}{g \text{ amostra}} = \frac{\text{peso do sedimento úmido (g)} - \text{peso inicial da amostra (g)}}{\text{peso inicial da amostra (g)}} \quad (11)$$

4.5.2.2 Solubilidade em água

Pesou-se em balança digital - S203H Bel Engineering, tubos para centrifugação, em triplicata, anotou-se os respectivos pesos. Tarou-se placas de petri em triplicata por 1 hora a 105°C em estufa de Circulação Forçada de Ar - Q314D222 Quimis, posteriormente anotou os pesos de cada uma. Em seguida foi pesado em cada tubo de centrifugação 1 grama de amostra de farinha germinada e não germinada, anotou-se os pesos. Adicionou 10 mL de água às amostras e agitou por 30 segundos. Os tubos foram colocados em banho-Maria a 80°C por 30 minutos. Após esse período, centrifugou a mistura em 3000 rpm por 15 minutos em centrífuga digital – NT 809. O sobrenadante de cada tubo foi colocado em cada placa de petri e em seguida levou-se para a estufa de Circulação Forçada de Ar - Q314D222 Quimis à 105°C até que

estivesse totalmente seco. Foi pesado as placas de petri e anotou-se os pesos para realização do cálculo expresso na Equação abaixo.

$$\text{Solubilidade (\%)} = \frac{\text{peso do resíduo solúvel (g)}}{\text{peso inicial da amostra (g)}} * 100 \quad (12)$$

4.5.2.3 Poder de inchamento

Foi pesado em balança digital - S203H Bel Engineering, tubos para centrifugação, em triplicata e anotou-se os pesos de cada. Em seguida foi pesado em cada tubo aproximadamente 1 grama de amostras de farinha germinada e não germinada, anotou os pesos e adicionou 15 mL de água destilada. Os tubos foram colocados em banho-Maria à 90°C por 30 minutos, misturando ocasionalmente para evitar grumos, após esse aquecimento, resfriou-se os tubos até atingir temperatura ambiente, centrifugou em centrífuga digital – NT 809, a 3000 rpm por 15 minutos. Retirou cuidadosamente o sobrenadante, descartou e pesou-se os tubos com o precipitado, anotando os pesos para os cálculos. O poder de inchamento é expresso pela massa da amostra úmida por unidade da massa seca, conforme a fórmula (13).

$$\text{Poder de inchamento (g/g)} = \frac{\text{peso do sedimento úmido (g)}}{\text{peso da amostra seca (g)}} \quad (13)$$

Também foi realizada análise de cor conforme metodologia mencionada no tópico 4.5.1.6 - Análise de cor.

4.5.3 Análise microscópica

4.5.3.1 Análise de microscopia eletrônica de varredura

A análise das amostras foi realizada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) utilizando o equipamento Quanta 450-FEG da FEI, pertencente à Central Analítica da Universidade Federal do Ceará (UFC). Para a preparação das amostras, inicialmente estas foram fixadas em solução de glutaraldeído a 2,5% em tampão fosfato de sódio 0,1 M, permanecendo imersas por aproximadamente 4 horas. Em seguida, as amostras foram lavadas três vezes com o mesmo tampão, durante 10 minutos cada lavagem. Posteriormente, procedeu-se à desidratação gradual das amostras em série crescente de soluções de acetona (30%, 50%, 70%, 90% e 100%), com permanência de 10 minutos em cada concentração. As amostras foram então

submetidas à secagem ao ar ou secagem por ponto crítico. Para tornar as amostras condutoras e evitar acúmulo de carga durante a leitura, estas foram recobertas com uma fina camada de ouro, utilizando-se um metalizador automático.

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4 apresenta os resultados referentes a atividade antioxidante, teor de polifenóis, antocianinas e flavonoides das farinhas e dos pães processados com farinhas germinadas e não-germinadas de flamboyant mirim.

Tabela 4 - Atividade antioxidante, teor de polifenóis, antocianinas e flavonoides das farinhas de flamboyant e pães.

Amostras	Atividade antioxidante ($\mu\text{mol TE/g de produto}$)	Fenólicos totais (mg GAE/g de produto)	Antocianinas (mg de cianidina-3-glicosídeo/g de produto)	Flavonoides (mg EQ/g de produto)
FG	335,3 ^A ±0,14	0,0405 ^A ±0,15	2,30 ^A ±0,06	5,94 ^A ±0,08
FNG	220,33 ^B ±0,12	0,0263 ^B ±0,12	2,42 ^A ±0,08	5,16 ^B ±0,05
Padrão	3,50 ^g ±0,09	0,097 ^f ±0,11	11,43 ^a ±0,18	7,46 ^d ±0,02
FG2	4,36 ^f ±0,10	0,902 ^e ±0,13	9,08 ^b ±0,08	7,46 ^d ±0,04
FG4	8,71 ^e ±0,12	0,947 ^{cd} ±0,12	8,76 ^{bc} ±0,12	7,66 ^{bc} ±0,04
FG6	13,07 ^{cd} ±0,10	0,980 ^c ±0,13	8,32 ^c ±0,09	7,74 ^b ±0,03
FG8	17,42 ^b ±0,05	1,34 ^b ±0,12	8,20 ^c ±0,10	7,93 ^a ±0,06
FG10	21,78 ^a ±0,08	1,55 ^a ±0,14	7,64 ^e ±0,09	8,06 ^a ±0,04
FNG2	3,99±0,03	0,914 ^{de} ±0,13	8,76 ^{bc} ±0,05	7,46 ^c ±0,03
FNG4	5,73 ^{ef} ±0,06	0,914 ^{de} ±0,14	8,48 ^c ±0,05	7,54 ^{bc} ±0,03
FNG6	8,59 ^e ±0,09	0,937 ^d ±0,14	8,38 ^{cd} ±0,04	7,54 ^{bc} ±0,06
FNG8	11,45 ^d ±0,03	0,942 ^{cd} ±0,11	8,34 ^{cd} ±0,09	7,58 ^{bc} ±0,03
FNG10	14,32 ^c ±0,09	0,959 ^{cd} ±0,15	8,27 ^{cd} ±0,12	7,61 ^{bc} ±0,04

TE: trolox equivalente; GAE: ácido gálico equivalente; EQ = quercetina equivalente.

Padrão: pão sem adição de farinha de flamboyant-mirim; FG: farinha de flamboyant germinada; FNG: farinha de flamboyant não-germinada; FG2: pão com 2% de farinha germinada de flamboyant-mirim; FG4: pão com 4% de farinha germinada de flamboyant-mirim; FG6: pão com 6% de farinha germinada de flamboyant-mirim; FG8: pão com 8% de farinha de

flamboyant-mirim germinada; FG10: pão com 10% de farinha germinada de flamboyant mirim; FNG2: pão com 2% de farinha de flamboyant-mirim não-germinada; FNG4: pão com 4% de farinha de flamboyant-mirim não-germinada; FNG6: pão com 6% de farinha de flamboyant-mirim não-germinada; FNG8: pão com 8% de farinha de flamboyant-mirim não-germinada; FNG10: pão com 10% de farinha de flamboyant-mirim não-germinada.

Cada valor representa a média e o desvio controle das repetições.

Valores com letras minúsculas diferentes em cada coluna representam diferença significativa ($p<0,05$).

Os resultados demonstram que a adição da farinha com sementes germinadas de flamboyant-mirim (FG) promove um aumento progressivo e significativo na atividade antioxidante dos pães, proporcional ao nível de incorporação (2%, 4%, 6%, 8% e 10%). A farinha germinada apresentou uma elevada capacidade antioxidante ($335,3\pm0,14 \mu\text{mol TE/g}$), superior à farinha não germinada ($220,33\pm0,12 \mu\text{mol TE/g}$), corroborando com a literatura que destaca o impacto da germinação na intensificação dos compostos bioativos em grãos e sementes (CHAVAN *et al.*, 2012).

O pão padrão, sem adição de farinha de flamboyant-mirim, apresentou uma atividade antioxidante bastante inferior ($3,50\pm0,09 \mu\text{mol TE/g}$), resultado típico de produtos baseados exclusivamente em farinha de trigo refinada, a qual possui baixo teor de compostos fenólicos devido ao processo de refino que remove farelo e gérmen, principais fontes desses compostos.

A inclusão da farinha germinada levou a aumentos substanciais, sendo que o pão com 10% de FG atingiu $21,78\pm0,08 \mu\text{mol TE/g}$, um valor aproximadamente 6 vezes superior ao pão padrão. Este comportamento demonstra uma relação linear clara, reforçando que a farinha germinada é uma fonte eficaz de antioxidantes, mesmo após o processamento térmico durante a panificação.

Por outro lado, os pães elaborados com farinha não germinada (FNG) também apresentaram incremento na atividade antioxidante em relação ao pão padrão, porém de forma significativamente inferior aos produzidos com a farinha germinada. O pão com 10% de FNG (FNG10) obteve $14,32\pm0,09 \mu\text{mol TE/g}$, evidenciando que, embora a farinha não germinada seja uma fonte de compostos antioxidantes, sua eficácia é sensivelmente menor, confirmando que a germinação é um processo capaz de potencializar a bioatividade dos compostos presentes na semente.

Os teores de fenólicos totais acompanharam o comportamento da atividade antioxidante. A farinha germinada apresentou um teor expressivamente superior ($0,0405\pm0,15 \text{ mg GAE/g}$) quando comparado à farinha não germinada ($0,0263\pm0,10 \text{ mg GAE/g}$), refletindo

o aumento da biossíntese de compostos fenólicos durante a germinação, como descrito na literatura (Swieca *et al.*, 2014; Rocha-Guzmán *et al.*, 2009).

Os pães enriquecidos com FG mostraram um aumento progressivo dos fenólicos, variando de 0,902 a 1,05 mg GAE/g, enquanto os pães com FNG variaram entre 0,914 a 0,959 mg GAE/g, indicando que embora ambos promovam incremento dos fenólicos em relação ao pão padrão ($0,097 \pm 0,11$ mg GAE/g), o efeito da germinação é mais expressivo.

É importante destacar que, ao contrário da atividade antioxidante, os valores de fenólicos totais nos pães com FNG e FG são relativamente próximos nas concentrações mais altas (8% e 10%), o que sugere que parte dos compostos fenólicos presentes são termicamente estáveis ou que o processamento reduziu proporcionalmente tanto os compostos oriundos da farinha germinada quanto da não germinada.

A farinha não germinada mostrou um conteúdo de antocianinas levemente superior ($2,42 \pm 0,08$ mg C3G/g) ao da farinha germinada ($2,30 \pm 0,06$ mg C3G/g), sugerindo que parte dos pigmentos antociânicos pode ter sido degradada ou convertida em outros compostos durante o processo de germinação. Este comportamento é consistente com relatos que descrevem que a germinação, embora favoreça a produção de fenólicos não pigmentados (ácidos fenólicos e flavonoides), pode reduzir pigmentos sensíveis como antocianinas devido à atividade de enzimas oxidativas.

Nos pães, tanto com FG quanto com FNG, observou-se manutenção relativamente estável das antocianinas, variando entre 7,64 e 10,20 mg C3G/g, com tendência de redução nas formulações com maiores percentuais. Esse comportamento possivelmente está relacionado à degradação térmica das antocianinas durante o forneamento, fenômeno amplamente documentado na literatura (Cavalcante *et al.*, 2021; Sadilova *et al.*, 2006). Tanto os pães com FG quanto com FNG apresentaram teores de antocianinas significativamente maiores que o pão padrão ($11,43 \pm 0,18$ mg C3G/g), o que reflete a contribuição direta da farinha de flamboyant-mirim como fonte natural desses compostos.

Os teores de flavonoides totais foram os parâmetros que menos variaram entre os tratamentos, mostrando relativa estabilidade, com valores entre 7,46 e 7,61 mg EQ/g nos pães adicionados de farinha (tanto FG quanto FNG), enquanto a farinha germinada apresentou $5,94 \pm 0,08$ mg EQ/g e a não germinada $6,05 \pm 0,09$ mg EQ/g. O pão padrão apresentou valor inferior ($2,36 \pm 0,06$ mg EQ/g), indicando que a farinha de flamboyant-mirim, independentemente do processamento germinativo, contribui de maneira significativa com o aporte de flavonoides.

Desta forma, a germinação se confirmou como uma estratégia eficiente para o aumento da bioatividade da farinha de flamboyant-mirim. O incremento nos compostos fenólicos e na

atividade antioxidante tem implicações diretas não apenas na melhoria do perfil nutricional dos pães, mas também na sua estabilidade oxidativa, o que pode se traduzir em aumento da vida de prateleira, retardamento do ranço e melhoria da qualidade sensorial.

O fato de que, nas menores concentrações (2% e 4%), os pães com farinha germinada (FG2 e FG4) já apresentam melhorias notáveis na atividade antioxidante, sugere que formulações funcionais podem ser elaboradas sem comprometer características tecnológicas, como textura e volume do pão, que poderiam ser afetadas por adições muito elevadas de farinhas alternativas.

Por outro lado, os pães elaborados com farinha não germinada, embora apresentem ganhos antioxidantes relevantes, são sempre inferiores aos produzidos com farinha germinada, reforçando que o processo de germinação não apenas melhora o valor nutricional, mas também maximiza o aproveitamento dos compostos bioativos presentes na semente.

A Tabela 5 apresenta os resultados experimentais com relação às propriedades físicas dos pães adicionados de farinha de flamboyant mirim germinada e não germinada.

Tabela 5- Análises físicas dos pães adicionados de farinha de semente de flamboyant-mirim germinada e não-germinada

Amostras	Volume Específico (mL/g)	Índice de Expansão	Volume Produzido (mL)	Fator de Expansão (cm ³)	Número de Alvéolos	Circularidade dos Alvéolos
Padrão	2,73 ^a ±0,18	1,68 ^a ±0,09	12 ^a ±2,12	2,79 ^a ±0,3	1218 ^a ±10	0,92 ^a ±0,02
FG2	2,59 ^a ±0,12	1,55 ^a ±0,05	10 ^a ±1,24	2,38 ^a ±0,2	1050 ^{ab} ±6	0,87 ^{ab} ±0,02
FG4	2,26 ^{ab} ±0,1	1,41 ^b ±0,0	9,5 ^{ab} ±1,93	2,10 ^{ab} ±0,2	910 ^b ±73	0,81 ^c ±0,03
FG6	1,73 ^c ±0,18	1,33 ^c ±0,04	7,0 ^c ±2,18	1,94 ^{ab} ±0,2	729 ^d ±85	0,63 ^d ±0,03
FG8	1,35 ^d ±0,15	1,18 ^d ±0,0	6,4 ^d ±1,84	1,77 ^b ±0,2	701 ^d ±63	0,51 ^e ±0,02
FG10	1,34 ^d ±0,15	1,16 ^d ±0,0	6,2 ^d ±1,50	1,72 ^b ±0,3	682 ^e ±77	0,50 ^e ±0,02
FNG2	2,58 ^a ±0,19	1,64 ^a ±0,05	10,17 ^a ±1,2	2,64 ^a ±0,3	1042 ^{ab} ±7	0,84 ^{ab} ±0,02
FNG4	2,24 ^{ab} ±0,1	1,40 ^b ±0,0	9,37 ^{ab} ±2,09	2,07 ^{ab} ±0,2	903 ^b ±84	0,78 ^c ±0,02
FNG6	2,11 ^{ab} ±0,1	1,34 ^c ±0,04	8,92 ^b ±1,50	1,98 ^{ab} ±0,2	866 ^c ±48	0,75 ^c ±0,03
FNG8	1,88 ^b ±0,14	1,27 ^{cd} ±0,0	8,02 ^b ±0,79	1,84 ^b ±0,2	773 ^d ±69	0,69 ^{cd} ±0,03
FNG10	1,81 ^b ±0,18	1,26 ^{cd} ±0,0	7,28 ^c ±1,30	1,80 ^b ±0,1	765 ^d ±52	0,66 ^{cd} ±0,02

Padrão: pão sem adição de farinha de flamboyant-mirim; FG2: pão com 2% de farinha germinada de flamboyant-mirim; FG4: pão com 4% de farinha germinada de flamboyant-mirim; FG6: pão com 6% de farinha germinada de flamboyant-mirim; FG8: pão com 8% de farinha germinada de flamboyant-mirim; FG10: pão com 10% de farinha germinada de flamboyant-mirim; FNG2: pão com 2% de farinha de flamboyant-mirim não-germinada; FNG4: pão com 4% de farinha de flamboyant-mirim não-germinada; FNG6: pão com 6% de farinha de flamboyant-mirim não-germinada; FNG8: pão com 8% de farinha de flamboyant-mirim não-germinada; FNG10: pão com 10% de farinha de flamboyant-mirim não-germinada. Cada valor representa a média e o desvio controle das repetições. Valores com letras minúsculas diferentes em cada coluna representam diferença significativa ($p<0,05$).

De acordo com os resultados obtidos, pode-se verificar que os tratamentos aplicados promoveram modificações significativas no volume específico dos pães. O pão padrão apresentou o maior volume específico (2,73 mL/g), entretanto, não houve diferença significativa em comparação ao pão produzido com 2% de farinha germinada (2,59 mL/g) e com 2% de farinha não germinada (2,58 mL/g). A partir de 4% de incorporação das farinhas germinadas e não germinadas foi observada uma redução progressiva no volume específico. Os menores valores de volume específico foram obtidos para os pães produzidos a partir das concentrações de 8% e 10% de farinhas germinadas e não germinadas, contudo, os pães produzidos via farinha não germinadas apresentaram volumes específicos finais maiores que as germinadas (1,88 mL/g vs 1,34 mL/g).

Comportamento semelhante foi observado por Tanga *et al.*, (2025), onde o volume específico dos pães se reproduziu progressivamente com o aumento da utilização da farinha de gafanhoto do deserto. De acordo com Oliveira *et al.*, (2017), a inclusão de farinhas não formadoras de glúten pode reduzir a viscoelasticidade das massas e aumentar a rigidez das células de gás dissolvidas na massa, o que minimiza sua tendência de expansão, desta forma, por consequência, o volume dos pães é menor.

Em relação ao volume produzido (mL), o Padrão apresentou o maior volume ($12\pm2,12$ mL), enquanto as amostras com menor volume produzido foram FNG8 ($7,02\pm0,79$ mL) e FNG10 ($7,28\pm1,30$ mL), demonstrando menor capacidade de expansão. De acordo com Ari Akin *et al.*, (2022), a adição de proteínas em formulações de pães pode afetar parâmetros-chave de qualidade como o volume produzido durante a fermentação. Espinoza-Herrera *et al.*, (2021) atribuem este comportamento à inclusão de farinhas não formadoras de glúten, fibras e minerais que possuem a capacidade de enfraquecer e diluir o glúten.

Assim como as outras variáveis expansivas, o fator de expansão das massas apresentou comportamento inversamente proporcional à adição das farinhas de flamboyant-mirim. Contudo, pode-se verificar que as farinhas não germinadas proporcionaram maior fator de expansão quando comparado às farinhas germinadas.

A germinação das sementes é o processo no qual o embrião presente na semente se desenvolve em plâmlula e radícula. As sementes absorvem água, o que incha os tecidos inativos e inicia a divisão celular. A radícula surge da micrópila, que se move para baixo e penetra no solo. Neste processo, enzimas como amilase, protease e lipase são produzidas e responsáveis por solubilizar o material alimentar excedente na forma de amido, proteína e lipídios, respectivamente e fornecem energia e outros materiais alimentares fundamentais para o embrião em germinação (JOSHI, 2018).

Desta forma, a inclusão de farinha de sementes germinadas inclui enzimas com atividade hidrolíticas como a α -amilase e a β -amilase, que promovem a quebra das cadeias de amido em açúcares menores. Essa hidrólise reduz a quantidade de amido disponível para a gelatinização durante o processo de forneamento do pão. De acordo com a Wang, *et al.* (2021) a gelatinização consiste em um processo essencial para a formação de uma estrutura porosa expansível na matriz da massa. A menor disponibilidade de amido intacto limita a capacidade de aprisionamento de gases e, consequentemente, reduz o volume final da massa.

Além disso, a germinação pode alterar significativamente a composição proteica e estrutural das farinhas, promovendo modificações que resultam em redes menos coesas e menos elásticas, dificultando a retenção de gases formados durante o aquecimento e, portanto, diminuindo a capacidade de expansão da massa. Bilal, *et al.* (2025) ressaltam que o glúten durante o forneamento sofre polimerização mediada por ligações dissulfeto, levando à formação de redes estáveis. O desenvolvimento estrutural induzido pelo calor é importante para determinar a capacidade de expansão da massa e o volume final do pão. Desta forma, como a inclusão da farinha das sementes de flamboyant-mirim germinadas proporcionou a adição de proteases, estas, podem ter reduzido a quantidade de glúten disponível e proporcionando massas com menor capacidade de expansão e pães com volume reduzido quando comparado com os pães produzidos com farinhas não germinadas.

O número de alvéolos do miolo dos pães foi influenciado significativamente pela incorporação das farinhas de flamboyant-mirim. O maior valor foi obtido pela formulação padrão (1218 ± 108), a qual diferiu estatisticamente ($p < 0,05$) das demais formulações desenvolvidas. Um miolo com um elevado número de alvéolos sugere uma estrutura porosa e aeradas, o que é desejável em produtos de panificação. À medida em que as farinhas de

flamboyant-mirim foram sendo adicionadas, menor foi o número de alvéolos observado. O menor número de alvéolos foi observado para a formulação FG10 com 682 alvéolos.

Este resultado pode ser analisado de duas formas:

De modo geral, a inclusão de farinhas não formadoras de glúten adiciona fibras e minerais na estrutura do pão, o que é danoso ao glúten, promovendo fissuras e rasgos, conforme observado por Galvão, *et al.* (2018) através de análise de microscopia eletrônica de varredura. Desta forma, quanto maior a concentração da farinha de flamboyant-mirim menor a porosidade do miolo dos pães, seja farinhas germinadas ou não germinadas. Ao compararmos o resultado entre as farinhas, sem a presença do padrão, podemos observar que o efeito das farinhas germinadas é mais danoso ao número de alvéolos do que as farinhas não germinadas. Neste sentido, a possível presença das enzimas α -amilase e a β -amilase em maior quantidade por conta do processo de germinação pode ter influenciado na quantidade de amido íntegro disponível para a formação do miolo do pão. Este efeito é confirmado por Heberle, *et al* (2023) que estudou a inclusão de farinhas germinadas de arroz em formulações de pães. Os autores observaram que quanto maior o tempo de germinação do arroz, menor foi o teor de amido total apresentado, o que sugere uma redução da quantidade de amido disponível para o processo de gelatinização durante o forneamento.

O amido exerce uma função central na formação da estrutura interna do pão (miolo), especialmente na definição do número e no tamanho dos alvéolos. Durante o aquecimento no processo de panificação, os grânulos de amido sofrem a gelatinização através da absorção de água e posterior inchaço até o rompimento de sua estrutura interna. Este processo ocorre simultaneamente à expansão dos gases (gás carbônico) provenientes da fermentação, contribuindo para o aumento do volume e estabilização da rede de alvéolos (RATHNAYAKE, *et al.*, 2018; ZHU, *et al.*, 2024).

Esta matriz amilácea gelatinizada atua como suporte mecânico para as bolhas de gás carbônico, colaborando para manter a sua integridade até que a estrutura do pão se solidifique durante o processo de resfriamento (HUANG, *et al.*, 2014). Sendo assim, quanto maior a disponibilidade de amido íntegro, mais eficiente será essa função de suporte, resultando em um número maior de alvéolos, com distribuição uniforme e estrutura leve e aerada. Por outro lado, a degradação do amido pela ação enzimática proporcionada pela inclusão das farinhas de flamboyant mirim germinadas compromete a formação desta matriz, levando à colapso parcial das células de gás e, como consequência, uma estrutura de miolo mais densa e compacta, caracterizada pelo menor número de alvéolos.

Este comportamento também interferiu diretamente na circularidade dos alvéolos. Os pães padrão apresentaram uma circularidade média de 0,92, enquanto as formulações FG10 e FG8 apresentaram os menores valores (0,50 e 0,51 respectivamente).

Heberle *et al.* (2022) também observaram redução do número de alvéolos ao incorporar farinhas de arroz germinadas em formulações de pães, contudo, não foram observadas diferenças significativas nos valores de circularidade, porém, os autores estudaram apenas com o tempo de germinação e não com a quantidade de farinha incluída na formulação de pães, o que pode minimizar os efeitos sobre a circularidade, uma vez que é mais dependente da força do glúten em reter os gases dentro da matriz amilácea.

Bicalho, *et al.*, (2019) avaliaram a distribuição alveolar em pães tipo francês adicionados de mucilagem liofilizada de taro (*Colocasia esculenta Schott*) e observaram que sem a inclusão de aditivos como emulsificantes, polidextrose ou amido de milho modificado enzimaticamente não é possível manter o mesmo padrão de distribuição dos alvéolos.

A Tabela 6 apresenta os resultados experimentais com relação às propriedades físicas da farinha de semente de flamboyant-mirim germinada e não-germinada.

Tabela 6- Análises físicas da farinha de semente de flamboyant-mirim germinada e não germinada

Amostras	Índice de solubilidade (%)	Índice de absorção de água (g água/g)	Poder de inchamento (g/g)
FG	97,015	3,06	5,13
FNG	97,015	2,34	4,91

FG: Farinha germinada e FNG: Farinha não germinada.

No parâmetro que diz respeito ao Índice de Solubilidade em Água (ISA), ambas as farinhas apresentaram alta solubilidade (97,015%), o que indica boa dispersibilidade em meio aquoso, favorável para alimentos instantâneos. No índice de absorção de água (IAA), a farinha germinada (3,06 g/g) absorveu mais água que a não germinada (2,34 g/g), devido às alterações estruturais provocadas pela germinação. No parâmetro poder de inchamento (PI), o poder de inchamento também foi maior na farinha germinada (5,13 g/g), relacionado à gelatinização parcial dos amidos e à ação enzimática durante a germinação.

Em estudo com farinha de grão-de-bico germinado, OLIVEIRA *et al.* (2020) relataram ISA de 84,2%, IAA de 2,91 g/g e PI de 4,65 g/g, valores inferiores aos obtidos na farinha de flamboyant, principalmente no índice de solubilidade, o que sugere potencial interessante da farinha de flamboyant para aplicações em alimentos instantâneos. Já SOUZA *et al.* (2018),

avaliando farinha de feijão-de-corda germinado, encontraram ISA de 90,5%, IAA de 2,70 g/g e PI de 4,85 g/g, resultados próximos aos da farinha de flamboyant, reforçando que a germinação melhora significativamente as propriedades físico-funcionais das farinhas.

5.1. Análise de cor

A Tabela 7 apresenta valores dos parâmetros colorimétricos (L^* , a^* , b^* , C e h°) para os pães desenvolvidos. Esses parâmetros indicam características da cor, sendo L (luminosidade, tendência do branco ao preto), a^* (tendência ao vermelho ou verde), b^* (tendência ao amarelo ou azul), C (croma, intensidade da cor) e h° (matiz, ângulo de tonalidade).

Tabela 7- Análise colorimétrica dos pães adicionados de farinha de semente de flamboyant-mirim germinada e não-germinada

Amostras	L^*	a^*	b^*	C	h°	ΔE
Padrão	65,61 ^a ±0,53	0,51 ^d ±0,04	26,53 ^a ±0,10	26,54 ^a ±0,10	88,90 ^{ab} ±0,10	-
FG2	64,83 ^a ±0,60	0,48 ^d ±0,15	22,40 ^{ab} ±4,37	22,40 ^{ab} ±4,37	89,54 ^a ±0,35	4,14
FG4	64,48 ^a ±	0,43 ^d ±0,13	19,54 ^{bc} ±1,25	19,54 ^c ±1,25	88,71 ^{ab} ±0,45	5,70
FG6	64,89 ^a ±0,19	0,70 ^c ±0,39	19,00 ^{bc} ±0,89	19,01 ^c ±0,91	87,90 ^b ±1,06	6,55
FG8	62,40 ^b ±0,35	0,68 ^c ±0,29	20,88 ^b ±0,32	20,88 ^b ±0,19	88,75 ^{ab} ±0,88	7,66
FG10	60,55 ^b ±0,41	1,17 ^b ±0,08	22,89 ^{ab} ±0,54	22,92 ^{ab} ±0,53	87,06 ^b ±0,27	7,07
FNG2	61,23 ^c ±0,71	0,35 ^f ±0,18	18,85 ^{bc} ±0,74	18,86 ^{cd} ±0,75	91,07 ^a ±0,59	8,10
FNG4	63,52 ^{ab} ±0,4	0,22 ^e ±0,05	18,69 ^c ±0,55	18,69 ^{cd} ±0,55	90,68 ^a ±0,14	9,06
FNG6	58,70 ^d ±0,24	0,40 ^{de} ±0,1	18,01 ^c ±0,98	18,02 ^{cd} ±0,98	88,70 ^{ab} ±0,43	9,31
FNG8	55,34 ^e ±0,28	1,32 ^{ab} ±0,0	15,06 ^e ±0,34	15,12 ^f ±0,34	84,98 ^b ±0,09	13,22
FNG10	48,69 ^f ±0,15	2,71 ^a ±1,73	16,77 ^d ±1,09	17,03 ^e ±1,39	81,07 ^c ±4,97	19,19

Padrão: pão sem adição de farinha de flamboyant-mirim; FG2: pão com 2% de farinha germinada de flamboyant-mirim; FG4: pão com 4% de farinha germinada de flamboyant-mirim; FG6: pão com 6% de farinha germinada de flamboyant-mirim; FG8: pão com 8% de farinha de flamboyant-mirim germinada; FG10: pão com 10% de farinha germinada de flamboyant mirim; FNG2: pão com 2% de farinha de flamboyant-mirim não-germinada; FNG4: pão com 4% de farinha de flamboyant-mirim não-germinada; FNG6: pão com 6% de farinha

de flamboyant-mirim não-germinada; FNG8: pão com 8% de farinha de flamboyant-mirim não-germinada; FNG10: pão com 10% de farinha de flamboyant-mirim não-germinada.

Cada valor representa a média e o desvio controle das repetições.

Valores com letras minúsculas diferentes em cada coluna representam diferença significativa ($p<0,05$).

O parâmetro L^* , que representa a luminosidade (0 = preto; 100 = branco), diminuiu gradualmente com o aumento da concentração de farinha de flamboyant mirim, especialmente nas amostras com farinha não germinada. A amostra padrão apresentou o maior valor de L^* ($65,61\pm0,53$), enquanto a FNG10 (com 10% de farinha não germinada) teve o menor valor ($48,69\pm0,15$), indicando coloração significativamente mais escura.

Essa redução da luminosidade pode ser atribuída à coloração intrínseca das farinhas adicionadas, bem como ao maior teor de compostos fenólicos e pigmentos naturais presentes na farinha do flamboyant-mirim. A germinação, por sua vez, parece mitigar parcialmente essa queda, positivamente devido à degradação parcial de pigmentos e à ativação de enzimas oxidativas que promovem reações de escurecimento enzimático menos intensas nas formulações contendo farinhas germinadas.

Os valores de a^* , que representam a transição entre tons verdes (valores negativos) e vermelhos (valores positivos), apresentaram um aumento significativo com o aumento da concentração de farinha flamboyant, principalmente nas formulações com farinha não germinada. A amostra padrão teve a menor intensidade de vermelho ($0,51\pm0,04$), enquanto FNG10 atingiu o maior valor ($2,71\pm1,73$). Esse comportamento indica um aumento progressivo de tonalidades avermelhadas nos pães enriquecidos com FNG. A germinação novamente parece suavizar esse efeito, provavelmente devido à degradação de pigmentos precursores de colorações vermelhas ou à modificação estrutural dos compostos fenólicos durante o processo germinativo.

O parâmetro b^* , responsável pela transição de azul (valores negativos) para amarelo (valores positivos), foi o que apresentou maior variação em resposta às formulações. A amostra padrão teve o maior valor de b^* ($26,53\pm0,10$), com queda progressiva nos valores com o aumento da concentração de farinha flamboyant, chegando a $15,06\pm0,34$ na amostra FNG8.

Essa redução nos valores de b^* indica que os produtos ficaram menos amarelados com o aumento da incorporação das farinhas de flamboyant, sendo esse efeito mais acentuado nas formulações não germinadas. Esse resultado pode estar relacionado à menor intensidade de

pigmentos amarelos (como carotenóides) ou à maior densidade de compostos fenólicos que conferem coloração mais escura e menos vibrante.

Por sua vez, o croma (C) expressa a intensidade ou saturação da cor. O pão padrão apresentou o maior valor de croma ($26,54 \pm 0,10$), sugerindo uma coloração viva e intensa. Com a adição de farinha flamboyant, especialmente em maiores concentrações, os valores de C diminuíram, com o menor valor sendo observado em FNG10 ($17,03 \pm 1,39$). Este decréscimo está em linha com os valores decrescentes de b^* e a^* nas formulações, sinalizando uma perda da vivacidade da cor, que se torna mais opaca e escura. A redução da intensidade da cor pode ser explicada tanto pela absorção de luz por compostos escuros, como fenóis oxidados, quanto por mudanças estruturais nos constituintes da massa que afetam a interação com a luz.

O ângulo de matiz (h°) representa a percepção da tonalidade da cor (0° = vermelho puro; 90° = amarelo puro; 180° = verde puro; 270° = azul puro). O padrão apresentou valor próximo a 89° , o que está de acordo com uma coloração predominantemente amarela, conforme pode ser observada na Figura 6. As amostras FG mantiveram valores relativamente semelhantes, variando entre $87,90^\circ$ e $88,71^\circ$, sugerindo que a tonalidade geral permaneceu dentro da faixa do amarelo, mesmo com variações nos demais parâmetros.

Figura 6 - Fatia do pão padrão, pão com farinha germinada 10% e pão com farinha não germinada 10%



Fonte: Elaborada pela autora, 2025

Em contrapartida, as formulações FNG apresentaram queda significativa no ângulo de matiz, chegando a $81,07^\circ$ na amostra FNG10. Essa diminuição indica uma transição da cor em direção a tons mais alaranjados ou avermelhados, acompanhando o aumento de a^* e a redução

de b*, corroborando com a maior presença de compostos cromóforos não degradados e ausência de modulação enzimática conferida pela germinação.

Os resultados dos parâmetros de cor indicam que tanto a germinação quanto a concentração da farinha de flamboyant mirim influenciaram significativamente as características visuais dos pães. A germinação atenuou os efeitos de escurecimento e saturação de cores, resultando em produtos com coloração mais próxima ao padrão, enquanto as farinhas não germinadas promoveram maior escurecimento, aumento dos tons vermelhos e perda de vivacidade da cor.

Estas modificações sensoriais devem ser levadas em consideração no desenvolvimento de novos produtos, pois podem influenciar a aceitação sensorial do consumidor, sendo especialmente relevantes em produtos de panificação, onde a cor do miolo é um indicador de qualidade e frescor, entretanto, por se tratar de um produto fortificado, a tolerância do consumidor é maior para os desvios de coloração com relação ao padrão.

A diferenciação do padrão é representada pela variável (ΔE) e é de extrema importância para avaliar a cor como atributo de qualidade sensorial primário, pois a cor é o primeiro contato sensorial entre o consumidor e o alimento, influenciando diretamente a expectativa de sabor, frescor e qualidade. Esta variável traduz a percepção visual humana em um valor objetivo, respondendo ao seguinte questionamento: “O consumidor percebe ou não a modificação da coloração”?

De acordo com Sharma, *et al.* (2005), um alimento com valores de ΔE entre 3,5 e 5,0 as diferenças são claramente perceptíveis, enquanto acima de 5,0 a diferença de coloração é forte e evidente. De fato, a inclusão das farinhas de flamboyant mirim germinadas e não germinadas alteram significativamente a coloração do miolo do pão e é perceptível para o consumidor. Contudo, por se tratar de um produto fortificado, esta alteração não representa, necessariamente, um prejuízo sensorial.

Carvalho, *et al.* (2023) estudaram o impacto da adição de besouro vermelho em formulações de pães, onde foi observada a redução da luminosidade, bem como o aumento de ΔE à medida em que a incorporação do besouro foi elevada. Os valores de diferenciação de padrão ficaram entre 5,0 e 6,5, demonstrando uma diferenciação na coloração forte e evidente, assim como o encontrado para a incorporação das farinhas de flamboyant-mirim.

A inclusão de hidrolisados de proteína de pólen de milho estabilizados por secagem em *spray dryer* em formulações de pães foi estudado por Peighambardoust, *et al.*, (2025). Os pães adicionados do pó do hidrolisado apresentaram variações de coloração substanciais em relação

ao padrão. Os valores de ΔE foram superiores a 38,0; sugerindo que o hidrolisado altera significativamente a coloração dos pães.

A inclusão de peptídeos extraídos do alho vermelho e microencapsulado com biopolímeros também promoveu modificações significativas na coloração do miolo de pães. A incorporação dos peptídeos levou a um pão mais escuro, tanto na crosta quanto no miolo quando comparado ao pão controle (ZOLQADRI, *et al.*, 2025).

A Tabela 8 apresenta a caracterização colorimétrica das farinhas de sementes de flamboyant germinadas (FG) e não germinadas (FNG) pelos parâmetros do sistema CIELAB: L* (luminosidade), a* (variação entre verde e vermelho), b* (variação entre azul e amarelo), C (croma) e H^o (ângulo de matiz).

Tabela 8 - Análise colorimétrica das farinhas de semente de flamboyant-mirim germinada e não-germinada

Amostras	L*	a*	b*	C	H^o
FG	57,30 ^b ±0,84	5,71 ^a ±0,75	30,04 ^a ±1,45	30,58 ^a ±1,45	79,22 ^b ±1,40
FNG	62,53 ^a ±2,23	2,45 ^b ±0,12	27,23 ^b ±0,47	27,34 ^b ±048	84,87 ^a ±0,18

FG: farinha de flamboyant-mirim germinada; FNG: farinha de flamboyant-mirim não germinada. Cada valor representa a média e o desvio controle das repetições. Valores com letras minúsculas diferentes em cada coluna representam diferença significativa ($p<0,05$).

A farinha não germinada apresentou maior valor de luminosidade, indicando que é mais clara que a amostra germinada. A redução da luminosidade da farinha germinada pode estar relacionada à formação de pigmentos escuros durante o processo de germinação, como produtos de reações enzimáticas ou degradação de compostos fenólicos. A germinação aumentou significativamente o valor de a*, indicando que a amostra germinada apresenta uma tonalidade mais avermelhada. Isso pode estar associado à síntese ou liberação de compostos fenólicos ou pigmentos naturais durante o processo germinativo.

O valor de b* também foi maior na farinha germinada, indicando uma tonalidade mais amarelada. Este aumento pode resultar de alterações na composição de carotenoides e flavonoides induzidos pela germinação. A croma (C) foi maior para FG, o que reflete uma cor mais intensa na farinha germinada. Isso reforça a ideia de que a germinação intensificou os pigmentos responsáveis pelas tonalidades amarela e vermelha. Por sua vez, o ângulo de tonalidade (H^o) foi maior na amostra FNG, sugerindo uma tonalidade mais amarelada

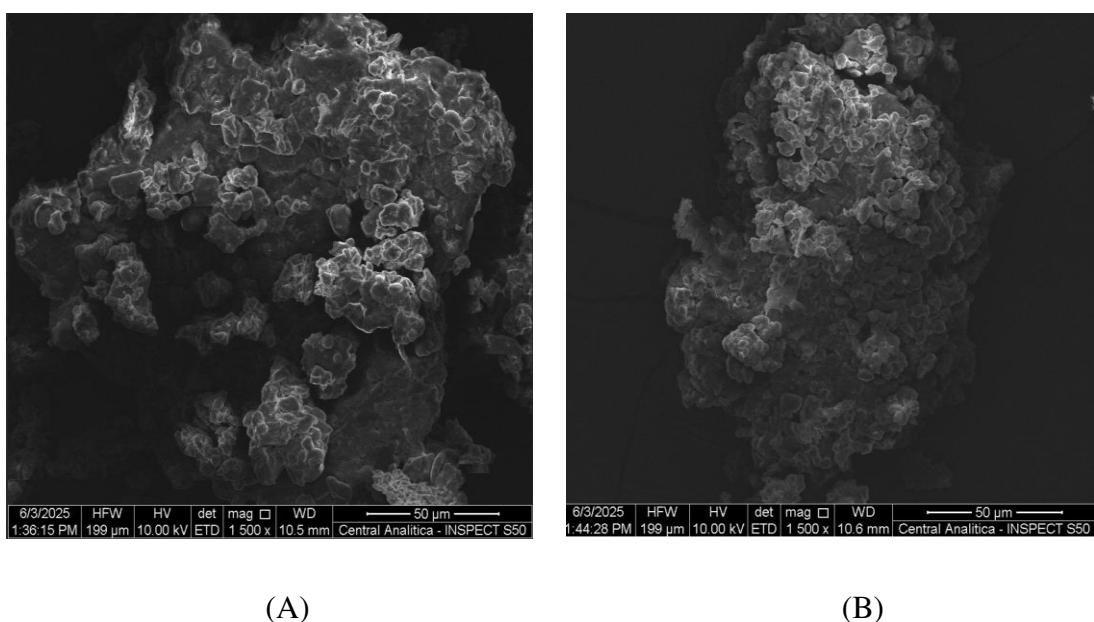
comparada à FG, que tende levemente para o laranja-avermelhado. A redução do h° em FG reforça o aumento da componente vermelha.

Em estudo com farinhas de grão-de-bico germinado, Oliveira *et al.* (2020) relataram valores de L^* próximos a 60, a^* em torno de 4,5 e b^* de 28,0, confirmando que a germinação tende a diminuir a luminosidade e intensificar os tons amarelados e avermelhados. De forma geral, a germinação modifica significativamente a coloração das farinhas, tornando-as mais escuras e intensas em cor, fenômeno atribuído a processos bioquímicos como a ativação de enzimas oxidativas e alterações na composição fenólica (Ferri *et al.*, 2017).

A germinação de curto prazo, além de causar modificações proteicas, pode ter compostos polifenólicos não ligados das proteínas de armazenamento de sementes, permitindo a remoção dessas moléculas pigmentadas durante o isolamento de proteínas (Hadnadev *et al.*, 2018). De acordo com Liu *et al.* (2023) o prolongamento do tempo de fermentação promove o escurecimento de isolados proteicos extraídos de sementes germinadas. Resultado semelhante foi observado por Nakhon *et al.* (2018) ao promover a germinação de abóbora e produzir farinha. Houve redução da luminosidade correlacionado com aumento nos valores de a^* e b^* .

A Figura 7 apresenta as micrografias eletrônicas das farinhas de flamboyant-mirim não germinada (A) e germinada (B).

Figura 7 - Micrografias eletrônicas das farinhas de flamboyant-mirim não germinada (A) e germinada (B).



Fonte: Central analítica, 2025

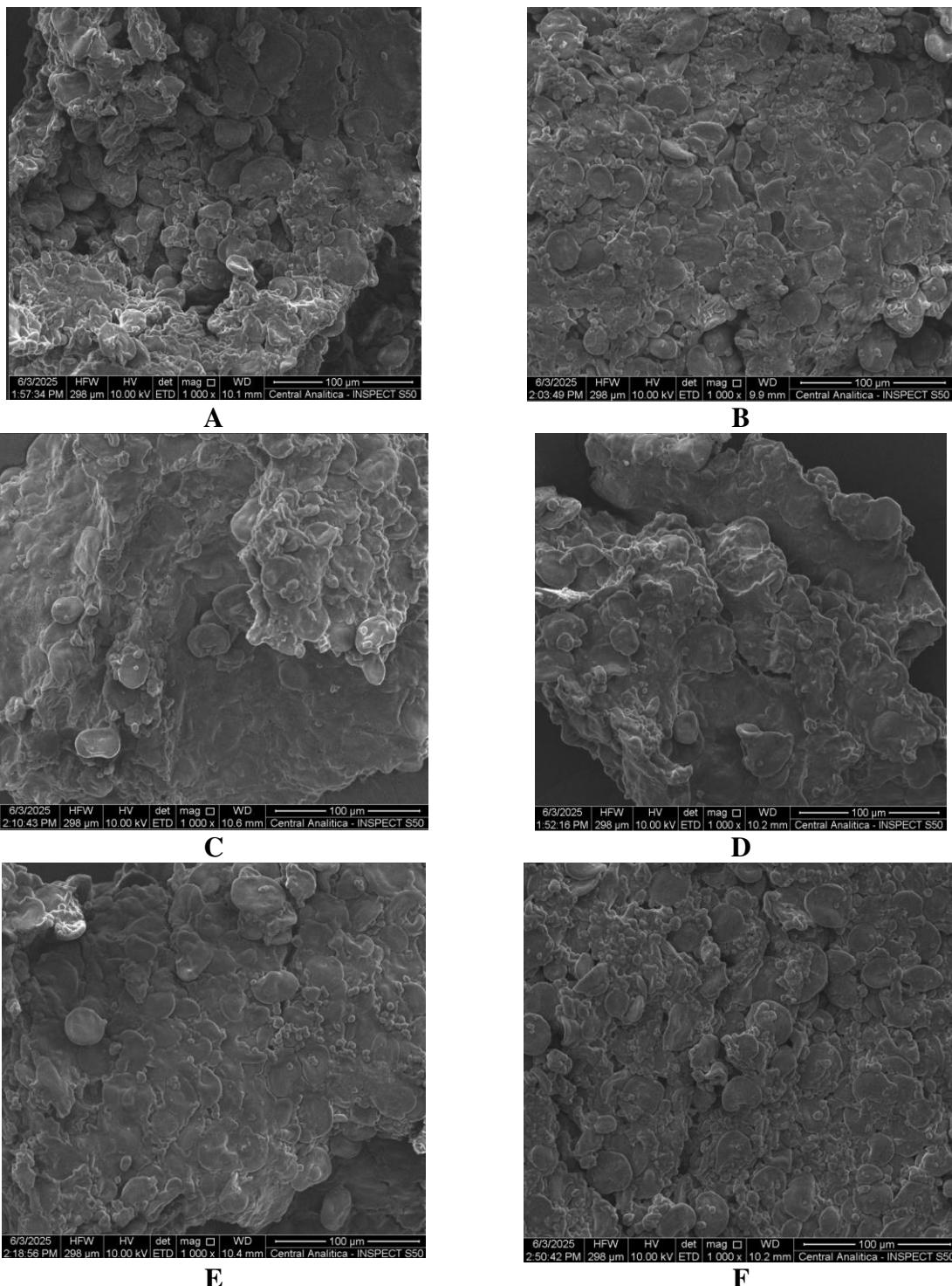
Na amostra não germinada (A), observa-se uma morfologia composta por aglomerados compactos, com partículas de contornos bem definidos, estrutura relativamente íntegra e superfície predominantemente lisa. Esse aspecto indica que a matriz celular ainda se encontra preservada, sugerindo baixa atividade enzimática e manutenção da integridade dos componentes estruturais, como polissacarídeos de parede celular (celulose e hemicelulose) e proteínas de reserva. A presença de estruturas mais coesas pode também refletir uma menor área superficial exposta, o que influencia propriedades físico-químicas como solubilidade, digestibilidade e reatividade funcional da farinha.

Por outro lado, a micrografia da farinha germinada (B) revela alterações morfológicas significativas. As partículas apresentam-se mais irregulares, com maior desagregação, além de superfície visivelmente mais rugosa e porosa. Esse padrão é indicativo da ação de enzimas ativadas durante a germinação, como amilases, proteases e celulases, que degradam parcialmente os constituintes da parede celular e da matriz de reserva. Esse processo resulta em rompimento da estrutura celular, liberando compostos internos como amido, açúcares solúveis, peptídeos e fenólicos, que podem ser visualmente percebidos por meio da maior fragmentação e da textura mais áspera das partículas. A degradação das paredes celulares e o aumento da porosidade favorecem a interação da farinha com solventes, o que pode se traduzir em maior solubilidade em água, melhor capacidade de absorção de água e óleo, além de maior biodisponibilidade de nutrientes.

Além disso, estas alterações estruturais podem estar relacionadas às mudanças de cor observadas previamente na análise colorimétrica, uma vez que a exposição de compostos internos e a oxidação de fenólicos contribuem para o escurecimento e o aumento da intensidade de cor. A modificação na morfologia da farinha germinada evidencia, portanto, o impacto do processo germinativo sobre a microestrutura do material, apontando para o potencial de aplicação tecnológica da farinha germinada como ingrediente funcional em formulações alimentícias, especialmente em produtos nos quais propriedades como dispersibilidade, digestibilidade e reatividade superficial sejam desejáveis.

A Figura 8 apresenta micrografias eletrônicas de varredura (MEV) de pães elaborados com diferentes concentrações de farinha de flamboyant-mirim não germinada, em comparação com o pão padrão. As imagens foram obtidas em ampliações de 1000x, permitindo a visualização da microestrutura da matriz de glúten e da distribuição das partículas no miolo do pão. Os pães foram adicionados de diferentes proporções da farinha de flamboyant mirim não germinada: 2% (A), 4% (B), 6% (C), 8% (D) e 10% (E) e o pão padrão (F).

Figura 8- Micrografias eletrônicas de varredura dos pães desenvolvidos com diferentes concentrações de farinha de flamboyant-mirim não germinada e pão padrão.



Fonte: Central analítica, 2025

As imagens revelaram, em detalhe, os efeitos estruturais provocados pela adição crescente da farinha sobre a rede interna do pão, particularmente sobre a organização e integridade da matriz de glúten e a formação de alvéolos.

A imagem (A), correspondente ao pão com 2% de farinha de flamboyant-mirim não germinada, observa-se uma matriz relativamente contínua, com poros de tamanho variável distribuídos de forma razoavelmente uniforme. A rede de glúten ainda se mantém parcialmente coesa, e os buracos formados pela liberação de gás durante a fermentação são visíveis, indicando que, nessa concentração, a adição da farinha exerce apenas leve interferência na estrutura interna do pão. No entanto, já é possível notar pequenos pontos de desorganização superficial, sugerindo início de competição por água e leve diluição da proteína formadora de glúten.

Na imagem (B), que representa o pão com 4% de farinha não germinada, as alterações microestruturais tornam-se mais evidentes. A rede de glúten apresenta sinais de descontinuidade, com paredes celulares mais finas e alguns furos mal definidos, que sugerem colapso parcial dos alvéolos durante a cocção. A presença de partículas da farinha é mais visível, com interferência direta na coesão da matriz proteica. A estrutura se torna mais heterogênea, com redução da expansão celular e início de formação de massas mais densas e compactadas.

Na amostra com 6% de farinha não germinada (imagem C), nota-se uma acentuada desorganização da estrutura interna do pão. A matriz de glúten está visivelmente comprometida, com múltiplas rupturas e regiões de colapso celular. Os furos formados por ases fermentativos são pouco definidos e estão cercados por uma massa densa e fragmentada. A farinha de flamboyant, rica em fibras e componentes insolúveis, parece interromper a formação de uma rede contínua de glúten, resultando em uma microestrutura fragilizada e com baixa capacidade de retenção de gás.

Já a imagem (D), que corresponde ao pão com 8% de farinha, mostra uma condição intermediária entre as formulações com 6% e 10%. A matriz apresenta áreas com colapso parcial, furos irregulares e paredes celulares enfraquecidas. Apesar de ainda existirem poros visíveis, a rede está fragmentada, com sinais de interrupção na continuidade proteica. Isso confirma que, mesmo abaixo de 10%, teores elevados de farinha podem impactar negativamente a integridade estrutural do pão, especialmente pela diluição do glúten e possível ligação competitiva com a água por componentes da farinha rica em fibra.

A imagem (E), correspondente à amostra com 10% de farinha, mostra uma desestruturação marcante da matriz do pão. A rede de glúten praticamente não é mais

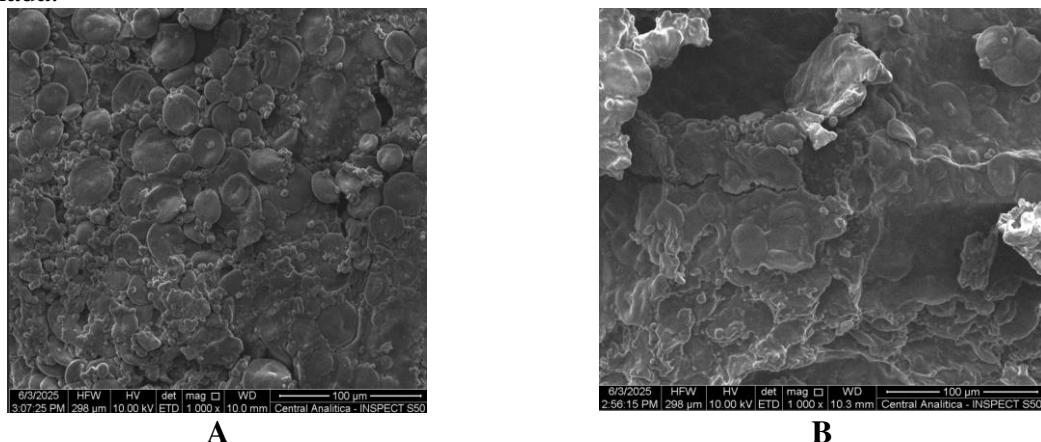
observável, substituída por uma massa densa, com formação escassa de alvéolos. Os buracos são raros e, quando presentes, aparecem como espaços colapsados ou distorcidos. A estrutura interna é altamente compactada, o que reflete uma falha crítica na organização proteica e gaseificação da massa. Isso sugere que a adição excessiva da farinha de flamboyant compromete completamente a funcionalidade panificável da matriz, resultando em pães com textura densa e baixa qualidade estrutural.

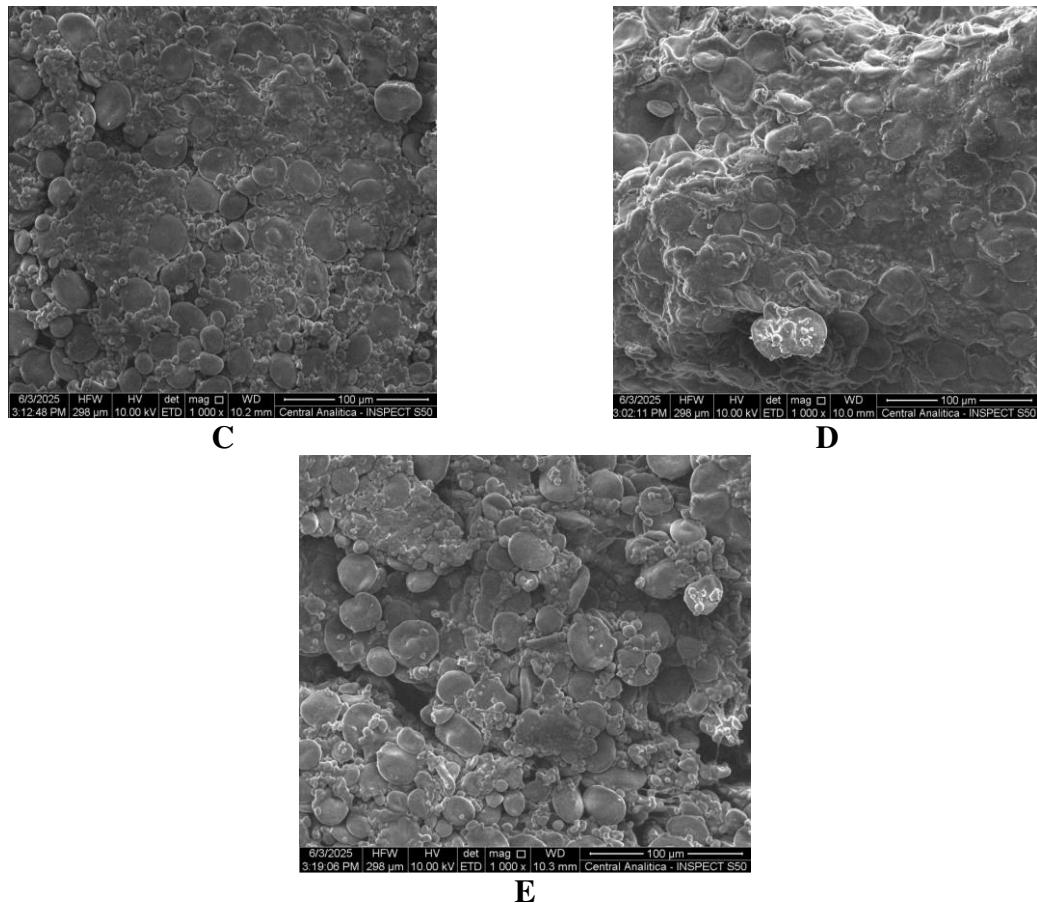
Por fim, a imagem (F), representando o pão padrão, revela uma matriz alveolar bem desenvolvida, com rede de glúten contínua, espessa e elástica. Os furos formados pela liberação de CO₂ durante a fermentação estão bem distribuídos e mantêm formato arredondado e estável, indicando boa capacidade de retenção de gás. A ausência de partículas interferentes permite uma estrutura mais aerada, leve e estável, típica de uma massa com desenvolvimento adequado de glúten.

Em conjunto, as micrografias evidenciam que a adição crescente de farinha de flamboyant-mirim não germinada interfere progressivamente na microestrutura interna do pão. A partir de 4% de adição já se observa desorganização significativa, com colapsos estruturais, furos irregulares e interrupções na matriz proteica. Esses efeitos se intensificam com teores maiores, comprometendo a qualidade estrutural do produto final. Esses resultados indicam que o uso dessa farinha em panificação exige controle rigoroso de concentração, sendo necessário balancear os benefícios nutricionais com a manutenção das propriedades tecnológicas desejáveis do pão.

A Figura 9 fornece as micrografias eletrônicas para os pães adicionados de farinha de flamboyant-mirim germinada. Os pães foram incorporados na quantidade de 2% (A), 4% (B), 6% (C), 8% (D) e 10% (E).

Figura 9- Micrografias eletrônicas dos pães desenvolvidos com farinha de flamboyant-mirim germinada.





Na imagem (A), correspondente ao pão com 2% de farinha de flamboyant germinada, observa-se uma matriz interna relativamente homogênea e com boa distribuição de poros. A estrutura de glúten apresenta continuidade e os alvéolos formados são visivelmente arredondados e estáveis. Há presença de partículas dispersas da farinha, mas sem interferência significativa na rede proteica. Esses dados indicam que a germinação, mesmo com adição de farinha, permite a preservação da estrutura alveolar do pão em baixos teores, provavelmente por mudanças enzimáticas benéficas geradas no processo germinativo.

Na imagem (B), referente à amostra com 4% de farinha germinada, ainda se observa uma matriz razoavelmente bem formada, embora com paredes celulares mais finas e poros levemente deformados. A rede de glúten começa a apresentar interrupções localizadas e regiões com maior compactação, sugerindo início de sobrecarga na matriz com componentes da farinha. A germinação, no entanto, parece atenuar parte dos efeitos negativos observados com a farinha não germinada, permitindo a manutenção de alvéolos funcionais mesmo em teores moderados.

Na imagem (C), com 6% de adição, a desorganização da microestrutura torna-se mais evidente. Observa-se redução do número e do tamanho dos poros, com aumento da densidade

da massa e presença de agregados particulados interferindo na continuidade da matriz. A rede de glúten está fragmentada, com formação de buracos irregulares e paredes celulares deformadas. Esse comportamento pode estar associado à maior presença de fibras insolúveis, mesmo após a germinação, além do efeito diluidor sobre as proteínas formadoras de glúten.

Na imagem (D), com 8% de farinha germinada, a estrutura interna do pão encontra-se bastante comprometida. A matriz proteica apresenta uma textura fibrosa e desorganizada, com múltiplas rupturas e furos mal definidos. Há regiões densas, de aparência colapsada, indicando falhas na retenção de gás durante a fermentação e/ou colapso estrutural na cocção. A germinação, embora promova maior atividade enzimática e disponibilidade de açúcares e aminoácidos, não foi suficiente para conter os efeitos negativos da alta concentração da farinha sobre a estrutura panificável.

Por fim, a imagem (E), correspondente à formulação com 10% de farinha germinada, apresenta a maior desorganização estrutural entre todas as amostras. A rede de glúten está praticamente ausente, substituída por uma massa densa, compactada e com porosidade mínima. A superfície é irregular, e as células de gás são quase inexistentes, refletindo perda completa da capacidade de expansão da massa. A interferência excessiva de componentes não-gluteninos da farinha germinada, mesmo com suas modificações bioquímicas, acaba por inviabilizar a formação de uma matriz estruturada adequada para produtos de panificação.

As análises das micrografias revelaram que a adição de farinha de flamboyant-mirim germinada até 4% é compatível com a formação de uma estrutura interna adequada, apresentando poros funcionais e rede de glúten ainda identificável. A partir de 6%, no entanto, ocorrem falhas progressivas na organização da matriz, com evidência de buracos irregulares, colapsos e descontinuidade proteica. Apesar da germinação suavizar parte dos efeitos estruturais negativos, há um limite funcional claro em torno de 4% a 6%, acima do qual as propriedades tecnológicas da farinha tornam-se inadequadas para aplicações em pães fermentados.

A Tabela 9 apresenta um comparativo entre as farinhas germinadas e não-germinadas com relação a microestrutura dos pães.

Tabela 9 - Comparativo da qualidade da microestrutura do pão em função da incorporação de farinhas germinadas e não-germinadas de flamboyant-mirim.

Concentração (%)	Farinha Germinada	Farinha não-germinada
2%	Boa formação de glúten, poros arredondados e bem distribuídos. Interferência mínima. Estrutura preservada.	Rede de glúten ainda coesa, com poros definidos e estrutura relativamente homogênea. Pequena interferência da farinha.
4%	Preserva ainda certa coesão. Poros funcionais, embora com início de fragmentação. Estrutura superior à da não germinada.	Início de ruptura na rede de glúten. Paredes celulares afinadas e poros deformados. Matriz mais densa.
6%	Perda de estrutura começa a se acentuar, com redução de porosidade e desorganização progressiva. Ainda um pouco mais estável.	Fragmentação evidente da rede de glúten. Colapsos estruturais, poros irregulares e massa compacta.
8%	Estrutura interna fragilizada. Rede proteica fragmentada com aparência fibrosa. Similar à não germinada neste nível.	Rede de glúten desorganizada, poros pouco definidos e presença de regiões densas e colapsadas.
10%	Colapso estrutural intenso. Porosidade mínima. Formação de rede de glúten completamente comprometida, apesar da germinação.	Estrutura totalmente colapsada. Matriz densa, poros quase ausentes e ausência de glúten funcional.

A comparação entre os efeitos das farinhas de flamboyant mirim germinada e não germinada evidencia diferenças significativas na manutenção da microestrutura interna dos pães, principalmente no que se refere à formação e estabilidade da rede de glúten e à preservação da porosidade funcional.

Nas formulações com baixas concentrações (2 a 4%), observa-se que a farinha germinada confere maior estabilidade à estrutura interna. Isso pode ser atribuído às alterações bioquímicas decorrentes da germinação, como o aumento da atividade enzimática (amilases e proteases), que promove uma parcial degradação de amido e proteínas endógenas da própria farinha, resultando em maior disponibilidade de açúcares redutores e peptídeos solúveis. Essa condição favorece a fermentação e pode melhorar a extensibilidade da massa, permitindo uma expansão mais uniforme e a formação de alvéolos arredondados, como observado nas micrografias de 2% e 4%.

Em contrapartida, nas mesmas concentrações, a farinha não germinada já demonstra sinais de interferência negativa: as micrografias revelam início de desorganização da rede de

glúten, com presença de partículas não integradas e poros deformados. Isso ocorre porque, sem a modificação enzimática promovida pela germinação, a farinha mantém alta carga de componentes estruturais intactos, como fibras insolúveis e amido resistente, que agem como barreiras físicas ou agentes de diluição da matriz proteica do pão.

À medida que as concentrações aumentam para 6%, 8% e 10%, ambas as farinhas passam a comprometer fortemente a estrutura panificável, mas com ritmo e intensidade diferentes. No caso da farinha germinada, a estrutura ainda se mantém parcialmente coerente até 6%, embora com visíveis rupturas e perda de definição dos poros. A presença de resíduos amolecidos da germinação (como paredes celulares parciais ou polímeros parcialmente hidrolisados) parece contribuir para uma matriz menos rígida e mais plástica, o que reduz o impacto mecânico na expansão do glúten.

Já com a farinha não germinada, a degradação da estrutura é mais drástica a partir de 4–6%, com colapsos evidentes da matriz, desaparecimento da rede de glúten e presença de regiões densas e pouco porosas. Isso se deve à competição física entre os constituintes da farinha e as proteínas de trigo, que inibem a formação de uma rede contínua e elástica. A densidade da massa nesses níveis se torna maior, dificultando a retenção de CO₂ e levando à formação de pães mais compactos, o que se confirma pela micrografia e também, possivelmente, por características físicas como volume específico reduzido.

Em 8% e 10%, ambas as farinhas provocam colapso quase completo da estrutura interna do pão. A matriz é visivelmente densa, sem poros funcionais, e com textura desorganizada. Embora a farinha germinada tenda a modular melhor esses efeitos em níveis moderados, seu uso em altas concentrações ainda resulta em falhas estruturais severas, indicando que a germinação não neutraliza completamente os efeitos indesejáveis da alta carga de fibra e de outros componentes não-gluteninos.

Essa observação é crítica para o desenvolvimento de produtos com apelo funcional: apesar dos benefícios nutricionais associados à germinação, como maior biodisponibilidade de minerais e menor teor de fatores antinutricionais, a aplicação tecnológica da farinha de flamboyant deve ser cuidadosamente dosada. O equilíbrio entre valor nutricional e qualidade tecnológica do pão parece ser alcançado até 4% de adição, com limite funcional em torno de 6%. Acima disso, o impacto na textura e estrutura torna-se marcadamente negativo, comprometendo a aceitação sensorial e a performance do produto.

6. CONCLUSÃO

O presente estudo atingiu o objetivo de desenvolver farinha a partir de sementes de flamboyant-mirim (*Caesalpinia pulcherrima*) e avaliar o efeito da germinação sobre suas propriedades bioativas e seu desempenho tecnológico em pães tipo forma.

A germinação promoveu aumento significativo na atividade antioxidante e no teor de fenólicos totais, com redução no teor de antocianinas e estabilidade no de flavonoides, evidenciando seu potencial para potencializar o valor funcional da farinha.

Alterações bioquímicas associadas à ação de enzimas hidrolíticas refletiram-se no aumento da absorção de água e no poder de inchamento.

Na panificação, a adição de até 4% de farinha germinada preservou o volume específico, o fator de expansão e a estrutura de alvéolos, enquanto teores superiores comprometeram a rede de glúten e a porosidade.

Conclui-se que a farinha germinada apresenta desempenho tecnológico superior em baixas concentrações, sendo recomendada sua aplicação de até 4% em pães fermentados, contribuindo para o desenvolvimento de produtos com maior valor funcional e incentivando o uso de Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC) na indústria alimentícia.

REFERÊNCIAS

ABITRIGO (Brasil) (Org.). **Conhecimento:** Trigo é energia para nosso corpo. 2018. Disponível em: <http://www.abitrgo.com.br/conhecimento-trigo.php>. Acesso em: 12 fev. 2024.

ABDERRAHIM, F. H. *et al.* Effect of germination on total phenolic compounds, total antioxidant capacity, Maillard reaction products and oxidative stress markers in canihua (*Chenopodium pallidicaule*). **Journal of Cereal Science**, v. 56, n. 2, p. 410-417, 2012.

ABUD, H. F. *et al.* Morphology of seed and seedling of a flower. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n.2, 2010. Disponível em: http://www.researchgate.net/publication/236893350_morphology_of_seed_and_seedling_of_safflower. Acesso em: 13 out. 2023.

AGUIAR, I. B. *et al.* **Sementes florestais tropicais**. Brasília: ABRATES, 1993.

AIKAR, A. *et al.* Studies on the introduction of dietetic cake using sweeteners as sugar substitute. **Dtsch. Lebensm.-Rundsch.**, Stuttgart, v. 83, p. 389, 1993.

ALVES, A. U. *et al.* Superação da dormência em sementes de *Bauhinia divaricata L.* **Acta Botânica Brasílica**, São Paulo, v. 18, n. 4, 2004.

ALVES, C. Z.; SILVA, J. B.; CÂNDIDO; A. C. S. Metodologia para a condução do teste de germinação em sementes de goiaba. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 615-621, jul-set 2015.

ALVES, E. U. *et al.* Germinação de sementes de *Mimosa caesalpiniae folia* Benth em diferentes substratos e temperaturas. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 24, 2002.

ALVES, R. do N. *et al.* Produção de pão a base de leite de cabra condimentado com diferentes concentrações de açafrão (cúrcuma longa l). **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, Pombal, v. 12, n. 1, dez. 2018.

ALVES, M. M. *et al.* Germination and vigor of *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Sw. seeds under different light and temperature condition. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 48, n. 8, 2018.

ALVES, M. M. *et al.* Substrate in the emergence and initial growth of seedlings of *Caesalpinia pulcherrima*. **Ciência Rural**, v .47, n. 3, p. 1-5, 2017.

ALVES, P. L.da S.; ASCHERI, J. L. R. Análise por imagem e microscopia eletrônica por varredura das farinhas extrudadas de arroz e maracujá. **Higiene Alimentar**, v. 30, n. 258/259, p. 144–148, jul./ago. 2016

ANDRADE, A. C. S. *et al.* Substrato, temperatura de germinação e desenvolvimento pós-seminal de sementes de *Dalbergia nigra*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 517–523, mar. 2006..

APLEVICZ, K. S. *et al.* Análise físico-química e sensorial de pão francês com redução de sódio e enriquecido com fibras. **Revista da Universidade do Vale do Rio Verde**, v. 12, n. 2, p. 802-811, 2014.

APLEVICZ, K. S. **Identificação de bactérias láticas e leveduras em fermento natural obtido a partir de uva e sua aplicação em pães.** Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/107460/319263.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 fev. 2025

ARAÚJO, F. S. *et al.* Emergência e vigor de plântulas de *Caesalpinia pulcherrima* em função da profundidade de semeadura. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 8, n. 4, p. 7-11, 2014.

ARAÚJO NETO, J. C. *et al.* Caracterização morfométrica, germinação e conservação de sementes de *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Sw. (Fabaceae: Caesalpinoideae). **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, supl. 4, p. 2287-2300, set. 2014.

ARAÚJO, W. M. C. *et al.* **Alquimia dos Alimentos**. Senac: Brasília, 2008.

ARIMATÉA, C. C.; PAGANI, A. A. C.; CARVALHO, M. S. Elaboração e composição química de pão de forma enriquecido com resíduos agroindustriais de frutas. In: Simpósio de Engenharia de Produção - SIMPROD, 7., 2015, São Cristóvão. **Anais [...]**. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, p. 337 – 347, 2015.

AVWIOROKO, O. J. *et al.* Investigation of the binding interaction of α -amylase with *Chrysophyllum albidum* seed extract and its silver nanoparticles: a multi-spectroscopic approach. **Chem. Data Collect.**, n. 29, art. 100517, 2020.

BADORÓ, L. C. A.; GUTTIERRES, A. P. M.; REZENDE, A. C. V.; STRINGHETA, P. C. Alimentos probióticos: aplicações como promotores da saúde humana, parte 1. **Nutrir Gerais – Revista Digital de Nutrição**, Ipatinga, v. 2, n. 3, p. 1–29, ago./dez. 2008.

BARBIERI, Ana Paula Piccinin. **Determinação do potencial fisiológico de sementes de arroz baseado na integridade das membranas celulares.** 2011. 81 p. Dissertação (Mestrado) em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

BARBOSA, L. C. S. **Análise do efeito dos tratamentos pré-germinativos na superação da dormência física de sementes de *Delonix regia* (Bojer ex Hook.) Raf. (Fabaceae: Caesalpinoideae).** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/YhsMgWk7MZKcLSfxTt54dXk/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 10 out. 2024.

BARREIRA, T. F. *et al.* Diversidade e equitabilidade de plantas alimentícias não convencionais na zona rural de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 17, n. 4, suplemento 2, p. 964–974, 2015.

BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. Germination ecology of plants with specialized life cycles and/or habitats. In: BASKIN, Carol C.; BASKIN, Jerry M. (Eds.). **Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination**. 2. ed. San Diego: Elsevier/Academic Press, p. 869–1004, 2014.

BASKIN, J. M.; BASKIN, C. C. A classification system for seed dormancy. **Seed Science Research**, v. 14, n. 1, p. 1–16, 2004.

BERWIG, K. P.; MARQUES, D. R.; MONTEIRO, A. R. G. Influência do tipo de farinha, da temperatura e do tempo de fermentação na qualidade de pães de forma. **Brazilian Journal of Food Research**, Campo Mourão, v. 9, n. 4, p. 27–46, out./dez. 2018.

BEWLEY, J. D. *et al.* **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. 3rd ed. New York: Springer, 2013.

BICALHO, C. C. *et al.* Distribuição alveolar do pão tipo francês usando a mucilagem do taro. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, e2018006, 2019.

BILAL, MUHAMMAD, *et al.* Insight into the effect of wheatgrass powder on steamed bread properties: Impacts on gluten polymerization and starch gelatinization behavior. **Food Chemistry: X**. Volume 26, fev. 2025.

BILAL, M. *et al.* Insight into the effect of wheatgrass powder on steamed bread properties: Impacts on gluten polymerization and starch gelatinization behavior. **Food Chemistry: X**, v. 26, p. 100306, fev. 2025.

BOLIGON A. A., *et al.* HPLC/DAD Profile and determination of total phenolics, flavonoids, tannins, and alkaloids contents of *Scutia buxifolia* Reissek stem bark. **Res J Phytochem**, 2012.

BORGES, E. E. L.; RENA, A. B. Germinação de Sementes. In: AGUIAR, I. B. de; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M; FIGLIOLA, M. B. **Sementes florestais tropicais**. Brasília, DF: Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes, 1993. p. 83-135.

BRANDÃO, S. S.; LIRA, H. de L. **Técnico em alimentos: Tecnologia da Panificação e Confeitaria**. Recife: EDUFRPE, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instruções para análises de sementes de espécies florestais**. Brasília: MAPA/ACS, 2013.

BRASIL. ANVISA: Agência Nacional Vigilância Sanitária. **Guia de boas práticas nutricionais:** Pão francês. Brasil: Anvisa, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes.** Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009a.

BRASIL. **Regras para Análise de Sementes.** Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: MAPA/ACS, 395 p. 2009b.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes.** Brasília, 1992a.

BRASIL, **Portaria nº 354, de 18 de julho de 1996.** Brasília, DF: MAPA, 1996.

BRASIL. Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos - CNNPA. Resolução nº 38 de 1977. Aprova como coadjuvantes da tecnologia de fabricação as substâncias constantes dos anexos I, II, III e IV, destinadas ao fabrico de produtos forneados, tais como: pão, broa, biscoito, bolacha, bolo, torta e demais produtos afins de confeitoraria. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 27 dez. 1977. Seção 1.

BRITES, L. T. G. F. et al. Technological, sensory, nutritional and bioactive potential of pan breads produced with refined and whole grain buckwheat flours. **Food Chemistry:** X, [S.l.], v. 13, p. 100243, fev. 2022.

BRZEZINSKI, C. R. et al. Teste de condutividade elétrica para a determinação do vigor em sementes de soja tratadas e armazenadas. In: Congresso Brasileiro de Soja - MERCOSOJA DE SOJA, 7., 2015, Florianópolis. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja; Universidade Estadual de Londrina, p. 1 - 3, 2015.

CAI, L.; CHENG SHI, Y. Structure and digestibility of crystalline short-chain amylose from debranched waxy wheat, waxy maize, and waxy potato starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 79, n. 4, p. 1117-1123, 17 mar. 2010.

CAMARA, C. A. **Caracterização, germinação e conservação de sementes de visgueiro (*Parkia pendula* (Wild.) Benth. ex Walpers e de maravilha (*Cesalpinia pulcherrima* (L.) Sw.).** Rio Largo, 2007.

CAMPOS, G. et al. Padronização de metodologia para determinação de ácido propiônico em pães de forma. **Food Science and Technology**, v. 17, n. 2, 1997. p. 196-200.

CAPPELLI, A.; et al., Alessandro. Predictive models of the rheological properties and optimal water content in doughs: an application to ancient grain flours with different degrees of refining. : An application to ancient grain flours with different degrees of refining. **Journal Of CerealScience**, [s.l.], v. 83, set. 2018. p. 229-235.

CARDOSO, V. J. M. Germinação. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal.** São Paulo: Guanabara koogan, 2004.

CARVALHO, M. A. M. de *et al.* Impact of red flour beetle infestations in wheat flour and their effects on dough and bread physical, chemical, and color properties. **Journal of Stored Products Research**, v. 102, p. 102095, 2023.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012.

CAUVAIN, S. P. **Breadmaking: Improving Quality**. Woodhead Publishing, 2012.

CAUVAIN, S. P.; YOUNG, L. S. **Tecnologia da panificação**. 2.ed. São Paulo: Manole, 2009.

CAUVAIN, S. P. Reduced salt in bread and other baked products. In: KILCAST, D.; ANGUS, F. (ed.). **Reducing salt in foods: practical strategies**. [S. l.]: Woodhead Publishing Limited, 2007. p. 387-421.

CAUVAIN, S. P.; YOUNG, L. Baking problems solved. [S. l.]: **Woodhead Publishing Limited**, v.1, 2001.

CERQUEIRA, M. A.; SOUZA, B. W. S.; TEIXEIRA, J. A.; VICENTE, A. A. Galactomannans use in the development of edible films/coatings for food applications. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, p. 662-671, 2011.

CHAVAN, J. K. *et al.* Nutritional improvement of cereals by sprouting. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 32, n. 3, p. 217–239, 1989.

CHINMA, E. C, *et al.* Effect of germination on the physicochemical and antioxidant characteristics of rice flour from three rice varieties from Nigeria. **Food Chemistry**, v. 185, p. 454-45, 15 oct. 2015,

CHINMA, E. C, *et al.* Effect of germination on the physicochemical, nutritional, functional, thermal properties and in vitro digestibility of Bambara groundnut flours. **LWT**. v. 140, abr. 2021.

CORNEJO, F.; LÓPEZ, M.; MARTÍNEZ, A.; TORRES, P. Evaluation of the physicochemical and nutritional changes in two amaranth species (*Amaranthus quitensis* and *Amaranthus caudatus*) after germination. **Food Research International**, v. 121, p. 933-939, jul. 2019.

CORNELL, H. J.; HOVELING, A. W. **Wheat chemistry and utilization**. Lancaster: Technomic Publishing Company, 1998.

COSTA, L.F.X. *et al.* Uso de levedura comercial como alternativa para redução do tempo de fermentação de pão sourdough. In: **Simpósio de Segurança Alimentar**, 7. 2020, Porto Alegre. Porto Alegre: Sbcta-Rs, 2020.

COSTA, P. A. *et al.* Quebra de dormência em sementes de *Adenanthera pavoninal L.* **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 1, 2010.

CUPP-ENYARD, C. Sigma's non-specific protease activity assay—casein as a substrate. **Journal of Visualized Experiments**, n. 17, p. e882, 2008.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

D'ALMEIDA, C. T. dos S. *et al.* Monitoramento da oxidação dos tióis proteicos em grãos de trigo imaturos e de diferentes aptidões tecnológicas. **Semear: Revista de alimentação, nutrição e saúde**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 31-42. dez. 2019.

DENDY, D. A.V.; DOBRASZCZYK, B.J. **Cereal and cereal products-chemistry and utilization**. [S. l.]: Aspen Publishers, 2001.

DE SÁ DIÓRIO, M.; SILVA, J. G.; DE CARVALHO TEIXEIRA, N. Pão de queijo saudável: tradição e saúde caminhando juntos Healthy cheese bread: tradition and health working together. **Revista Pensar Gastronomia**, v. 4, n. 1, 2018.

DEMIRKESEN, I. *et al.* Influence of germination on the functionality of gluten-free flours in the production of gluten-free bread. **Food Science and Technology International**, v. 19, n. 3, p. 281–291, 2013.

DUTRA, T. R. *et al.* Emergência e crescimento inicial da canafístula em diferentes substratos e métodos de superação de dormência. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 3, p. 145-152, 2012.

EMBRAPA. Documento 40 – **Dormência em espécies florestais**. Colombo: Embrapa, 2000. Disponível em: <http://infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/290718/1/doc40.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023

ESPINOZA-HERRERA, J. *et al.* Methods for the Modification and Evaluation of Cereal Proteins for the Substitution of Wheat Gluten in Dough Systems. **Foods**, v. 10, n. 1, art. 118, 2021.

ESTELLER, M. S. *et al.* Uso de açúcares em produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [S.l.], v. 24, n. 4, p. 602-607.dez. 2004.

ESTELLER, M.S.; LANNE, S.C.S. Parâmetros complementares para fixação de identidade e qualidade de produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, 2005.

FEI, Q. *et al.* Effects of oolong tea polyphenols, EGCG, and EGCG3"Me on pancreatic α -amylase activity in vitro. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 39, p. 9507–9514, 1 out. 2014.

FERNANDES, T. S. *et al.* para a uniformização de metodologias de análise de germinação e vigor de sementes de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 122-128, 2018.

FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. **Germinação**: do básico ao aplicado. Porto Alegre: Artmed, 2004.

FERREIRA, S.M.R.; OLIVEIRA, P.V.; PRETTO, D. Parâmetros de qualidade do pão francês. **Boletim do CEPPA**, Curitiba. v. 19, n. 2, 2001.

FERRI, V. C. *et al.* Color and phenolic changes of legume flours after germination. *Journal of Food Science and Technology*, v. 54, n. 7, p. 2070-2078. 2017.

FRANCIS, F.J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. (ed.). **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, 1982. p. 181-207.

FRANCO, M. **Sementes de Flamboyant-Mirim**. 2019. Disponível em: [hppt://plantas.hi7.co/flaboyanzinho](http://plantas.hi7.co/flaboyanzinho). Acesso: 10 dez. 2023.

FUNCK, L. G. **Determinação de glutatona e glutatona dissulfeto em farinha de trigo e massas de pão fresca e congelada por eletroforese capilar**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em:
<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/89148>

GABRIC, D. *et al.* Evaluation of bread quality made from wheat–triticale flour mixtures. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 46, n. 7, p. 1370–1377, 2011.

GALVÃO, A. M. M. T. *et al.* Edible coating based on modified corn starch/tomato powder: Effect on the quality of dough bread. **LWT - Food Science and Technology**, v. 89, p. 518-524, mar. 2018.

GÉLINAS EL-DASH, A; GERMANI, R. **Tecnologia de farinhas mistas**. Brasília: EMBRAPA, v. 2, 1994.

GIGLIOTTI, M. A.; CHIODETTI, M.; CARINI, E. Multi-structural characterization of sorghum flour addition on bread staling dynamics: texture, thermal properties and molecular mobility. **Food Structure**, v. 44, abr. 2025.

GODOY, A. R. *et al.* Teste de envelhecimento acelerado na qualidade fisiológica de sementes de cenoura. **Visão Acadêmica**, Curitiba, v. 13, n. 4, 2012.

GOESAERT, H. *et al.* Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. **Trends in Food Science and Technology**, v. 16, n. 1-3, p. 12-30, jan.-mar. 2005.

GONZALES-BARRÓN, U.; BUTLER, F. A comparison of seven thresholding techniques with the k-means clustering algorithm for measurement of bread-crumb features by digital image analysis. **J. Food Eng.**, v. 74, n. 2, p. 268-278. 2006.

GONZÁLEZ, F. D *et al.* **Qualidade do leite bovino:** variações no trópico e no subtrópico. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2011.

GRAGNANI, M. A. L. **Produção e avaliação de pão de forma com triticale e enzima transglutaminase microbiana.** 180 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/771363>. Acesso em: 03 mar. 2024.

GUEDES; R. S. *et al.* Testes de vigor na avaliação da qualidade fisiológica de sementes *Erythrina velutina Willd.* (fabaceae - papilionoideae). **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 33, n. 5, set./out., p. 1360-1365, 2009.

GUARIENTI, E. M. **Qualidade industrial de trigo.** Passo Fundo: Embrapa, 1993.

GUERRINI, L. *et al.* The bread making process of ancient wheat: a semi-structured interview to bakers. : A semi-structured interview to bakers. **Journal Of Cereal Science**, [S.I.], v. 87, p. 9-17. Mai, 2019.

HADNADEV, T. D. *et al.* Influence of germination on the physicochemical and rheological properties of wheat and buckwheat. **Journal of Cereal Science**, v. 79, p. 110-116, 2018.

HAILU, Gudisa; TESFAYE, Tsega'ab; AYALKIBET, Rosa. Effect of watering frequency on germination and early growth of maize (*Zea mays*) seed. **Journal of Agricultural Science and Food Technology**, v. 7, n. 1, p. 048–052, fev. 2021.

HALLÉN, E.; İBANOĞLU, S.; AINSWORTH, P. Effect of fermented/germinated cowpea flour addition on the rheological and baking properties of wheat flour. **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 63, n. 2, p. 177-184, 2004.

HAO, G. *et al.* Quantitative determination of lipase activity by liquid chromatography-mass spectrometry. **Journal of the American Society for Mass Spectrometry**, v. 18, n. 9, p. 1579–1581, set. 2007.

HEBERLE, T. A; ÁVILA, B. P.; NASCIMENTO, L. A. do; GULARTE, M. A. Consumer perception of breads made with germinated rice flour and its nutritional and technological properties. **Applied Food Research**. v. 2, n. 2, dez. 2023.

HUANG, HSIEN-KAI. *et al.* Correlated changes in structure and viscosity during gelatinization and gelation of tapioca starch granules. **IUCrJ**, v. 1, n. 6, p. 418–428, 2014.

IGNÁCIO, A. K. F. *et al.* Efeito da substituição de cloreto de sódio por cloreto de potássio em pão francês. **Brazilian Journal Of Food Technology**, [S.I.], v. 16, n. 1, 2013.

JIMÉNEZ, M. D.; LOBO, M.; SAMMÁN, N. 12th IFDC 2017 Special Issue – Influence of germination of quinoa (*Chenopodium quinoa*) and amaranth (*Amaranthus*) grains on nutritional and techno-functional properties of their flours. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 84, p. 103290, dez. 2019.

JOSHI, R. Role of enzymes in seed germination. **International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)**, v. 6, n. 2, p. 46–49, abr. 2018.

KAMPF, N. A. **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba: Agropecuária, 2000.

KANDRA, L. *et al.* Kinetic investigation of a new inhibitor for human salivary α -amylase. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 334, n. 3, p. 824–828, set. 2005.

KHOOZANI, A. A.; KEBEDE, B.; BEKHIT, A. E. A. Rheological, textural and structural changes in dough and bread partially substituted with whole green banana flour. **LWT – Food Science and Technology**, v. 126, p. 109252, mar. 2020.

KINUPP, V. F.; BARROS, I. B. I. de. Teores de proteína e minerais de espécies nativas, potenciais hortaliças e frutas. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas , v. 28, n. 4, p. 846-857, dez. 2008 .

KRZYZANOSWKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO. J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES. 1999.

KTENIOUDAKI, A.; O'SHEA, N.; GALLAGHER, E. Rheological properties of wheat dough supplemented with functional by-products of food processing: Brewer's spent grain and apple pomace. **Journal of Food Engineering**, v. 116, n. 2, p. 362–368, mai. 2013.

KUMAR, A.; RAO, P. S. Optimization of pulsed-mode ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from pomegranate peel using response surface methodology. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 14, n. 6, p. 3493–3507, dez. 2020.

LANGA, S. *et al.* Seed dormancy and germination responses of cannabis landraces to various pre-treatments. **South African Journal of Botany**, v. 165, p. 91–100, fev. 2024.

LARSSON, H. Effect of pH and sodium chloride on wheat flour dough properties: Ultracentrifugation and rheological measurements. **Cereal Chemistry**, v. 79, n. 4, p. 544–545, jul./ago, 2002.

LARRAURI, J. A.; RUPÉREZ, P.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **J. Agric. Food Chem.** v. 45, p. 209-215. 1997.

LEMOS FILHO, J. P. *et al.* Germinação de sementes de *Senna macranthera*, *Senna multijuga* e *Stryphnodendron polyphyllum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 4, p. 357–361, abr. 1997.

LIMA, E. A. S. **Ciência e Tecnologia de Alimentos: Panificação e Confeitaria.** 3. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2015.

LIMONGI, SIMONE. **Influência do tempo, temperatura e umidade relativa na obtenção de massa de pizza com fermentação reduzida.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2010. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/cta/a/p6B6kfkVGbhqBRhSF8zzXVD/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 20 mar. 2024.

LIN, S. *et al.* Impact of supplement of Qingke flours on physiochemical properties, sensory and in vitro starch digestibility of wheat bread and its enhancement by bread quality improvers. **Food Chemistry**: X, v. 19, p. 100537, 2023.

LIU, M.; SMART, L. B.; ABBASPOURRAD, A. Germination and ultrafiltration modify the composition and functional properties of hemp seed protein isolates. **Food Bioscience**, v. 53, p. 102761, jun. 2023.

LORENZI, H., SOUZA, H. M. **Plantas ornamentais no Brasil:** arbustivas, herbácea e trepadeiras. Nova Odessa, Plantarum, 2008.

LORENZI, H. *et al.* **Árvores exóticas no Brasil:** madeireiras, ornamentais e aromáticas. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003.

McGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, v. 27, n. 12, p. 1254–1255.1992.

MACHADO, C. F. *et al.* Metodologia para a condução do teste de germinação em sementes de ipê-amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nicholson). **Revista Cerne**, Piracicaba, SP, v. 8, n. 2, p. 17-25, 2002.

MAIA, Juliana Dias *et al.* Estudo da aceitabilidade do pão de forma enriquecido com farinha de resíduo da polpa de coco. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.17, n.1, p.1-9, 2015.

MAIEVES, H. A. *et al.* Antioxidant phytochemicals of *Hovenia dulcis* Thunb. peduncles in different maturity stages. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 1117–1124, mar. 2015.

MANDARINO, J. M. G. **Componentes do trigo:** características físico-químicas, funcionais e tecnológicas. Londrina: Embrapa-cnpso, 1994.

MARCOS-FILHO, Júlio. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas.** 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015. 659 p.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas.** Piracicaba: FEALQ, 2005.

MARCOS FILHO, J. Testes de vigor: importância e utilização. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes**: conceitos e testes. Londrina: ABRATES, 1999b.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Eds.). **Vigor de sementes**: conceitos e testes. Londrina: ABRATES, p.1-24, 1999.

MATOS, A. C. B.; BORGES, E. E. L.; SILVA, L. J. Fisiologia da germinação de sementes de *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth. sob diferentes temperaturas e tempos de exposição. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 39, n. 1, p. 115–125, 2015.

MELO FILHO, A. B. de; VASCONCELOS, M. A. da S. **Química de alimentos**. Recife: UFRPE, 2011.

MENDES, O. L. *et al.* Tratamentos Pré-Germinativos em Sementes de *Aesalpinia pulcherrima* (L.) Sw. – Leguminosae. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, Mossoró, 2010.

MENDONÇA, A. V. R.; FREITAS, T. A. S.; SOUZA, L. S.; FONSECA, M. D. S.; SOUZA, J. S. Morfologia de frutos e sementes e germinação de *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz, comb. Nov. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 375–387, 2016.

MENDONÇA, L. G. de *et al.* Assessing the impact of *Plectranthus amboinicus* (Lour) Spreng leaf extract on bread quality. **Cereal Chemistry**, v. 101, n. 5, p. 978–990, 2024.

MENSINK, R. P. *et al.* Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins: a meta-analysis of 60 controlled trials. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 77, n. 5, p. 1146–1155, 2003.

MORETTO, E; FETT. R. **Processamento e análise de biscoitos**. 1^a ed. São Paulo: Editora Varela, 1998.

MORITA, N.; MAEDA, T.; MIYAZAKI, M.; YAMAMORI, M.; MIURA, H.; OHTSUKA, I. Dough and baking properties of high-amylase and waxy wheat flours. **Cereal Chemistry Journal**, St. Paul, v. 79, n. 4, p. 491–495, jul. 2002.

MOTERIYA, P.; CHANDA, S. Synthesis and characterization of silver nanoparticles using *Caesalpinia pulcherrima* flower extract and assessment of their in vitro antimicrobial, antioxidant, cytotoxic, and genotoxic activities. **Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology**, v. 45, n. 8, p. 1556–1567, 2017.

NAKHON, P. P. S.; JANGCHUD, K.; JANGCHUD, A.; CHARUNUCH, C. Optimization of pumpkin and feed moisture content to produce healthy pumpkin-germinated brown rice extruded snacks. **Agriculture and Natural Resources**, v. 52, n. 6, p. 550–556, dez. 2018.

NEVES, Nathália de Andrade; GOMES, Paula Thamara Goecking; CARMO, Erick Michel Ramos do; SILVA, Bruna Sanches; AMARAL, Tatiana Nunes; SCHMIELE, Márcio.

Utilização de fermentação natural e jabuticaba (*Plinia cauliflora*) para melhoria das características de pães de forma. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, e90691110552, 2020.

NOBRE, F. M. **Produção de Pão a partir de Farinhas Estremes de aveia**. [S. l.], Lisboa, p.1-92, 2013.

NOGUEIRA, A. M. **Desenvolvimento de pães de fermentação natural cultivado em meio adicionado de açaí em pó**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará - Fortaleza, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/60447>. Acesso em: 13 jun. 2024.

NUNES, Sarah Patrícia Lima. **Teste de classificação de plântulas normais fortes para as espécies *Enterolobium contortisiliquum*, *Pityrocarpa moniliformis* e *Poincianella pyramidalis***. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Macaíba, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/items/1a241015-875a-486c-9cbd-b61ed815f177>. Acesso em: 17 jun. 2024.

NUNES, J. C.; MACEDO, S. H. M.; CONTI-SILVA, A. C. Substitution of partially hydrogenated vegetable fat by interesterified fat in cake production: sensory and physical evaluation. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 7, p. 1587–1592, 2011.

OLIVEIRA, A. C. S.; MARTINS, G. N.; SILVA, R. F.; VIEIRA, H. D. Testes de vigor em sementes baseados no desempenho de plântulas. **Revista Científica Internacional**, v. 1, n. 4, p. 1–21, 2009.

OLIVEIRA, L. M. *et al.* Bread enriched with flour from cinereous cockroach (*Nauphoeta cinerea*). **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 44, p. 30–35, dez. 2017.

OLIVEIRA, M. A.; SANTOS, P. R. A importância dos derivados de trigo na alimentação moderna. **Revista Brasileira de Nutrição**, v. 33, n. 2, p. 45–52, 2020.

OLIVEIRA, L. M.; LUCAS, A. J. S.; CADAVAL, C. L.; MELLADO, M. S. Bread enriched with flour from cinereous cockroach (*Nauphoeta cinerea*). **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 44, p. 30–35, dez. 2017.

OLIVEIRA, L.M. *et al.* Tratamentos pré-germinativos em sementes de *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Sw.- Leguminosae. **Revista Caatinga**, v.23, n.1, p.71-76, 2010.

OU, S. J. L. *et al.* Effects of anthocyanins on bread microstructure, and their combined impact on starch digestibility. **Food Chemistry**, v. 374, p. 131744, 2022.

PAREYT, B.; DELCOUR, J. A. The role of wheat flour constituents, sugar, and fat in low moisture cereal based products: A review on sugar-snap cookies. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 48, n. 9, p. 824–839. 2008.

PARK, C. S.; BAIK, B. K. Relationship between protein characteristics and instant noodle making quality of wheat flour. **Cereal Chemistry**, v. 81, n. 2, p. 159–164, 2004.

SOUZA, H. D. C. *et al.* Eficiência de bioestimulante combinado à escarificação mecânica na germinação de sementes de flamboyant (*Delonix regia*). **Research, Society and Development**, v. 13, n. 8, p. e16013819872, ago. 2024.

PASTORINI, L. H. *et al.* **Germinação e crescimento inicial de Machaerium brasiliense VOGEL (FABACEAE) em casa de vegetação.** Floresta, v. 46, n. 1, p. 83 – 92, 2016.

PAVANELLI, A. P. **Aditivos para panificação:** conceitos e funcionalidade. São Paulo: ABIAM/Oxiteno, 2000. Disponível em:
https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2015/CA_02950.pdf

PEACOCK FLOWER. **Árvore de Flamboyant-Mirim.** 2021. Disponível em:
<http://nossacasa.net/nossosriachos/agroecologia/flamboyant-mirim>. Acesso em: 04 set.2023.

PEIGHAMBARDoust, S. H.; AKBARMEHR, A.; SARABANDI, K. Exploring the physicochemical and functional properties of stabilized corn pollen protein hydrolysates via spray-drying for application in bread formulation. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 21, p. 101918, jun. 2025.

PEREIRA, D. F.; BUGATTI, P. H.; LOPES, F. M.; SOUZA, A. L. S. M.; SAITO, P. T. M. Contributing to agriculture by using soybean seed data from the tetrazolium test. **Data in Brief**, v. 23, p. 103652, abr. 2019.

PEREIRA, J. *et al.* Função dos ingredientes na consistência da massa e nas características do pão de queijo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [s.l.], v. 24, n. 4, dez. 2004.

PEREIRA, L. M. *et al.* Função dos ingredientes na panificação moderna. **Revista Alimentos e Saúde**, v. 7, n. 1, p. 15-22, 2021.

PERES, W. L. R. **Testes de Vigor em Sementes de Milho.** 2010. Iv, 50f. Dissertação (Mestrado em Agronomia Produção de Tecnologia de Sementes) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias UNESP, Jaboticabal – SP, 2010. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/5f1bdcec-a4fc-4a52-b009-20a8ef6939dc/content>. Acesso em: 20 jul.2023.

PEREZ, S. C. J. C. A. Ecofisiologia de sementes florestais. **Informativo ABRATES**, v.5, n.3, p.13-26, 1995.

PESKE, Silmar Teichert; ROSENTHAL, Mariane D'Ávila; ROTA, Gladis Rosane Medeiros. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos.** 1. ed. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, p. 415, 2003.

PLAZA, L.; de ANCOS, B.; CANO, M. P. Compostos nutricionais e relacionados à saúde em brotos e sementes de soja (*Glycine max*), trigo (*Triticum aestivum L.*) e alfafa (*Medicago*

sativa) tratados por um novo método de secagem. **European Food Research and Technology**, v. 216, n. 2, p. 138–144, 2003.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. 2. ed. Brasília: ABRATES, 1985

PYLER, E. J. **Baking: science & technology**. 3. ed. v. 2. Kansas: Sosland Publ., 1988.

RADCHUK, Volodymyr; BORISJUK, Ljudmilla. Physical, metabolic and developmental functions of the seed coat. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 510, 2014.

RATHNAYAKE, H. A.; NAVARATNE, S. B.; NAVARATNE, C. M. Porous crumb structure of leavened baked products. **International Journal of Food Science**, v. 2018, p. 1–12, 2018.

RIBEIRO, C. A. D. *et al.* Fatores que afetam a germinação das sementes e a biomassa de plântulas de *Tabebuia heptaphylla*. **Revista Floresta**, Curitiba, v.42, n.1, p.161 – 68, 2012.

RICHTER, Vanusa Rossi *et al.* **Panificação** – Indaiá: ed. Uniasselvi, 2019. p. 208.

ROCHA, Raimundo Gleidison Lima; RIBEIRO, Maria Clarete Cardoso; SILVA, Fred Denilson Barbosa da. Desenvolvimento inicial do feijão guandu em diferentes profundidades e posições da semente na vagem. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 13, n. 4, p. 297–301, 2017.

ROSALES-JUÁREZ, M.. *et al.* Changes on dough rheological characteristics and bread quality as a result of the addition of germinated and non-germinated soybean flour. **Food and Bioprocess Technology**, v. 1, n. 2, p. 152–160, 2008.

RUFINO, M. do S. M. *et al.* **Metodologia científica**: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007. 4 p. (Comunicado Técnico, 127)

SAHNI, Prashant; SHARMA, Savita. Influence of processing treatments on cooking quality, functional properties, antinutrients, bioactive potential and mineral profile of alfalfa. **LWT - Food Science and Technology**, v. 132, p. 109890, 2020.

SALAS-MELADO, M. M. **Estudo da influencia da formulação e das condições operacionais dos tipos de congelamento na qualidade da massa e do pão**. 242p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003. Disponível em:
https://www.academia.edu/83379769/Estudo_da_influencia_da_formula%C3%A7%C3%A3o_e_das_condi%C3%A7%C3%B5es_operacionais_dos_tipos_de_congelamento_na_qualidade_da_massa_e_do_p%C3%A3o. Acesso em: 12 jul. 2024

SANTOS, Águila Silva. **Época de semeadura e substrato na produção de mudas de Caesalpinia pulcherrima (L.) Sw.** 2019. 21 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia –

Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2019.

SANTOS, Darlisson Medeiros; BALDONI, Alexana. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho. **GETEC**, v.7, n.19, p.19- 30, 2018.

SANTOS, Patrick Luan Ferreira dos; CASTILHO, Regina Maria Monteiro; PINHEIRO, Raquel Reia. Seed position and influences on *Caesalpinia pulcherrima* germination and reserve proteins. **Ornamental Horticulture**, v. 25, n. 2, p. 119–125, 2019.

SAPIRSTEIN, Harry; WU, Yao; KOKSEL, Filiz; GRAF, Robert. A study of factors influencing the water absorption capacity of Canadian hard red winter wheat flour. **Journal of Cereal Science**, v. 81, p. 52–59, mai. 2018.

SCANLON, M.G.; ZGHAL, M. C. Bread properties and crumb structure. **Food Research International**, [S.l.], v. 34, n. 10, jan. 2001.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Guia de Implementação NBR16170:2013**. 2015. Disponível em:
<http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Guia%20do%20p%C3%A3o%20franc%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 12 fev.2024.

SETIA, Rashim; DAI, Zhixin; NICKERSON, Michael T.; SOPIWNYK, Elaine; MALCOLMSON, Linda; AI, Yongfeng. Impacts of short-term germination on the chemical compositions, technological characteristics and nutritional quality of yellow pea and faba bean flours. **Food Research International**, v. 122, p. 263–271, ago. 2019.

SHARMA, G.; WU, W.; DALAL, E. N. The CIEDE2000 color-difference formula: Implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations. **Color Research & Application**, v. 30, n. 1, p. 21–30, 2005.

SHARMA, A; *et al.* Flavonoids: A diverse group of phytochemicals with potent anticancer properties. **Pharmacognosy Reviews**, v. 12, n. 24, p. 84-90, 2018.

SILVA, M. R.; GARCIA, G. K. S.; FERREIRA, H. F. Caracterização química, física e avaliação da aceitação de pão de queijo com baixo teor energético. **Alimentos e Nutrição**, v. 14, n. 1, p. 69-75, 2003.

SILVA, R. J. *et al.* Valor nutricional e funcionalidade de pães industrializados no Brasil. **Caderno de Alimentos e Nutrição**, v. 12, n. 1, p. 22-30, 2021.

SILVA, V. N.; CICERO, S. M.. Avaliação do vigor de sementes de tomate durante o armazenamento por meio de análise computadorizada de imagens de plântulas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 4, suplemento, 2014.

SILVEIRA, L. R. *et al.* Efeito da gordura em pães. In: Congresso De Iniciação Científica Da Universidade Federal De Pelotas, 14, 2015, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Universidade Federal de

Pelotas, p. 1–6, 2015. Disponível em:
https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2015/CA_02950.pdf. Acesso em: 24/09/2024.

SONG, P. *et al.* Assessment of maize seed vigor under saline-alkali and drought stress based on low field nuclear magnetic resonance. **Biosystems Engineering**, v. 220, p. 135–145, ago. 2022.

SOUZA, M. S. *et al.* Propriedades físico-funcionais de farinhas de feijão-de-corda germinado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 1, p. 94-101, 2018.

SOUZA, R. T.; LIMA, V. C. Reações químicas em produtos panificados: uma revisão. **Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 11, n. 2, p. 34-41, 2019.

STALLBAUN, P. H. *et al.* Testes rápidos de vigor para avaliação da viabilidade de sementes de *Anadenanthera falcata*. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, v. 11, n. 21, p. 1834–1846, 2015. Disponível em:
<https://www.conhecer.org.br/enciclop/2015b/agrarias/testes%20rapidos%20de%20vigor.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2023.

STRUCK, S. *et al.* Harald. Sugar replacement in sweetened bakery goods. **International Journal Of Food Science & Technology**, [s.l.], v. 49, n. 9, 1 ago. p. 1963-1976, 2014.

SU, C. *et al.* Effects of germination followed by hot air and infrared drying on properties of naked barley flour and starch. **International Journal of Biological Macromolecules**. Volume 165, Part B, 15 dez. p. 2060-2070, 2020.

SU, C. *et al.* The molecular mechanism for morphological, crystal, physicochemical and digestible property modification of wheat starch after repeated versus continuous heat-moisture treatment. **LWT - Food Science and Technology**, v. 129, p. 109399, jul. 2020.

SUMCZYNSKI, D. *et al.* Total phenolics, flavonoids, antioxidant activity, crude fibre and digestibility in non-traditional wheat flakes and muesli. **Food Chemistry**, v. 174, p. 319–325, jul. 2015.

SPERANDIO, H.V. *et al.* Qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis* produzidas em 31 diferentes substratos. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.8, n.4, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Editora Artmed. 2017.

TANGA, Chrysanthus M. et al. Desert locust (*Schistocerca gregaria*) flour as an emerging functional ingredient for baking flavorful and nutritive whole wheat bread. **Applied Food Research**, v. 5, n. 1, p. 100802, jun. 2025.

TONGUÇ, Muhammet; GÜLER, Mustafa; ÖNDER, Sercan. Germination, reserve metabolism and antioxidant enzyme activities in safflower as affected by seed treatments after accelerated aging. **South African Journal of Botany**, v. 153, p. 209–218, fev. 2023.

VIANNA, F. S. V *et al.* **Manual prático de panificação.** São Paulo: Senac São Paulo, 2018.

VILLAGOMEZ, Y.; VILLASENOR, R.; SALINAS, J.R. **Lineamiento para el funcionamiento de un laboratorio de semillas.** Mexico: INIF, 1979. 23p. (Boletín divulgativo, 48).

VILLANUEVA, M. *et al.* Rice flour physically modified by microwave radiation improves viscoelastic behavior of doughs and its bread-making performance. **Food Hydrocolloids**, 90, p. 472–481, 2019.

WANG, C.; SHI, L.; FAN, L.; DING, Y.; ZHAO, S.; LIU, Y.; MA, C. Optimization of extraction and enrichment of phenolics from pomegranate (*Punica granatum L.*) leaves. **Industrial Crops and Products**, v. 42, p. 587–594, mar. 2013.

WANG, Z., *et al.* Effects of thermal properties and behavior of wheat starch and gluten on their interaction: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 177, p. 474–484, 2021.

XIAO, Han; CHEN, Zhengguang; YI, Shujuan; LIU, Jinming. Rapid detection of maize seed germination rate based on Gaussian process regression with selection kernel function. **Vibrational Spectroscopy**, v. 129, p. 103595, nov. 2023.

XU, Minwei; JIN, Zhao; SIMSEK, Senay; HALL, Clifford; RAO, Jiajia; CHEN, Bingcan. Effect of germination on the chemical composition, thermal, pasting, and moisture sorption properties of flours from chickpea, lentil, and yellow pea. **Food Chemistry**, v. 295, p. 579–587, out. 2019.

XU, M. *et al.* The effect of repeated versus continuous annealing on structural, physicochemical, and digestive properties of potato starch. **Food Research International**, v. 111, set. p. 324-333, 2018,

YANG, L. *et al.* Effect of different isolation methods on structure and properties of lignin from valonea of *Quercus variabilis*. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 85, p. 417–424, 2016.

ZAGO, A. C. *et al.* **Análise do desenvolvimento de *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Sw. – Uso de diferentes substratos – II.** Floricultura – Ciências Biológicas – Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio-Economia – Faculdade de Engenharia – Campus de Ilha Solteira, 2007.

ZAMBELLI, R. A. **Desenvolvimento de massas congeladas para a produção de pães contendo ingredientes funcionais.** 203 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/14871>. Acesso em: 13 set. 2024.

ZAMBELLI, R. A. **Desenvolvimento de uma metodologia de glazamento para massas congeladas de pães tipo forma.** 280 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/20323>. Acesso em: 20 jul. 2023.

ZHAO, J. *et al.* Production of biscuits by substitution with different ratios of yellow pea flour. **Grain & Oil Science and Technology**, v. 2, n. 4, p. 91–96, 2019.

ZIETEMANN, C.; ROBERTO, S.R. Produção de mudas de goiabeira (*Psidium guajava* L.) em diferentes substratos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.29, n.1, p.137-142, 2007.

ZOLQADRI, R. *et al.* Microencapsulated red-garlic peptides with biopolymers: Influence on the ACE-inhibitory, biological activity, textural structures, and sensory properties of pan-breads. **Future Foods**, v. 11, p. 100550, jun. 2025.

ZUGAZUA-GANADO, M. *et al.* Adaptation of the Folin-Ciocalteu and Fast Blue BB spectrophotometric methods to digital image analysis for the determination of total phenolic content: Reduction of reaction time, interferences and sample analysis. **LWT - Food Science and Technology**, v. 193, p. 114527, fev. 2024.

ZHU, J. *et al.* Formation, influencing factors, and applications of internal channels in starch: A review. **Food Chemistry: X**, v. 30, p. 100196, mar. 2024.