

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

DÉBORA KWIATKOVSKI GODINHO

DESENVOLVIMENTO DE PÃES POR FERMENTAÇÃO NATURAL
ISENTOS DE GLÚTEN COM SORGO E SUBPRODUTOS DE MAÇÃ E
PALMITO PUPUNHA

PONTA GROSSA

2024

DÉBORA KWIATKOVSKI GODINHO

**DESENVOLVIMENTO DE PÃES POR FERMENTAÇÃO NATURAL
ISENTOS DE GLÚTEN COM SORGO E SUBPRODUTOS DE MAÇÃ E
PALMITO PUPUNHA**

Dissertação apresentada para
obtenção do título de Mestre em
Ciência e Tecnologia de Alimentos
no Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia de Alimentos
da Universidade Estadual de Ponta
Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Eliane
Dalva Godoy

PONTA GROSSA

2024

G585 Godinho, Débora Kwiatkowski

Desenvolvimento de pães por fermentação natural isentos de glúten com sorgo e subprodutos de maçã e palmito pupunha / Débora Kwiatkowski Godinho. Ponta Grossa, 2024.

121 f.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Área de Concentração: Ciências e Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Eliane Dalva Godoy.

1. Fibras alimentares. 2. Sustentabilidade. 3. Digestibilidade. 4. Sourdough. 5. Volume específico. I. Godoy, Eliane Dalva. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ciências e Tecnologia de Alimentos. III.T.

CDD: 664

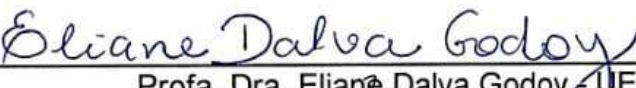
TERMO DE APROVAÇÃO

DÉBORA KWIATKOVSKI GODINHO

“Desenvolvimento de pães por fermentação natural, isentos de glúten, com sorgo e subprodutos de maçã e palmito pupunha”

Dissertação aprovada como requisito para obtenção do grau de Mestre(a) no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

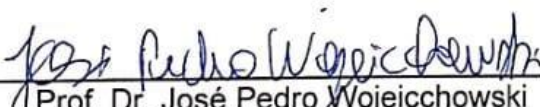
Orientador: Profa. Dra. Eliane Dalva Godoy



Profa. Dra. Eliane Dalva Godoy - UEPG-PR - Presidente



Profa. Dra. Camila Delisnki Bet - UNICESUMAR-PR - Membro Titular Externo



Prof. Dr. José Pedro Wojeicchowski - UEPG-PR - Membro Titular Interno

Ponta Grossa, 08 de agosto de 2024.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida.

Aos meus pais que me ensinaram a importância da honestidade, da escolha do caminho correto, da dedicação.

Aos meus filhos que acreditaram no potencial de sua mãe e a incentivaram todos os dias a não desistir mesmo diante das adversidades.

À professora Eliane, pela orientação, pelo incentivo, pelas correções e pela cobrança incessante em busca do meu desenvolvimento e na superação das dificuldades.

Ao Anderson, que mesmo de longe se fez presente com seu carinho, trazendo alívio aos dias mais difíceis, me fazendo rir e sorrir, buscando ver o lado bom de tudo, sonhando com um futuro melhor.

À Denise pela sua paciência infinita, pela sua docilidade no dia a dia, por todo ensinamento e ajuda incansável.

À Ellen pela parceria sem fim, em todos os momentos, dos mais simples aos mais complexos. Sua companhia foi determinante para a execução deste trabalho.

À Daniele, pela contribuição nas análises e nos ensinamentos sobre pão e fermentação natural.

Às amigas: à Naiara pelas ideias mirabolantes, à Nacia por esse coração lindo, à Paula pelos conselhos, Isabel pelo cafezinho reconfortante.

À UEPG pela disponibilização dos laboratórios, equipamentos e reagentes.

A todos os professores do programa de pós-graduação pelos ensinamentos, auxílios nas análises, correções dos trabalhos, conselhos e incentivos.

À Capes pela bolsa de auxílio à pesquisa.

RESUMO

O crescente número de pessoas que não podem ou escolhem não consumir glúten, destaca a importância de desenvolver alternativas de pães isentos de glúten. A maioria das opções disponíveis no mercado são pobres em nutrientes e de custo elevado. Pesquisas para desenvolver formulações de pães mais nutritivas e econômicas são essenciais. O sorgo é uma opção promissora, devido ao seu alto conteúdo de amido (80%), proteínas, minerais e compostos fenólicos, e seu cultivo está em expansão no Brasil. O enriquecimento nutricional das formulações pode ser realizado a custos mais baixos, com o aproveitamento de subprodutos agroindustriais, pois muitos são fontes de fibras alimentares e compostos bioativos importantes para a alimentação mais saudável. Este estudo investigou farinhas produzidas a partir dos subprodutos do processamento de palmito pupunha em conservas e de suco de maçã para formulações de pães isentos de glúten. A fermentação natural, conhecida por melhorar o valor nutricional, a textura, digestibilidade e prolongar a vida útil de pães sem uso de aditivos, foi utilizada. As farinhas de subprodutos investigadas mostraram alto conteúdo de fibras, a de palmito com $49,97 \text{ g.100g}^{-1}$ e a de maçã com $37,05 \text{ g.100g}^{-1}$. A farinha de subproduto de maçã apresentou o maior conteúdo de compostos fenólicos de $20,21 \text{ mg}$ de equivalente de ácido gálico (EAG). g^{-1} , enquanto a de sorgo se destacou pela atividade antioxidante, $1,84 \text{ mg}$ de equivalente Trolox (ET). g^{-1} por DPPH e $3,07 \text{ mg ET.g}^{-1}$ pelo método FRAP. Foi produzido um fermento natural utilizando farinha de arroz, que demonstrou ser mais adequada do que a de sorgo ou da mistura de arroz e sorgo, com base no acompanhamento do pH, acidez e capacidade fermentativa. Duas formulações de pães com diferentes proporções de sorgo (50% e 60%) e subprodutos de palmito pupunha e maçã foram comparadas quanto à composição proximal, atividade antioxidante e compostos fenólicos. As formulações apresentaram alto teor de fibras ($>7 \text{ g.100g}^{-1}$) e baixo valor energético (média de $229 \text{ kcal.100g}^{-1}$) comparadas a formulações comerciais (média de $450 \text{ kcal.100g}^{-1}$). A formulação com 60% de sorgo foi escolhida para comparação entre fermentação natural (FN) e fermento biológico comercial (FB), devido ser mais interessante do ponto de vista nutricional. Análises de cor, atividade de água (Aw), acidez, pH, textura, volume específico, índice de expansão, digestibilidade, segurança microbiológica e sensorial foram realizadas. FN destacou-se significativamente quanto ao volume específico, com $3,25 \text{ cm}^3.\text{g}^{-1}$ para FN e $2,46 \text{ cm}^3.\text{g}^{-1}$ para FB, o índice de expansão foi de 1,10 para FN e 0,83 para FB. A mastigabilidade foi menor em FN com 34,42 N e 38,64 N para FB. Resultados de digestibilidade comprovaram a contribuição da fermentação natural para a melhoria deste parâmetro, pois, do valor total de amido, em FN 74,46% foram verificados como sendo de rápida digestão e 29,97 % sendo de lenta digestão; já em FB, 93,94% verificou-se ser amido de rápida digestão e 6,82 %, de lenta digestão. Apesar de as diferenças nas médias dos atributos obtidos na análise sensorial, pelos dois métodos de fermentação, não terem sido significativas, ajustes nas formulações podem melhorar a aceitabilidade por parte dos consumidores.

Palavras-chave: digestibilidade, sustentabilidade, *sourdough*, fibras alimentares, volume específico.

ABSTRACT

The increase in the population that cannot or chooses not to consume gluten signals the importance of gluten-free bread alternatives. Most of the options available on the market are poor in nutrients and expensive. Research to develop more nutritious and economical bread formulations is essential. Sorghum is a promising option due to its high content of starch (80%), proteins, minerals and phenolic compounds, and its cultivation is expanding in Brazil. The nutritional enrichment of formulations can be achieved at lower costs by using agro-industrial by-products, as many are sources of dietary fiber and bioactive compounds that are important for healthier diets. This study investigated flours produced from the by-products of processing peach palm and apple juice for gluten-free bread formulations. *Sourdough*, known to increase nutritional value, improve texture, digestibility and extend the shelf life of breads without the use of additives, was used. The by-product flours investigated showed a high fiber content, with peach palm with 49.97 g100g⁻¹ and apple with 37.05 g.100 g⁻¹. Apple by-product flour had the highest content of phenolic compounds at 20.21 mg acid galic equivalent (EAG).g⁻¹, while sorghum flour stood out for its antioxidant activity at 1.84 mg Trolox equivalent (ET).g⁻¹ by DPPH and 3.07 mg ET.g⁻¹ by FRAP. *Sourdough* was produced using rice flour, which proved to be more suitable than sorghum or a mixture of rice and sorghum, based on the monitoring of pH, acidity and fermentation capacity. Two formulations with different proportions of sorghum (50% and 60%) and peach palm and apple by-products were compared in terms of proximal composition, antioxidant activity and phenolic compounds. The formulations had a high fiber content (>7g.100g⁻¹) and low energy content (average of 229 kcal.100g⁻¹) compared to commercial breads (average of 450 kcal.100g⁻¹). The formulation with 60% sorghum was chosen for comparison between sourdough bread (SB) and commercial biological yeast bread (FB) because it was more interesting from the nutritional point of view. The formulation with 60% sorghum had the highest antioxidant activity and was chosen for comparison between sourdough bread (SB) and yeast fermented bread (YB). Color, water activity (Aw), acidity, pH, texture, specific volume, expansion index, digestibility, microbiological and sensory analyses were carried out. NF stood out significantly in terms of specific volume, with 3.25 cm³.g⁻¹ for NF and 2.46 cm³.g⁻¹ for BF, while the expansion index was 1.10 for NF and 0.83 for BF. The chewiness value was lower for SB at 34.42 N and 38.64 N for YB. Digestibility results proved the contribution of *sourdough* to improving this parameter, as 74.46% of the total starch value in SB was found to be rapid digestible starch and 29.97% slow digestible starch, while 93.94% in YB was found to be rapid digestible starch and 6.82% slow digestible starch. Although the differences in the averages of the attributes obtained in the sensory analysis by the two fermentation methods were not significant, adjustments to the formulations could improve consumer acceptability.

Key words: digestibility, sustainability, sourdough, dietary fiber, specific volume.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de processamento de pães.....	19
Figura 2 - Estrutura de formação do glúten a partir da gliadina e da glutenina	25
Figura 3 - Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)	31
Figura 4 - Esquema de destinação das porções das hastes de palmito pupunha após colheita.....	33
Figura 5 - Pupunheira (<i>Bactris gasipaes</i> Kunth) com identificação de suas porções	33
Figura 6 - Bagaço da industrialização da maçã	35
Figura 7 - Eletromicrografias das farinhas de sorgo (FS), subprodutos de palmito pupunha (FP) e maçã (FM)	62
Figura 8 - Viscoamilogramas das farinhas de sorgo (FS), subprodutos de palmito pupunha (FP) e maçã (FM)	63
Figura 9 - Produção de fermento natural	72
Figura 10 - Fermentos à base de farinha de sorgo, farinha de arroz e da mistura das farinhas de sorgo e arroz	76
Figura 11 - Produção de fermento com farinhas isentas de glúten.....	86
Figura 12 - Fluxograma da produção de pães	87
Figura 13 – Determinação do perfil de textura dos pães isentos de glúten elaborados com sorgo e subprodutos de palmito pupunha e maçã.....	91
Figura 14 - Pães elaborados com as formulações F1 (50% de farinha de sorgo) e F2 (60% de farinha de sorgo)	95
Figura 15 - Diagrama de cores do sistema	99
Figura 16 - Cor da crosta dos pães correspondente ao círculo cromático do valor de H°	99
Figura 17- Cor da crosta dos pães correspondente ao círculo cromático do valor de H°	100
Figura 18 - Pães isentos de glúten por fermentação natural e por fermentação biológica	102
Figura 19 - Comparação da digestibilidade do amido <i>in vitro</i> dos pães isentos de glúten de fermentação natural e de fermentação biológica	103
Figura 20 - Média da aceitabilidade das formulações de pães isentos de glúten elaborados por fermentação natural e biológica.....	106
Figura 21 - Principais características avaliadas nas formulações dos pães de fermentação natural (FN) e fermentação biológica (FB)	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição do pão francês de farinha branca refinada.....	19
Tabela 2 - Tipos de fermentos naturais e formas de produção	21
Tabela 3 - Composição proximal da farinha de subproduto de palmito pupunha.....	34
Tabela 4 - Produção de bagaço de maçã em determinados países/ano	35
Tabela 5 - Composição proximal da farinha de subproduto de bagaço de maçã	36
Tabela 6 - Caracterização físico-química das farinhas de sorgo (FS), subprodutos de palmito pupunha (FP) e maçã (FM)	56
Tabela 7 - Compostos fenólicos e atividade antioxidante das farinhas de sorgo (FS), subprodutos de palmito pupunha (FP) e maçã (FM)	58
Tabela 8 - Propriedades tecnológicas das farinhas de sorgo (FS), subprodutos de palmito pupunha (FP) e maçã (FM)	60
Tabela 9 - Composição das farinhas de arroz, sorgo e de trigo.....	75
Tabela 10 - Resultados de pH, acidez total titulável e capacidade fermentativa na produção de fermento com FS, FA e FSA	75
Tabela 11 - pH, acidez total titulável (ATT) e contagem de microrganismos - leveduras e bactérias lácticas - dos fermentos naturais produzidos com diferentes farinhas.....	77
Tabela 12 - pH e acidez titulável e capacidade fermentativa dos fermentos de arroz e trigo...	79
Tabela 13 - pH e acidez total titulável dos fermentos de FA e FT com diferença na proporção de alimentação (fermento: farinha: água)	80
Tabela 14 - Formulações de pães isentos de glúten.....	88
Tabela 15 - Matérias-primas adicionadas às farinhas para a formulação dos pães isentos de glúten	88
Tabela 16 - Composição proximal das formulações de pães isentos de glúten.....	94
Tabela 17 - Compostos fenólicos e atividade antioxidante dos pães com diferentes proporções de sorgo na formulação.....	96
Tabela 18 - - Resultados de Aw, acidez e pH dos pães com diferentes fermentações	97
Tabela 19 - - Colorimetria dos pães produzidos com fermentação natural e biológica	98
Tabela 20 - Propriedades mecânicas – perfil de textura dos pães elaborados por fermentação natural e biológica	100
Tabela 21 - Volume específico e índice de expansão dos pães com fermentação natural e fermentação biológica.....	101
Tabela 22 - Amido dos pães produzidos por fermentação natural (FN) e por fermentação biológica (FB)	103

Tabela 23 - Avaliação microbiológica dos pães isentos de glúten elaborados com fermentação natural e fermento biológico.....	105
Tabela 24 - Valores médios para os atributos sensoriais avaliados nos pães elaborados por fermentação natural e biológica.....	107

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA - *One Way Analysis of Variance*

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária

ATT - Acidez Total Titulável

Aw - Atividade de Água

BAL - Bactérias Ácido Láticas

DC - Doença Celíaca

DPPH - abreviatura para o composto 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo

EAG - Equivalente de Ácido Gálico

ET - Equivalente Trolox

FENACELBRA - Federação Nacional das Associações de Celíacos do Brasil

FODMAP - *fermentable oligo, di-mono- saccharides and polyols*, em português, oligossacarídeos, dissacarídeos, monossacarídeos e polióis fermentáveis

FOSHU - *Food for Specific Health Uses*, em português significa “Alimentos para Fins Especiais”

FRAP - *Ferric Reducing Antioxidant Power*, em português Poder Antioxidante de Redução do Ferro

GAD - *glutamic acid decarboxylase*, em português, glutamato descarboxilase ou descarboxilase do ácido glutâmico (DAG)

GABA - *gamma-aminobutyric acid*, em português ácido gama-aminobutírico

IAA - Índice de Absorção de Água

IAO - Índice de Absorção de Óleo

ISA - Índice de Solubilidade em Água

IG - Índice Glicêmico

LABMU - Laboratório Multiusuários (Universidade Estadual de Ponta Grossa)

LDL - *Low Density Lipoprotein*, ou lipoproteína de baixa densidade

RDS - *Rapid Digestible Starch*, em português Amido de Rápida Digestão

SDS - *Slow Digestible Starch*, em português Amido de Lenta Digestão

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

TBCA - Tabela Brasileira de Composição de Alimentos da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo

VDR - Valor Diário Recomendado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 PÃO: História e Processamento.....	17
3.2 FERMENTAÇÃO NATURAL EM PANIFICAÇÃO	20
3.2.1 Ação Prebiótica.....	21
3.2.2 Redução da Concentração de FODMAPs	21
3.2.3 Redução no Teor de Sódio.....	22
3.2.4 Redução de Fitato dos Pães	22
3.2.5 Aumento de Teor de Compostos Fenólicos Totais e Antioxidantes	22
3.2.6 Produção de Vitaminas e Compostos Bioativos GABA	22
3.2.7 Conteúdo de Fibras	22
3.2.8 Índice Glicêmico e Digestibilidade	23
3.3 TRIGO, GLÚTEN E INTOLERÂNCIA AO GLÚTEN	24
3.4 PÃO ISENTO DE GLÚTEN	26
3.5 ALTERNATIVAS DE FARINHAS PARA ELABORAÇÃO DE PÃES ISENTOS DE GLUTEN	28
3.5.1 Farinha de Arroz.....	29
3.6 APROVEITAMENTO DE SUBPRODUTOS PARA ELABORAÇÃO DE PÃES ISENTOS DE GLUTEN.....	32
3.6.1 Subproduto de Palmito Pupunha	32
3.7 ALIMENTOS FUNCIONAIS	36
3.7.1 Fibras Alimentares.....	37
4 PRODUÇÃO DE FARINHAS DE SORGO E DE SUBPRODUTOS DE PALMITO PUPUNHA E MAÇÃ PARA POTENCIAL APLICAÇÃO EM PÃES ISENTOS DE GLÚTEN.....	49

4.1 INTRODUÇÃO	50
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS	51
4.2.1 Materiais	51
4.2.2 Métodos	51
4.2.2.1 Composição proximal.....	51
4.2.2.2 Teor de amido	52
4.2.2.3 Açúcares redutores	52
4.2.2.4 pH	53
4.2.2.5 ATT	53
4.2.2.6 compostos fenólicos	53
4.2.2.7 Atividade antioxidante.....	54
4.2.2.8 Índices de solubilidade em água, absorção de água e absorção de óleo.....	54
4.2.2.9 Aw	55
4.2.2.10 Cor	55
4.2.2.11 Granulometria.....	55
4.2.2.12 Propriedades viscoamilográficas	55
4.2.2.13 Microscopia eletrônica	55
4.2.2.14 Análises estatísticas	55
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
4.3.1 Composição Química	56
4.3.2 Propriedades Tecnológicas	59
4.4 CONCLUSÕES	64
5 COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DE FARINHAS DE SORGO, ARROZ E TRIGO PARA A PRODUÇÃO DE FERMENTO NATURAL PARA PANIFICAÇÃO	70
5.1 INTRODUÇÃO	71
5.2 MATERIAIS E MÉTODOS	72
5.2.1 Materiais	72
5.2.2 Métodos	72
5.2.2.1 Produção de fermento natural.....	72
5.2.2.2 pH	72
5.2.2.3 ATT - acidez total titulável.....	73

5.2.2.4	Capacidade fermentativa	73
5.2.2.5	Crescimento microbiano	73
5.2.2.6	Produção de fermento natural com diferentes substratos isentos de glúten	73
5.2.2.7	Produção de fermento natural comparando farinhas com e sem glúten	73
5.2.2.8	Análise estatística	74
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
5.3.1	Composição das Farinhas para Produção de Fermento Natural	74
5.3.2	Produção de Fermento Natural com Diferentes Substratos Isentos de Glúten.....	75
5.3.3	Produção de Fermento Natural Comparando Farinhas Com e Sem Glúten.....	77
5.4	CONCLUSÃO	80
6	DESENVOLVIMENTO DE PÃES ISENTOS DE GLÚTEN POR FERMENTAÇÃO NATURAL	83
6.1	INTRODUÇÃO	84
6.2	MATERIAL E MÉTODOS	85
6.2.1	Material.....	85
6.2.2	Métodos	86
6.2.2.1	Fermento natural.....	86
6.2.2.2	Elaboração de Pães isentos de glúten	87
6.2.2.3	Comparação entre duas formulações de pães de fermentação natural (F1 e F2) .	88
6.2.2.4	Comparação entre a fermentação natural e a fermentação biológica	88
6.2.2.5	Análise de composição proximal.....	89
6.2.2.6	Compostos fenólicos	89
6.2.2.7	Atividade antioxidante.....	90
6.2.2.8	Determinação colorimétrica dos pães elaborados	90
6.2.2.9	Aw	91
6.2.2.10	pH	91
6.2.2.11	ATT	91
6.2.2.12	Propriedades mecânicas.....	91
6.2.2.13	Volume de expansão.....	92
6.2.2.14	Digestibilidade <i>in vitro</i> do amido	92
6.2.2.15	Análises microbiológicas.....	93
6.2.2.16	Análise Sensorial	93

6.2.2.17	Análise Estatística	94
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	94
6.3.1	Composição Físico-Química dos Pães Elaborados com Diferentes Proporções de Sorgo	94
6.3.1.1	Composição proximal.....	94
6.3.1.2	Compostos fenólicos e atividade antioxidante	96
6.3.2	Comparação dos Pães Isentos de Glúten Processados por Fermentação Natural e Biológica.....	96
6.3.2.1	Aw, pH e acidez.....	96
6.3.2.2	Propriedades físicas e mecânicas dos pães processados por diferentes métodos de fermentação	97
6.3.2.3	Digestibilidade dos pães isentos de glúten processados por diferentes métodos de fermentação	103
6.3.2.4	Análises microbiológicas e sensoriais dos pães processados por diferentes métodos de fermentação.....	105
6.4	CONCLUSÃO	109
6.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	110
APENDICE A – Resumo do artigo que será publicado no Boletim do CEPPA (ISBN 19839774), apresentado no XVII ERSCTA - 2023.....		116
APENDICE B - Resumo apresentado no SLACAN 2023		117
APENDICE C - Parecer consubstanciado do CEP		118

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos que promovam saúde e bem-estar tem impulsionado a pesquisa e o desenvolvimento de produtos funcionais, para dietas especiais, *plant-based* e *clean label* pela indústria alimentícia. Isso é desafiador, pois além de saudáveis, esses alimentos devem manter a vida útil, praticidade e satisfação sensorial.

O pão, alimento básico e acessível em todo o mundo, é tradicionalmente feito de farinha de trigo, porém algumas pessoas têm restrições ao glúten presente nessa matéria-prima. A prevalência da doença celíaca varia de 0,3% a 1% na população de ancestralidade europeia, com muitos casos subnotificados (Papagianni *et al.*, 2024). No Brasil, não há dados estatísticos oficiais disponíveis, mas a Federação Nacional das Associações de Celíacos do Brasil (FENACELBRA) estima que o número atual de celíacos no país seja de 2 milhões, sendo que a maioria ainda não foi diagnosticada (Rodrigues; Almeida; Costa, 2023).

Pães isentos de glúten, feitos com farinhas de arroz, milho, batata ou mandioca, apresentam baixo valor nutricional, alto teor calórico e custo elevado, além de não serem sensorialmente agradáveis para muitos consumidores (Papagianni *et al.*, 2024). A farinha de arroz, pode ser também obtida de subprodutos do beneficiamento do arroz, é suave, hipoalergênica, e de fácil digestão, contribuindo para o aproveitamento sustentável das matérias-primas (Moraes; Silva, 2023).

O sorgo (*Sorghum bicolor*), cereal muito cultivado na África e Índia, está ganhando espaço no Brasil, onde é muito utilizado na alimentação animal. Diversos autores vêm investigando seu potencial para alimentação humana (Mamoudou *et al.*, 2006, Abdelghafor *et al.*, 2011, Cayres *et al.*, 2020, Queiroz *et al.*, 2021). Estudos indicam que a farinha de sorgo, rica em amido, proteínas, minerais, vitaminas e compostos bioativos, pode ser uma opção para formulações de produtos isentos de glúten (Hryhorenko *et al.* 2023; Saeed Omer *et al.*, 2023).

As agroindústrias desempenham papel importante na economia do Brasil. A valorização e a sustentabilidade desse setor podem ser alcançadas por meio de técnicas que aproveitem integralmente as matérias-primas. A maioria das linhas de produção gera subprodutos em quantidades significativas, muitos dos quais têm uma composição que justifica seu aproveitamento (Ferreira *et al.*, 2020).

Exemplos incluem a farinha de partes não aproveitadas para processamento de conservas das hastes de palmito pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth), rica em fibras, vitaminas, minerais e antioxidantes (Santos; Bolanho; Danesi, 2021). Seu aproveitamento em formulações de sopas, *snacks*, cookies, proporcionou enriquecimento nutricional e aceitação sensorial satisfatória (Egea *et al.*, 2012; Los *et al.*, 2018; Melo *et al.*, 2021).

Outra farinha obtida de subprodutos, é a da indústria de suco de maçã, que pode contribuir para a aceitação sensorial e valor nutricional de pães isentos de glúten, agregando fibras solúveis e compostos bioativos nas formulações (Beltrão Martins *et al.*, 2022).

A demanda por pães de fermentação natural tem aumentado devido aos benefícios à saúde, maior conservação sem aditivos e melhorias sensoriais que proporciona. Ramos *et al.* (2021) confirmaram a viabilidade dessa técnica para pães isentos de glúten. A fermentação natural melhora o sabor, aroma, textura, valor nutricional, reduz o índice glicêmico, aumenta a biodisponibilidade de minerais, capacidade antioxidante e de compostos fenólicos (Drakula *et al.*, 2021; Peñalver; Nieto, 2024).

Este estudo, portanto, visa desenvolver formulações de pães isentos de glúten, utilizando fermentação natural, com farinhas de sorgo e subprodutos de palmito pupunha e maçã, destacando a importância dessa abordagem inovadora.

Este documento foi redigido com as seguintes partes: Introdução; Objetivos; Revisão Bibliográfica; Produção de farinhas de sorgo e de subprodutos de palmito pupunha e maçã para potencial aplicação em pães; Comparação do desempenho de farinhas de sorgo, arroz e trigo para a produção de fermento natural para panificação e Desenvolvimento de pães isentos de glúten por fermentação natural.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver formulações de pães isentos de glúten, por fermentação natural, utilizando farinha de sorgo enriquecida com farinhas de subprodutos de palmito pupunha e maçã.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter farinhas de sorgo e dos subprodutos de palmito pupunha e maçã; caracterizá-las com relação a aspectos físico-químicos e tecnológicos;
- Realizar testes com farinha de arroz e sorgo para verificação da capacidade fermentativa para a produção do *levain* (fermento natural);
- Estudar a influência das proporções das farinhas de subprodutos de palmito pupunha e maçã nas características dos pães elaborados;
- Comparar a formulação de pães definida como mais nutritiva por fermentação natural e biológica;
- Analisar a qualidade dos pães elaborados com relação à composição proximal, valor energético, pH e acidez titulável, compostos fenólicos e atividade antioxidante, fibras alimentares, digestibilidade, propriedades tecnológicas de volume de expansão, cor e propriedades mecânicas;
- Avaliar a segurança microbiológica dos pães e perfil sensorial.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PÃO: HISTÓRIA E PROCESSAMENTO

O pão é conhecido como um dos alimentos mais antigos da civilização humana (Silva; Fríschio, 2021). Por milhares de anos esse alimento tem sido um dos principais constituintes da dieta humana, tornando o cozimento de pães fermentados um dos mais antigos processos biotecnológicos (Goesaert *et al.*, 2005).

A Resolução nº711 de 1º de julho de 2022 (Brasil, 2022) define pão como os produtos obtidos do processo de cocção de farinha adicionada de líquido, fermentados ou não, podendo apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos.

É difícil precisar a origem do pão na dieta humana. A sua história se confunde, em partes, com a trajetória da civilização ocidental, dos egípcios, responsáveis pela sua invenção há mais de seis mil anos, passando pelos gregos e os romanos que, por sua vez, fizeram do pão um instrumento de sua política e de manutenção da ordem. Os judeus utilizaram esse alimento para nortear aspectos de sua legislação religiosa e social, ao passo que os cristãos o tinham como forma de simbolizar o corpo de Cristo (Silva; Fríschio, 2021).

O pão é um alimento muito consumido e está disponível em várias apresentações no mercado, incluindo pães assados, massa crua congelada e massa pré-assada congelada. No Brasil o pão francês é o produto mais consumido e significativo nas padarias, representando aproximadamente 53% do consumo total em comparação com outros tipos de pães disponíveis no país (Ghenot *et al.*, 2022).

Rodrigues *et al.* (2021) estudaram a evolução dos alimentos mais consumidos no Brasil num período de 10 anos e constataram que o pão permaneceu entre os 6 alimentos que formam a base da alimentação do brasileiro. Segundo dados disponibilizados no site do SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas), 76% dos brasileiros consomem pão no café da manhã, sendo o consumo *per capita* anual de 22,61 kg.

Dois dos detalhes mais importantes por trás do sucesso do pão como alimento básico é sua simplicidade em termos de ingredientes e preparo, bem como a multiplicidade de cereais que podem ser usados na sua produção. A farinha, a água, o fermento e o sal (cloreto de sódio) são os componentes básicos que, após serem amassados, fermentados e cozidos, dão origem ao pão. Apesar disso, existem milhares de formulações e diferentes tipos de pão (Carocho *et al.*, 2020).

A produção artesanal de pão era simples: misturava-se farinha e água para formar uma massa, que era deixada para fermentar antes de ser assada. Essa tradição foi transmitida através das gerações, mas como a fermentação artesanal era lenta, levando muitas horas, formas mais rápidas foram adotadas para atender à crescente demanda. Com o tempo, a indústria de

panificação mudou drasticamente. As padarias artesanais foram substituídas por grandes fábricas de panificação de alta tecnologia. A produção em larga escala, focada em eficiência e produtividade, tornou-se o padrão. Novas tecnologias de panificação foram desenvolvidas para acompanhar as mudanças do mercado, com a incorporação de novos materiais e ingredientes. A pesquisa científica trouxe melhorias significativas à fabricação de pães, marcando uma evolução no setor (Zain; Oliveira; Baba, 2020)

A grande maioria dos pães é produzida a partir da farinha de trigo. Além de seu principal constituinte ser o amido, a farinha de trigo contém outras substâncias, as proteínas como o glúten, os polissacarídeos não amiláceos e os lipídios. Esses são os de maior importância no processamento e na qualidade dos produtos (Goesaert *et al.*, 2005). Na panificação, além do trigo, a água é um ingrediente importante, já que ambos afetam a textura e o miolo do produto. Estudos demonstram que 50% de água incorporada em determinada elaboração, resultam em um pão com textura leve, apesar de os pães artesanais conterem de 60 a 75% de água (Scheuer *et al.*, 2011).

A fermentação é realizada pela levedura *Saccharomyces cerevisiae*, onde o açúcar é convertido em álcool etílico e CO₂. O açúcar é adicionado para o início da fermentação e o sal tem a função de fortalecer o glúten e regular a atividade do fermento para a expansão controlada da massa. A equação 1 expressa a reação química da fermentação alcoólica, onde para cada mol de glicose, são produzidos dois mols de dióxido de carbono e dois mols de etanol (Mondal; Datta, 2008).



Segundo De Vuyst, Comasio e Kerrebroeck (2023), a partir do século XX surge o fermento desidratado à base de *Sacharomyces cerevisiae* (fermento de padaria), capaz de reduzir a fermentação, antes com duração de dias, para 2 horas. A consequência desta alteração na forma de produção de pães, com fermentos de ação mais rápida e procurando matérias-primas mais baratas, foi a perda de seu valor nutricional, e que contribuiu para o aumento da obesidade, doenças cardiovasculares, hipertensão, diabetes tipo 2 e câncer (Silva; Frísicio, 2021).

Esta mudança na forma de fermentação dos pães resultou em alterações no sabor e aroma, que ficaram menos complexos (Gobbetti *et al.*, 2019). A partir da década de 80, iniciou-se um resgate dos modos tradicionais de produção de pão, sobretudo nos Estados Unidos, em busca do sabor e da textura perdidos com o processo de industrialização (Silva; Frísicio, 2021).

Na Tabela 1 encontram-se os valores médios da composição do pão francês de padaria, caracterizando o tipo de pão mais consumido no Brasil, produzido com farinha de trigo branca refinada, segundo a Tabela de Composição de Alimentos da Faculdade de Ciências

Farmacêuticas da Universidade de São Paulo (TBCA-USP, 2023).

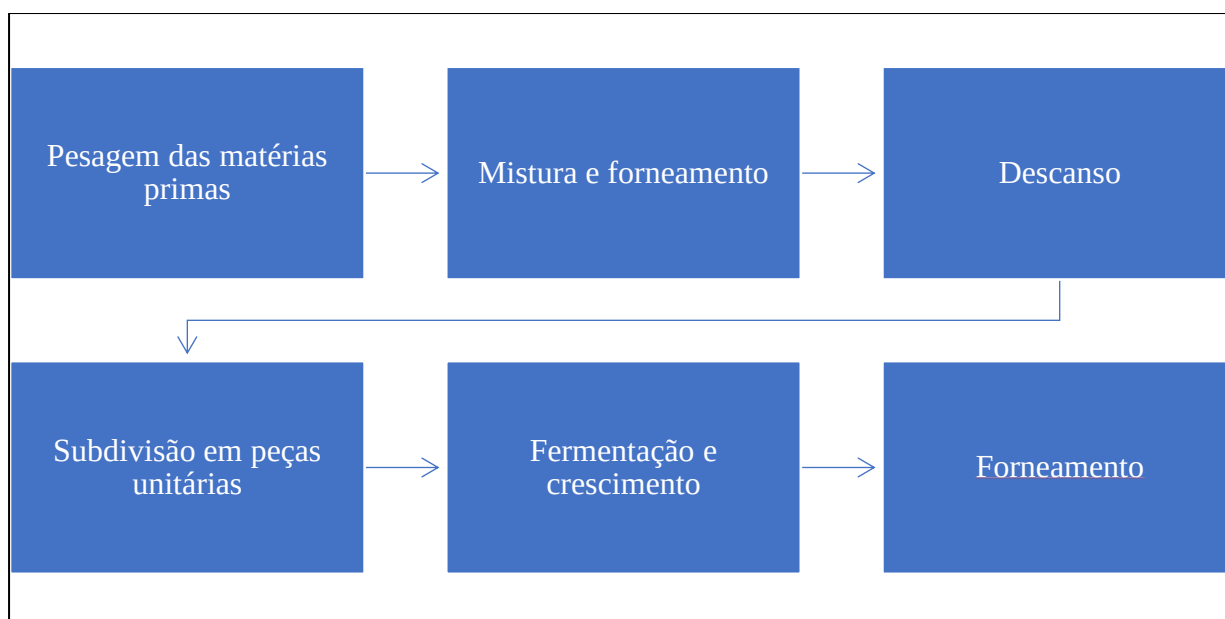
Tabela 1- Composição do pão francês de farinha branca refinada

Componente (g.100 g ⁻¹)	Pão francês
Umidade	24,7
Cinzas	1,74
Proteínas	9,83
Lipídios	2,12
Fibras alimentares	2,61
Carboidratos totais	61,6
Valor energético (kcal100g ⁻¹)	299

Fonte: TBCA-USP (2023)

Os principais ingredientes do pão são farinha de cereais, água, levedura ou outro agente de fermentação e sal podendo também ser adicionados açúcar, enzimas, emulsificantes, oxidantes, gordura e aditivos. O processo de fabricação do pão envolve três etapas fundamentais: mistura, fermentação e cozimento. Durante a etapa de mistura, todas as matérias-primas são combinadas de forma homogênea. Na etapa de fermentação, a massa cresce e desenvolve a estrutura de miolo desejada. Por fim, na etapa de cozimento, a massa se expande ainda mais e o pão adquire sua forma final (Akin *et al.*, 2022). A Figura 1 ilustra um processo básico de produção de pães.

Figura 1 – Diagrama de blocos do processamento de pães



Fonte: Stanley e Young (2009)

3.2 FERMENTAÇÃO NATURAL EM PANIFICAÇÃO

Na década de 1990, pesquisas científicas sobre a fermentação natural de pães ganharam destaque, com o objetivo de investigar as propriedades tecnológicas conferidas ao produto, como sabor, textura, maior prazo de validade e sua relação com a microbiota do fermento. Além disso, os efeitos nutricionais e funcionais da fermentação natural se tornaram foco de diversos estudos ao redor do mundo (Mcgee, 2014).

O fermento natural é chamado *sourdough* (do inglês *sour* = azedo e *dough* = massa), *levain* (do francês significa fermento) ou também massa madre. Consiste em uma mistura de farinha e água, que em contato com o meio ambiente, fermenta através da microbiota presente nas matérias-primas e no meio (De Vuyst; Comasio; Kerrebroeck, 2023).

O uso de *sourdough*, tem demonstrado sua contribuição na qualidade do pão em termos de textura, aroma, prazo de validade e valor nutricional (Picozzi *et al.*, 2016).

A fermentação natural é uma técnica que pode usar vários tipos de farinhas, como trigo, centeio ou outros cereais, e água. O processo mais antigo de preparação é a fermentação espontânea e a acidificação, devido à microbiota local, em uma interação complexa, de bactérias do ácido láctico (BAL) e leveduras (Akamine; Mansoldo; Vermelho, 2023).

Para obtenção do pão por fermentação natural, após a mistura de farinha, água, fermento e sal, forma-se uma massa e emprega-se a sova - um processo físico e repetitivo, que consiste em estender, dobrar e comprimir a massa por inúmeras vezes. Após à sova, inicia-se a primeira fermentação em temperatura ambiente. No decorrer da primeira fermentação, realizam-se cerca de quatro dobras na massa, com a função de alinhar e favorecer a interação entre as proteínas que constituem o glúten. A divisão do processo em duas etapas - temperatura ambiente e sob refrigeração - é uma forma de evitar que o trabalho realizado se estenda ao longo do dia e da noite. Ao colocar a massa sob refrigeração, realiza-se o controle da atividade biológica das leveduras, permitindo que a fermentação ocorra de forma lenta e gradual. No dia seguinte, retira-se a massa da refrigeração e inicia-se a etapa de cocção do pão (Silva; Frísio, 2021).

O fermento natural pode ser classificado de acordo com o inóculo em tipos I, II e III, e o processo tecnológico em tipo 0, I, II e III. Em algumas literaturas observa-se uma classificação incluindo também fermento tipo IV. A Tabela 2 demonstra uma classificação dos fermentos com a relação à forma de produção (Akamine; Mansoldo; Vermelho, 2023; De Vuyst; Comasio; Kerrebroeck, 2023).

Tabela 2 - Tipos de fermentos naturais e formas de produção

Tipo	Produção
I	Tradicional (água/farinha)
II	Com culturas iniciadoras (cepas selecionadas)
III	Fermento do Tipo II desidratadas
IV	Tradicional adicionado de inóculo do fermento Tipo I

Fonte: Adaptado de De Vuyst; Comasio; Kerrebroeck, 2023.

Mais de 80 espécies de BAL foram isoladas em um fermento, os *sourdough* tipo I maduros, entre elas *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Lactococcus*, *Enterococcus* e *Weisella* e mais de 20 espécies de leveduras dos gêneros *Saccharomyces*, *Candida* e *Kazachstania* (Martin, 2022).

O uso da fermentação natural contribui para a melhora da qualidade sensorial, propriedades reológicas, maior vida útil e diversos atributos nutricionais. Compreendem-se como qualidade sensorial massas mais macias, pois há o retardamento do endurecimento do produto, formação de diversos compostos aromáticos e a facilitação da reação de Maillard, devido ao metabolismo das bactérias e leveduras que liberam açúcares redutores. Com relação à qualidade tecnológica, verifica-se o aumento da vida útil, pela maior acidez e formação de compostos antimicrobianos (Arora *et al.*, 2021).

Os aspectos nutricionais do pão de fermentação natural incluem a redução do índice glicêmico, promoção do predomínio de bactérias benéficas no intestino, diminuição da concentração de FODMAPs (oligossacarídeos, dissacarídeos, monossacarídeos e polióis fermentáveis), obtenção de pães com menor teor de sódio, redução do fitato, aumento da capacidade antioxidante e do teor de compostos fenólicos totais, além da produção de vitaminas e do composto bioativo GABA (ácido gama-aminobutírico). A seguir esses benefícios são detalhados.

3.2.1 Ação Prebiótica

Segundo Arias *et al.* (2017), a ingestão de pães de fermentação natural favorece o predomínio de bactérias benéficas no intestino e evitam a proliferação de bactérias indesejadas.

Para Silva e Frísio (2021) a fermentação natural promove uma pré-digestão que favorece a disponibilidades de nutrientes que enriquecem a microbiota do intestino.

3.2.2 Redução da Concentração de FODMAPs

A fermentação natural tem se mostrado eficiente na redução da concentração de FODMAP (sigla em inglês para *fermentable oligo, di-mono- saccharides and polyols*, em

português, oligossacarídeos, dissacarídeos, monossacarídeos e polióis fermentáveis) (Menezes *et al.*, 2018). Esses carboidratos podem levar à síndrome do intestino irritável e os resultados de pesquisas científicas mostraram que após doze horas de fermentação, houve uma redução de 40 a 60% no teor total de FODMAP (Martin, 2022).

Os compostos do grupo FODMAP não são digeridos, nem absorvidos no trato gastrointestinal. Possuem um forte efeito osmótico e fermentam nos intestinos, levando à liquefação das fezes, aumento da produção de gases, inchaço e desconforto abdominal. Esses compostos podem desencadear ou agravar sintomas em pacientes suscetíveis com doença inflamatória intestinal e síndrome do intestino irritável (Roszkowska *et al.*, 2019).

3.2.3 Redução no Teor de Sódio

Metabólitos da degradação de carboidratos e proteínas originadas durante a fermentação contribuem para o aumento da sensação do "gosto salgado", possibilitando a redução na quantidade de sal a ser adicionada (Gobbetti *et al.*, 2019).

3.2.4 Redução de Fitato dos Pães

A fermentação natural reduz o teor de fitato dos pães e aumenta a biodisponibilidade de minerais presentes na farinha. A redução do fitato pode ser alcançada durante a fermentação e é favorecida pela redução do pH (Martin, 2022).

3.2.5 Aumento de Teor de Compostos Fenólicos Totais e Antioxidantes

Arias *et al.* (2017) relatam que as BAL e leveduras podem aumentar a capacidade antioxidante e o teor de compostos fenólicos totais de produtos à base de cereais. Essa capacidade é devida à síntese de peptídeos ou liberação de compostos fenólicos já presentes nos cereais, aumentando sua biodisponibilidade.

3.2.6 Produção de Vitaminas e Compostos Bioativos GABA

Martin (2020) relata que BAL e leveduras podem sintetizar vitaminas e compostos GABA, neurotransmissor que auxilia na atividade e regulação cerebral. O GABA é um aminoácido não proteico que atua como neurotransmissor inibitório no sistema nervoso central, tendo diversos efeitos protetores no organismo, como controle da hipertensão, hiperglicemia, inflamação e atuando como antioxidante (Canesin; Cazarin, 2021). Também tem efeitos tranquilizantes, que podem ajudar a reduzir a depressão e a ansiedade. Os alimentos fermentados têm se mostrado fontes de GABA (Fraberger; Ammer; Domig, 2020). A ingestão repetida de GABA pode melhorar o sono e estresse com doses diárias de 2,01 - 26,4 mg e uso prolongado (1 - 8 semanas) (Hepsomali *et al.*, 2020).

3.2.7 Conteúdo de Fibras

Segundo Xu *et al.* (2021) a adição de fibras dietéticas antioxidantes no pão aumenta os

benefícios nutricionais e de saúde para os consumidores. Fibras dietéticas antioxidantes estão presentes nos alimentos à base de plantas, como vegetais, frutas e sementes. Estas fibras podem ser metabolizadas no cólon e utilizadas pela microbiota bacteriana para fornecer benefícios à saúde.

3.2.8 Índice Glicêmico e Digestibilidade

O índice glicêmico (IG) busca classificar os alimentos de acordo com a resposta glicêmica quando da ingestão do alimento. As dietas com baixo IG estão sendo relacionadas a menor incidência de diabetes (Caruso; Menezes, 2000).

O conceito de índice glicêmico (IG) foi introduzido por Jenkins *et al.* (1981) quantificando a glicemia em resposta à ingestão de alimentos com diferentes quantidades de carboidratos. Após o consumo de pão, o amido é digerido e absorvido de maneira rápida, causando hiperglicemia em pessoas com síndrome de resistência à insulina. A ingestão de carboidratos de rápida digestão pode aumentar os níveis de glicose no sangue e a necessidade de insulina após as refeições. A hiperglicemia é um fator de risco importante na etiologia de doenças relacionadas à síndrome metabólica. O consumo de pão de fermentação natural reduz a glicemia pós-prandial e a resposta à insulina e os ácidos orgânicos, como os ácidos lático e acético, produzidos na massa fermentada, diminuem seu índice glicêmico (Demirkesen-Bicak *et al.*, 2021).

Segundo revisão realizada por Simnadis, Tapsell e Beck (2016), a resposta glicêmica favorável tem relação com a digestibilidade do amido (Reis Gallo *et al.*, 2021).

A digestibilidade é a medida da quantidade de nutrientes absorvidos pelo corpo após a ingestão de alimentos, expressa como a porcentagem do alimento ingerido que é absorvido pelo organismo. Para produtos de panificação fermentados, como o pão, a digestibilidade é influenciada por vários fatores, como a disponibilidade do amido, a quebra das proteínas durante o processamento e a digestão, a presença de compostos antinutricionais, bem como a sensação de saciedade e possíveis sintomas gastrointestinais após o consumo (Costantini *et al.*, 2022).

Dentre os principais benefícios à saúde, os alimentos fermentados promovem como mencionado, a pré-digestão do alimento, o que favorece a disponibilidade de nutrientes para o organismo e, no caso do pão, a sua digestão ao realizar a quebra parcial das cadeias de glúten (Silva; Fríscio, 2021).

O pão de fermentação natural tem sua digestibilidade favorecida devido à fermentação lenta. A microbiota decompõe os carboidratos complexos em açúcares simples digeríveis e as proteínas em aminoácidos. O ácido acético parece estar associado a um atraso no esvaziamento gástrico, enquanto o ácido lático induz interações entre amido e glúten durante o cozimento da

massa e reduz a disponibilidade de amido (Demirkesen-Bicak *et al.*, 2021).

A biotecnologia de fermentação natural tem sido estudada e seus efeitos dinâmicos demonstram influenciar nas propriedades funcionais, sensoriais, estruturais e nutricionais da panificação (Silva *et al.*, 2021). Rizzello *et al.* (2019) compararam a digestibilidade de pães de fermentação natural com pães de fermentação com leveduras e confirmaram que a digestibilidade *in vitro* melhora com a fermentação natural.

Stinton *et al.* (2024) estudaram o impacto da adição de clara de ovo no pão de fermentação natural isento de glúten, para verificar suas propriedades estruturais e sensoriais e demonstraram que a clara de ovo promove a formação de redes que imitam o glúten, resultando em pães com atributos semelhantes aos pães convencionais, mantendo essas características durante o armazenamento. Mas, no caso de pães *plant based*, hidrocoloides como goma xantana tem sido empregados para conferir a consistência desejada (Bende; Schönlechner, 2020).

3.3 TRIGO, GLÚTEN E INTOLERÂNCIA AO GLÚTEN

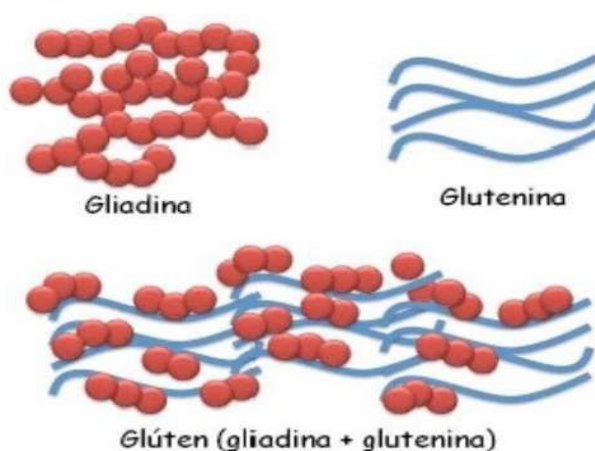
A palavra “trigo” provém do vocábulo latino *triticum*, que significa quebrado, triturado, numa referência à atividade que se deve realizar para separar o grão de trigo da camada que o reveste. O trigo, pertencente à família *Poaceae*, subfamília *Pooideae* e ao gênero *Triticum*, é classificado em diferentes espécies. É de longe o mais importante cereal utilizado na produção de pães, embora em algumas partes do mundo o uso do centeio é substancial (Goesaert *et al.*, 2005; Scheuer *et al.*, 2011).

A revolução industrial desempenhou importante papel na popularidade do trigo como alimento básico na dieta ocidental. Nesse período, o trigo foi moído de forma simples em grandes quantidades e distribuído, usando os sistemas ferroviários em desenvolvimento. A popularidade ocidental do trigo aumentou durante a Grande Depressão e a Segunda Guerra Mundial, quando produtos contendo trigo, como pão e macarrão, serviram como substitutos mais baratos de alimentos racionados, como laticínios e carne. O consumo mundial de trigo aumentou em ritmo mais rápido do que todos os outros cereais. Como resultado, há uma atenção crescente para os efeitos do glúten na saúde (Aljada; Zohni; El-Matary, 2021).

De forma geral, a farinha de trigo é composta, sobretudo de 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%). O amido contém dois principais polímeros de glicose, a amilose e a amilopectina, que diferem no grau de polimerização das cadeias glucanas e na frequência dos ramos. No endosperma do trigo, o amido consiste em 70-80% de amilopectina e 20-30% de amilose (Li *et al.*, 2021).

As principais proteínas do trigo, gliadina e glutenina, são responsáveis pela formação do glúten, conferindo à massa propriedades de absorção de água, coesão, viscosidade e elasticidade (Aljada; Zohni; El-Matary, 2021). O glúten, um complexo proteico composto por essas frações, retém dióxido de carbono e proporciona características únicas aos produtos de panificação. Enquanto as gliadinas garantem a viscosidade, as gluteninas são responsáveis pela elasticidade da massa (Wang et al., 2017). A Figura 2 ilustra como essas frações proteicas formam a rede viscoelástica em presença de água.

Figura 2 - Estrutura de formação do glúten a partir da gliadina e da glutenina



Fonte: Google Bing, 2022

A rede de glúten é formada após mistura da farinha de alguns tipos de cereais com água, por meio de uma energia empregada muitas vezes chamada de “amassamento ou sova” na produção de pães, e é a principal proteína formadora de estrutura no pão de trigo, que confere à massa viscoelasticidade e qualidade de cozimento (Bender; Schönlechner, 2020).

As propriedades reológicas e funcionais do glúten dependem da proporção de gluteninas para gliadinas e das interações dessas estruturas. Cada componente tem funções diferentes para determinar as propriedades viscoelásticas (aprisionamento do dióxido de carbono liberado durante o fermento do pão) e a qualidade do produto (Biesiekierski, 2017).

A gliadina e a glutenina, compostos formadores do glúten em produtos de panificação, podem desencadear uma série de sintomas em indivíduos que possuem uma predisposição genética e sensibilidade a estas substâncias, levando a um processo inflamatório na mucosa do intestino delgado com repercussões agudas como diarreia, constipação, inchaço, náuseas e vômitos (Aljada; Zohni; El-Matary, 2021).

O número de pessoas que sofrem intolerância ao glúten está crescendo, e ao mesmo

tempo, a necessidade por alimentos adequados para uma dieta livre dessa proteína. O único tratamento seguro para a doença celíaca (DC) é uma dieta de exclusão total do glúten, sem contaminação cruzada. No Brasil não existe nenhuma determinação de quantidade de glúten para alimentos, apesar de algumas empresas seguirem o valor estabelecido pelo *Codex Alimentarius* onde alimentos com até 20 ppm de glúten são considerados seguros para pessoas com DC (Silva *et al.*, 2021; Vargas *et al.*, 2024).

O mercado sem glúten está em expansão, não só por causa do crescente interesse e conscientização pública sobre os distúrbios relacionados ao glúten, mas também devido aos influenciadores que promovem essa dieta para perda de peso e atletas para melhorar o seu desempenho (Roszkowska *et al.*, 2019).

Segundo Aljada, Zohni e El-Matary (2021), ao longo dos anos, a descoberta científica, o marketing agressivo e a cobertura da mídia sobre os benefícios de uma dieta livre de glúten, levaram as empresas de alimentos a produzirem mais opções sem glúten.

Estudos evidenciam que a taxa de prevalência de adesão a uma dieta livre de glúten na população adulta em geral pode chegar em alguns países até 7%. As razões dadas para essa adesão são que poderia ajudar a controlar o peso corporal ou a percepção de ser uma escolha saudável (Cabanillas, 2020; Šmídová; Rysová, 2022).

Na panificação livre de glúten, o ingrediente chave para a estrutura e qualidade do pão, vem sendo estudado por padeiros e pesquisadores de cereais. Várias abordagens têm sido aplicadas para entender e melhorar a elaboração de pão sem glúten e mais estudos ainda são necessários (Wang *et al.*, 2017; Ramos *et al.*, 2021).

3.4 PÃO ISENTO DE GLÚTEN

Entre os produtos isentos de glúten, o pão é o mais estudado. Contudo, um pão sem glúten com um bom aspecto sensorial é ainda o produto mais desejado pelos indivíduos com desordens relacionados ao glúten, como a doença celíaca (Sandri *et al.*, 2017).

Segundo Oliveira *et al.* (2022) o pão sem glúten é destinado a celíacos e adeptos de dieta livre de glúten e usam farinha de arroz (*Oriza sativa* L.), batata (*Solanum tuberosum* L.) e milho (*Zea mays* L.) como ingredientes ricos em amido. As massas carecem de natureza elástica e coesiva e são difíceis de manusear e, como a rede de proteínas está ausente, a retenção de gás é controlada pela viscosidade da massa. Isto conduz a volumes de pão bastante fracos (Capriles; Dos Santos; Arêas, 2016).

A panificação sem glúten é um desafio tecnológico, devido à incapacidade dessas farinhas formarem massas coesas e elásticas. Além disso, as características únicas do glúten de trigo

tornam difícil encontrar matérias-primas ou aditivos que possam substituí-lo. Muitos produtos sem glúten disponíveis no mercado têm baixas propriedades nutricionais e baixa aceitação quanto ao paladar (Wang *et al.*, 2017).

No processo de panificação sem glúten, os ingredientes são baseados em amidos, pois não há a formação de uma rede tridimensional como ocorre quando há a utilização da farinha de trigo. Estudos mostraram que o tamanho das partículas de amido pode afetar as propriedades reológicas da massa. O tamanho menor do grânulo de amido aumentará as propriedades elásticas da massa, com a absorção de água, formando um gel. Porém, os efeitos do tamanho das partículas de farinha e dos componentes do amido, incluindo o teor de amido modificado, sobre o comportamento da massa não estão elucidados (Tian *et al.*, 2020). Para que haja retenção de ar na massa é necessário garantir a viscosidade e a gelatinização do amido. Desta forma, as formulações baseadas em amido precisam de uma maior adição de água (Bender; Schönlechner, 2020).

Roman, Belorio e Gomez (2019) examinaram formulações e dados nutricionais de 228 pães sem glúten de várias marcas globais. A análise mostrou que os pães comerciais usam uma combinação de ingredientes, em vez de uma única fonte de amido ou substituto do glúten, para melhorar a qualidade.

A água é um conteúdo crítico e importante para garantir a hidratação e condições adequadas à viscosidade da massa, desnaturação das proteínas e gelatinização do amido que pode influenciar nos parâmetros da qualidade dos pães como volume, maciez do miolo, crocância da crosta, aromas e texturas e a vida de prateleira. A quantidade de água deve ser ajustada considerando-se a proporção dos ingredientes usados na massa. As formulações de pão sem glúten exigem maiores quantidades de água (que podem variar de 70 a 180% em relação ao peso de farinha) para garantir a estrutura e textura adequada (Santos *et al.*, 2021). Essa alteração têm um impacto significativo na textura da massa, direcionando-a para uma consistência que influencia tanto o processo de fabricação quanto a qualidade final do pão.

Segundo Belorio e Gómes (2020), quanto maior a hidratação, maior o volume específico de um pão, até um ponto máximo em que a estrutura fraca da massa promove o colapso durante o processo de fermentação ou cozimento.

Várias estratégias têm sido aplicadas para auxiliar o processamento e melhorar as propriedades do pão sem glúten como a adição de:

- Ingredientes de ligação à água e formadores de filme (goma de alfarroba, goma guar, pentosanas, xantana, amidos nativos ou modificados pré-gelatinizados, derivados de celulose)

- Ingredientes formadores de estrutura, enchimento de volume, que dão sabor (proteínas de soja, do leite, de peixe, proteínas modificadas),
- Substâncias tensoativas (emulsionantes)

Segundo Bende e Schönlechner (2020) os hidrocoloides são um dos ingredientes mais cruciais em pães sem glúten, sendo a hidropolimetilcelulose, o mais usado em indústrias, em 64% das formulações, seguido de goma xantana (55%), goma guar (37%) e psyllium (34%). Mais de 80% dos pães sem glúten usam uma combinação de hidrocoloides para melhorar as propriedades de extensão da massa.

O psyllium e a goma xantana apresentam comportamentos reológicos semelhantes, pois ambos são responsáveis por propriedades geleificantes fracas (Belorio; Gómes, 2020).

Na panificação convencional, enzimas como amilase e proteases quebram carboidratos e hidrolisam o glúten, respectivamente, melhorando a maleabilidade da massa. Na panificação isenta de glúten, as enzimas são essenciais para imitar suas funções. Amilase e ciclodextrina glicosiltransferase aumentam a solubilidade das proteínas, melhorando a retenção de CO₂ e a textura do pão. Transglutaminase (TGase) e glico-oxidase criam estruturas semelhantes ao glúten, enquanto proteases melhoram a textura dos pães à base de farinha de arroz. Essas enzimas vêm de fontes microbianas, vegetais e animais (Ramos *et al.*, 2021).

3.5 ALTERNATIVAS DE FARINHAS PARA ELABORAÇÃO DE PÃES ISENTOS DE GLUTEN

Os ingredientes mais empregados como substitutos da farinha de trigo na elaboração de pão isento de glúten incluem as farinhas de arroz e/ou milho, mandioca, isolados ou combinados na forma de farinhas mistas. As formulações desprovidas de glúten consistem, sobretudo, de carboidratos, sendo carentes de proteínas, fibras e minerais, como de algumas vitaminas (Skendi; Papageorgiou; Varzakas, 2021).

Uma forma de suprir esta carência nutricional na produção de pães é a utilização de fontes alternativas de farinhas que possuem potencial de enriquecimento por aumentar esses componentes. O uso de farinhas de vegetais, leguminosas e pseudocereais em pães, vem sendo estudado a fim de obter produtos enriquecidos com fibras e com melhorias sensoriais de sabor, cor e textura (Ghenou *et al.*, 2022)

Segundo a RDC nº 711 (Brasil, 2022), farinhas são os produtos obtidos de partes comestíveis de uma ou mais espécies de cereais, leguminosas, frutos, sementes, tubérculos e rizomas por moagem e ou outros processos tecnológicos considerados seguros para produção de alimentos. A seguir serão listadas algumas dessas farinhas.

3.5.1 Farinha de Arroz

O arroz (*Oriza sativa* L.) é um cereal rico em amido, e um dos principais alimentos em muitas partes do mundo. No beneficiamento, uma parte da produção dá origem a um resíduo denominado “arroz quebrado”, o que gera considerável perda de rendimento na produção do grão polido, principal forma consumida no Brasil (Souza *et al.*, 2013). Os principais subprodutos gerados na indústria do arroz são cascas de arroz, farelo de arroz, arroz quebrado e quirera. Os grãos quebrados e quirera são destinados às empresas de ração animal e para elaboração de farinha (Almeida, 2022). A farinha de arroz é a segunda mais utilizada na panificação isenta de glúten; no entanto, apresenta limitações tecnológicas devido às pobres propriedades funcionais de suas proteínas (Genevois; Grenóvero; De Escalada Pla, 2021). As indústrias de arroz geram uma significativa quantidade de arroz quebrado e que poderia ser aproveitado para a produção dessa farinha. O farelo de arroz é um subproduto do beneficiamento do arroz, que representa em torno de 8% do arroz em casca. No Brasil, é um produto de baixo valor comercial, utilizado na extração de óleo, como ingredientes de ração animal e como fertilizante orgânico. Esse subproduto é fonte de proteínas, fibras e compostos funcionais (Lacerda *et al.*, 2010).

Souza *et al.* (2013) utilizaram a farinha de arroz, produzida a partir do resíduo conhecido como "arroz quebrado", em formulações de bolos isentos de glúten com aplicação de casca de mandioca desidratada e não encontraram diferenças em relação à aceitação para a aparência, aroma, textura e sabor.

Almeida (2022) levantou estudos de aplicações de uso do grão quebrado de arroz e sua farinha como matéria-prima, listando produtos como sopas desidratadas, salsichas, bebidas lácteas de origem vegetal, filmes comestíveis, cervejas, cookies e produtos de panificação.

3.5.2 Derivados de Mandioca

O amido de mandioca, também conhecida como polvilho, é extraída das raízes da mandioca, através de processos como decantação e centrifugação. Existem duas formas de polvilho: o azedo e o doce, que se distinguem pelas etapas de processamento, sendo o azedo fermentado, afetando a acidez do produto e características de expansão (Barbosa; Andrade; Pereira, 2020).

O polvilho doce, composto por 18% de amilose e 82% de amilopectina, é uma substância rica em carboidratos. Em aplicações na panificação isenta de glúten, fornece açúcares e atua na flexibilidade durante a gelatinização, auxiliando na expansão do volume das massas durante o processo de assamento. Em comparação ao amido de trigo, o de mandioca possui menor teor de amilose, proteínas e gorduras. O conteúdo de amilose pode afetar o desempenho em determinadas aplicações. Para produtos como pão fermentado é necessária alta elasticidade e extensibilidade

para expandir e reter gás durante a fermentação e cozimento, uma característica que a massa de amido de mandioca não oferece (Liu *et al.*, 2019).

Na indústria alimentícia o polvilho doce é utilizado em produtos de panificação, para obtenção de farinhas mistas, pois na ausência do glúten, os produtos amiláceos tornam-se ingredientes essenciais para texturização e aceitabilidade do produto (Barbosa; Andrade; Pereira, 2020).

3.5.3 Farinha Integral de Sorgo

O sorgo (*Sorghum bicolor*) ocupa o 5º lugar, depois do milho, arroz, trigo e cevada, entre as principais culturas de cereais importantes do mundo (Dube; Xu; Zhao, 2020).

A farinha produzida a partir de híbridos de sorgo branco é de cor clara e tem um sabor suave e neutro que não confere cores ou sabores incomuns aos produtos alimentícios. Esses atributos o tornam desejável para uso em produtos alimentícios sem trigo (Ciacci *et al.*, 2007).

Estudos mostram que há um aumento do interesse em se usar este cereal na alimentação humana, sendo uma fonte potencial para a produção de alimentos e bebidas. Este interesse é pelo seu baixo custo de produção e características nutricionais incluindo digestibilidade proteica, ação antioxidante, presença de amido resistente, fibras dietéticas, e compostos bioativos que torna seu uso como ingrediente funcional (Carvalho Teixeira *et al.*, 2016).

Rico em minerais como fósforo, zinco, ferro, cálcio, magnésio, potássio e sódio, contém vitaminas do complexo B, vitamina E, entre outras. Além de atender às necessidades nutricionais essenciais, este cereal contém compostos bioativos que oferecem benefícios como redução do colesterol, propriedades anti-inflamatórias, anticancerígenas, antiobesidade e atividade antidiabética.

Além de ser rico em compostos fenólicos, o sorgo (Figura 3) possui maior quantidade de amido resistente e de digestão lenta em comparação com outros cereais (Akin *et al.*, 2022). Possui sabor suave e têm propriedades funcionais que podem contribuir para o combate da obesidade, doenças cardiovasculares, alguns tipos de câncer e hipertensão (Rashwan *et al.*, 2021).

Figura 3 - Sorgo (*Sorghum bicolor*)

Fonte: Google Imagens (2024)

Há diversos genótipos de sorgo nas cores branca, creme, amarela, laranja, bronze, vermelha, marrom, preta e combinações dessas cores. Cada cor apresenta diferentes características. Como exemplo, tem-se a quantidade de taninos, que não apresenta níveis significativos na variedade branca, sendo moderada na vermelha e de grande conteúdo na marrom (Reis Gallo *et al.*, 2021).

Oliveira *et al.* (2022) estudaram a influência de farinhas de cinco cores de sorgo e suas diferentes características físico-químicas na qualidade de pães sem glúten. A variedade marrom destacou-se por suas propriedades antioxidantes e de polifenóis, porém não houve boa aceitação pela quantidade de fibras e taninos. O genótipo vermelho destacou-se pela maior aceitação, além de possuir elevado teor de antioxidantes.

Este cereal está ganhando espaço na indústria de pães por sua característica isenta de glúten, em resposta ao aumento da doença celíaca. No entanto, a ausência de glúten resulta em texturas menos desejáveis, levando pesquisadores a explorar combinações com outras farinhas como, arroz, cevada, milho e leguminosas (Saeed Omer *et al.*, 2023).

A análise sensorial é ferramenta útil no desenvolvimento de alimentos para verificar o impacto frente ao consumidor. O sorgo no Brasil é pouco conhecido pela maioria dos consumidores para alimentação humana. Assim, faz-se necessário estudos de formulações agregando aos produtos, ingredientes que melhorem o aspecto sensorial. Cayres *et al.* (2020) desenvolveram um estudo onde fizeram a análise sensorial visando verificar a aceitação de 5 produtos à base de sorgo isentos de glúten sabores chocolate e laranja, comparando com um de referência com glúten, preparados a partir de pré-misturas para bolo. Observaram que foi viável a alternativa, como potencial alternativa para a indústria alimentícia, desde que suas características sensoriais sejam otimizadas.

Saeed Omer *et al.* (2023) verificaram que a adição de uma maior quantidade de amido à massa de sorgo tem o potencial de influenciar a textura e a qualidade do pão produzido. Em muitos casos, o aumento do teor de amido resulta em maior elasticidade e suavidade do pão, reduzindo a densidade das migalhas, sendo necessário aumentar a proporção de amido e outros ingredientes.

3.6 APROVEITAMENTO DE SUBPRODUTOS PARA ELABORAÇÃO DE PÃES ISENTOS DE GLUTEN

Com o aumento da industrialização e produção de resíduos, as legislações estão sendo reforçadas, regulamentando as agroindústrias e levando a desenvolverem alternativas e métodos eficientes para destinação ou aproveitamento destes materiais (Souza *et al.*, 2013). Os subprodutos agroindustriais podem ser utilizados como alternativas no desenvolvimento de formulações enriquecidas e menos calóricas, uma vez que muitos deles são ricos em fibras alimentares e compostos bioativos, como antioxidantes, com baixo impacto nos custos de produção (Melo *et al.*, 2020).

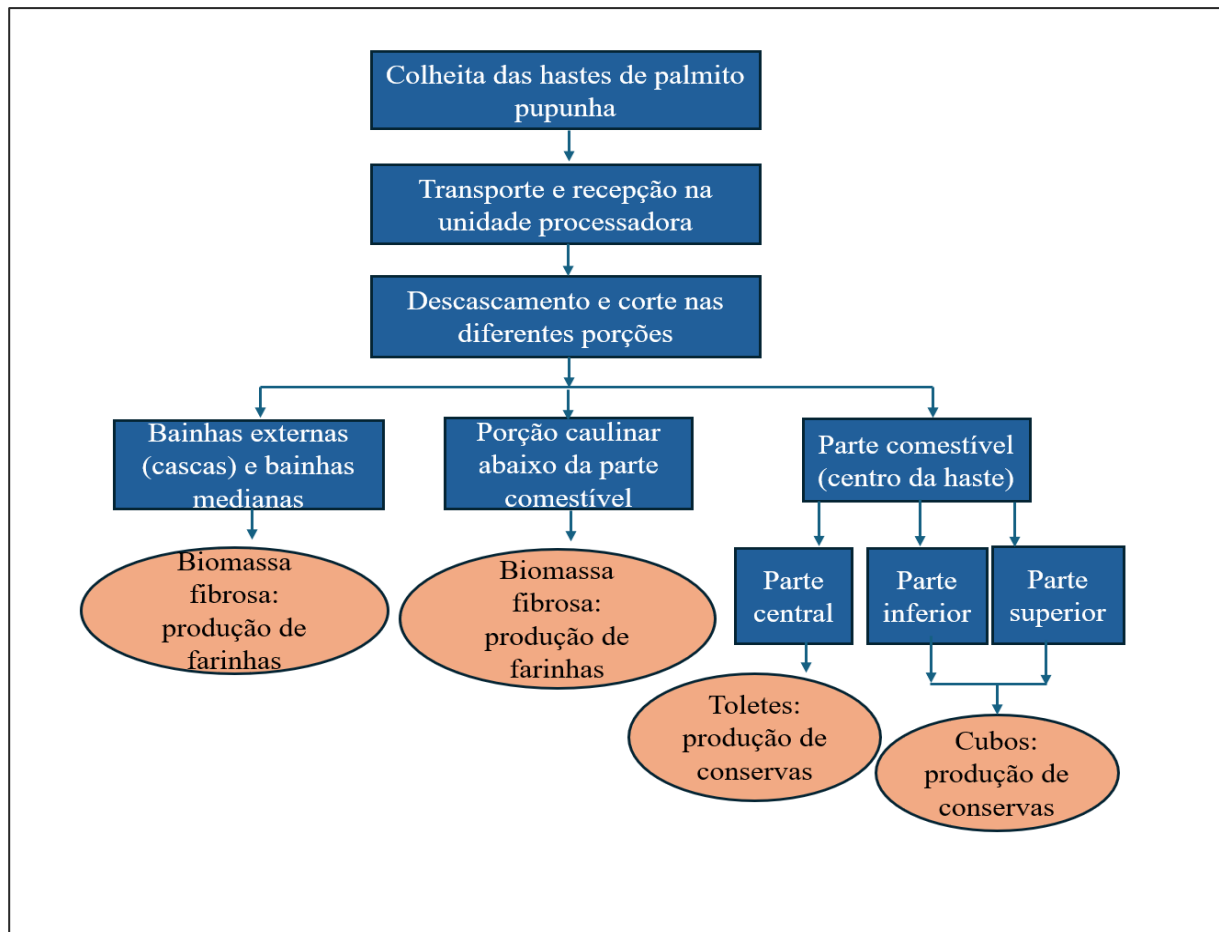
3.6.1 Subproduto de Palmito Pupunha

A pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) é uma palmeira nativa da região Amazônica e com plantios em expansão nos Estados de São Paulo, Paraná e Santa Catarina.

A pupunha apresenta diversas vantagens em relação a outras espécies de palmito. A primeira é a precocidade, pois a árvore começa a produzir palmitos 18 meses após o plantio. Em seguida, vem a rusticidade, o vigor e a produtividade da planta, características apreciadas pelos produtores rurais. Após a extração, a planta continua emitindo novos brotos e isso ocorre de maneira contínua por um período de até 10 anos (Spacki *et al.*, 2022).

O aumento da demanda pelo consumo de palmito e frutos da pupunheira é atribuído às suas características sensoriais e valor nutricional. No entanto, a exploração desses recursos enfrenta desafios no que diz respeito ao manejo dos resíduos decorrentes da atividade de extração. Estes resíduos, representando uma proporção de 80 a 90% do peso bruto do palmito, são negligenciados no local de colheita. Muitos consistem em material fibroso de lenta decomposição, o que contribui para a geração de um passivo ambiental relevante. De cada planta colhida, extrai-se em torno de 400 g de palmito comercial, gerando cerca de 13 kg de resíduos (Santos; Bolanho; Danesi, 2021). A destinação de cada porção das hastes de palmito pupunha colhidas está demonstrado na Figura 4.

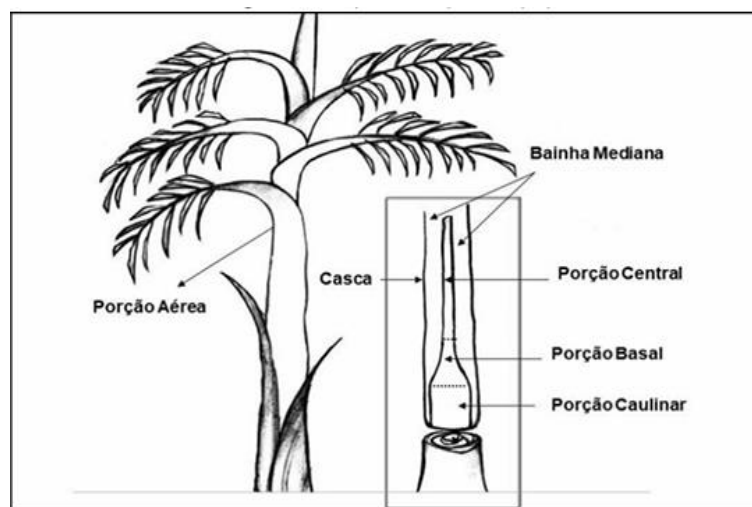
Figura 4 - Esquema de destinação das porções das hastes de palmito pupunha após colheita



Fonte: Adaptado de Bolanho; Danesi, (2015).

Na Figura 5 pode ser observado a estrutura da pupunheira e a identificação das diferentes porções.

Figura 5 - Pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth) com identificação de suas porções



Fonte: Bolanho, Danesi e Beléia (2014)

Os subprodutos do processamento de palmito pupunha transformados em farinhas têm apresentado resultados promissores, contribuindo com fibras, minerais, vitaminas, carotenoides e antioxidantes, para formulações de diversos produtos. A farinha de palmito pupunha contém teores proteicos similares à farinha de trigo (9,8%), baixos teores de lipídios e consideráveis teores de fibras, tornando-a promissora para a incorporação em alimentos (Danesi *et al.*, 2018; Santos; Bolanho; Danesi, 2021). A composição proximal da farinha de subproduto de palmito pupunha pode ser observada na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição proximal da farinha de subproduto de palmito pupunha

Componente (g.100g ⁻¹)	Farinha de subproduto de palmito
Umidade	9,73±0,41
Cinzas	3,80±0,08
Proteínas	9,57±0,32
Lipídios	3,83±0,91
Fibras	32,60±0,97
Carboidratos totais	40,47
Valor energético (kcal.100g ⁻¹)	234,63

Fonte: Adaptado de Barbosa *et al.* (2011)

Barbosa *et al.* (2011) estudaram a produção de farinhas de descartes de palmito pupunha na aplicação em produtos de panificação em substituição à farinha de trigo. Alguns produtos alimentícios com a incorporação dessa farinha evidenciaram viabilidade como sopas desidratadas, cereais matinais e *snacks* (Los *et al.*, 2018, Melo *et al.*, 2020, Melo *et al.*, 2021).

3.6.2 Subprodutos de Maçã

Entre as mais de 7.500 variedades de maçãs comestíveis, 40 são comercializadas, sendo que três são cultivadas no Brasil: Gala (56%), Fuji (39%) e Eva (5%). Nos anos 1970, o Brasil importava todas as maçãs que consumia, mas passou a ter um volume de importação equivalente ao de exportação (70 mil toneladas), colocando o país na 10ª posição entre os maiores produtores de maçã, com uma produção anual de 1,1 milhão de toneladas (Manrich, 2024).

Cerca de 70% - 75% das maçãs são consumidas frescas, enquanto o restante (25% - 30%) é transformado em produtos como sucos, vinho, compotas e produtos secos. O suco de maçã é o mais procurado, representando 65% da maçã processada. Na produção de suco, 75% do peso da maçã é extraído como suco, e o restante é um subproduto alimentar, conhecido como bagaço (Lyu *et al.*, 2020).

O bagaço de maçã (Figura 6), é constituído pela mistura heterogênea de casca, semente, cálice, haste e polpa. Os compostos bioativos da fruta *in natura* permanecem na biomassa fresca, mesmo após o processo de produção do suco. Nele são encontradas diversas substâncias, como os compostos fenólicos, aos quais são atribuídas as propriedades antioxidantes com efeitos anticancerígenos, anti-inflamatórios, antibacterianos e antivirais (Gumul *et al.*, 2021, Soares *et al.*, 2008, Farago *et al.*, 2021).

São constituídos por fibras, carboidratos, baixo conteúdo de lipídios e proteínas, além de vitaminas, minerais e fitoquímicos. Sem descarte adequado, o bagaço pode se tornar um grave problema ambiental (Sato *et al.*, 2011). A Tabela 4 demonstra a quantidade de bagaço de maçã gerado por ano em determinados países.

Tabela 4 - Quantidades de produção de bagaço de maçã em determinados países/ano

País	Quantidade (ton/ano)
Brasil	800.000
China	1.000.000
Alemanha	250.000
Índia	1.000.000
Irã	97.000
Japão	160.000
Estados Unidos	27.000

Fonte: Adaptado de Lyu *et al.*, (2020)

Figura 6 - Bagaço da industrialização da maçã



Fonte: Google Imagens (2024)

O bagaço de maçã é rico em compostos bioativos, como substâncias fenólicas concentradas na casca. Estudos mostraram que sucos de maçã têm apenas 3 a 10% da capacidade antioxidante da fruta inteira. Além disso, o bagaço contém uma mistura equilibrada de fibras solúveis e insolúveis, comparado a fibras de cereais populares (Antonic *et al.*, 2020).

O bagaço apresenta estabilidade microbiológica em sua forma seca. O processamento sem degradação de compostos bioativos representa um grande gargalo para a utilização comercial da farinha de bagaço de maçã na nutrição humana (Gorjanović *et al.*, 2020).

Coelho e Wosiacki (2010) avaliaram sensorialmente produtos panificados, adicionados de farinha de bagaço de maçã e comprovaram que pode constituir-se numa fonte alternativa de fibra alimentar para a formulação desses alimentos.

Na Tabela 5 encontram-se as variações da composição do bagaço de maçã encontrada em fontes na literatura. Antonic *et al.*, (2020) utilizaram 19 artigos para a criação de uma tabela representando a composição centesimal do bagaço de maçã. Essas diferenças são devido às variedades de maçãs que são utilizadas.

Tabela 5 - Composição proximal da farinha de subproduto de maçã

Componente (g.100g ⁻¹)	Bagaço de maçã
Umidade	3,97 a 9,75
Cinzas	0,5 a 4,29
Proteínas	1,2 a 6,91
Lipídios	0,26 a 8,49
Fibras	26,8 a 82,0

Fonte: Adaptado de Antonic *et al.* (2020)

Moazzezi, Seyedain e Nateghi (2012), relataram um aumento da aceitabilidade de pães contendo 11% de bagaço de maçã. Em Coelho e Wosiacki (2010) é relatado que produtos comerciais à base de maçã, como bolos, biscoitos, pães, vitaminas e mingaus, podem ser feitos utilizando o bagaço de maçã como ingrediente e através de análise sensorial, confirmaram a aceitação dos produtos com farinha de bagaço de maçã, viabilizando seu uso na panificação.

3.7 ALIMENTOS FUNCIONAIS

O termo "alimento funcional" surgiu no Japão em 1984, quando o governo japonês criou a categoria *Food for Specific Health Uses* (FOSHU), definindo-a como alimentos com ingredientes que possuem funções para a saúde, oficialmente aprovados para reivindicar efeitos fisiológicos no corpo humano. Os Estados Unidos seguiram nos anos 90 com a primeira lei de alegação de saúde, mas sem uma definição formal de alimento funcional. Mais de 10 anos depois,

os países europeus adotaram o conceito ao introduzir o regulamento sobre alegações nutricionais e de saúde (Alongi; Anese, 2021).

Mudanças no estilo de vida, como alimentação inadequada e falta de atividade física, têm levado a uma epidemia de doenças não infecciosas, causando diversos problemas de saúde e até morte. Os alimentos funcionais influenciam funções específicas do organismo e, além da nutrição básica, podem oferecer benefícios adicionais à saúde ou ajudar a remediar doenças, seja pela adição de ingredientes benéficos ou pela remoção de componentes prejudiciais (Topolska, Florkiewicz, Filipiak-Florkiewicz, 2021).

A intensa inovação no campo dos alimentos funcionais tem disponibilizado uma ampla variedade de compostos bioativos promotores de saúde, como probióticos, prebióticos, fitoquímicos, ervas, antioxidantes naturais, peptídeos bioativos, entre outros (Nataraj *et al.*, 2020).

Para melhorar a qualidade dos produtos isentos de glúten, a tendência é usar farinhas nutritivas e encontrar soluções para os desafios sensoriais e tecnológicos. Os pseudocereais, como o amaranto, a quinoa e o trigo-sarraceno, são uma alternativa à farinha de trigo por serem ricos em minerais (cálcio, ferro e zinco), vitaminas e fitoquímicos, proporcionando potenciais benefícios à saúde. As farinhas de leguminosas são usadas em produtos sem glúten devido às suas propriedades nutricionais, sendo uma importante fonte de nutrientes como proteínas, carboidratos complexos, fibras, micronutrientes e compostos antioxidantes (Culetu *et al.*, 2021).

3.7.1 Fibras Alimentares

Conforme observado em Djordjević *et al.* (2021), as fibras alimentares são uma mistura de polissacarídeos e ligninas não degradadas pelas enzimas humanas. São classificadas com base em critérios como solubilidade em água, viscosidade, fermentação no cólon e capacidade de estimular o crescimento de certas bactérias. As categorias incluem: fibra alimentar solúvel (polissacarídeos não celulósicos, oligossacarídeos e hidrocolóides como pectina, β -glucano e gomas), fibra alimentar insolúvel (celulose, hemicelulose, lignina, amido resistente e produtos de reações de Maillard) e fibra alimentar prebiótica (inulina, frutanos do tipo inulina, transgalactooligossacarídeos e frutooligossacarídeos). A fibra alimentar total é a soma da fibra alimentar solúvel e insolúvel.

Frutas e hortaliças são as principais fontes de fibras alimentares com quantidades significativas de celulose, hemicelulose e pectina em suas cascas. O amido resistente é encontrado em alimentos ricos em amido, como cereais e tubérculos (Walter; Silva; Emanuelli, 2005).

O consumo regular de fibras está associado à prevenção de doenças cardiovasculares,

hipertensão, AVC, obesidade e diabetes, além de contribuir para a perda de peso, redução da pressão arterial e do colesterol LDL e total. A OMS recomenda um consumo mínimo de 25 g de fibras por 2.000 kcal, valor também adotado pelo Ministério da Saúde para a população brasileira (Cruz *et al.*, 2021).

Além dos benefícios fisiológicos proporcionados por alimentos ricos em fibras, estudos mostram que conferem várias propriedades tecnológicas importantes aos alimentos, como aumento da capacidade de retenção de água, retenção de óleo, emulsificação e formação de gel. Esses efeitos justificam a adição de fibras alimentares em produtos alimentícios, incluindo produtos de panificação (Bender; Schönlechner, 2020). A utilização de farinhas alternativas enriquecidas com proteínas e fibras, ou frações de fibras de pseudocereais e leguminosas, mostra-se promissora para o enriquecimento nutricional do pão sem glúten (Föste *et al.*, 2024).

3.7.2 Antioxidantes

O termo antioxidante refere-se a "qualquer substância que, em baixas concentrações em comparação com um substrato oxidável, retarda, previne ou remove o dano oxidativo a uma molécula-alvo". Portanto, um antioxidante é qualquer molécula capaz de reduzir ou neutralizar espécies reativas de oxigênio, ajudando a mitigar ou interromper o estresse oxidativo (Djordjević *et al.*, 2024).

Os antioxidantes variam em sua capacidade de neutralizar radicais livres e funcionam de várias maneiras: sequestrando radicais, capturando íons metálicos, decompondo peróxidos, extinguindo pró-oxidantes e reparando danos celulares. São classificados como primários (interrompem reações em cadeia) e secundários (previnem reações em cadeia). Os primários inibem oxidações removendo radicais livres, enquanto os secundários agem sequestrando íons metálicos, promovendo ações anti-inflamatórias, induzindo fatores protetores e inibindo enzimas oxidativas (Flieger *et al.*, 2021).

Antioxidantes são essenciais para a saúde humana, prevenindo doenças ao reduzir o estresse oxidativo. Medir sua atividade em alimentos e amostras biológicas é crucial para garantir a qualidade de alimentos funcionais e avaliar sua eficácia na prevenção de doenças relacionadas ao estresse oxidativo. Em baixas concentrações, antioxidantes retardam ou impedem processos oxidativos que deterioram alimentos e causam doenças degenerativas (Munteanu; Apetrei, 2021).

As propriedades antioxidantes são benéficas para indivíduos com intolerância ao glúten ou doença celíaca, que sofrem de alto estresse oxidativo e inflamação. Muitos estudos têm buscado identificar as melhores formas de produzir um pão isento de glúten com qualidade sensorial e tecnológica. O foco está nos compostos bioativos, embora a temperatura durante a panificação possa afetá-los. Os principais fatores na perda de polifenóis são o tipo de substrato

aquecido e as condições de processamento, tornando essencial avaliar as alterações nas propriedades antioxidantes do produto (Bueno; Thys; Tischer, 2023).

Antioxidantes naturais presentes nos alimentos, como proteínas, flavonoides e compostos fenólicos, estão ganhando atenção por suas propriedades benéficas à saúde. A crescente conscientização sobre alimentos funcionais tem levado a esforços para modificar os alimentos e aumentar seus benefícios. Muitas pesquisas têm se concentrado em métodos para elevar os níveis de compostos fenólicos, ou recomendando tratamentos que aumentem a atividade antioxidante e compostos biologicamente ativos. A fermentação pode melhorar o valor nutricional e as características sensoriais dos alimentos, convertendo formas conjugadas de fenólicos em formas livres através de enzimas produzidas por microrganismos (Zhao *et al.*, 2021).

Nos últimos anos, os compostos fenólicos têm recebido atenção especial devido aos seus efeitos antioxidantes, antimicrobianos, anti-inflamatórios, antineoplásicos e cardioprotetores. O sorgo, um cereal sem glúten e rico em polifenóis e compostos bioativos, é reconhecido por seus supostos benefícios funcionais e à saúde. Diversas estratégias têm sido exploradas para aumentar o conteúdo fenólico e as propriedades antioxidantes das farinhas para panificação. Cereais sem glúten e pseudocereais são as matrizes mais utilizadas, no entanto, subprodutos de frutas e hortaliças podem ser transformados em farinhas ricas em fibras e compostos bioativos (Drakula *et al.*, 2021; Santos; Silva; Pintado, 2022; Hryhorenko *et al.*, 2023).

Diante desses aspectos, pode-se prever que o uso da fermentação natural, com matérias-primas que agreguem valor nutricional e compostos bioativos, pode colaborar na produção de um pão isento de glúten com potencial funcional. Verifica-se, portanto que, farinhas alternativas isentas de glúten, podem contribuir para o desenvolvimento de novas formulações de pão, resultando em produtos com elevado valor nutricional, a custos mais baixos, com desempenho tecnológico e sensorial satisfatórios.

REFERÊNCIAS

- ABDELGHAFOR, R. F.; MUSTAFA, A. I.; IBRAHIM, A. M. H.; KRISHNAN, P. G. Quality of bread from composite flour of sorghum and hard white winter wheat. **Advance Journal of Food Science and Technology**, v. 3, n. 1, p. 9-15, 2011.
- AKAMINE, I. T.; MANSOLDO, F.R.P.; VERMELHO, A. B. Probióticos na fermentação do pão Sourdough: Status atual. **Fermentação**, v. 9, n. 2, p. 90, 2023.
- ALJADA, B.; ZOHNI, A.; EL-MATARY, W. The gluten-free diet for celiac disease and beyond. **Nutrients**, v. 13, n. 11, p. 3993, 2021.
- ALKAY, Z.; FALAH, F.; CANKURT; H., DERTLI, E. Exploring the Nutritional Impact of

Sourdough Fermentation: Its Mechanisms and Functional Potential. **Foods**, v. 13, n. 11, p. 1732, 2024.

ALMEIDA, M. S. **Industrialização do arroz: quantitativos e possibilidades para os subprodutos gerados por uma indústria local**. 2022. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Pampa, Itaqui, 2022.

ANTONIC, B.; JANKIKOVA, S.; DORDEVIC, D.; TREMLOVA, B. Apple pomace as food fortification ingredient: A systematic review and meta-analysis. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 10, p. 2977-2985, 2020.

ALONGI, M.; ANESE, M. Re-thinking functional food development through a holistic approach. **Journal of Functional Foods**, v. 81, p. 104466, 2021.

AKIN, P. A.; DEMIRKESEN, I.; BEAN, S. R.; ARAMOUNI, F.; BOYACI, I. H. Sorghum Flour Application in Bread: Technological Challenges and Opportunities. **Foods**, v. 11, n. 16, p. 2466, 2022.

ARIAS, M.; COBO, M.; JAIME-SÁNCHEZ, P.; PASTOR, J.; MARIJUAN, P.; PARDO, J.; DEL CAMPO, R. Gut microbiota and systemic inflammation changes after bread consumption: The ingredients and the processing influence, **Journal of Functional Foods**, v. 32, p. 98-105, 2017.

ARORA, K.; AMEUR, H.; POLO, A.; DI CAGNO, R.; RIZZELLO, C. G.; GOBBETTI, M. Thirty years of knowledge on sourdough fermentation: A systematic review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 108, p. 71-83, 2021.

BARBOSA, N.; ANDRADE, L.; PEREIRA, J. Eletromicrografias de varredura de polvilhos doce e azedo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 93257-93261, 2020.

BARBOSA, J. R.; BELTRAME, S. C.; BRAGATTO, M. M.; DÉBIA, P. J. G.; BOLANHO, B. C., DANESI, E. D. G. Avaliação da composição e dos parâmetros tecnológicos de farinhas produzidas a partir de subprodutos agroindustriais. **Revista Tecnológica**, edição especial, p. 21-28, 2011.

BELORIO, M.; GÓMEZ, M. Effect of hydration on gluten-free breads made with hydroxypropyl methylcellulose in comparison with psyllium and xanthan gum. **Foods**, v. 9, n. 11, p. 1548, 2020.

BELTRÃO MARTINS, R.; NUNES, M. C.; GOUVINHAS, I.; FERREIRA, L. M. M.; PERES, J. A.; BARROS, A. I. R. N. A.; RAYMUNDO, A. Apple Flour in a Sweet Gluten-Free Bread Formulation: Impact on Nutritional Value, Glycemic Index, Structure and Sensory Profile. **Foods**, v. 11, n. 20, p. 3172, 2022.

BENDER, D.; SCHÖNLECHNER, R. Innovative approaches towards improved gluten-free bread properties. **Journal of Cereal Science**, v. 91, p. 102904, 2020.

BIESIEKIERSKI, J. R. What is gluten? **Journal of Gastroenterology and Hepatology**, v. 32, p. 78-81, 2017.

BOLANHO, B. C.; DANESI, E. D. G.; BELÉIA, A. P. Characterization of flours made from peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) by-products as a new food ingredient. **Journal of Food and Nutrition Research**, v. 53, n. 1, p. 51-59, 2014.

BOLANHO, B. C.; DANESI, E. D.G. **Pupunheira e os subprodutos da produção de conservas de palmito: caracterização da planta e das farinhas produzidas a partir dos subprodutos**. Alemanha: Novas Edições Acadêmicas, 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 711, de 01 de julho de 2022 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. Requisitos sanitários dos amidos, biscoitos, cereais integrais, cereais processados, farelos, farinhas, farinhas integrais, massas alimentícias e pães. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 06 jul. 2022. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_711_2022_.pdf/f9212b72-7d2d-451f-b21b-7a7fb9b94a81. Acesso em: 20 de jun. de 2024.

BUENO, C.; THYS, R.; TISCHER, B. Potential Effects of the Different Matrices to Enhance the Polyphenolic Content and Antioxidant Activity in Gluten-Free Bread. **Foods**, v. 12, n. 24, p. 4415, 2023.

CABANILLAS, B. Gluten-related disorders: Celiac disease, wheat allergy, and nonceliac gluten sensitivity. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 60, n. 15, p. 2606-2621, 2020.

CAYRES, C. A.; ASCHERI, J. L. R.; COUTO, M. A. P. G.; ALMEIDA, E. L.; MELO, L. Consumers' acceptance of optimized gluten-free sorghum-based cakes and their drivers of liking and disliking. **Journal of Cereal Science**, v.93, p.102-938, 2020.

CANESIN, M. R.; CAZARIN, C. B. B. Nutritional quality and nutrient bioaccessibility in sourdough bread. **Current Opinion in Food Science**, v. 40, p. 81-86, 2021.

CAPRILES, V. D.; DOS SANTOS, F. G.; ARÊAS, J. A. G. Gluten-free breadmaking: Improving nutritional and bioactive compounds. **Journal of Cereal Science**, v. 67, p. 83–91, 2016.

CARVALHO TEIXEIRA, N.; QUEIROZ, V. A. V.; ROCHA, M. C.; AMORIM, A. C. P.; SOARES, T. O.; MONTEIRO, M. A. M.; JUNQUEIRA, R. G. Resistant starch content among several sorghum (*Sorghum bicolor*) genotypes and the effect of heat treatment on resistant starch retention in two genotypes. **Food Chemistry**, v. 197, p. 291–296, 2016.

CAROCHO, M.; MORALES, P.; CIUDAD-MULERO, M.; FERNANDEZ-RUIZ, V.; FERREIRA, E.; HELENO, S.; FERREIRA, I. C. Comparison of different bread types: Chemical and physical parameters. **Food Chemistry**, v. 310, p. 125954, 2020.

CARUSO, L.; MENEZES, E. W. Índice glicêmico dos alimentos. **Revista da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição**, p. 49-64, 2000.

CIACCI, C.; MAIURI, L.; CAPORASO, N.; BUCCI, C.; DEL GIUDICE, L.; MASSARDO, D. R.; LONDEI, M. Celiac disease: In vitro and in vivo safety and palatability of wheat-free sorghum food products. **Clinical Nutrition**, v. 26, n. 6, p. 799-805, 2007.

COELHO, L. M.; WOSIACKI, G. Avaliação sensorial de produtos panificados com adição de farinha de bagaço de maçã. **Food Science and Technology**, v. 30, p. 582-588, 2010.

COSTANTINI, A.; DA ROS, A.; NIKOLOUDAKI, O.; MONTEMURRO, M.; DI CAGNO, R.; GENOT, B.; RIZZELLO, C. G. How cereal flours, starters, enzymes, and process parameters affect the in vitro digestibility of sourdough bread. **Food Research International**, v. 159, p. 111614, 2022.

CRUZ, G. L. D.; MACHADO, P. P.; ANDRADE, G. C.; LOUZADA, M. L. D. Alimentos ultraprocessados e o consumo de fibras alimentares no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 26, p. 4153-4161, 2021.

CULETU, A.; SUSMAN, I. E.; DUTA, D. E.; BELC, N. Nutritional and Functional Properties of Gluten-Free Flours. **Applied Sciences**, v. 11, n. 14, p. 6283, 2021.

DANESI, E. D. G.; GRANATO, D.; IWASSA, I. J.; PINZON, C.; BOLANHO, B. C. Effects of industrial by-products from orange, peach palm and soybean on the quality traits and antioxidant activity of flours: a response surface approach. **International Food Research Journal**, v. 25, n. 3, p. 1219- 1227, 2018.

DEMIRKESEN-BICAK, H.; ARICI, M.; YAMAN, M.; KARASU, S.; SAGDIC, O. Effect of different fermentation condition on estimated glycemic index, in vitro starch digestibility, and textural and sensory properties of sourdough bread. **Foods**, v. 10, n. 3, p. 514, 2021.

DJORDJEVIĆ, M.; DJORDJEVIĆ, M.; ŠORONJA-SIMOVIĆ, D.; NIKOLIĆ, I.; ŠEREŠ, Z. Delving into the role of dietary fiber in gluten-free bread formulations: integrating fundamental rheological, technological, sensory, and nutritional aspects. **Polysaccharides**, v. 3, n. 1, p. 59-82, 2021.

DJORDJEVIĆ, M.; DJORDJEVIĆ, M.; STAROWICZ, M.; KRUPA-KOZAK, U. Plant-Based Antioxidants in Gluten-Free Bread Production: Sources, Technological and Sensory Aspects, Enhancing Strategies and Constraints. **Antioxidants**, v. 13, n. 2, p. 142, 2024.

DE VUYST, L.; COMASIO, A.; KERREBROECK, S. V. Sourdough production: fermentation strategies, microbial ecology, and use of non-flour ingredients. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 63, n. 15, p. 2447-2479, 2023.

DRAKULA, S.; NOVOTNI, D.; MUSTAČ, N. C. Alteration of phenolics and antioxidant capacity of gluten-free bread by yellow pea flour addition and sourdough fermentation. **Food Bioscience**, v. 44, p. 101424, 2021.

DUBE, N. M.; XU, F.; ZHAO, R. The efficacy of sorghum flour addition on dough rheological properties and bread quality: A short review. **Grain & Oil Science and Technology**, v. 3, n. 4, p. 164-171, 2020.

EGEA, M. B.; DANESI, E. D. G.; GUIDO, E. S.; BOLANHO, B. C.; PEREIRA, J. M. F.; MAGALHÃES, J. A. Incentivo à cadeia produtiva do palmito pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) através do aproveitamento integral da matéria-prima. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v.6, n.2, p.781-795, 2012.

FERREIRA, C. M.; LIMA, S. B.; ZAMBELLI, R. A.; AFONSO, M. R. A. Effect of mixed flour from vegetable by-products on breads. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p. 8710-8724, 2020.

FLIEGER, J.; FLIEGER, W.; BAJ, J.; MACIEJEWSKI, R. Antioxidants: Classification, natural sources, activity/capacity measurements, and usefulness for the synthesis of nanoparticles. **Materials**, v. 14, n. 15, p. 4135, 2021.

FÖSTE, M.; VERHEYEN, C.; JEKLE, M.; & BECKER, T. Fibres of milling and fruit processing by-products in gluten-free bread making: A review of hydration properties, dough formation and quality-improving strategies. **Food Chemistry**, v. 306, p. 125451, 2020.

FRABERGER, V.; AMMER, C.; DOMIG, K. J. Functional Properties and Sustainability Improvement of Sourdough Bread by Lactic Acid Bacteria. **Microorganisms**, v. 8, n. 12, p. 1895, 2020.

GENEVOIS, C. E.; GRENÓVERO, M. S.; DE ESCALADA PLA, M. F. Use of different proportions of rice milling fractions as strategy for improving quality parameters and nutritional profile of gluten-free bread. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, p. 3913-3923, 2021.

GHENO, A. M.; GEADICKE, J. P.; MÜLLER, L.; STOFFEL, F.; BARBOSA, R. G. Evaluation of technological attributes of French bread with added vegetable flour. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 25, p. e2021113, 2022.

GOBBETTI, M.; DE ANGELIS, M.; DI CAGNO, R.; CALASSO, M.; ARCHETTI, G.; RIZZELLO, C. G. Novel's insights on the functional/nutritional features of sourdough fermentation. **International Journal of Food Microbiology**, v. 302, p.103-113, 2019.

GOESAERT, H.; BRIJS, K.; VERAVERBEKE, W. S.; COURTIN, C. M.; GEBRUERS, K.; DELCOUR, J. A. Wheat flour constituents: How they impact bread quality, and how to impact their functionality. **Food Science and Technology**, v. 16, p. 12-30, 2005.

GORJANOVIĆ, S.; MICIĆ, D.; PASTOR, F.; TOSTI, T.; KALUŠEVIĆ, A.; RISTIĆ, S., ZLATANOVIĆ, S. Evaluation of apple pomace flour obtained industrially by dehydration as a source of biomolecules with antioxidant, antidiabetic and antiobesity effects. **Antioxidants**, v. 9, n. 5, p. 413, 2020.

GUMUL, D.; ZIOBRO, R.; KORUS, J.; KRUCZEK, M. Apple Pomace as a Source of Bioactive Polyphenol Compounds in Gluten-Free Breads. **Antioxidants**, v. 10, n. 5, p. 807, 2021.

HEPSOMALI, P.; GROEGER, J. A.; NISHIHIRA, J.; SCHOLEY, A. Efeitos da administração oral de ácido gama-aminobutírico (GABA) sobre o estresse e o sono em humanos: Uma revisão sistemática. **Fronteiras da Neurociência**, v. 14, p. 559962, 2020.

HRYHORENKO, N.; KRUPA-KOZAK, U.; BĄCZEK, N.; RUDNICKA, B.; WRÓBLEWSKA, B. Gluten-free bread enriched with whole-grain red sorghum flour gains favorable technological and functional properties and consumers acceptance. **Journal of Cereal Science**, v. 110, p. 103646, 2023.

JENKINS, D. J.; WOLEVER, T. M.; TAYLOR, R. H.; BARKER, H.; FIELDEN, H.; BALDWIN, J. M.; GOFF, D. V. Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 34, n. 3, p. 362-366, 1981.

LACERDA, D. B. C. L.; SOARES JÚNIOR, M. S.; BASSINELLO, P. Z.; CASTRO, M. V. L. D.; SILVA-LOBO, V. L.; CAMPOS, M. R. H.; SIQUEIRA, B. D. S. Qualidade de farelos de arroz cru, extrusado e parboilizado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, p. 521-530, 2010.

LI, J.; JIAO, G.; SOL, Y.; CHEN, J.; ZHONG, Y.; YAN, L.; XIA, L. Modification of starch composition, structure and properties through editing of *TaSBEIIa* in both winter and spring wheat varieties by CRISPR/Cas9. **Plant Biotechnology Journal**, v. 19, n. 5, p. 937-951, 2021.

LIU, R.; SUN, W.; ZHANG, Y.; HUANG, Z.; HU, H.; ZHAO, M.; LI, W. Development of a novel model dough based on mechanically activated cassava starch and gluten protein: Application in bread. **Food Chemistry**, v. 300, p. 125196, 2019.

LOS, P. R.; SIMÕES, D. R. S.; LEONE, R. D. S.; BOLANHO, B. C.; CARDOSO, T.; DANESI, E. D. G. Viability of byproduct of peach palm flour (*Bactris gasipaes* kunth), *Spirulina platensis* and spinach for enrichment of dehydrated soup. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, p. 1260-1268, 2018.

LYU, F., LUIZ, S. F., AZEREDO, D. R. P., CRUZ, G. A., AJLOUNI, S., RANADHEERA, S. C. Apple Pomace as a Functional and Healthy Ingredient in Food Products: A Review. **Processes**, v. 8, n. 3, p. 319, 2020.

MAMOUDOU, H. D.; PRESSA, G.; ALFRED, S.; ALPHONS, G. J.; VAN, B. H. Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, n. 5, p. 384-395, 2006.

MANRICH, A. Apple Industry: Wastes and Possibilities. **International Journal on Agriculture Research and Environmental Sciences**, v. 5, n. 1, p. 1-10, 2024.

MARTIN, J. **Microbiologia de alimentos fermentados**. Microbiologia e pães de fermentação natural. Cap. 11. São Paulo: Édgard Blucher, p. 413- 459, 2022.

MCGEE, H. Comida e cozinha: ciência e cultura da culinária. Trad. M. B. Cipolla. 2 ed, São Paulo: **Editora WMF Martins Fontes**, 2014.

MELO, G. B. D.; FARAGO, C. V.; VALE, P. S. D. V.; AJUZ, T. R.; DIAS, T. D. L.; BARROS, B. C. B.; DANESI, E. D. G. Effects of by-products of peach palm and grape on nutritional, physico-chemical and sensory properties of Extruded breakfast cereals. **Bioscience Journal**, v. 36, Supplement 1, p. 317-329, 2020.

MELO, G. B.; FARAGO, C. V.; ESCHER, G. B.; GRANATO, D.; BOLANHO, B. C., DANESI, E. D. G. Snack extrusado a base de arroz com *Spirulina platensis* e farinha mista de subprodutos de laranja e palmito pupunha. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e41310515142-e41310515142, 2021.

MENEZES, L. A., MINERVINI, F., FILANNINO, P., SARDARO, M. L., GATTI, M., LINDNER, J. D. D. Effects of Sourdough on FODMAPs in Bread and Potential Outcomes on Irritable Bowel Syndrome Patients and Healthy Subjects. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, p. 411439, 2018.

MOAZZEZI, S., SEYEDAIN, S. M., NATEGHI, L. Rheological properties of barbari bread containing apple pomace and carboxy methyl cellulose. **Life Science Journal**, v. 9, n. 3, p. 1318- 1325, 2012.

MONDAL, A.; DATTA, A. K. Bread baking - A review. **Journal of Food Engineering**, v. 86, n. 4, p. 465-474, 2008.

MORAES, E. M.; SILVA, L. H. Wheat flour substitutes in the preparation of gluten-free bakery products - a review. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 3, p. e3512328931, 2023.

MUNTEANU, I. G.; APETREI, C. Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 7, p. 3380, 2021.

NATARAJ, B. H.; ALI, S. A.; BEHARE, P. V.; YADAV, H. Postbiotics-parabiotics: the new horizons in microbial biotherapy and functional foods. **Microbial Cell Factories**, v. 19, p. 1-22, 2020.

OLIVEIRA, L. L.; DE OLIVEIRA, G. T.; DE ALENCAR, E. R.; QUEIROZ, V. A. V.; DE ALENCAR FIGUEIREDO, L. F. Physical, chemical, and antioxidant analysis of sorghum grain and flour from five hybrids to determine the drivers of liking of gluten-free sorghum breads. **LWT - Food Science and Technology**, v. 153, p. 112407, 2022.

PAPAGIANNI, E.; KOTSIU, K.; MATSAKIDOU, A.; BILIADERIS, C. G.; LAZARIDOU, A. Development of “clean label” gluten-free breads fortified with flaxseed slurry and sesame cake: Implications on batter rheology, bread quality and shelf life. **Food Hydrocolloids**, v. 150, p. 109734, 2024.

PEÑALVER, R.; NIETO, G. Developing a functional gluten-free sourdough bread by incorporating Quinoa, Amaranth, Rice and Spirulina. **LWT - Food Science and Technology**, p. 116162, 2024.

PICOZZI, C.; MARIOTTI, M.; CAPP, C.; TEDESCO, B.; VIGENTINI, I.; FOSCHINO, R.; LUCISANO, M. Development of a Type I gluten-free sourdough. **Letters in Applied Microbiology**, v. 62, n. 2, p. 119–125, 2016.

RAMOS, L.; ALONSO-HERNANDO, A.; MARTÍNEZ-CASTRO, M.; MORÁN-PÉREZ, J. A.; CABRERO-LOBATO, P.; PASCUAL-MATÉ, A.; MUJICO, J. R. Sourdough biotechnology applied to gluten-free baked goods: Rescuing the tradition. **Foods**, v. 10, n. 7, p. 1498, 2021.

RASHWAN, A. K.; YONES, H. A.; KARIM, N.; TAHA, E. M.; CHEN, W. Potential processing technologies for developing sorghum-based food products: An update and comprehensive review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 110, p. 168-182, 2021.

REIS GALLO, L. R.; REIS, C. E. G.; MENDONÇA, M. A.; DA SILVA, V. S. N.; PACHECO,

M. T. B.; BOTELHO, R. B. A. Impact of gluten-free sorghum bread genotypes on glycemic and antioxidant responses in healthy adults. **Foods**, v. 10, n. 10, p. 2256, 2021.

RIZZELLO, C. G.; PORTINCASA, P.; MONTEMURRO, M.; DI PALO, D. M.; LORUSSO, M. P.; DE ANGELIS, M.; GOBBETTI, M. Sourdough fermented breads are more digestible than those started with baker's yeast alone: an in vivo challenge dissecting distinct gastrointestinal responses. **Nutrients**, v. 11, n. 12, p. 2954, 2019.

RODRIGUES, D. V.; DE ALMEIDA, J. M.; COSTA, M. S. A. Qualidade de vida em pessoas diagnosticadas com doença celíaca: uma revisão sistemática. **Revista da Faculdade Paulo Picanço**, v. 3, n. 3, 2023.

RODRIGUES, R. M.; SOUZA, A. D. M.; BEZERRA, I. N.; PEREIRA, R. A.; YOKOO, E. M.; SICHIERI, R. Evolução dos alimentos mais consumidos no Brasil entre 2008-2009 e 2017-2018. **Revista de Saúde Pública**, v. 55, p. 4s, 2021.

ROMAN, L.; BELORIO, M.; GOMEZ, M. Gluten-free breads: The gap between research and commercial reality. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, p. 690-702, 2019.

ROSZKOWSKA, A.; PAWLICKA, M.; MROCZEK, A.; BAŁABUSZEK, K.; NIERADKO-IWANICKA, B. Non-Celiac Gluten Sensitivity: A Review. **Medicin**, 55, n. 6, p. 222, 2019.

SAEED OMER, S. H.; HONG, J.; ZHENG, X.; KHASHABA, R. Sorghum Flour and Sorghum Flour Enriched Bread: Characterizations, Challenges, and Potential Improvements. **Foods**, vol. 12, n. 23, 2023.

SANDRI, L. T. B.; SANTOS, F. G.; FRATELLI, C.; CAPRILES, V. D. Development of gluten-free bread formulations containing whole chia flour with acceptable sensory properties. **Food Science and Nutrition**, v. 5, n. 5, p. 1021-1028, 2017.

SANTOS, F. G.; FRATELLI, C.; MUNIZ, D. G.; CAPRILES, V. D. The impact of dough hydration level on gluten-free bread quality: A case study with chickpea flour. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 26, p. 100434, 2021.

SANTOS, L.; BOLANHO, B. C.; DANESI, E. D. G. Gestão ambiental e caracterização de resíduos sólidos de agroindústrias de palmito pupunha do estado do Paraná. **Revista Eletrônica e-Exacta**, v. 19, n. 1, p. 166-187, 2021.

SANTOS, D.; SILVA, J. A. L.; PINTADO, M. Potencial de melhoria nutricional e funcional de cereais matinais extrusados com base na incorporação de subprodutos de frutas e hortaliças - Uma revisão. **Tendências em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 125, p. 136-153, 2022.

SATO, M. D. F.; RIGONI, D. C.; CANTERI, M. H. G.; PETKOWICZ, C. L. D. O.; NOGUEIRA, A.; WOSIACKI, G. Caracterização química e instrumental de pectinas isoladas de bagaço de 11 cultivares de maçã. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 383-389, 2011.

SCHEUER, P. M.; FRANCISCO, A. D.; MIRANDA, M. D.; LIMBERGER, V. M. Trigo:

características e utilização na panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, n. 2, p. 211-222, 2011.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Estudo de mercado indústria: panificação. 2017**. Acesso em: 13 maio de 2024. Disponível em: [Panificação-Infográfico--ELEITORAL.pdf](https://sebrae.com.br/Infográfico--ELEITORAL.pdf) (sebrae.com.br)

SKENDI, A.; PAPAGEORGIOU, M.; VARZAKAS, T. High Protein Substitutes for Gluten in Gluten-Free Bread. **Foods**, v. 10, n. 9, p. 1997, 2021.

SILVA, A. N.; FRÍSCIO, F. C. A química do pão de fermentação natural e as transformações na nossa relação com o preparo desse alimento. **Química Nova Escola**, v. 20, p. 1-12, 2021.

SILVA, J. L.; RIBEIRO, Y. G.; SILVA, L. C.; KUPSKI, L.; SCANAVACCA, J.; RUIZ, J. B. Biscoitos salgados e doces sem glúten disponíveis em Umuarama-PR: análise de rotulagem nutricional perante a legislação vigente. In: **Ciência E Tecnologia De Alimentos: Pesquisa e Práticas Contemporâneas -Volume 2**. Editora Científica Digital, 2021. p. 240-252.

SILVA, J. D. R.; ROSA, G. C.; DE ANDRADE NEVES, N.; LEORO, M. G. V.; SCHMIELE, M. Production of sourdough and gluten-free bread with brown rice and carioca and cowpea beans flours: biochemical, nutritional and structural characteristics. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 16, p. e303101623992-e303101623992, 2021.

SIMNADIS, F. G.; TAPSELL, L. C.; BECK, E. J. Efeito do consumo de sorgo em desfechos de saúde: uma revisão sistemática. **Revisões Nutricionais**, v. 74, n. 11, p. 690-707, 2016.

ŠMÍDOVÁ, Z.; RYSOVÁ, J. Gluten-free bread and bakery products technology. **Foods**, v. 11, n. 3, p. 480, 2022.

SOARES, M.; WELTER, L.; GONZAGA, L.; LIMA, A.; MANCINI-FILHO, J.; FETT. Avaliação da atividade antioxidante e identificação dos ácidos fenólicos presentes no bagaço de maçã cv. Gala. **Food Science and Technology**, v. 28, p. 727-732, 2008.

SOUZA, T. A. C.; JÚNIOR, M. S. S.; CAMPOS, M. R. H.; SOUZA, T. S. C.; DIAS, T., FIORDA, F. A. Bolos sem glúten a base de arroz quebrado e casca de mandioca. **Semina: Ciencias Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 717-728, 2013.

SPACKI, C. K.; CORRÊA, R. C. G.; UBER, T. M.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C.; PERALTA, R. A.; PERALTA, R. M. Full Exploitation of Peach Palm (*Bactris gasipaes* Kunth): State of the Art and perspectives. **Plants**, v. 11, n. 22, p. 3175, 2022.

STANLEY, P. C.; YOUNG, L.S. **Tecnologia da Panificação**. 2 ed. Barueri, SP: Manole. p. 21-37, 2009.

STINTON, J.; DUGINA, K.; HEWSON, L.; FISK, I. Investigation into the impact of egg white addition on the structural properties and flavour profile of gluten-free sourdough bread. **Journal of Cereal Science**, v. 117, p. 103903, 2024.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS (TBCA). Universidade de São Paulo (USP). **Food Research Center (FoRC)**. Versão 7.2. São Paulo, 2023. [Acesso em:

14 de maio de 2024]. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tbca>.

TIAN, X.; SUN, B.; WANG, X.; MA, S.; LI, L.; QIAN, X. Effects of milling methods on rheological properties of fermented and non-fermented dough. **Grain & Oil Science and Technology**, v.3, p. 77-86, 2020.

TOPOLSKA, A.; FLORKIEWICZ, A.; FILIPIAK-FLORKIEWICZ, A. Functional Food—Consumer Motivations and Expectations. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 10, p. 5327, 2021.natarj

QUEIROZ, V. A. V.; BARROS, F. A. R.; CARDOSO, L. D. M.; MARTINO, H. S. D.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M.; MENEZES, C. B. Sorgo para Alimentação Humana. Melhoramento genético do sorgo. **EMBRAPA**. v. 1, n.1, p. 459-494. 2021.

VARGAS, F. M. D.; CARDOSO, L. T.; DIDONÉ, A.; LIMA, J. P.; VENZKE, J. G.; DE OLIVEIRA, V. R. Celiac Disease: Risks of Cross-Contamination and Strategies for Gluten Removal in Food Environments. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 21, n. 2, p. 124, 2024.

XU, J.; LI, Y.; ZHAO, Y.; WANG, D.; WANG, W. Influence of antioxidant dietary fiber on dough properties and bread qualities: A review. **Journal of Functional Foods**, v. 80, p. 104434, 2021.

WALTER, M.; SILVA, L. P.; EMANUELLI, T. Amido resistente: características físico-químicas, propriedades fisiológicas e metodologias de quantificação. **Ciência Rural**, v. 35, p. 974-980, 2005.

WANG, K.; LU, F.; LI, Z.; ZHAO, L.; HAN, C. Recent developments in gluten-free bread baking approaches: A review. **Food Science and Technology**, v. 37, p. 1-9, 2017.

ZAIN, M. Z. M.; OLIVEIRA, A. B.; BABA, A. S. Potenciais ingredientes alimentares funcionais no pão e seus benefícios para a saúde. **Biointerface Research in Applied Chemistry**, v. 12, n. 5, p. 6533-6542, 2022.

ZHAO, Y. S.; EWEYS, A. S.; ZHANG, J. Y.; ZHU, Y.; BAI, J.; DARWESH, O. M.; XIAO, X. Fermentation affects the antioxidant activity of plant-based food material through the release and production of bioactive components. **Antioxidants**, v. 10, n. 12, p. 2004, 2021.

4 PRODUÇÃO DE FARINHAS DE SORGO E DE SUBPRODUTOS DE PALMITO PUPUNHA E MAÇÃ PARA POTENCIAL APLICAÇÃO EM PÃES ISENTOS DE GLÚTEN

RESUMO

O sorgo vem sendo estudado para uso na panificação isenta de glúten, devido seu valor nutricional e produção em expansão. Indústrias de processamento de alimentos vem buscando alternativas para a utilização de seus subprodutos por questões ambientais e por muitos deles serem fontes de nutrientes e compostos bioativos. A fim de estudar sua composição e propriedades para a produção de pães isentos de glúten, foram produzidas farinhas a partir de grãos integrais de sorgo e de subprodutos da indústria de palmito pupunha e maçã e caracterizadas quanto aos aspectos físico-químicos, compostos fenólicos, atividade antioxidante, propriedades tecnológicas, morfológicas e viscoamilográficas. A composição proximal demonstrou que o sorgo é rico em amido ($73,44 \text{ g.100g}^{-1}$), componente necessário para a panificação sem glúten. As farinhas de subprodutos de palmito e de maçã, por seus resultados de fibras, $49,94$ e $37,05 \text{ g.100g}^{-1}$ respectivamente, podem ser classificadas como de alto conteúdo de fibras alimentares e enriquecer as formulações de pães. A farinha de subproduto de palmito apresentou o maior conteúdo de cinzas ($3,97 \text{ g.100g}^{-1}$) enquanto a farinha de sorgo demonstrou maior conteúdo de proteínas ($6,14 \text{ g.100g}^{-1}$). As farinhas de sorgo e maçã se destacaram pelo conteúdo de antioxidantes. A farinha de sorgo apresentou $1,84 \text{ mgET.g}^{-1}$ pelo método de DPPH e $3,07 \text{ mgET.g}^{-1}$ pelo método de FRAP e a farinha de subproduto de maçã $2,21 \text{ mgEAG.g}^{-1}$ de compostos fenólicos. Na análise colorimétrica, a farinha de sorgo resultou numa tonalidade clara ($L = 76,31$), acinzentada; o subproduto de palmito resultou numa farinha clara ($L = 87,43$) com tom amarelado e a farinha de maçã se apresentou como a de menor claridade ($L = 62,51$) com tons alaranjados mais intensos. As farinhas de subprodutos de palmito e maçã apresentaram melhores solubilidade e absorção de água (ISA e IAA) do que a farinha de sorgo. Eletromicrografias confirmaram a presença de grânulos de amido na farinha de sorgo e elementos fibrosos na farinha de subproduto de palmito. As farinhas mostraram diferentes perfis viscoamilográficos quando comparados à farinha de arroz, mais utilizada na panificação isenta de glúten. O estudo demonstrou que as farinhas produzidas a partir de grãos de sorgo e de subprodutos da industrialização do palmito pupunha e de maçã tem potencial para uso em produtos sem glúten, sendo fontes de nutrientes, antioxidantes e fibras, além de contribuir para a sustentabilidade, reduzindo os descartes agroindustriais.

Palavras-chave: panificação isenta de glúten, amido, fibras alimentares, atividade antioxidante, absorção de água, cor.

4.1 INTRODUÇÃO

Segundo a RDC 711 da ANVISA (Brasil, 2022), farinhas são os produtos obtidos de partes comestíveis de uma ou mais espécies de cereais, leguminosas, frutos, sementes, tubérculos e rizomas por moagem e ou outros processos tecnológicos considerados seguros para produção de alimentos.

Awuchi, Igwe e Echeta (2019) estudaram as propriedades tecnológicas de farinhas e verificaram que são influenciadas pelos seus componentes, como carboidratos, proteínas, gorduras e óleos, umidade, fibras, cinzas e outros ingredientes ou aditivos adicionados bem como as estruturas desses componentes. Dentre essas propriedades, destacam-se a capacidade de absorção de água e óleo, atividade de emulsão, estabilidade de emulsão, capacidade de espuma, estabilidade de espuma, gelatinização, densidade aparente, dextrinização, conservação, desnaturação, coagulação, formação de glúten, retenção de umidade, aeração, atributos sensoriais entre outros.

Novas oportunidades têm surgido para o uso do sorgo como matéria-prima na alimentação humana, pelo crescente interesse por alimentos saudáveis e funcionais. Uma maneira de aumentar o consumo de sorgo e alcançar uma ampla parcela da população é incorporá-lo em alimentos bastante consumidos, como produtos de panificação, que podem ser incluídos na dieta diária (Cayres *et al.*, 2020).

A demanda por ingredientes que promovam a saúde e reduzam descartes está impulsionando a indústria alimentícia a buscar alternativas sustentáveis. Farinhas produzidas a partir de subprodutos podem ser eficazes na substituição da farinha de trigo, sendo usadas para compor farinhas mistas na fabricação de produtos de panificação. Além disso, contribuem para a redução de impactos ambientais e oferecem benefícios à saúde (Barros *et al.*, 2021).

Pesquisas indicam que a dieta sem glúten pode causar deficiências nutricionais de fibras, vitaminas e minerais. A predominância de farinhas refinadas nos pães sem glúten pode agravar esse desequilíbrio nutricional (Genevois; Grenóvero; De Escalada Pla, 2021).

No processamento do palmito pupunha (*Bactris gasipaes*) para conservas, até 84% de subprodutos podem ser gerados. Quando são convertidos em farinhas, se tornam uma forma valiosa de aproveitamento, pois são ricos em fibras alimentares e compostos bioativos, tornando-os atrativos para a formulação de alimentos (Melo *et al.*, 2021).

Estudos mostram que adicionar subprodutos da indústria de frutas, como bagaço de maçã, na panificação sem glúten pode melhorar a qualidade dos produtos. O bagaço da indústria de maçãs, composto por cascas, pedúnculos, folhas, sementes e polpa, é rico em fibras, carboidratos, vitaminas, minerais, fitoquímicos, e apresenta baixo teor de lipídios e proteínas (Geus *et al.*,

2014; Beltrão Martins *et al.*, 2022).

Neste contexto, investigou-se as características de farinhas de sorgo e de subprodutos de palmito pupunha e maçã para potencial aplicação em formulações de pães isentos de glúten.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

4.2.1 Materiais

Os grãos de sorgo foram doados pela empresa AGR8 Trading e Agronegócios (Londrina/PR), lavados, desidratados em estufa com circulação de ar forçado a 60°C (TECNAL, TE 394/2) por 24 h e moídos em moinho de facas (Willye SL-031, SOLAB) até obtenção da farinha (Forato, Raposo, Bernardes Filho, 2023).

Os subprodutos de palmito pupunha, em pedaços, foram obtidos por doação da empresa Frateli (Morretes/PR). Foram picados, sanitizados por imersão em solução de hipoclorito de sódio, com 50 ppm de cloro ativo, durante 10 min e enxaguados. A seguir foram submetidos à secagem a 60°C por 24 h em estufa com circulação de ar forçada (TECNAL, TE 394/2) e triturados em moinho de facas (Willye SL-031, SOLAB) conforme Soares *et al.* (2023).

A farinha de maçã foi obtida a partir do processamento de maçãs Fugi, adquiridas em comércio local, sanitizadas por imersão em solução de hipoclorito de sódio a 2,5% por 15 min, cortadas, trituradas e prensadas para extração do suco (Pezini *et al.*, 2023). O bagaço retirado da prensa, foi desidratado em estufa com circulação de ar forçado a 60 °C por 24 h (TECNAL, TE 394/2) e triturado em liquidificador (Mondial, L-515).

A farinha de arroz foi obtida em comércio da cidade de Ponta Grossa/PR. Os reagentes foram de pureza comprovada pelos fabricantes.

4.2.2 Métodos

4.2.2.1 Composição proximal

A composição proximal compreende a umidade, minerais (cinzas), proteínas, lipídios e carboidratos e foram realizadas baseadas nas metodologias do Instituto Adolfo Lutz (2008). A determinação da umidade foi realizada em estufa a 105°C. As cinzas foram obtidas a partir de 5 g de amostra incineradas em cadinho de porcelana na mufla (El Labor, EF200F) a 550°C por 6 h e depois de resfriadas em dessecador foram pesadas. As proteínas foram determinadas pelo método Micro-Kdjedahl com a digestão das amostras e depois destilação e titulação, para obtenção da quantidade de nitrogênio. O teor proteico foi calculado multiplicando o percentual de nitrogênio pelo fator 6,25. Para as análises de lipídios foi utilizado o sistema de refluxo de Soxhlet por 4 - 6 h com solvente hexano a quente, que depois da extração, o balão contendo o resíduo foi deixado em estufa a 105°C por 12 h. O teor de lipídios foi quantificado por variação

gravimétrica. O cálculo de carboidratos foi obtido a partir da diferença com os outros constituintes conforme a equação 2.

$$\text{Carboidratos} = [100\% - (\% \text{ umidade} + \% \text{ cinzas} + \% \text{ proteínas} + \% \text{ lipídios} + \% \text{ fibras alimentares})] \quad (2)$$

A determinação de fibras alimentares foi realizada de acordo com o método enzimático-gravimétrico conforme procedimento AOAC 985.29 (2005). Amostras de 1g foram pesadas em duplicata em erlenmeyers de 400 mL com adição de solução tampão fosfato (pH 6,0). Foram realizadas 3 digestões utilizando enzimas α -amilase, solução de protease e de amiloglucosidase (Kit enzimático Sigma), intercaladas com períodos de incubação. Para a precipitação das fibras solúveis, adicionou-se 280 mL de etanol a 95%. Os resíduos foram lavados para posterior secagem e pesagem. Em duplicata foram realizadas determinações de proteínas pelo método de Kjeldahl (fator de conversão 6,25) e cinzas por incineração em mufla (El Labor, EF200F) a 525°C por 5 h, assim calculando as fibras totais. O cálculo do teor de fibras alimentares foi realizado de acordo com a equação 3.

$$\text{FT (\%)} = \frac{(\text{peso do resíduo} - \text{proteínas} - \text{cinzas} - \text{branco})}{\text{massa da amostra}} \times 100 \quad (3)$$

4.2.2.2 Teor de amido

O teor de amido foi determinado conforme metodologia Demiate, Konkel e Pedroso (2001). Uma amostra de 1 g foi pesada em tubo com tampa e dissolvida em 20 mL de água deionizada e homogeneizada. Foi acrescentado 200 μ L de solução de cloreto de cálcio 0,2% e corrigido o pH entre 5,5 e 6,0 com ácido acético 0,2 M ou NaOH 0,5 M. Foi adicionado 100 μ L de enzima Termamyl e levado à ebulição por 40 min. Depois de resfriado foi corrigido o pH para 4,5 com ácido acético 0,2 M. Em seguida foi adicionado 200 μ L de enzima Amiloglucosidase por 40 min a 60°C. Após resfriamento e transferência para um balão de 1000 mL, a solução foi filtrada, realizadas diluições necessárias e determinado teor de glicose pelo método de GOD (glicose oxidase).

4.2.2.3 Açúcares redutores

A determinação de açúcares redutores foi feita pelo método Somogyi-Nelson (Nelson, 1944; Somogyi, 1945). Uma amostra de 5 g foi adicionada à água destilada até completar 200 mL em balão volumétrico. A concentração final de açúcares redutores foi ajustada entre 50 e 500

mg.L⁻¹ conforme a curva analítica. Foi realizada a hidrólise retirando 5 mL do sobrenadante com adição de 5 mL de HCl 37% e aquecendo em banho-maria em ebulição por 10 min. Após resfriamento em banho de gelo foi acrescentado 2,0 mL de NaOH 2N com verificação de seu pH básico com fita indicadora. Foi retirado 1 mL do sobrenadante para o teste de Somogyi-Nelson (SN).

Para realizar o Teste de Somogyi-Nelson (SN) foi adicionando 1 mL da amostra em um tubo de ensaio e 1 mL do reagente SN-I, com agitação e aquecimento por 10 min. Após resfriamento em banho de gelo por 5 min foi adicionado 1 mL do reagente SN-II, e após agitação foi deixado em repouso por 5 min à temperatura ambiente. Após adição de 25 mL de água destilada foi lida a absorbância em espectrofotômetro a 540 nm. O branco foi preparado substituindo 1 mL da amostra ou padrão por água destilada. A amostra deve ser diluída para que a concentração de açúcares não exceda 0,50 g.L⁻¹ (ou 500 mg.L⁻¹).

4.2.2.4 pH

O pH foi medido em pHmetro (pHS 3E ION), diluindo 5 g da amostra em 50 mL de água destilada, com agitação por 10 min.

4.2.2.5 ATT

Para a acidez total titulável (ATT) foi utilizada uma solução de NaOH 0,1N. O indicador de viragem foi a fenolftaleína a 1% (p/v). Foi utilizado 5 g de cada amostra diluída em 50 g de água destilada (IAL, 2008).

4.2.2.6 compostos fenólicos

Para determinação dos compostos fenólicos totais e da atividade antioxidante foram obtidos extratos a partir de 1 g de amostra com 20 mL de etanol 80%(v/v). Essa mistura foi submetida à agitação em banho ultrassom (Unique USC 1400) à temperatura ambiente e protegido da luz, durante 3 h. A seguir foi centrifugada a 1000 xg por 20 min. O sobrenadante foi recolhido em um tubo e ao material foi adicionado 5 mL de etanol 80%. Após nova centrifugação por 20 min, o sobrenadante foi adicionado ao anterior, realizando essa etapa duas vezes, segundo Bolanho *et al.* (2014) com modificações.

A determinação do teor de compostos fenólicos foi realizada utilizando o reagente de Folin-Ciocalteu. Foi adicionado 0,5 mL do extrato e 2,5 mL do reagente 1N. Após 5 min, foi adicionado 1 mL de Na₂CO₃ 5% e incubado por 60 min em temperatura ambiente. A leitura em espectrofotômetro foi realizada a 725 nm e construída uma curva analítica com ácido gálico (0 - 100 mg de ácido gálico.mL⁻¹), e os resultados expressos em mgEAG.100g⁻¹ (Singleton, Orthofer, Lamuela-Raventos, 1999).

4.2.2.7 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante foi determinada por dois métodos diferentes (DPPH e FRAP), uma vez que esses compostos atuam com diferentes mecanismos e cada técnica pode ser mais sensível a tipos específicos.

- DPPH (2,2-Difenil-1-picrilhidrazil): este método mede a capacidade de uma amostra em doar um átomo de hidrogênio para o radical livre DPPH, resultando em sua redução para uma forma estável. A determinação foi feita com incubação da amostra em solução etanólica de DPPH. Leu-se absorbância a 517 nm em espectrofotômetro (UVmini-1240, SHIMADZU). As amostras foram preparadas com 1 mL do extrato e 3 mL de DPPH, o branco foi feito substituindo o extrato por 1 mL de etanol 95% (Brand-Willians, Cuvelier e Berset, 1995). Os resultados foram expressos em mg ET.g^{-1} , a partir da curva analítica de Trolox.

- FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*): este método mede a capacidade de uma amostra em reduzir o íon férrico (Fe^{3+}) para o íon ferroso (Fe^{2+}). Quanto maior a capacidade redutora, maior a atividade antioxidante. Para preparação da solução de FRAP, foi usado TPTZ (2,4,6-Tris(2-piridil)-s-triazina) a 10 mM, de cloreto férrico (FeCl_3 - 20 mM) e solução tampão acetato a 0,3 M e pH de 3,6. Em tubos de ensaio cobertos com papel alumínio foram adicionados 90 μL dos extratos, ou da solução de trolox ou branco (água destilada), com 2,7 mL da solução FRAP e 270 μL de água destilada. A leitura foi realizada no comprimento de onda 595 nm (Benzie; Strain, 1996). Os resultados foram expressos em mg ET.g^{-1} , a partir da curva analítica de Trolox.

4.2.2.8 Índices de solubilidade em água, absorção de água e absorção de óleo

O índice de absorção de água (IAA) foi obtido através da preparação de uma suspensão da amostra (2,5 g) em 30 mL de água destilada. Então seguiu-se agitação da mistura em vórtice (TECNAL, 162) por 5 min e centrifugação (CELM - COMBATE) por 20 min e força de centrifugação de 1000 xg. O sobrenadante foi reservado e o material sólido pesado, o IAA foi calculado pela água absorvida pela amostra, dividido pelo peso da amostra em gramas.

O sobrenadante da análise anterior foi utilizado para o índice de solubilidade em água (ISA), onde o líquido foi colocado em uma estufa (TECNAL - TE 394/1) a 105°C até peso constante, e o resultado se dá pela divisão do resíduo da evaporação pelo peso da amostra, em gramas.

O índice de absorção de óleo (IAO) foi realizado da mesma forma que o IAA, substituindo apenas a água destilada por óleo de soja (Santana, Oliveira Filho, Egea, 2017).

4.2.2.9 Aw

A atividade de água (Aw) foi determinada em higrômetro (AquaLab 3TE) a 25°C.

4.2.2.10 Cor

A cor foi determinada em leitura direta usando colorímetro MiniScan EZ 4500L (HunterLab, USA) dotado de sistema de leituras de três parâmetros, o CIE L* a* b*, em que o parâmetro L* representa a luminosidade das amostras, que variam de 0 a 100; o parâmetro a* representa a cor relacionada ao verde (-) vermelho (+), e o parâmetro b* é associado às cores azul (-) e amarelo (+).

O valor de Hue foi calculado pela equação:
$$\text{Hue} = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad (4)$$

O valor de Croma foi calculado pela equação:
$$\text{Croma} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (5)$$

4.2.2.11 Granulometria

A granulometria foi realizada com as peneiras da série de Taylor, com aberturas de 20, 28, 35, 42, 80 e 150 mesh, em agitador mecânico, por 15 min em potência máxima. O diâmetro médio das partículas foi determinado pelas frações mássicas do material retido nas peneiras.

4.2.2.12 Propriedades viscoamilográficas

As propriedades viscoamilográficas foram determinadas com o equipamento viscoamilógrafo Rápido Visco Analisador (RVA-4 Newport Scientific, Austrália) e o programa Thermocline for Windows. Foram pesados 2,49 g de amostra e adicionada água deionizada para completar a massa total para 28 g. Esta análise possibilitou avaliar os parâmetros: viscosidade máxima, mínima, de quebra, final, tendência a retrogradação, temperatura de pasta e o tempo para atingir viscosidade máxima. A rampa de temperatura consiste em um aquecimento contínuo de 50°C a 95°C, seguido pela manutenção dessa temperatura por 6 minutos, e depois um resfriamento, totalizando 23 minutos de análise (Demiate *et al.*, 2005).

4.2.2.13 Microscopia eletrônica

A microscopia eletrônica foi realizada no C-LABMU pelo equipamento microscópio eletrônico de varredura FEG (MIRA 3 TESCAN) que produz imagem resultante da interação de um feixe de elétrons com a amostra. As amostras foram dispostas em fitas de carbono e metalizadas com plasma de ouro, promovendo, assim, a condutividade dos elétrons. As imagens fornecidas foram nas ampliações de 500x, 1000x e 3000x.

4.2.2.14 Análises estatísticas

As análises foram realizadas em triplicata e os resultados expressos em média e desvio padrão. Os resultados foram analisados com auxílio do *software* Minitab® utilizando o método One Way Analysis of Variance (ANOVA) seguido do teste de Tukey para comparações múltiplas

de medidas paramétricas e os valores foram considerados significativos quando apresentaram um nível de significância (p) inferior a 0,05.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Composição Química

Os resultados das análises físico-químicas das farinhas de sorgo, subprodutos de palmito pupunha e maçã estão expressos nas Tabelas 6 e 7. Por se tratar de diferentes matérias-primas vegetais, apresentaram diferença significativa nos valores de composição determinados ($p \leq 0,05$).

Tabela 6 - Caracterização físico-química das farinhas de sorgo (FS), subprodutos de palmito pupunha (FP) e maçã (FM)

Componente (g.100g ⁻¹)	FS	FP	FM
Umidade	7,44 ^A ±0,03	4,66 ^C ±0,14	6,99 ^B ±0,76
Cinzas	1,90 ^B ±0,04	3,97 ^A ±0,09	1,53 ^C ±0,02
Proteínas	6,14 ^A ±0,05	4,87 ^B ±0,26	4,12 ^C ±0,01
Lipídios	5,54 ^A ±0,04	1,35 ^C ±0,02	1,97 ^B ±0,03
Fibras alimentares	9,42 ^C ±0,93	49,97 ^A ±0,31	37,05 ^B ±0,64
Amido	73,44 ^A ±0,21	0	8,35 ^B ±0,10
Açúcares redutores totais	0,81 ^C ±0,01	20,18 ^B ±0,17	39,2 ^A ±0,04
pH	6,64 ^A ±0,01	4,98 ^B ±0,05	4,14 ^C ±0,01
Acidez (mL NaOH 0,1N 100g ⁻¹)	0,38 ^C ±0,01	1,66 ^B ±0,07	3,83 ^A ±0,14

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não apresentam diferença significativa a 5% no Teste de Tukey.

Fonte: a autora

As farinhas apresentaram umidade dentro do que preconiza a RDC n° 711 da ANVISA (Brasil, 2022), onde o valor máximo é de 15 g.100g⁻¹. O controle da umidade é importante, pois farinhas com umidade inferior a 12%, dificultam a multiplicação microbiana, apresentando estabilidade no armazenamento (Fiorda *et al.*, 2013).

A farinha de palmito pupunha apresentou o maior teor de cinzas de 3,97 g.100g⁻¹, semelhante ao encontrado por Barbosa *et al.* (2011). Este valor mais elevado pode estar relacionando ao seu conteúdo de minerais, como o potássio. A farinha de subproduto de maçã apresentou o segundo maior (1,53 g.100g⁻¹), seguida da de sorgo (1,90 g.100g⁻¹). O teor de cinzas de farinhas é, de forma geral, um fator que afeta de maneira significativa o sabor do pão na fermentação natural. Um aumento nesse teor pode intensificar comentários de pungente, torrado e sabor residual, ao mesmo tempo reduzir a sensação de sabor fresco na análise sensorial (Katina *et al.*, 2006).

A farinha de sorgo apresentou o maior conteúdo de proteínas (6,14 g.100g⁻¹), seguida da farinha de subproduto de palmito pupunha 4,87 g.100g⁻¹, e da farinha de subproduto de maçã, 4,12 g.100g⁻¹. Apesar de o teor de proteínas do sorgo ter se destacado, o maior desafio no desenvolvimento de pães e outros produtos sem glúten é a falta de proteínas capazes de substituir a presente no trigo e em outros cereais com glúten. No entanto, o sorgo possui propriedades nutricionais únicas, adequado para pessoas com doença celíaca, apesar da baixa digestibilidade proteica (Oliveira *et al.*, 2022).

Em relação aos lipídios, a farinha de sorgo apresentou 5,54 g.100g⁻¹, valor este próximo ao relatado por Oliveira *et al.* (2022), que foi de 5,43 g.100g⁻¹ para o sorgo branco. A farinha de subproduto de palmito apresentou 1,35 g.100g⁻¹, abaixo do encontrado por Barbosa *et al.* (2011) que foi de 3,83 g.100g⁻¹. O resultado da determinação de lipídios da farinha de subproduto de maçã foi de 1,97 g.100g⁻¹, e está dentro da faixa encontrada por Antonic *et al.* (2020) em artigos sobre o bagaço de maçã, com valores entre 0,26 e 8,49 g.100g⁻¹. Valores mais baixos de lipídios são interessantes em farinhas a fim de se evitar reações de rancidez (Domodaran; Parkin; Fennema, 2010).

O sorgo destacou-se em relação ao teor de amido com 73,44 g.100g⁻¹. Este componente na maçã depende do seu grau de maturação e foi inexistente na farinha de palmito. Este parâmetro é importante para a produção de pães sem glúten. Durante o forneamento, as proteínas se desnaturam com o calor e o amido gelatiniza. Para manter a estrutura de pães sem glúten, é essencial criar uma matriz forte e flexível para reter as bolhas de gás formadas durante o processo. No entanto, farinhas e amidos livres de glúten não fornecem essa estrutura sozinhos. A adição de hidrocoloides torna-se necessária devido à sua capacidade de inchar e se ligar à água, garantindo a textura desejada (Šmídová; Rysová, 2022).

A farinha de subproduto de palmito pupunha apresentou o maior conteúdo de fibras alimentares, com 49,97 g.100g⁻¹, seguida da de subproduto de maçã com 37,05 g.100g⁻¹ e da de sorgo com 9,42 g.100g⁻¹. As farinhas de subprodutos de palmito e de maçã classificam-se como de “conteúdo aumentado de fibras alimentares” por atender os critérios para o atributo nutricional “fonte de fibras alimentares”. Ambas contêm mais de 25% deste parâmetro conforme VDR (valor diário recomendado) de fibras alimentares, definido no Anexo II da Instrução Normativa nº 75/2020, que é de 25 g para uma porção de farinhas de 50 g, conforme Anexo V para o item “farinhas de cereais e tubérculos, todos os tipos” (Brasil, 2020). Spacki *et al.* (2022) destacaram que o interesse por ingredientes ricos em fibras alimentares tem aumentado, e a importância desse componente tem levado ao desenvolvimento de um grande mercado de produtos e ingredientes ricos em fibras.

Para a panificação com farinha de sorgo, menores teores de cinzas e fibras são preferíveis, pois estudos comprovaram que farinhas feitas de grãos decorticados são mais adequadas para pão de sorgo, apesar de ocorrer perda de compostos bioativos e antioxidantes. O aumento no teor de fibras, com redução do teor de amido, contribui para a diminuição do volume específico do pão. Um estudo demonstrou bons resultados com pão sem glúten utilizando uma mistura de 70:20:10 de farinha de sorgo decorticada, amido de mandioca gelatinizada e amido de mandioca crua. O amido adicionado dilui as partículas de endosperma e farelo, prejudicando a homogeneidade do gel de amido e impedindo a formação de células gasosas, resultando em pães sem glúten com menor volume quando feitos de farinhas integrais. (Trappey *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2022).

A farinha de maçã apresentou valores de açúcares redutores de 39,21 g.100g⁻¹, semelhante ao encontrado por Coelho e Wosiacki (2010), que foi de 35,11 g.100g⁻¹.

Storck *et al.* (2015) estudaram a qualidade microbiológica e composição de farinhas de resíduos da produção de suco de frutas em diferentes granulometrias e em relação ao pH e citaram que, como as bactérias conseguem se desenvolver em uma faixa de pH que varia entre 5 e 8, um pH inferior, como encontrados nas farinhas de subproduto de palmito e maçã, as tornam mais estáveis ao armazenamento.

A farinha de maçã apresentou acidez mais elevada que as demais de 3,83 g.100g⁻¹. Este resultado pode ser devido ao período decorrido do processamento até a desidratação e ao alto conteúdo de açúcares que favorecem a fermentação e produção de ácidos.

Na Tabela 7 encontram-se as determinações de compostos fenólicos e atividade antioxidante das farinhas.

Tabela 7 - Compostos fenólicos e atividade antioxidante das farinhas de sorgo (FS), subprodutos de palmito pupunha (FP) e maçã (FM)

Componente	FS	FP	FM
Compostos fenólicos (mgEAG.g ⁻¹)	1,36 ^B ±0,04	1,17 ^C ±0,02	2,21 ^A ±0,03
Atividade antioxidante DPPH (mgET.g ⁻¹)	1,84 ^A ±0,01	1,34 ^C ±0,01	1,42 ^B ±0,01
Atividade antioxidante FRAP (mgET.g ⁻¹)	3,07 ^A ±0,06	2,83 ^B ±0,02	1,99 ^C ±0,15

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não apresentam diferença significativa a 5% no Teste de Tukey.

Fonte: a autora

Segundo Gorjanović *et al.* (2020), os compostos fenólicos são os principais antioxidantes da maçã, ingredientes predominantes na fruta inteira, sementes e casca e variam dependendo da cultivar; enquanto seu teor no bagaço é influenciado pela tecnologia de produção de suco, posterior processamento e condições de armazenamento.

A farinha de maçã apresentou o maior conteúdo de compostos fenólicos (2,21 mg EAG.g⁻¹) e estão relacionados ao gosto amargo e incluem ácidos clorogênicos e seus ésteres, entre outros componentes, com resultados expressos como catequinas em ppm (Wosiacki; Pholman; Nogueira, 2004). Além disso, esses compostos influenciam outras características sensoriais, como a cor e a formação de certos aromas, além de possuírem capacidade antioxidante que ajuda a proteger contra os efeitos prejudiciais do estresse oxidativo.

A farinha de sorgo apresentou a maior atividade antioxidante tanto pelo método de DPPH (1,84 mgET.g⁻¹) quanto por FRAP (3,07 mgET.g⁻¹). Estes resultados estão acima dos relatados por Montagna, Fogaça e Storck (2023), pelo método de DPPH em sorgo, com variações por cores; tendo o sorgo vermelho 0,20 mgET.g⁻¹, o sorgo preto 0,14 mgET.g⁻¹, o marrom 0,16 mgET.g⁻¹ e o branco 0,97 mgET.g⁻¹. O resultado de compostos fenólicos encontrado na farinha de sorgo em estudo, foi de 1,36 mgAG.g⁻¹, valor semelhante ao relatado por Oliveira *et al.* (2022) na variedade de sorgo branco, 1,73 mgEAG.g⁻¹.

O fato da farinha de subproduto de maçã apresentar maior valor de compostos fenólicos que a farinha de sorgo, porém menores valores nos resultados de antioxidantes, pode ser pelo fato de que, embora os compostos fenólicos sejam geralmente antioxidantes, nem todos os compostos fenólicos têm a mesma capacidade antioxidante. A composição e o tipo de compostos fenólicos presentes em cada farinha podem variar significativamente.

Os benefícios comprovados para a saúde derivados de uma dieta rica em antioxidantes resultam na redução do estresse oxidativo, retardando o envelhecimento biológico e diminuindo o risco de doenças associadas ao estresse oxidativo e condições crônico-degenerativas, tais como Alzheimer, câncer, doenças hepáticas e cardiovasculares. Existe uma conexão significativa entre o estresse oxidativo e a doença celíaca, levando a danos graves na mucosa do intestino delgado de pacientes celíacos (Djordjević *et al.*; 2024).

4.3.2 Propriedades Tecnológicas

Os resultados das análises tecnológicas das farinhas encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8 - Propriedades tecnológicas das farinhas de sorgo (FS), subprodutos de palmito pupunha (FP) e maçã (FM)

Determinação	FS	FP	FM
A _w	0,56 ^A ±0,00	0,39 ^B ±0,01	0,29 ^C ±0,01
ISA	4,75 ^C ±1,75	11,53 ^B ±1,17	15,0 ^A ±2,16
IAA	2,68 ^C ±0,09	7,94 ^A ±0,43	5,65 ^B ±0,14
IAO	2,20 ^C ±0,07	3,59 ^A ±0,26	2,89 ^B ±0,14
Granulometria (mm)	0,52	0,27	0,78
Cor			
L*	76,31 ^B ±1,75	87,43 ^A ±0,54	62,51 ^C ±1,44
a*	3,79 ^A ±0,19	0,23 ^B ±0,14	3,81 ^A ±0,97
b*	13,23 ^C ±0,20	21,06 ^A ±0,52	18,13 ^B ±0,55
C*	13,75 ^C ±0,05	21,04 ^A ±0,01	18,52 ^B ±0,01
H°	74,04 ^C ±0,44	89,37 ^A ±0,05	78,31 ^B ±0,10

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não apresentam diferença significativa a 5% no Teste de Tukey.

Fonte: a autora

A atividade de água (A_w) demonstrou que as farinhas apresentam estabilidade para armazenamento. Segundo Magallanes López e Simsek (2021), a baixa atividade de água (a_w < 0,60), desfavorece o crescimento microbiano.

O índice de absorção de água (IAA) está relacionado com a disponibilidade de grupos hidrofílicos se ligarem às moléculas de água e à capacidade de formação de gel das moléculas de amido. As farinhas de palmito (FP) e maçã (FM) apresentaram maiores IAA, fato esse que pode ser explicado pela alta quantidade de fibras na composição, que tem capacidade de absorver água. Esse parâmetro é vantajoso em produtos de panificação, pois contribui para a incorporação de água na massa, aumentando o volume e o rendimento do produto (Barros *et al.*, 2021).

O índice de solubilidade em água (ISA) é um parâmetro que mede a capacidade da farinha dissolver ou dispersar componentes em água. O valor mais alto foi verificado na farinha de maçã (15,01 g.100.g⁻¹). Farinhas com altos valores de ISA podem ser utilizadas em alimentos que necessitam de baixas temperaturas para serem preparados ou como ingredientes para formulações que necessitam de ingredientes com maior solubilidade em água (Ribeiro *et al.*, 2022).

O índice de absorção de óleo (IAO) é conferido à ligação de partes proteicas da amostra às moléculas do óleo. De acordo com Barbosa *et al.* (2011), a absorção de óleo pode ser devida

a combinação da gordura aos grupos apolares das proteínas ou a disponibilidade de grupos lipofílicos. Ordenando as farinhas em ordem decrescente para este parâmetro tem-se: FP > FM > FS. Essa característica contribui para aprimorar o sabor do alimento, proporcionando propriedades adequadas de consistência, viscosidade e aderência. Isso resulta em uma textura de melhor qualidade, tornando-o útil como ingredientes similares a outras matérias-primas ou substitutos em formulações alimentares (Santana; Oliveira Filho; Egea, 2017).

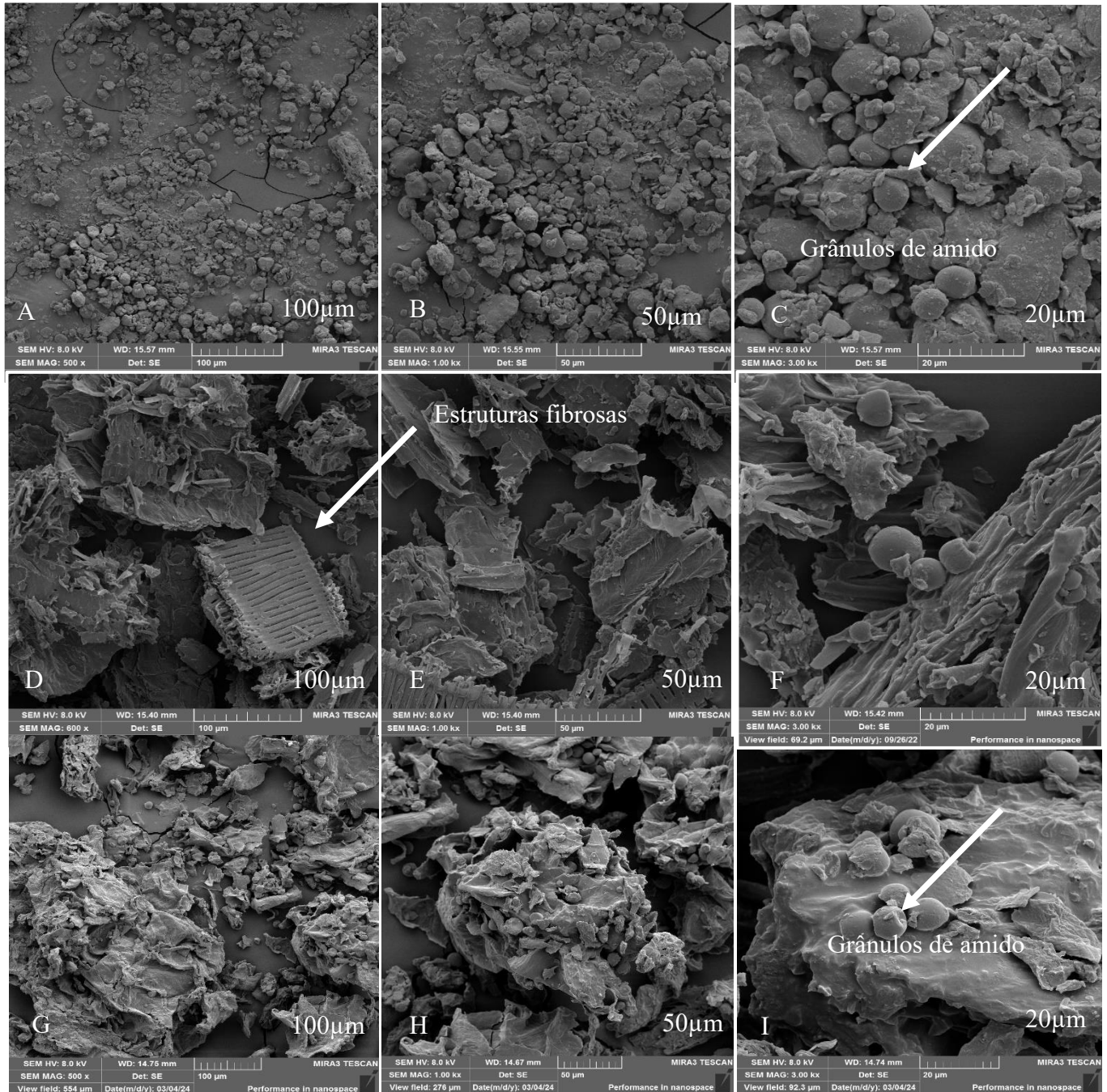
Na determinação de cor pode-se observar que com relação ao parâmetro L, que determina a luminosidade, a farinha de tonalidade mais clara foi a de palmito, seguida da de sorgo e a de subproduto de maçã é a mais escura. A farinha de subproduto de palmito teve um resultado para H° de 89,31 com uma tonalidade tendendo ao amarelo, a de subproduto de maçã teve tonalidade tendendo para o marrom com H° de 78,02 e a de sorgo apresentou H° de 74,51 com tonalidade tendendo para a cor cinza.

Em relação à granulometria, o menor valor foi encontrado na farinha de subproduto de palmito com 0,27 mm. Conforme visto em Storck *et al.*, (2015), o tamanho das partículas influencia a capacidade de absorção de água, o tempo de mistura e as características sensoriais, como aparência, sabor e textura. Embora a influência da granulometria das farinhas nas propriedades dos produtos de panificação ainda não esteja elucidada, é aceito que partículas finas e uniformes promovem uma maior dispersibilidade dos componentes na massa.

O tamanho das partículas da farinha é crucial para a qualidade do pão, sendo que partículas muito grandes podem resultar em uma textura arenosa e reduzir a capacidade de retenção de gás da massa, diminuindo o volume final (Šmídová e Rysová, 2022).

A caracterização morfológica das farinhas encontra-se na Figura 7. Nas eletromicrografias da farinha de sorgo (A, B e C), observa-se a abundância de grânulos de amido, alguns com modificações estruturais e perda do formato esférico. A predominância de grânulos de amido nas estruturas visualizadas, também verificada na determinação físico-química, demonstra propriedades para seu uso na panificação de produtos sem glúten.

Figura 7 - Eletromicrografias das farinhas de sorgo (FS), subprodutos de palmito pupunha (FP) e maçã (FM)



Eletromicrografias: farinha de sorgo (A) 500X, (B) 1000X e (C) 3000X; farinha de subproduto de palmito pupunha (D) 500X, (E) 1000X e (F) 3000X; farinha de subproduto da maçã (G) 500X, (H) 1000X e (I) 3000X.

A estrutura dos grânulos de amido pode influenciar a qualidade dos pães sem glúten em termos de volume específico, dureza, coesividade, elasticidade e estrutura do miolo. Partículas de farinhas amiláceas ou grânulos de amido têm a capacidade de hidratar e inchar, desempenhando papel crucial como agentes estruturantes na fase contínua do volume durante a mistura com a rede de hidrocoloide, a qual é empregada como substituto do glúten (Roman;

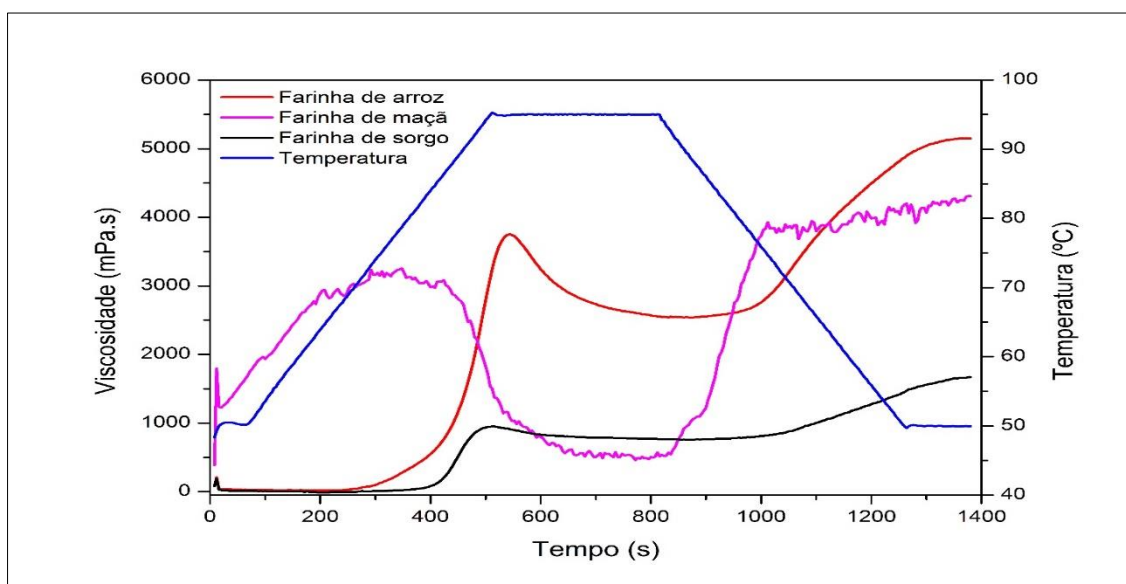
Gomez; Martinez, 2021).

As imagens das eletromicrografias da farinha de subproduto de palmito pupunha (D, E e F) apresentam elementos fibrosos típicos da parte caulinar da planta. Em Bolanho e Danesi (2015), alguns elementos são descritos como resíduos de tecidos de parênquima e esclerênquima. No aumento de 3000x observam-se alguns grânulos de amido isolados.

Nas imagens G, H e I podem ser visualizadas as estruturas morfológicas da farinha de maçã compreendidos por elementos fibrosos e grânulos de amido de tamanhos semelhantes às farinhas de sorgo e palmito.

Na Figura 8 pode-se visualizar as propriedades de pasta das farinhas de sorgo e de subprodutos de maçã comparadas com a farinha de arroz, que é a mais utilizada em panificação isenta de glúten. As farinhas foram analisadas no equipamento RVA (*Rapid Visco Analyzer*) onde, durante o experimento, o amido é exposto a altas temperaturas em solução aquosa, sendo gelatinizado, aumentando sua viscosidade para determinação da sua estabilidade.

Figura 8 - Viscoamilogramas das farinhas de sorgo (FS), subprodutos de maçã (FM) em comparação com farinha de arroz



Fonte: a autora

Em Zortéa *et al.* (2011), verifica-se que este gráfico é construído e dividido em três curvas de tempo devido ao comportamento de pasta do amido, apresenta três fases: empastamento, cozimento e retrogradação. Na fase 1 (50 a 95°C), ocorre intensa absorção de água pelos grânulos de amido, aumentando a viscosidade da suspensão. A fase 2, a 95°C, envolve gelatinização com agitação mecânica, rompendo de maneira parcial alguns grânulos e liberando polissacarídeos, resultando em variações na estabilidade ao cozimento. Na fase 3, a viscosidade aumenta durante

o resfriamento (95 para 50°C), indicando retrogradação.

As farinhas estudadas demonstraram diferentes perfis em relação às propriedades viscoelásticas. Os valores que marcam o começo e o fim das três etapas são diferentes devido às características viscoamilográficas variadas dos amidos provenientes de diferentes fontes botânicas.

A farinha de arroz apresentou maior pico de viscosidade bem como maior viscosidade de pico e final. Segundo Alvarez-Jubete *et al.* (2010) a viscosidade final é um importante indicador da resistência do gel formado após o resfriamento, e representa um importante parâmetro de qualidade.

No perfil da farinha de subproduto de maçã, verificou-se a presença de ruído devido à sensibilidade do equipamento, sendo evidenciado pela baixa viscosidade de pasta dessa amostra. Ascheri *et al.* (2006) verificaram em seus estudos com farinha de bagaço de jabuticada, resultados semelhantes onde componentes insolúveis das fibras alimentares têm capacidade limitada de absorver água, resultando em suspensões aquosas de baixa viscosidade. A viscosidade inicial pode ser influenciada pela presença de fibras solúveis, como hemicelulose, pectinas, taninos, glucanos, ácido fítico, gomas, inulina e outros.

O perfil da farinha de sorgo demonstrou um pico de viscosidade em menor tempo e com temperaturas mais baixas. Chao *et al.* (2024) verificaram resultados semelhantes e identificaram que proteínas do sorgo dificultam o inchamento dos grânulos de amido durante a gelatinização. Lipídios e proteínas endógenos podem diminuir a digestibilidade do amido na farinha de sorgo, devido às suas interações antes e durante o cozimento. Na farinha de sorgo crua, proteínas podem dificultar a ação da amilase, enquanto os lipídios formam complexos que aumentam a resistência à digestão do amido.

4.4 CONCLUSÕES

Com relação à umidade e A_w , as farinhas apresentaram-se nas faixas de valores que limitam o crescimento microbiano. Aliado aos baixos conteúdos de lipídios, que as tornam menos susceptíveis à oxidação, demonstram estabilidade ao armazenamento.

A farinha de sorgo apresentou maior conteúdo de amido, componente indispensável para a formação de estrutura em produtos isentos de glúten. Destacou-se na capacidade antioxidante pelos métodos DPPH e FRAP.

A farinha de subproduto de palmito pupunha pode contribuir para o enriquecimento nutricional dos pães, devido seu alto teor de fibras, sem alterar a cor do produto.

A farinha de subproduto de maçã, além do teor de fibras, demonstrou alto conteúdo de

compostos fenólicos, de 20,21 mg EAG.g⁻¹.

As farinhas de subprodutos de palmito e de maçã apresentaram valores mais elevados para os parâmetros de ISA e IAA, em comparação com a farinha de sorgo, portanto se dissolvem e/ou absorvem água com maior facilidade.

Nas eletromicrografias foram observadas estruturas que comprovam os resultados físico-químicos das farinhas, como a grande quantidade de amido na farinha de sorgo e de elementos fibrosos na de subproduto de palmito pupunha.

As farinhas apresentaram perfis viscoamilográficos diferentes da farinha de arroz, que é uma das mais utilizadas na panificação isenta de glúten. A farinha de sorgo, apesar de possuir grande quantidade de amido, por ser integral, apresentou menor pico de viscosidade em comparação à farinha de arroz, muito provável devido às interações de seus grânulos de amido com fibras, proteínas e lipídios.

Esse estudo permitiu avaliar as características das farinhas obtidas a partir de grãos de sorgo e de subprodutos do processamento de palmito pupunha e maçã, para comporem *mix* de farinhas para a formulação de pães isentos de glúten. Representam uma boa fonte de nutrientes, compostos antioxidantes e fibras alimentares. Além disso, suas propriedades tecnológicas podem contribuir de forma positiva para as massas, além de fortalecerem a sustentabilidade do setor agroindustrial.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ-JUBETE, L., AUTY, M., ARENDT, E. K., GALLAGHER, E. Baking properties and microstructure of pseudocereal fours in gluten-free bread formulations. **European Food Research and Technology**, v. 230, p. 437-445, 2010.

AOAC. **Association of Official Analytical Chemists**. Total Dietary Fiber Determination AOAC 985.29. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC. 2005

ASCHERI, D. P. R.; ANDRADE, C. T.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R. Obtenção de farinhas mistas pré-gelatinizadas a partir de arroz e bagaço de jabuticaba: efeito das variáveis de extrusão nas propriedades de pasta. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 24, n. 1, 2006.

AWUCHI, C. G.; IGWE, V. S.; ECHETA, K. C. The functional properties of foods and flours **International Journal of Advanced Academic Research**, v. 5, n. 11, p. 139-160, 2019.

BARBOSA, J. R.; BELTRAME, S. C.; BRAGATTO, M. M.; DÉBIA, P. J. G.; BOLANHO, B. C., DANESI, E. D. G. Avaliação da composição e dos parâmetros tecnológicos de farinhas produzidas a partir de subprodutos agroindustriais. **Revista Tecnológica**, edição especial, p. 21-28, 2011.

BARROS, S. K. A.; DE SOUZA, A. R. M.; DAMIANI, C.; PEREIRA, A. S.; ALVES, D. G.; CLEMENTE, R. C.; DA COSTA, D. M. Obtaining and characterizing açai (*Euterper Oleracea*) and bacaba peel (*Oenocarpus Bacaba*). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e2710413724-e2710413724, 2021.

BELTRÃO MARTINS, R.; NUNES, M. C.; GOUVINHAS, I.; FERREIRA, L. M. M.; PERES, J. A.; BARROS, A. I. R. N. A.; RAYMUNDO, A. Apple Flour in a Sweet Gluten-Free Bread Formulation: Impact on Nutritional Value, Glycemic Index, Structure and Sensory Profile. **Foods**, v. 11, n. 20, p. 3172, 2022.

BENZIE, I. FF; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, n. 1, p. 70-76, 1996.

BOLANHO, B. C.; DANESI, E. D. G.; BELÉIA, A. P. Characterization of flours made from peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) by-products as a new food ingredient. **Journal of Food and Nutrition Research**, v. 53, n. 1, p. 51-59, 2014.

BOLANHO, B. C.; DANESI, E. D.G. **Pupunheira e os subprodutos da produção de conservas de palmito: caracterização da planta e das farinhas produzidas a partir dos subprodutos**. Alemanha: Novas Edições Acadêmicas, 2015.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28. p. 25-30, 1995.

BRASIL. Ministério da Saúde. Instrução Normativa - IN nº 75, de 8 de outubro de 2020 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. **Diário Oficial da União**, Brasília, 09 out. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-75-de-8-de-outubro-de-2020-282071143>. Acesso em: 24 mai. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 711, de 01 de julho de 2022 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Requisitos sanitários dos amidos, biscoitos, cereais integrais, cereais processados, farelos, farinhas, farinhas integrais, massas alimentícias e pães. **Diário Oficial da União**, Brasília, 06 jul. 2022. Disponível em: <http://bibliotecadigital.anvisa.gov.br/jspui/handle/anvisa/7787>. Acesso em: 20 jun. de 2024.

CAYRES, C. A.; ASCHERI, J. L. R.; COUTO, M. A. P. G.; ALMEIDA, E. L.; MELO, L. Consumers' acceptance of optimized gluten-free sorghum-based cakes and their drivers of liking and disliking. **Journal of Cereal Science**, v. 93, p. 102938, 2020.

CHAO, C.; LIANG, S.; ZHANG, Z.; GIDLEY, M. J.; LIU, Y.; WANG, S. New Insight into the Effects of Endogenous Protein and Lipids on the Enzymatic Digestion of Starch in Sorghum Flour. **Foods**, v. 13, n. 5, p. 663, 2024.

COELHO, L. M.; WOSIACKI, G. Avaliação sensorial de produtos panificados com adição de farinha de bagaço de maçã. **Food Science and Technology**, v. 30, p. 582-588, 2010.

DEMIATE, I. M.; KONKEL, F. E.; PEDROSO, R. A. Avaliação da qualidade de amostras comerciais de doce de leite pastoso-composição química. **Food Science and Technology**, v. 21, p. 108-114, 2001.

DEMIATE, I. M.; WOSIACKI, G.; CEREDA, M. P.; MESTRES, C. Viscographic characteristics of chemically modified cassava starches assessed by RVA. **Publicatio UEPG Ciências Exatas e da Terra**, v. 11, p. 7-17, 2005.

DJORDJEVIC, S. P.; JAROCKI, V. M.; SEEMANN, T.; CUMMINS, M. L.; WATT, A. E.; DRIGO, B.; HOWDEN, B. P. Genomic surveillance for antimicrobial resistance - a One Health perspective. **Nature Reviews Genetics**, v. 25, n. 2, p. 142-157, 2024.

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

FARAGO, C. V.; DE MELO, G. B.; ESCHER, G. B.; MARCON, M. V.; GRANATO, D.; DANESI, E. D. G. Barras de cereais formuladas com bagaço de malte, maçã e *Spirulina platensis*: atividade antioxidante e efeito antiglicêmico. **Research, Society and Development**. v.10, p.e23910514997, 2021.

FIORDA, F. A.; SOARES JR, M. S.; DA SILVA, F. A.; GROSMANN, M. V.; SOUTO, L. R. Microstructure, texture and color of gluten-free pasta made with amaranth flour, cassava starch and cassava bagasse. **LWT - Food Science and Technology**, v. 54, n. 1, p. 132-138, 2013.

FORATO, L. A.; RAPOSO, F.; BERNARDES FILHO, R. Extração e análise das estruturas secundárias das kafirinas nos corpos proteicos de sorgo sacarino. **EMBRAPA**. ISSN 1517-4786, 2023.

GEUS, L. M. M.; GOLTZ, G.; KANUNFRE, C. C.; NOGUEIRA, A.; WOSIACKI, G. **Caracterização nutricional de amostras de bagaço de maçã industrial e laboratorial**. 9 ed. Ponta Grossa, PR: CESCAGE. p-9-25, 2014.

GENEVOIS, C. E.; GRENOVERO, M. S.; DE ESCALADA PLA, M. F. Use of different proportions of rice milling fractions as strategy for improving quality parameters and nutritional profile of gluten-free bread. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, p. 3913-3923, 2021.

GORJANOVIĆ, S., MICIĆ, D., PASTOR, F., TOSTI, T., KALUŠEVIĆ, A., RISTIĆ, S., & ZLATANOVIĆ, S. Evaluation of apple pomace flour obtained industrially by dehydration as a source of biomolecules with antioxidant, antidiabetic and antiobesity effects. **Antioxidants**, v. 9, n. 5, p. 413, 2020.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos** /coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea - São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, v.1, p. 1020, 2008.

KATINA, K.; HEINIÖ, R. L., AUTIO, K., POUTANEN, K. Optimization of sourdough process for improved sensory profile and texture of wheat bread. **LWT - Food Science and Technology**, v. 39, n. 10, p. 1189-1202, 2006.

MAGALLANES LÓPEZ, A. M.; SIMSEK, S. Pathogens control on wheat and wheat flour: A review. **Cereal Chemistry**, v. 98, n. 1, p. 17-30, 2021.

MELO, G. B.; FARAGO, C. V.; ESCHER, G. B.; GRANATO, D.; BOLANHO, B. C., DANESI, E. D. G. Snack extrusado a base de arroz com *Spirulina platensis* e farinha mista de subprodutos de laranja e palmito pupunha. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e41310515142-e41310515142, 2021.

NELSON, N. A fotometria adaptation of Somogi method for determination of glicose. **Journal Biological Chemistry**, v. 31, n. 2, p. 159-161, 1944.

OLIVEIRA, L. L.; DE OLIVEIRA, G. T.; DE ALENCAR, E. R.; QUEIROZ, V. A. V.; DE ALENCAR FIGUEIREDO, L. F. Physical, chemical, and antioxidant analysis of sorghum grain and flour from five hybrids to determine the drivers of liking of gluten-free sorghum breads. **LWT - Food Science and Technology**, v. 153, p. 112407, 2022.

PEZINI, L.; LIRA, M. C. V.; SCHUSTER, M. B.; BAMPI, M.; DINON, A. Z. Produção e caracterização de farinhas alimentícias a partir da casca e da polpa da maçã gala. **Revista Latinoamericana Ambiente e Saúde**, v. 5, n. 3 (especial), p. 118-123, 2023.

RIBEIRO, R. A.; DE OLIVEIRA, L.; SILVA, E. P. G.; CAMPOS, R.; MORAIS, H. A.; BARBOSA, M.; VIEIRA, M. Absorption and solubility of tamarind seed flour (*Tamarindus indica* L.) in water. In: **Anais da IX Conferência Internacional de Proteínas e Coloides Alimentares**, Anais eletrônicos. Campinas, 2022.

ROMAN, L.; GOMEZ, M.; MARTINEZ, M. M. Mesoscale structuring of gluten-free bread with starch. **Current Opinion in Food Science**, v. 38, p. 189-195, 2021.

SANTANA, G. S.; OLIVEIRA FILHO, J. G.; EGEA, M.B. Características tecnológicas de farinhas vegetais comerciais. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 2, p. 88-95, 2017.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In: **Methods in Enzymology**. p. 152-178, 1999.

ŠMÍDOVÁ, Z.; RYSOVÁ, J. Gluten-free bread and bakery products technology. **Foods**, v. 11, n. 3, p. 480, 2022.

SOARES, S. D., DOS SANTOS, O. V., DA CONCEIÇÃO, L. R. V., COSTI, H. T., SILVA JÚNIOR, J. O. C., NASCIMENTO, F. C. A. DO, PENA, R. S. Nutritional and Technological Properties of Albino Peach Palm (*Bactris gasipaes*) from the Amazon: Influence of Cooking and Drying. **Foods**, v.1. p. 23, 2023.

SOMOGY, M. A New Reagent for Determination of Sugars. **A new Sugar Reagent**, p. 61-68, 1945.

SPACKI, C. K.; CORRÊA, R. C. G.; UBER, T. M.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C.; PERALTA, R. A.; PERALTA, R. M. Full Exploitation of Peach Palm (*Bactris gasipaes* Kunth): State of the Art and perspectives. **Plants**, v. 11, n. 22, p. 3175, 2022.

STORCK, C. R.; BASSO, C.; FAVARIN, F. R.; RODRIGUES, A. C. Microbiological quality and composition of flour from fruit juice production residues with different granulometries. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, p. 277-284, 2015.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS (TBCA). Universidade de São Paulo (USP). **Food Research Center (FORC)**. Versão 7.2. São Paulo, 2023. [Acesso em: 14 de maio de 2024]. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tbca>.

TRAPPEY, E. F.; KHOURYIEH, H.; ARAMOUNI, F.; HERALD, T. Effect of sorghum flour composition and particle size on quality properties of gluten-free bread. **Food Science and Technology International**, v. 21, n. 3, p.188-202, 2015.

ZORTÉA, M. E. B.; DEMIATE, I. M.; PRAXEDES, M. A.; WOSIACKI, G. Avaliação da viscosidade aparente de pastas de amidos nos viscosímetros Brookfield RVDV-II+ PRO e rápido visco-analisador RVA-4. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 5, n. 1, p.326-335, 2011.

WOSIACKI, G; PHOLMAN, B. C.; NOGUEIRA, A. Características de qualidade de cultivares de maçã: avaliação físico-química e sensorial de quinze cultivares. **Food Science and Technology**, v. 24, p. 347-352, 2004.

5 COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DE FARINHAS DE SORGO, ARROZ E TRIGO PARA A PRODUÇÃO DE FERMENTO NATURAL PARA PANIFICAÇÃO

RESUMO

A fermentação natural de pães é conhecida como uma forma de conferir aos produtos, melhores atributos sensoriais além de agregar valor nutricional e de estender a vida útil sem uso de aditivos. Para utilização da fermentação natural em pães isentos de glúten, deve-se investigar substratos que apresentem capacidade fermentativa satisfatória. Farinhas de arroz são empregadas em produtos isentos de glúten, que são à base de amido. No entanto, a investigação de matérias-primas que possam agregar enriquecimento nutricional a esses produtos é uma iniciativa importante para esse nicho de mercado. A farinha de sorgo é uma alternativa por ser fonte de compostos bioativos, proteínas e amido. Sendo assim, buscou-se avaliar o desenvolvimento de um fermento natural de farinha de sorgo (FS), farinha de arroz (FA) e FS + FA (50% de cada - FSA). Os fermentos foram produzidos com farinha e água e incubados a 26°C por 10 dias, com alimentação diária e acompanhamento de pH, acidez total titulável (ATT) e capacidade fermentativa. Após constatado qual o melhor substrato, buscou-se a comparação da produção deste com a de um fermento natural tradicional, utilizando farinha de trigo (FT). Nesta produção foram realizados acompanhamentos de pH, acidez total titulável (ATT) e contagem de leveduras e bactérias. Após a obtenção dos fermentos maduros, realizou-se um acompanhamento por 24 h após a renovação dos nutrientes, para verificação do pico de fermentação e alterações de pH, acidez e teste de capacidade fermentativa. Nos fermentos maduros (FA e FT) também foi verificada a influência da alimentação nos resultados de pH e acidez, utilizando duas diferentes proporções de fermento/farinha/água: 1:1:1 e 1:2:2. O fermento de FA mostrou maior aumento de acidez, evidenciando maior atividade microbiana, sendo superior aos de FS e FSA. A capacidade fermentativa foi mais pronunciada em fermentos de FA, com aumento de volume de 40%. A comparação entre FA e FT indicou resultados semelhantes em termos de pH, acidez, contagem de leveduras e bactérias. Os fermentos maduros mostraram-se aptos para a produção de pães entre 4 e 6 horas após a renovação de nutrientes, com a proporção 1:2:2, destacando-se na atividade microbiana ao longo do tempo. Conclui-se que a farinha de arroz pode ser uma alternativa promissora para a produção de pão isento de glúten por fermentação natural, na proporção 1:2:2, após 4 horas da renovação de nutrientes.

Palavras-chave: capacidade fermentativa, bactérias ácido-láticas; leveduras.

5.1 INTRODUÇÃO

Pães isentos de glúten podem ter seus aspectos sensoriais, nutritivos e tecnológicos aprimorados com o emprego da fermentação natural. Arora *et al.* (2021), após a revisão de 1230 artigos de pesquisa, verificaram que a fermentação natural melhora os atributos sensoriais, nutricionais, funcionais, reológicos e de vida útil de pães. Ocorre aumento da biodisponibilidade mineral, redução do índice glicêmico, melhora na digestibilidade e diminuição do conteúdo de fatores antinutricionais, consistindo numa técnica vantajosa para indústrias e consumidores.

O primeiro passo para a produção de pães utilizando a fermentação natural é o desenvolvimento do fermento. O fermento natural, *sourdough*, massa madre ou *levain*, consiste em uma massa fermentada por bactérias ácido-láticas e leveduras. É uma técnica que pode utilizar diversos tipos de substratos, como farinhas de trigo, centeio ou outros cereais, e água para o preparo de fermentos para panificação. É o processo mais antigo que consiste na fermentação espontânea e acidificação, devido à microbiota local em uma interação complexa, de bactérias ácido láticas (BAL) e leveduras (De Vuyst; Comasio; Kerrebroeck, 2023; Akamine; Mansoldo; Vermelho, 2023).

A farinha de trigo é a matéria-prima mais utilizada no preparo de produtos panificados, devido a presença de proteínas, que misturadas à água e agitadas, formam o glúten. Essa rede viscoelástica é responsável por dar forma às massas e reter os gases formados na fermentação (Wang *et al.*, 2017). Entretanto, há uma grande parcela de população que apresenta alguma reação adversa ao glúten, a eliminação total desse componente da dieta é a única forma de evitar sintomas dessa intolerância (Aljada; Zohni; El-Matary; 2021).

Portanto, procuram-se meios de substituir a farinha de trigo em produtos de panificação. A maioria dos produtos isentos de glúten presentes no mercado são muito calóricos, de baixo valor nutricional, de custo elevado e existem relatos negativos do ponto de vista sensorial.

A farinha de arroz é uma das mais utilizadas, devido sua composição e poder ser obtida a partir de subprodutos do beneficiamento do arroz polido, com os grãos quebrados (Souza *et al.*, 2013).

O sorgo, devido a sua composição, características tecnológicas vantajosas e ausência de glúten, está ganhando interesse em produtos alimentícios, como na panificação. Seus nutrientes e fitoquímicos são reconhecidos pelo potencial efeito protetor na saúde humana, tornando o sorgo e a farinha de arroz opções promissoras como substitutos ao glúten (Pereira *et al.*, 2017).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um fermento natural com farinhas isentas de glúten para a produção de pães, verificando o potencial das farinhas de sorgo e arroz por avaliações de parâmetros físico-químicos e tecnológicos, bem como a comparação

com fermentos naturais tradicionais feitos com farinha de trigo.

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

5.2.1 Materiais

Os grãos de sorgo foram doados pela empresa AGR8 Trading e Agronegócios (Londrina/PR), lavados, desidratados em estufa com circulação de ar forçado a 60°C (TECNAL, TE 394/2) por 24 h e moídos em moinho de facas (Willye SL-031, SOLAB) até obtenção da farinha (Forato, Raposo, Bernardes Filho, 2023).

Foram adquiridos em comércio local (Ponta Grossa/PR), a farinha de arroz zero glúten da marca Urbano®, farinha de trigo marca Herança Holandesa® e água mineral sem gás marca Crystal®.

5.2.2 Métodos

5.2.2.1 Produção de fermento natural

Para a produção dos fermentos foram utilizados frascos de vidro com capacidade para 300 mL e esterilizados em água em ebulição por 15 min, onde foram adicionados 30 g das farinhas e 30 mL de água mineral, homogeneizados por 2 min e cobertos com um tecido poroso. As misturas foram acondicionadas em estufa a 26°C e alimentadas diariamente nas mesmas proporções iniciais. A partir do 3º dia uma porção de 30 g de massa fermentada foi retirada (*backlooping*) e adicionada a mesma proporção de farinha e água. Os fermentos foram alimentados numa proporção 1:1:1 (fermento: farinha: água) por 10 dias (Siepmann, 2018) e o esquema pode ser observado na Figura 9.

Figura 9 - Produção de fermento natural



Fonte: a autora

5.2.2.2 pH

O pH foi determinado em potenciômetro pH 3E ION pelas instruções do manual do fabricante.

5.2.2.3 ATT - acidez total titulável

A acidez total titulável (ATT) foi determinada seguindo metodologia do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008) expressa em mL de NaOH 0,1N 100g⁻¹ consumida.

5.2.2.4 Capacidade fermentativa

A capacidade fermentativa foi avaliada em tubos graduados com adição de 10 mL de fermento em cada tubo. Os tubos foram incubados em estufa a 26°C, por 13 h. Nesta avaliação foi utilizada a metodologia descrita em Aplevicz (2013), onde após o período de incubação, foi medida a expansão de volume do fermento em mL.

5.2.2.5 Crescimento microbiano

A avaliação do crescimento microbiano foi determinada pela contagem em placas (log UFCg⁻¹) usando o método *pour plate*. Foram misturados 25 g do fermento natural com 225 mL de água peptonada estéril (0,1 g100g⁻¹) homogeneizadas por três min a temperatura ambiente e, diluídas em série (10⁻¹ a 10⁻⁶) com água peptonada estéril. O isolamento por esgotamento de BAL foi realizado em meio de cultura seletivo para lactobacilos, ágar MRS (De Man, Rogosa e Sharpe, Kasvi®) a 30°C sobre aerobiose por 48 h e as leveduras cultivadas em ágar PDA (ágar *Potato Dextrose Agar*, Kasvi®) com ácido tartárico 10% em condições aeróbicas a 25°C a 72 h (Silva *et al.*, 2017).

5.2.2.6 Produção de fermento natural com diferentes substratos isentos de glúten

Foi realizada a avaliação de diferentes substratos isentos de glúten para a produção de fermento natural: farinha de sorgo 100% (FS), farinha de arroz 100% (FA) e farinha de arroz e sorgo 50% de cada (FSA). Foram realizados acompanhamentos de pH e acidez total titulável. Nos fermentos maduros realizou-se teste de capacidade fermentativa em tubos graduados por 13h a 26°C.

5.2.2.7 Produção de fermento natural comparando farinhas com e sem glúten

Foi conduzida uma análise comparativa do desenvolvimento de fermento em farinha sem glúten e uma com glúten, utilizando farinha de arroz (FA) (que apresentou melhor desempenho) e com farinha de trigo (FT). Para a produção dos fermentos foi realizada a mesma metodologia descrita na Figura 9, onde utilizou-se frascos de vidro esterilizados adicionados de 30 g das farinhas e 30 mL de água, homogeneizados por 2 min e cobertos com um tecido poroso. As misturas foram acondicionadas em estufa a 26°C e alimentadas diariamente nas mesmas proporções iniciais. A partir do 3º dia uma porção de 30 g de massa fermentada foi retirada (*backlooping*) e adicionada a mesma proporção de farinha e água. Os fermentos foram alimentados numa proporção 1:1:1 (fermento: farinha: água) por 10 dias. Durante essa comparação, foram realizadas medições de pH e acidez total titulável, e análises microbiológicas

por contagem leveduras e bactérias lácticas.

Depois de obtido o fermento maduro, foram realizados testes para avaliação do pico fermentativo e da influência da proporção da alimentação (Siepmann *et al.*, 2018). A avaliação do pico fermentativo de produção foi realizada nos fermentos maduros com coletas de amostras nos períodos de 0, 4, 6, 12 e 24 h de fermentação para análises de pH e acidez dos fermentos maduros a base de (FA) e (FT), após alimentação na proporção 1:1:1 (proporção de fermento, farinha e água). Esse experimento foi mantido em estufa a 26°C por 24 h.

A influência da proporção de alimentação nas características do fermento foi verificada nos fermentos maduros FA e FT alimentados com duas proporções diferentes e mantidos a 26°C por 8 h. A alimentação 1:1:1 consistiu na retirada de 30 g de fermento maduro, com adição de 30 mL de água e 30 g de farinha. Já na alimentação 1:2:2, foi realizada retirada de 30 g de fermento, com adição de 60 mL de água e de 60 g de farinha. Resultados de pH e ATT foram verificados após a primeira alimentação (ponto 0), após 4 h e ao final de 8 h de incubação. Foram realizadas coletas de amostras em três diferentes etapas: fermento antes da alimentação, após 4 h da primeira alimentação e após 4 h da segunda alimentação e realizadas medições de pH e acidez total titulável.

5.2.2.8 Análise estatística

As análises foram realizadas em triplicata, com média e desvio padrão. Foi aplicada análise de variância nas médias e comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade através do *software* Minitab® 19.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Composição das Farinhas para Produção de Fermento Natural

A composição das farinhas de arroz, sorgo e trigo encontra-se expressa na Tabela 9. Verifica-se que podem ser utilizadas como substrato para elaboração de fermento natural, pois apresentam nutrientes importantes para o crescimento microbiano, destacando proteínas, carboidratos e minerais. As farinhas com os maiores teores de cinzas são as ideais para a produção de fermento, devido a maioria dos microrganismos encontrarem-se na casca dos cereais (Aplevicz, 2014). As cinzas presentes atuam como agente tamponante, devido à alta concentração de minerais, como ferro, sódio, potássio, magnésio e fósforo. Isso permite que as BAL (bactérias ácido-lácticas) fermentem a massa sem serem inibidas, produzindo ácidos, resultando em maior acidez em menor período de tempo (Siepmann *et al.*, 2018).

As fibras alimentares afetam a atividade das leveduras, pois certos elementos relacionados às fibras, como açúcares complexos e oligossacarídeos, podem servir como fonte

de nutrientes para as leveduras. As proteínas conferem à massa viscoelasticidade e capacidade de retenção de gás, formando pontes dissulfeto durante as etapas de mistura e fermentação por leveduras (De Vuyst; Comasio; Kerrebroeck, 2023; Akamine; Mansoldo; Vermelho, 2023).

Tabela 9 - Composição das farinhas de arroz, sorgo e de trigo

Componente (g.100 g ⁻¹)	Farinha de arroz*	Farinha de trigo*	Farinha de sorgo**
Umidade	9,62	11,8	7,44
Cinzas	0,81	0,64	1,90
Proteínas	6,24	10,7	6,14
Lipídios	0,76	1,36	5,54
Fibras alimentares	0,78	2,58	9,42
Carboidratos Totais	82,6	75,5	69,6

Fonte: *Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA-FCF-USP) 2023.
** Resultados obtidos nas análises realizadas no estudo da composição das farinhas, item 4 deste trabalho

5.3.2 Produção de Fermento Natural com Diferentes Substratos Isentos de Glúten

Na Tabela 10 encontram-se os resultados obtidos nos testes para produção de fermento natural com diferentes substratos.

Tabela 10 - Resultados de pH, acidez total e capacidade fermentativa na produção de fermento com FS, FA e FSA

Parâmetros	Dia	FS	FA	FSA
pH	0	6,61 ^{Ba} ±0,01	6,88 ^{Aa} ±0,01	6,33 ^{Ca} ±0,01
	2	4,25 ^{Ab} ±0,21	3,36 ^{Cb} ±0,06	3,73 ^{Bb} ±0,01
	7	4,01 ^{Ab} ±0,01	3,30 ^{Cc} ±0,00	3,64 ^{Bc} ±0,01
	10	4,14 ^{Ab} ±0,01	3,38 ^{Cb} ±0,014	3,65 ^{Bbc} ±0,01
Acidez (mL NaOH 0,1N 100g ⁻¹)	2	12,95 ^{Ba} ±0,76	9,70 ^{Cc} ±0,04	13,73 ^{Aa} ±0,23
	7	9,82 ^{Bc} ±0,04	11,89 ^{Ab} ±0,79	11,94 ^{Ac} ±0,35
	10	10,61 ^{Cb} ±0,62	12,56 ^{Ba} ±0,15	12,99 ^{Ab} ±0,39
Capacidade	0	10	10	10
Fermentativa (mL)	1	10	14	12

FS = farinha de sorgo; FA = farinha de arroz; FSA = farinha mista de arroz e sorgo (1:1). Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não apresentam diferença significativa a 5% no Teste Tukey. Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não apresentam diferença significativa a 5% no Teste de Tukey.

Fonte: a autora

Os valores iniciais de pH apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os

fermentos elaborados. Ao final dos 10 dias de fermentação, FA teve a maior redução de pH diferindo de FS e FSA com valor médio de 3,38. Resultados semelhantes foram encontrados por Gobetti *et al.* (2019). A queda rápida do pH é um indicativo do desenvolvimento da microbiota. A fermentação da mistura de farinha e água começa com bactérias autóctones, como proteobactérias, estafilococos e diversas espécies de LAB (enterococos, lactococos e estreptococos). Em seguida, crescem espécies autóctones de LAB pertencentes a várias espécies de *Lactobacillaceae*, incluindo *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* e *Weissella*. Esses microrganismos causam rápida acidificação da mistura, culminando com o crescimento ou estabilização de espécies LAB específicas da massa azeda que prevalecem nas massas maduras (De Vuyst, Comasio, Kerrebroeck, 2023).

A acidez inicial variou entre 12,95 mL NaOH 0,1N 100g⁻¹ em FS e 13,73 mL NaOH 0,1N 100g⁻¹ em FSA e em FA apresentou maior aumento, após o período total de incubação, passando de uma média de 9,70 para 12,56 mL NaOH 0,1N 100g⁻¹, diferindo de forma significativa de FS e FSA. Isso demonstrou a atividade microbiológica mais intensa em FA.

Os resultados de capacidade fermentativa demonstraram que os fermentos em FA apresentaram o maior aumento de volume, 40% em relação a sua quantidade inicial. A microbiota natural das farinhas influencia o desenvolvimento da fermentação e a propagação contínua promove a seleção natural das bactérias ácido-láticas e leveduras tolerantes ao ambiente ácido (Novotni; Gänzle; Rocha, 2021). Sekwati-Monang, Valcheva e Gänzle (2012) concluíram que a microbiota do fermento natural de sorgo difere do de outros cereais porque contém concentrações altas de compostos fenólicos antimicrobianos que podem inibir sua propagação. Na Figura 10 observa-se os 3 tipos de fermentos isentos de glúten estudados.

Figura 10 - Fermentos à base de farinha de sorgo, de arroz e da mistura de sorgo e arroz



Fonte: a autora

5.3.3 Produção de Fermento Natural Comparando Farinhas Com e Sem Glúten

Na Tabela 11 estão listados os resultados obtidos ao longo dos dias de produção do fermento natural a base de FA em comparação com FT.

O pH dos fermentos apresentou diferença significativa ($p \leq 0,05$) em todos os dias de avaliação e encontram-se próximos da faixa de trabalho citada na literatura. Conforme Arora *et al.* (2021), dependendo do tipo de farinha e protocolo utilizado, a média do pH de fermentos naturais é de 4,1, com a faixa mais comum entre 3,4 e 4,9. Além de BAL, um fermento maduro possui leveduras com alta capacidade de suportar uma ampla faixa de pH de 2,0 a 12,0 (De Vuyst *et al.*, 2016).

Os valores de acidez nos fermentos nos 3º e 6º dias do experimento diferiram de forma significativa ($p \leq 0,05$). Ao final do teste, no 10º dia, não se observou diferença significativa entre os dois fermentos. Segundo a literatura estudada, o intervalo para a acidez total titulável (ATT) é de 4,0 – 25,0 mL de NaOH 0,1 N 100g^{-1} , com um valor mediano de 11,0 ml de NaOH 0,1 N 100g^{-1} (Arora *et al.*, 2021).

Tabela 11 - pH, acidez total titulável (ATT) e contagem de microrganismos - leveduras e bactérias lácticas dos fermentos naturais produzidos com diferentes farinhas

Parâmetros	Dias	Substrato / Farinha	
		FA	FT
pH	3º	3,29 ^{Bb} ±0,01	3,44 ^{Ba} ±0,01
	6º	3,30 ^{Bb} ±0,01	3,37 ^{Ca} ±0,01
	10º	3,44 ^{Ab} ±0,00	3,64 ^{Aa} ±0,01
Acidez (mL NaOH 0,1N.100g ⁻¹)	3º	11,17 ^{Bb} ±0,06	14,23 ^{Aab} ±0,06
	6º	12,15 ^{Bb} ±0,22	15,55 ^{Aa} ±0,65
	10º	13,72 ^{Aa} ±0,39	13,42 ^{Ab} ±0,30
Leveduras (log UFCg ⁻¹)	3º	4,25 ^{Ac} ±0,35	< 4,00 ^{Bc}
	6º	6,52 ^{Ab} ±0,74	5,45 ^{Bb} ±0,21
	10º	6,75 ^{Aa} ±0,07	7,02 ^{Aa} ±0,10
Bactérias lácticas BAL (log UFCg ⁻¹)	3º	7,17 ^{Ac} ±0,035	7,27 ^{Ab} ±0,04
	6º	7,32 ^{Ab} ±0,04	6,90 ^{Ac} ±0,00
	10º	7,77 ^{Aa} ±0,04	7,75 ^{Aa} ±0,07

FA = farinha de arroz / FT = farinha de trigo. Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não apresentam diferença significativa a 5% no Teste de T. Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não apresentam diferença significativa a 5% no Teste de Tukey.

Fonte: a autora

Observa-se que a contagem de leveduras atingiu valores próximos aos citados na literatura. Segundo Martin (2022), as primeiras comunidades microbianas, autóctones da farinha, não excedem $5,00 \log \text{UFCg}^{-1}$. Já no fermento maduro as densidades celulares médias encontradas foram de 8,50 e $6,50 \log \text{UFCg}^{-1}$ para bactérias ácido-láticas e leveduras, respectivamente (Arora *et al.*, 2021). Carbó (2020) em seus estudos com fermento natural isento de glúten encontrou populações de bactérias lácticas de $9,60 \pm 0,02 \log \text{UFCg}^{-1}$ e populações de leveduras entre $7,91 \pm 0,15$ e $7,52 \pm 0,10 \log \text{UFCg}^{-1}$. Marti *et al.* (2015) comparando fermentos com e sem glúten, relataram uma contagem de BAL de 8,85 a $8,90 \log \text{UFCg}^{-1}$ e de leveduras de 7,90 a $7,95 \log \text{UFCg}^{-1}$ para ambos os fermentos. Segundo De Vuyst, Comasio e Kerrebroeck (2023), a contagem de BAL são dez vezes maiores que a de leveduras.

Os dados das coletas realizadas nos períodos de 0, 4, 6, 12 e 24 h de fermentação para pH e acidez total titulável encontram-se na Tabela 12, bem como o teste de capacidade fermentativa.

Os valores de pH foram reduzindo ao longo do período de fermentação para os dois tipos de farinhas, com diferença significativa em todos os momentos ($p \leq 0,05$). A redução de pH foi semelhante ao de Aplevicz; Ogliari, Sant'anna (2013), com fermentos naturais com adição de microrganismos, onde relataram um decréscimo de pH em média de 4,62 para 3,44 nas primeiras 10 h de fermentação.

Com relação a acidez, os dois fermentos apresentaram resultados semelhantes ($p \leq 0,05$). A acidez foi aumentando ao longo da fermentação iniciando com o valor de 2,14 mL NaOH 0,1N 100g^{-1} no início do teste para o fermento de FA e 4,00 mL NaOH 0,1N 100g^{-1} para FT. Verificou-se que o momento ideal para aplicação do fermento para a produção do pão está entre 4 e 6 h após alimentação do fermento, para que a acidez não interfira nas características sensoriais do pão de forma negativa.

Após 13 h de incubação, a capacidade fermentativa não apresentou diferença significativa entre os fermentos de FA e FT. O volume de 10 mL se elevou em média para 17 com FA e 21 mL para FT. Chapieski (2021) relatou com farinha de trigo refinada o volume final de 13 mL, e farinha integral, volume final de 12 mL.

Os resultados de pH e ATT verificados nos fermentos de FA e FT com diferentes alimentações estão expressos na Tabela 13.

Os quatros experimentos apresentaram pH iniciais sem diferença significativa ($p \leq 0,05$). Após 4 h de fermentação, observa-se resultados significativamente diferentes, onde o menor valor foi de 3,61 para FA com alimentação de partes 1:1:1 e o maior de 3,85 para FT com a mesma alimentação. Após 8 h de fermentação, a diferença foi significativa para o fermento de FA com alimentação 1:2:2. Verificou-se, portanto, que com maior quantidade de nutrientes, a

atividade microbiana permaneceu ativa por mais tempo, com a continuidade da redução do pH.

Tabela 12 - pH e acidez titulável e capacidade fermentativa dos fermentos de arroz e trigo

Parâmetros	Período (h)	Substrato / Farinha	
		FA	FT
pH	0	4,25 ^{Aa} ±0,01	4,18 ^{Ba} ±0,01
	4	3,85 ^{Bb} ±0,01	3,91 ^{Ab} ±0,01
	6	3,75 ^{Bc} ±0,00	3,84 ^{Ac} ±0,01
	12	3,59 ^{Bd} ±0,01	3,68 ^{Ad} ±0,01
	24	3,47 ^{Be} ±0,01	3,51 ^{Ae} ±0,01
Acidez (mLNaOH 0,1N 100g ⁻¹)	0	2,14 ^{Ac} ±0,07	4,00 ^{Ad} ±0,78
	4	4,00 ^{Ab} ±0,78	6,32 ^{Ac} ±0,09
	6	5,28 ^{Ab} ±0,97	7,02 ^{Abc} ±0,17
	12	6,19 ^{Bb} ±0,57	8,31 ^{Aab} ±0,17
	24	9,37 ^{Aa} ±0,16	9,71 ^{Aa} ±0,04
Capacidade fermentativa (mL)	0	10	10
	13	17,33 ^A ±2,52	21,67 ^A ±2,89

FA = farinha de arroz / FT = farinha de trigo - Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não apresentam diferença significativa a 5% no Teste T. Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não apresentam diferença significativa a 5% no Teste de Tukey.

Com relação à acidez, os valores da farinha de arroz com alimentação 1:2:2 não apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$) nas primeiras 4 h, nos demais períodos do experimento a diferença foi significativa. Após o período de 8 h, a acidez aumentou de forma significativa, sendo o maior valor de 9,28 mLNaOH 0,1N 100g⁻¹ para a farinha de trigo com alimentação 1:2:2.

Tabela 13 - pH e acidez total titulável dos fermentos de FA e FT com diferença na proporção de alimentação (fermento: farinha: água)

Tipo de farinha (substrato)/ Proporção de alimentação					
Parâmetros	Período (h)	FA/1:1:1	FA/1:2:2	FT/1:1:1	FT/1:2:2
pH	0	4,14 ^{Aa} ±0,01	4,73 ^{Aa} ±0,01	4,08 ^{Aa} ±0,01	3,99 ^{Cc} ±0,72
	4	3,67 ^{Bd} ±0,01	3,73 ^{Bc} ±0,01	3,87 ^{Aa} ±0,01	3,84 ^{Ab} ±0,02
	8	3,61 ^{Bb} ±0,01	3,55 ^{Cc} ±0,02	3,85 ^{Ba} ±0,01	3,81 ^{Aa} ±0,01
Acidez (mLNaOH 0,1N 100g ⁻¹)	0	3,64 ^{Cb} ±0,08	4,60 ^{Abc} ±0,09	4,00 ^{Cb} ±0,00	5,14 ^{Ca} ±0,25
	4	5,58 ^{Bb} ±0,44	4,63 ^{Abc} ±0,48	8,13 ^{Ba} ±0,19	7,31 ^{Ca} ±0,23
	8	8,20 ^{Abc} ±0,17	8,09 ^{Ac} ±0,25	9,03 ^{Aab} ±0,26	9,28 ^{Aa} ±0,08

FA = farinha de arroz, FT = farinha de trigo. Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna não apresentam diferença significativa a 5% no Teste de Tukey. Médias seguidas de letras minúsculas iguais na linha não apresentam diferença significativa a 5% no Teste de Tukey.

5.4 CONCLUSÃO

A farinha de arroz demonstrou ter maior capacidade de fermentação na produção de fermento natural sem glúten, comparada com a farinha de sorgo e com a combinação destas duas. Foi possível demonstrar que a farinha de arroz é uma matéria-prima viável para obtenção de fermento natural isento de glúten.

Na produção de fermento utilizando a farinha de arroz, observou-se que os resultados de ATT, contagem de leveduras e BAL, não diferiram de forma significativa do fermento tradicional produzido com farinha de trigo, após os 10 dias de fermentação.

O pH final do fermento de FA ficou em 3,4, dentro da faixa mais comum pela literatura, compreendida entre 3,4 e 3,9. O acompanhamento dos fermentos maduros por 24 h demonstrou estarem aptos para a produção de pães entre 4 e 6 h após a renovação de nutrientes na proporção de 1:2:2, devido a faixa de acidez e atividade fermentativa satisfatórias.

REFERÊNCIAS

- AKAMINE, I. T.; MANSOLDO, F. R.P; VERMELHO, A. B. Probiotics in the Sourdough Bread Fermentation: Current Status. **Fermentation**, v.9, n. 2, p. 90, 2023.
- ALJADA, B.; ZOHNI, A.; EL-MATARY, W. The gluten-free diet for celiac disease and beyond. **Nutrients**, v. 13, n. 11, p. 3993, 2021.
- APLEVICZ, K S. Fermentação natural em pães: ciência ou modismo. **Aditivos &**

Ingredientes, v. 105, n. 1, p. 36-38, 2014.

APLEVICZ, K. S.; OGLIARI, P.J.; SANT'ANNA, E. S. Influence of fermentation time on characteristics of sourdough bread. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 49, n. 2, p. 233-239, 2013.

ARORA, K.; AMEUR, H.; POLO, A.; DI CAGNO, R.; RIZZELLO, C. G.; GOBBETTI, M. Thirty years of knowledge on sourdough fermentation: A systematic review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 108, p.71-83, 2021.

CHAPIESKI, G. A. **Produção de fermento natural a partir de farinha refinada e farinha integral**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2021.

DE VUYST, L.; HARTH, H.; VAN KERREBROECK, S.; LEROY, F. Yeast diversity of sourdoughs and associated metabolic properties and functionalities. **International Journal of Food Microbiology**, v. 239, p. 26-34, 2016.

DE VUYST, L.; COMASIO, A.; KERREBROECK, S. V. Sourdough production: fermentation strategies, microbial ecology, and use of non-flour ingredients. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 63, n. 15, p. 2447-2479, 2023.

DJORDJEVIĆ, M.; DJORDJEVIĆ, M.; STAROWICZ, M.; KRUPA-KOZAK, U. Plant-Based Antioxidants in Gluten-Free Bread Production: Sources, Technological and Sensory Aspects, Enhancing Strategies and Constraints. **Antioxidants**, v. 13, n. 2, p. 142, 2024.

FORATO, L. A.; RAPOSO, F.; BERNARDES FILHO, R. Extração e análise das estruturas secundárias das kafirinas nos corpos proteicos de sorgo sacarino. **EMBRAPA**. ISSN 1517-4786, 2023.

GOBBETTI, M.; DE ANGELIS, M.; DI CAGNO, R.; CALASSO, M.; ARCHETTI, G.; RIZZELLO, C. G. Novel's insights on the functional/nutritional features of sourdough fermentation. **International Journal of Food Microbiology**, v. 302, p.103-113, 2019.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ, Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. V.1; **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**, São Paulo: IMESP. 2008.

MARTI, A.; BOTTEGA, G.; FRANZETTI, L.; MORANDIN, F.; QUAGLIA, L.; PAGANI, M. A. From wheat sourdough to gluten-free sourdough: a non-conventional process for producing gluten-free bread. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 5, n.5, p. 1268-1274, 2015.

NOVOTNI, D.; GÄNZLE, M.; ROCHA, J. M. Composition and activity of microbiota in sourdough and their effect on bread quality and safety. **Trends in Wheat and Bread Making**, v. p. 129-172, 2021.

PEREIRA, E. N., DE LIMA GUIMARÃES, D. A., FERNANDES, G., ALVES, L., DE OLIVEIRA, J. C., JARDIM, F. B. B. Aceitação sensorial de pão de forma a base de farinha de sorgo. **Innovative Science & Technology Journal**, p. 49-55, 2017.

SEKWATI-MONANG, B.; VALCHEVA, R.; GÄNZLE, M. G. Microbial ecology of sorghum sourdoughs: effect of substrate supply and phenolic compounds on composition of fermentation microbiota. **International Journal of Food Microbiology**, v. 159, n. 3, p. 240-246, 2012.

SIEPMANN, F. B.; RIPARI, V.; WASZCZYNSKYJ, N.; SPIER, M. R. Overview of sourdough technology: From production to marketing. **Food and Bioprocess Technology**, v. 11, p. 242-270, 2018.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; ARRUDA SILVEIRA, N. F.; TANIWAKI, M. H.; GOMES, R. A. R.; OKAZAKI, M. M. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água**. São Paulo: Blucher, 2017.

SOUZA, T. A. C.; JÚNIOR, M. S. S.; CAMPOS, M. R. H.; SOUZA, T. S. C.; DIAS, T., FIORDA, F. A. Bolos sem glúten a base de arroz quebrado e casca de mandioca. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 717-728, 2013.

TBCA - Tabela Brasileira de Composição de Alimentos. Universidade de São Paulo (USP). Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tbca/>. Acesso em: 01 ago. 2023

WANG, K.; LU, F.; LI, Z.; ZHAO, L.; HAN, C. Recent developments in gluten-free bread baking approaches: A review. **Food Science and Technology**, v. 37, p. 1-9, 2017.

6 DESENVOLVIMENTO DE PÃES ISENTOS DE GLÚTEN POR FERMENTAÇÃO NATURAL

RESUMO

O pão é um dos alimentos mais consumidos no mundo e é o item que pessoas que não podem consumir glúten, mais sentem falta em sua dieta. As formulações isentas de glúten, muitas vezes, têm seus aspectos nutricionais, tecnológicos e sensoriais deficientes. A elaboração de pães a partir da fermentação natural é conhecida por contribuir para a melhoria dos produtos em vários aspectos. Objetivou-se nesse trabalho elaborar pães isentos de glúten por fermentação natural com farinhas de sorgo integral e de subprodutos de palmito pupunha e maçã. O fermento natural foi produzido a partir da mistura de farinha de arroz e água. Foram preparadas duas formulações utilizando farinhas mistas (sorgo, arroz, polvilho doce e subprodutos de palmito pupunha e maçã) com goma xantana e fermentação natural com variações nas quantidades de sorgo (50% - F1, e 60% - F2). Os valores de composição proximal e compostos fenólicos dos pães elaborados não diferiram de forma significativa. As formulações se classificaram como de fonte de fibras, com 7,35 g.100g⁻¹ desse componente. O valor energético foi da ordem de 230 kcal 100g⁻¹, metade do que apresenta produtos comerciais. A formulação F2 por apresentar maior atividade antioxidante, foi selecionada para comparação entre fermentação natural (FN) e fermento biológico comercial (FB). Na comparação dos pães elaborados pelas duas formas de fermentação, a natural se destacou nos resultados de mastigabilidade, volume específico e índices de expansão, bem como maiores resultados de digestibilidade. Em relação ao volume específico, foram de 3,25 cm³.g⁻¹ para FN e 2,46 cm³.g⁻¹ para FB e o índice de expansão, foi de 1,10 para FN e 0,83 para FB. Resultados de mastigabilidade foram menores em FN de 34,42 N e 38,64 N para FB. A digestibilidade apresentou resultados mais positivos com a fermentação natural, onde o amido de rápida digestão (RDS) foi de 74,46 g.100⁻¹ e 93,94 g.100⁻¹ para FB, e amido de lenta digestão (SDS) de 29,97 g.100⁻¹ para FN e 6,82 g 100⁻¹ para FB. Na avaliação sensorial, a aceitabilidade não apresentou diferença significativa ($p \leq 0,05$). O pão de fermentação natural se destacou na "cor da casca". O atributo com menor aceitabilidade para FN foi "sabor" (36%), comparado a 50% para FB. Os resultados insatisfatórios da análise sensorial, podem ser atribuídos a resistência de certos grupos de consumidores a alimentos com farinhas integrais, com teores elevados de fibras. Além disso, foram elaborados com matéria-prima que estão pouco habituados como o sorgo. Com ajustes nas formulações e direcionar a avaliação ao público que não consome glúten, pode ser que a aceitabilidade seja superior, viabilizando a proposta pelo enriquecimento nutricional a custos mais baixos dos pães.

Palavras-chave: Fibras alimentares, *sourdough*; sorgo, subprodutos de palmito pupunha e maçã.

6.1 INTRODUÇÃO

Pães fermentados tem sido a base da alimentação de diversos povos desde tempos antigos. Antes da produção de leveduras comerciais, os pães eram feitos por fermentação natural, realizada por leveduras e bactérias lácticas presentes na farinha e em outros ingredientes (Ramos *et al.*, 2021).

Tem-se observado uma tendência à volta dos métodos antigos de fermentação, sobretudo com a utilização de massa ácida como inóculo para o processo fermentativo. O fermento natural é uma mistura de farinha, água e outros ingredientes, que fermentada por bactérias lácticas e leveduras autóctones, se propagam durante o *backslopping*. Esse é um procedimento tradicional onde a massa azeda do ciclo de fermentação anterior é usada como iniciadora para fermentar uma nova mistura de farinha e água (Rizzello *et al.*, 2019).

A fermentação natural é conhecida por melhorar as características sensoriais dos pães, conferindo maior elasticidade, umidade e produção de compostos voláteis. Esses pães apresentam maior vida útil, devido à ação dos microrganismos presentes que sintetizam compostos antifúngicos, bacteriocinas e bacteriostáticos, além de proporcionarem maior acidez, melhores características nutricionais, como aumento de compostos bioativos e redução de antinutricionais. A fermentação natural reduz o índice glicêmico, diminui o teor de fitato, aumenta a biodisponibilidade de minerais e aminoácidos, e a proteólise influencia de maneira positiva na resposta alérgica em intolerantes aos cereais, incluindo o glúten (Andrade Neves *et al.*, 2021).

As formulações de pães isentos de glúten podem se beneficiar da fermentação natural, tornando este produto mais nutritivo e mais saboroso para a parcela da população que não pode ou não deseja consumir o glúten. Pesquisas com consumidores, demonstraram que 70,8% estavam insatisfeitos com os pães sem glúten, devido à textura e sabor, sendo que esses pães apresentam um miolo menos flexível, endurecem rapidamente e esfarelam com facilidade (Šmídová, Rysová, 2002).

Os produtos de panificação isentos de glúten, muitas vezes apresentam baixa qualidade nutricional, pois são feitos com matérias-primas refinadas como farinha de arroz branco misturada com amido de milho, batata e/ou mandioca. Esses ingredientes são baratos e têm cor, sabor e odor neutros, mas carecem de fibras, vitaminas e minerais, resultando em produtos com alto índice glicêmico e baixo valor nutricional (Aguiar *et al.*, 2022).

O sorgo vem sendo usado na alimentação humana, e em produtos isentos de glúten devido à sua composição, que além de amido, apresenta compostos fenólicos e amido resistente, proteínas, fibras, vitaminas e minerais, com efeito positivo para a saúde (Akin *et al.*, 2022). Reis

Gallo *et al.*, (2021) estudaram pães isentos de glúten com três diferentes genótipos de sorgo e concluíam que o pão de sorgo integral pode ser classificado como de baixo índice glicêmico, pois melhorou as respostas glicêmicas pós-prandiais em homens adultos saudáveis, possivelmente devido ao seu maior teor de fibras e atividade antioxidante. Destacaram que o consumo de sorgo integral deve ser incentivado, pois oferece benefícios nutricionais em comparação com o pão de arroz.

Diversas abordagens têm sido exploradas para aprimorar a qualidade do pão de sorgo, incluindo o aumento do teor de amido na massa ao combinar farinha de sorgo com outras farinhas ou amidos, como arroz e a tapioca (Adzqia, Suwonsichon, Thongngam, 2023).

No processamento de matérias-primas vegetais ocorre a geração de elevadas porcentagens de subprodutos ou resíduos que podem ser um problema para a agroindústria. No entanto, muitos desses materiais tem sido estudado para aproveitamento, pois a composição e presença de fitoquímicos sinaliza potencial para enriquecimento nutricional e apelo funcional às formulações que forem adicionados. Ademais, podem carrear substâncias que favorecem os aspectos tecnológicos dos produtos como as fibras (Santos; Silva; Pintado, 2022).

Nesse sentido, farinhas produzidas com os subprodutos do processamento de conservas de palmito pupunha tem mostrado resultados promissores quando aplicadas em diversos produtos. Esse material pode representar até 80% da matéria-prima, destacando em sua composição fibras alimentares, minerais, vitaminas, antioxidantes e carotenoides (Danesi *et al.*, 2018; Santos; Bolanho; Danesi, 2021). De forma semelhante, o bagaço de maçã, subproduto gerado na extração do suco, pela sua composição vem sendo estudado como um ingrediente em formulações alimentícias, bem como favorecendo o valor nutricional e características sensoriais de pães isentos de glúten (Cantero *et al.*, 2022).

De posse dessas informações, este estudo teve como objetivo o desenvolvimento de pães isentos de glúten, investigando a influência de farinhas de sorgo integral, de subprodutos de palmito pupunha e de maçã e fermentação natural no valor nutricional, características estruturais e aceitação sensorial dos produtos.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1 Material

Os grãos de sorgo foram doados pela empresa AGR8 Trading e Agronegócios (Londrina/PR), lavados, desidratados em estufa com circulação de ar forçado a 60°C (TECNAL, TE 394/2) por 24 h e moídos em moinho de facas (Willye SL-031, SOLAB) até obtenção da farinha (Forato, Raposo, Bernardes Filho, 2023).

Os subprodutos de palmito pupunha, em pedaços, foram obtidos por doação da empresa Frateli (Morretes/PR). Foram picados, sanitizados por imersão em solução de hipoclorito de sódio, com 50 ppm de cloro ativo, durante 10 min e enxaguados. A seguir foram submetidos à secagem a 60°C por 24 h em estufa com circulação de ar forçada (TECNAL, TE 394/2) e triturados em moinho de facas (Willye SL-031, SOLAB) conforme Soares et al. (2023).

A farinha de maçã foi obtida a partir do processamento de maçãs Fuji, adquiridas em comércio local, sanitizadas por imersão em solução de hipoclorito de sódio a 2,5% por 15 min, cortadas, trituradas e prensadas para extração do suco (Pezini et al., 2023). O bagaço retirado da prensa, foi desidratado em estufa com circulação de ar forçado a 60 °C por 24 h (TECNAL, TE 394/2) e triturado em liquidificador (Mondial, L-515).

As farinhas de arroz e o polvilho doce foram obtidos em comércio de Ponta Grossa/PR, bem como os demais ingredientes utilizados.

6.2.2 Métodos

6.2.2.1 Fermento natural

O fermento natural foi obtido por testes preliminares, onde se verificou a fermentação em substratos de arroz e sorgo. Em se verificando que a fermentação com arroz foi a que apresentou melhor desempenho, o fermento foi produzido. Utilizou-se frascos de vidro esterilizados onde foram adicionados 30 g da farinha e 30 mL de água, homogeneizados por 2 min e cobertos com um tecido poroso. As misturas foram acondicionadas em estufa a 26°C e alimentadas diariamente nas mesmas proporções iniciais. A partir do 3º dia uma porção de 30 g de massa fermentada foi retirada (*backslouping*) na proporção de farinha e água 1:1:1 (fermento:farinha:água) por 10 dias (Figura 1).

Figura 11 - Produção de fermento com farinhas isentas de glúten



Fonte: a autora

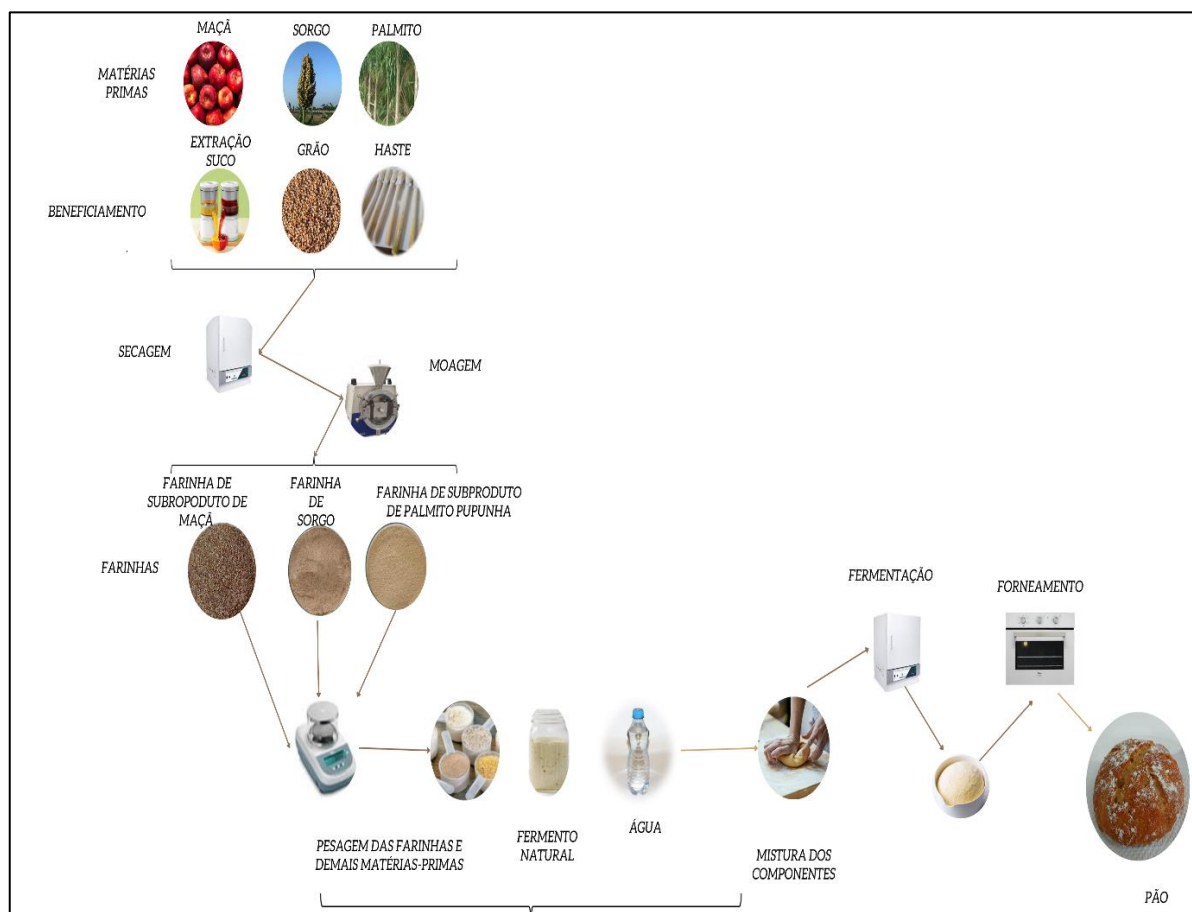
6.2.2.2 Elaboração de Pães isentos de glúten

A elaboração dos pães por fermentação natural foi realizada conforme Xu *et al.* (2019), com adaptações, na seguinte sequência:

- 1) O fermento natural foi ativado com algumas alimentações (*backsloping*). Verificou-se que, quando ocorre aumento do volume até triplicar, num período de 4 a 5 h, encontra-se em atividade ótima para utilização na elaboração de pães.
- 2) As matérias-primas foram pesadas, sendo os materiais secos e líquidos separados (Tabelas 15 e 16). A seguir, foram incorporados e homogeneizados com água até a quantidade suficiente para obter-se uma massa lisa e uniforme.
- 3) Deixou-se a massa descansar por 20 min para as farinhas absorverem água. Após este período, dividiu-se a massa em porções individuais de 40 g.
- 4) Os pães foram colocados para fermentarem por 12 h em estufa a 26°C. Após esse período foram assados em forno pré-aquecido a temperatura de 180°C (Star Clean NG, Itatiaia), por 45 min.

O fluxograma das etapas descritas pode ser visualizado na Figura 12

Figura 12 - Fluxograma da produção de pães



Fonte: a autora

6.2.2.3 Comparação entre duas formulações de pães de fermentação natural (F1 e F2)

As proporções das matérias-primas utilizadas nas formulações dos pães, foram definidas a partir de testes preliminares. Foram escolhidas duas formulações com diferentes proporções de farinha de sorgo e arroz, levando em conta sua composição proximal e atividade antioxidante (dados não publicados). Nas Tabelas 14 e 15 as formulações podem ser observadas.

Tabela 14 - Formulações de pães isentos de glúten

Matérias-primas	Quantidade (%)	
	F1	F2
Farinha de sorgo	50	60
Farinha de arroz	20	15
Polvilho doce	20	15
Farinha de subproduto de palmito	5	5
Farinha de subproduto de maçã	5	5
Total	100	100

Fonte: a autora

Tabela 15 - Matérias-primas adicionadas às farinhas para a formulação dos pães isentos de glúten

Matérias-primas	Quantidade (%)	
	F1	F2
Fermento natural	20	20
Açúcar	5	5
Sal	2	2
Goma xantana	1	1
Canela	0,5	0,5
Água	q.s.p	q.s.p

Fonte: a autora

6.2.2.4 Comparação entre a fermentação natural e a fermentação biológica

Sabendo-se que a fermentação natural pode trazer às formulações de pães, benefícios nutricionais e tecnológicos, foi realizado um estudo visando comparar os pães isentos de glúten utilizando fermento biológico comercial (FB) e fermento natural obtido por fermentação de farinha de arroz (FN). Para essa comparação foi utilizada a formulação F2, devido apresentar maior quantidade de sorgo que ocasionou maior atividade antioxidante. Foi utilizado no lugar do

fermento natural, o fermento biológico seco com 1% da quantidade de farinha (conforme instruções da embalagem) da marca Dr Oetker®.

6.2.2.5 Análise de composição proximal

Os pães elaborados foram submetidos a análises de composição proximal por técnicas baseadas no manual do Instituto Adolfo Lutz (2008). A determinação da umidade foi realizada por método de estufa a 105°C. As cinzas foram obtidas com 5 g das amostras incineradas em cadinho de porcelana em mufla a 550°C por 6 h e depois de resfriadas em dessecador, foram pesadas. As proteínas foram determinadas pelo método Micro-Kdjedahl com a digestão, destilação e titulação das amostras. O teor proteico foi calculado multiplicando o percentual de nitrogênio pelo fator 6,25. Para os lipídios foi utilizado o sistema de refluxo de Soxhlet por 4 - 6 h com solvente hexano a quente, para extração. O balão contendo o resíduo foi deixado em estufa a 105°C por 12 h. O teor de lipídios foi quantificado por variação gravimétrica.

A fibras alimentares foram determinadas pelo método enzimático-gravimétrico conforme procedimento AOAC 985.29 (2005). Amostras de 1g foram pesadas em erlenmeyers de 400 mL com solução tampão fosfato (pH 6,0). Foram realizadas 3 digestões utilizando enzimas α -amilase, protease e de amiloglucosidase (Kit enzimático Sigma Aldrich), intercaladas com períodos de incubação. Para a precipitação das fibras, adicionou-se 280 mL de etanol a 95%. Os resíduos foram lavados para posterior secagem e pesagem. Foram realizadas determinações de proteínas pelo método de Kjeldahl (fator de conversão 6,25) e cinzas por incineração em mufla a 525°C por 5 h, assim calculando as fibras totais, de acordo com a equação 4.

$$FT (\%) = \frac{(\text{peso do resíduo} - \text{proteínas} - \text{cinzas} - \text{branco})}{\text{massa da amostra}} \times 100 \quad (6)$$

O cálculo de carboidratos foi obtido a partir da diferença com os outros constituintes conforme a equação 5. O valor energético foi calculado com os fatores: carboidratos 4 kcal/g, lipídios 9 kcal/g, proteínas 4 kcal/g e para fibras alimentares 1,9 kcal/g (Menezes *et al.*, 2016).

$$\text{Carboidratos} = [100 - (\text{umidade} + \text{cinzas} + \text{proteínas} + \text{lipídios} + \text{fibras})] \quad (7)$$

6.2.2.6 Compostos fenólicos

Para determinação dos compostos fenólicos totais e da atividade antioxidante foram obtidos extratos a partir de 1 g de amostra com 20 mL de etanol 80%(v/v). Essa mistura foi submetida à agitação em banho ultrassom (Unique USC 1400) à temperatura ambiente e protegido da luz, durante 3 h. A seguir foi centrifugada a 1000 xg por 20 min. O sobrenadante

foi recolhido em um tubo e ao material foi adicionado 5 mL de etanol 80%. Após nova centrifugação por 20 min, o sobrenadante foi adicionado ao anterior, realizando essa etapa duas vezes, segundo Bolanho *et al.* (2014) com modificações.

A determinação do teor de compostos fenólicos foi realizada utilizando o reagente de Folin-Ciocalteu. Foi adicionado 0,5 mL do extrato e 2,5 mL do reagente 1N. Após 5 min, foi adicionado 1 mL de Na₂CO₃ 5% e incubado por 60 min em temperatura ambiente. A leitura em espectrofotômetro foi realizada a 725 nm e construída uma curva de calibração com ácido gálico (10 - 100 µg.mL⁻¹) (Singleton, Orthofer, Lamuela-Raventos, 1999).

6.2.2.7 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante foi realizada por DPPH e FRAP:

- DPPH (2,2-Difenil-1-picrilhidrazil): este método mede a capacidade de uma amostra em doar um átomo de hidrogênio para o radical livre DPPH, resultando em sua redução para uma forma estável. Foi utilizada a metodologia adaptada de Brand-Williams *et al.* (1995). A solução de DPPH 2.10⁻⁴ g.mL foi preparada a partir do reagente DPPH (Sigma Aldrich, PA) e diluída em etanol P.A. A análise foi realizada a partir de 500 µL da amostra, 300 µL da solução de DPPH e 3 mL de etanol, essas alíquotas foram pipetadas em um tubo de ensaio e armazenadas por uma hora ao abrigo de luz. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 517 nm de absorbância. Foi preparada uma amostra branco, substituindo a amostra por etanol, e uma curva de calibração utilizando Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametacromano-Ácido 2-carboxílico) (Sigma Aldrich, PA) para expressar os resultados em mmol de Trolox equivalente.

- FRAP (*Ferric Reducing Ability of Plasma*): este método mede a capacidade de uma amostra reduzir o íon férrico (Fe³⁺) para o íon ferroso (Fe²⁺). Quanto maior a capacidade redutora, maior a atividade antioxidante. A determinação foi iniciada com a preparação da solução de FRAP com TPTZ (2,4,6-Tris (2-piridil)-s-triazina) a 10 mM, de cloreto férrico (FeCl₃ - 20 mM) e solução tampão acetato a 0,3 M e pH de 3,6. Em tubos de ensaio cobertos com papel alumínio foram adicionados 90 µL dos extratos, ou da solução de trolox ou branco (água destilada), mais 2,7 mL da solução FRAP e 270 µL de água destilada. A leitura foi realizada no comprimento de onda 595 nm (Benzie e Strain, 1996).

6.2.2.8 Determinação colorimétrica dos pães elaborados

A cor foi determinada em leitura direta usando colorímetro MiniScan EZ 4500L (HunterLab, USA) dotado de sistema de leituras de três parâmetros, o CIE L* a* b*, em que o parâmetro L* representa a luminosidade das amostras, que variam de 0 a 100; o parâmetro a* representa a cor relacionada ao verde (-) vermelho (+), e o parâmetro b* é associado às cores azul (-) e amarelo (+).

O valor de Hue foi calculado pela equação: $\text{Hue} = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*}$ (8)

O valor de Croma foi calculado pela equação: $\text{Croma} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$ (9)

6.2.2.9 Aw

A atividade de água (Aw) foi determinada em higrômetro (AquaLab 3TE) a 25°C.

6.2.2.10 pH

O pH foi medido diluindo a amostra em água destilada em pHmetro pHs 3E ION.

6.2.2.11 ATT

Para a acidez total titulável (ATT) foi utilizada uma solução de NaOH 0,1N. O indicador de viragem foi a fenolftaleína a 1% (p/v). Foi utilizado 5 g de cada amostra diluída em 50 g de água destilada (IAL, 2008).

6.2.2.12 Propriedades mecânicas

O perfil de textura foi analisado a 25°C utilizando o texturômetro (Modelo TA-XTplus Texture Analyser, Stable Micro Systems, UK) (Figura 13) equipado com um Probe P36-R, previamente calibrado. As configurações do instrumento foram: velocidade de pré-teste de 2,0 mm/s; velocidade de teste e pós teste de 5,0 mm/s; deformação de 75% e força aplicada de 20 g por 5 s. Os parâmetros analisados foram: dureza, adesividade, elasticidade, coesividade, mastigabilidade e resiliência. As amostras foram preparadas cortando-as em cubos de 25mm de largura, por 25 mm de altura.

Figura 13 - Determinação do perfil de textura dos pães isentos de glúten elaborados com sorgo e subprodutos de palmito pupunha e maçã



6.2.2.13 Volume de expansão

O volume de expansão foi determinado conforme metodologia descrita em Pereira *et al.*, (2004) com adaptações. O diâmetro e a altura dos pães, antes e após o forneamento, foram determinados por meio de um paquímetro e o peso determinado em balança semi-analítica. Com esses dados, o volume específico e o índice de expansão foram calculados conforme as fórmulas a seguir:

$$\text{Volume do cilindro} = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (10)$$

$$\text{Volume específico} = \text{volume/peso (g)} \quad (11)$$

$$\text{Índice de expansão} = (\text{diâmetro do pão} + \text{altura pão}/2) / (\text{diâmetro da massa moldada} + \text{altura da massa moldada}/2) \quad (12)$$

6.2.2.14 Digestibilidade *in vitro* do amido

Para a determinação da digestibilidade *in vitro* do amido, deve-se conhecer a quantidade de amido total das amostras dos pães. O teor de amido foi determinado pelo método enzimático utilizando o kit da Megazyme - Total Starch Assay Procedure (método de amiloglicosidase/ α -amilase), conforme descrito pelos métodos 996.11 da AOAC (1998) e 76-13.01 da AACC (2000). Uma amostra de 100 mg desengordurada, foi tratada com etanol 80% e, em seguida, com dimetilsulfóxido (DMSO). Após adição 3,0 mL de α -amilase termoestável as amostras foram deixadas em banho em ebulição e agitadas por 6 min em vórtice. Em seguida foi adicionada a enzima amiloglicosidase e a reação foi incubada a 50°C. A quantificação foi realizada através de leitura em espectrofotômetro de microplacas a 510 nm, após a adição do reagente colorimétrico GOPOD (GOPOD Format).

Para a digestibilidade foi utilizada a metodologia desenvolvida por Englyst, Kingman e Cummings (1992). Em tubos de 50 mL, foram adicionados 900 mg de amostra, 50 mg de goma guar, cinco esferas de vidro (diâmetro de 5 mm) e 20 mL de tampão acetato 0,1 M pH 5,2. Os tubos foram levados ao banho térmico (TECNAL, TEV-053), a 37°C por 5 min para estabilização da temperatura. Foram adicionados 5 mL de solução enzimática contendo alfa amilase pancreática suína (Sigma - Aldrich) e amiloglicosidase de *Aspergillus niger* (Sigma – Aldrich). Foram retiradas duas alíquotas de 0,25 mL de amostra após 20 min e 120 min de banho térmico a 37°C, e colocadas em tubos contendo 10 mL de etanol 66%. Os tubos foram centrifugados por 5 min.2000⁻¹xg (CELM, Combate). Foi retirada uma fração do sobrenadante e determinado a glicose pelo método de D-Glucose (GOPOD Format). Em seguida lidas em microplacas através do leitor (BIOTECK, USA), com comprimento de onda de 510 nm.

No método de Englyst, Kingman e Cummings (1992), as diferentes frações do amido são determinadas por meio de uma hidrólise enzimática controlada e pela determinação da

quantidade de glicose liberada. O amido de rápida digestão (RDS - *Rapidly digestible starch*), amido de lenta digestão (SDS - *Slowly digestible starch*) são medidos após a incubação com α -amilase pancreática e amiloglucosidase a 37°C por 20 min (G20) e 120 min (G120), respectivamente.

Para determinação da glicose total (GT) foi usado o teste kit para amido total da Megazyme – Método AOAC 996.11. 45 Os valores obtidos para G20, G120 e GT foram utilizados para calcular amido total (AT), RDS, SDS e RS como segue nas equações:

$$AT = (GT) \times 0,9 \quad (13)$$

$$RDS = (G20-GT) \times 0,9 \quad (14)$$

$$SDS = (G120 - G20) \times 0,9 \quad (15)$$

$$RS = AT - SDS \text{ ou } (GT - G120) \times 0,9 \quad (16)$$

Onde: AT = Amido total; GT= Glicose Total; RDS = Amido de Rápida Digestão; SDS = Amido de Lenta Digestão; RS = Amido Resistente

6.2.2.15 Análises microbiológicas

Foram realizadas análises de *Salmonella*/25g, *Bacillus cereus* presuntivo/g, Estafilococos coagulase positiva/g, *Escherichia coli*/g, Bolores e leveduras/g, conforme Instrução Normativa - IN Nº 161, de 1º de julho de 2022 da ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasil, 2022) para o item 19“d” (pães, bolos, bolachas, biscoitos e outros produtos de panificação, estáveis à temperatura ambiente). As metodologias utilizadas foram as descritas por Silva *et al.* (2010).

6.2.2.16 Análise Sensorial

A análise sensorial foi realizada no Laboratório do Departamento de Engenharia de Alimentos da UEPG. O painel de avaliadores foi composto por indivíduos não treinados, da UEPG, formados por estudantes e servidores, selecionados em razão da disponibilidade e do interesse na participação. Após assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) aprovado pelo Comitê de Ética da UEPG (CAAE: 56533322.7.0000.0105), receberam duas amostras de pães, uma sendo de fermentação natural e a outra de fermentação biológica. Foi realizada por uma equipe de 69 avaliadores. As duas amostras foram apresentadas de forma aleatória, uma por vez, codificadas com três dígitos aleatórios. Os avaliadores provaram as amostras de pão (10 g), e foram servidas em temperatura ambiente na presença de luz branca. Foram realizados teste de aceitação em relação aos atributos aparência, cor da casca, cor do miolo, aroma, sabor, textura, maciez e impressão global, utilizando uma escala hedônica, variando de 1 (desgostei muitíssimo) a 9 (gostei muitíssimo). Os participantes também foram instruídos a escolherem determinadas características que estivessem presentes nas amostras

(Djordjević *et al.*, 2021).

6.2.2.17 Análise Estatística

As análises foram realizadas em triplicata e os resultados expressos em média e desvio padrão. Os resultados foram analisados com auxílio do *software* Minitab® utilizando o método One Way Analysis of Variance (ANOVA) seguido do teste T, para comparações múltiplas de medidas paramétricas e os valores foram considerados significativos quando apresentaram um nível de significância (p) inferior a 0,05.

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3.1 Composição Físico-Química dos Pães Elaborados com Diferentes Proporções de Sorgo

6.3.1.1 Composição proximal

A Tabela 16 apresenta a composição proximal dos pães elaborados com fermentação natural e diferentes quantidades de sorgo.

Tabela16 - Composição proximal das formulações de pães isentos de glúten

Componente (g.100g ⁻¹)	F1	F2
Umidade	36,97 ^A ±0,19	37,54 ^A ±0,66
Cinzas	1,56 ^A ±0,12	1,56 ^A ±0,10
Proteínas	4,66 ^A ±0,01	4,77 ^A ±0,12
Lipídios	0,75 ^A ±0,05	0,75 ^A ±0,29
Fibras alimentares	7,35 ^A ±0,13	7,17 ^A ±0,09
Carboidratos Totais	48,71 ^A	48,21 ^A
Valor energético(kcal.100g ⁻¹)	230,52 ^A	228,71 ^A

F1 = 50% de sorgo; F2 = 60% de sorgo. Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna não apresentam diferença significativa a 5% no Teste T.

Fonte: a autora

A umidade dos pães foi de 36,97 para F1 e 37,54 para F2 (g.100g⁻¹). Foram encontrados valores semelhantes na literatura, como em Rocha e Barbosa *et al.* (2023) que variaram entre 32,03 e 36,49 g.100g⁻¹. A massa sem glúten requer mais água do que a de farinha de trigo convencional. A quantidade de água depende da natureza das matérias-primas, sua capacidade de absorver água e a granulação das mesmas (Šmídová; Rysová, 2022). A capacidade de absorção de água das farinhas influencia a quantidade de água a ser adicionada à massa de pão. No desenvolvimento de formulações sem glúten, determinar a quantidade adequada de água para otimizar o desempenho da massa é um desafio importante (Aguiar *et al.*, 2022; Papagianni *et al.*, 2024).

As cinzas foram semelhantes para as formulações (1,56 g.100g⁻¹), portanto a diferença de

10% a mais de proporção de farinha de sorgo para F2 em relação a F1 não foi impactante neste componente. Romão *et al.* (2020) analisaram a composição proximal de 12 marcas comerciais de pães isentos de glúten, sendo que as cinzas foram de $1,62 \text{ g.100g}^{-1}$, próximo ao desse estudo.

A formulação F2, (60% de sorgo), apresentou $4,77 \text{ g.100g}^{-1}$ de proteínas, e a formulação F1, (50% de sorgo) atingiu 4,66. Valor médio semelhante, de $4,4 \text{ g.100g}^{-1}$ foi citado por Šmídová e Rysová (2022), como resultado de proteínas de 5 marcas de pães isentos de glúten, disponibilizadas no comércio.

Os lipídios foram de $0,75 \text{ g.100g}^{-1}$ para ambas as formulações, em conformidade com a legislação para alimentos sólidos com baixo teor de gorduras totais, que preconiza valores inferiores a 3 g por porção de 50 g (Brasil, 2020).

Com resultados de fibras alimentares de 7,35 para F1 e 7,17 para F2 (g.100g^{-1}) os pães podem ser classificados como fonte de fibras. As formulações contêm mais de 10% deste nutriente conforme VDR (valor diário recomendado) de fibras alimentares, definido no Anexo II da Instrução Normativa nº 75/2020, para uma porção de pão de 50 g, conforme Anexo V para o item “pães embalados fatiados ou não, com ou sem recheio” (Brasil, 2020).

Os valores de carboidratos das formulações foram de 48,71 e $48,21 \text{ g.100g}^{-1}$ e o valor energético de 230,52 e $228,71 \text{ kcal.100g}^{-1}$ para as formulações F1 e F2 respectivamente. Esses resultados estão abaixo dos encontrados por Matos Segura e Rosell, (2011) que avaliaram 11 formulações comerciais de pães isentos de glúten com valores médios de $81,18 \text{ g.100g}^{-1}$ de carboidratos. Na Figura 14 observa-se os pães com as formulações F1 e F2 produzidos a partir da fermentação natural.

Figura 14 - Pães elaborados com as formulações F1 (50% de farinha de sorgo) e F2 (60% de farinha de sorgo)



Fonte: a autora

6.3.1.2 Compostos fenólicos e atividade antioxidante

Na Tabela 17 encontram-se os resultados de compostos fenólicos e atividade antioxidante dos pães isentos de glúten, elaborados com fermentação natural e diferentes proporções de farinha de sorgo.

Tabela 17 - Compostos fenólicos e atividade antioxidante dos pães com diferentes proporções de sorgo na formulação

Determinação	F1	F2
Compostos Fenólicos (mgEAG.g ⁻¹)	52,98 ^A ±1,28	55,00 ^A ±1,60
DPPH (μmolET.g ⁻¹)	0,89 ^A ±0,05	1,06 ^B ±0,05
FRAP (μmolET.g ⁻¹)	3,03 ^A ±0,01	3,04 ^A ±0,08

F1 = 50% de sorgo; F2 = 60% de sorgo. Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não apresentam diferença significativa a 5% no Teste T.

Fonte: a autora

Os resultados de compostos fenólicos não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre as formulações. Estes valores estão acima dos encontrados por Gumul *et al.* (2021) que pesquisaram a influência da adição de subproduto de maçã em pães isentos de glúten e encontraram valores variando entre 3,58 e 21,96 mg EAG.g⁻¹.

A atividade antioxidante pelo método DPPH diferiu de maneira significativa ($p < 0,05$), sendo maior na formulação F2, com maior conteúdo de sorgo. Pelo método FRAP o valor da capacidade antioxidante foi de 3,03 e 3,04 μmol ET.g⁻¹ para F1 e F2 respectivamente, portanto sem diferença significativa ($p < 0,05$). Esses valores foram maiores que os de Krupa-Kozak *et al.*, (2022) que em estudos com pães isentos de glúten enriquecidos com subprodutos de linhaça, observaram teores de compostos fenólicos de 23,40 mg EAG.g⁻¹, para capacidade antioxidante por DPPH o valor de 0,94 e por FRAP de 0,70 μmol ET.g⁻¹.

Como a formulação com maior porcentagem de sorgo (F2) apresentou maior atividade antioxidante e não diferiu de forma significativa da F1 na composição proximal, foi escolhida para avaliar a influência da fermentação natural e biológica nas características dos pães isentos de glúten.

6.3.2 Comparação dos Pães Isentos de Glúten Processados por Fermentação Natural e Biológica

6.3.2.1 Aw, pH e acidez

Os resultados de Aw, acidez e pH encontram-se listados na Tabela 18.

Tabela 18 - Resultados de A_w , acidez e pH dos pães com diferentes fermentações

Determinação	FN	FB
A_w	$0,94^A \pm 0,01$	$0,94^A \pm 0,01$
Acidez (mLNaOH 0,1N 100g ⁻¹)	$4,95^A \pm 0,80$	$3,77^B \pm 0,34$
pH	$5,00^A \pm 0,00$	$5,67^B \pm 0,03$

FN = fermentação natural; FB = fermentação biológica. Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não apresentam diferença significativa a 5% no Teste T.

Fonte: a autora

Os resultados de atividade de água (A_w) foram de 0,94 para ambos os pães avaliados. Este valor está próximo ao relatado por Sharanagat *et al.* (2024), que encontraram média de 0,93 em 12 diferentes formulações de pães com farinha de sorgo. A água é um parâmetro que está relacionado à deterioração dos alimentos, sendo uma ferramenta para prever o crescimento microbiano (Škrobot *et al.*, 2022).

O resultado de acidez foi significativamente diferente ($p < 0,05$), sendo no pão de fermentação natural (FN) maior que em FB, devido a formação de ácido lático e acético pelos microrganismos do fermento natural. Assim, o pH seguiu a mesma tendência e foi menor em FN.

6.3.2.2 Propriedades físicas e mecânicas dos pães processados por diferentes métodos de fermentação

Na Tabela 19 as características colorimétricas levantadas para os pães com diferentes fermentos podem ser observadas. A cor desempenha importante papel na preferência dos consumidores em produtos de panificação, como a textura e sabor. A inclusão de fibras na panificação intensifica a coloração tanto da crosta quanto do miolo do pão assado. Os pães sem glúten apresentam tonalidade mais clara em comparação com os pães de trigo, tornando o escurecimento da crosta e do miolo com fibras um atributo valorizado (Genevois; Grenóvero; De Escalada Pla, 2021).

Tabela 19 - Colorimetria dos pães produzidos com fermentação natural e biológica

Parcela do pão	Determinação	FN	FB
Crosta	L*	48,95 ^A ±1,30	51,69 ^A ±2,42
	a*	10,47 ^A ±0,51	9,30 ^B ±0,32
	b*	22,86 ^A ±0,85	22,28 ^A ±0,10
	C*	25,14 ^A ±1,06	24,03 ^A ±0,18
	H°	65,39 ^A ±0,63	67,34 ^A ±0,65
Miolo	L*	51,36 ^A ±0,39	51,78 ^A ±0,13
	a*	7,89 ^A ±0,07	6,90 ^B ±0,19
	b*	20,28 ^A ±0,02	19,08 ^A ±0,78
	C*	21,76 ^A ±0,01	20,29 ^B ±0,29
	H°	68,74 ^A ±0,20	70,12 ^B ±0,25

FN = fermentação natural; FB = fermentação biológica. Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não apresentam diferença significativa a 5% no Teste T.

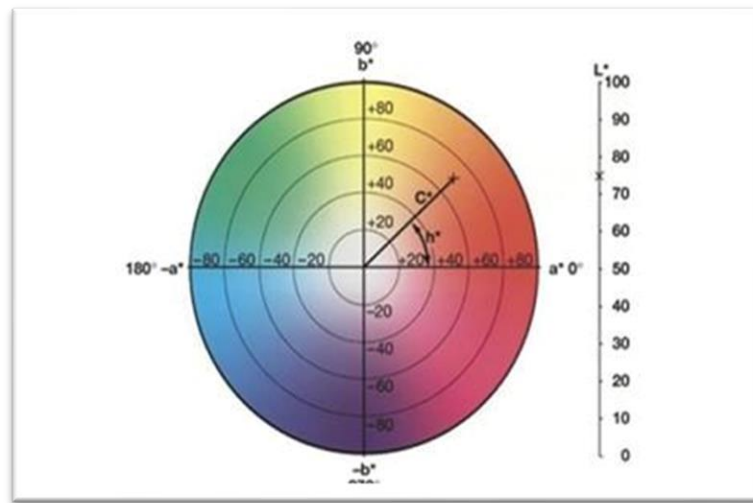
Fonte: a autora

Os valores de L* não apresentaram resultados com diferença significativa tanto para cor da crosta quanto do miolo, entre os pães de fermentação natural (FN) e biológica (FB).

As alterações na cor da crosta do pão são atribuídas a processos não enzimáticos de escurecimento, de reação de Maillard e reações de caramelização. Os pigmentos desenvolvidos na crosta são influenciados pela qualidade e quantidade de precursores, incluindo açúcares redutores e proteínas derivadas das farinhas utilizadas como matérias-primas. Esta interação resulta na síntese de proteínas polimerizadas e na produção de pigmentos castanhos (Cunha *et al.*, 2023).

As variáveis C* (Croma), que representam a saturação da amostra, indicam que, quanto maior o valor de croma, maior a saturação das cores perceptíveis aos olhos humanos; valores menores indicam cores mais neutras. O H° (ângulo Hue) descreve tonalidades como vermelho ou verde (Ferreira e Spricigo, 2017). A Figura 15 ilustra o diagrama de cor, as variáveis L*, a*, b*, C* e H°.

Figura 15 - Diagrama de cores do sistema Cielab

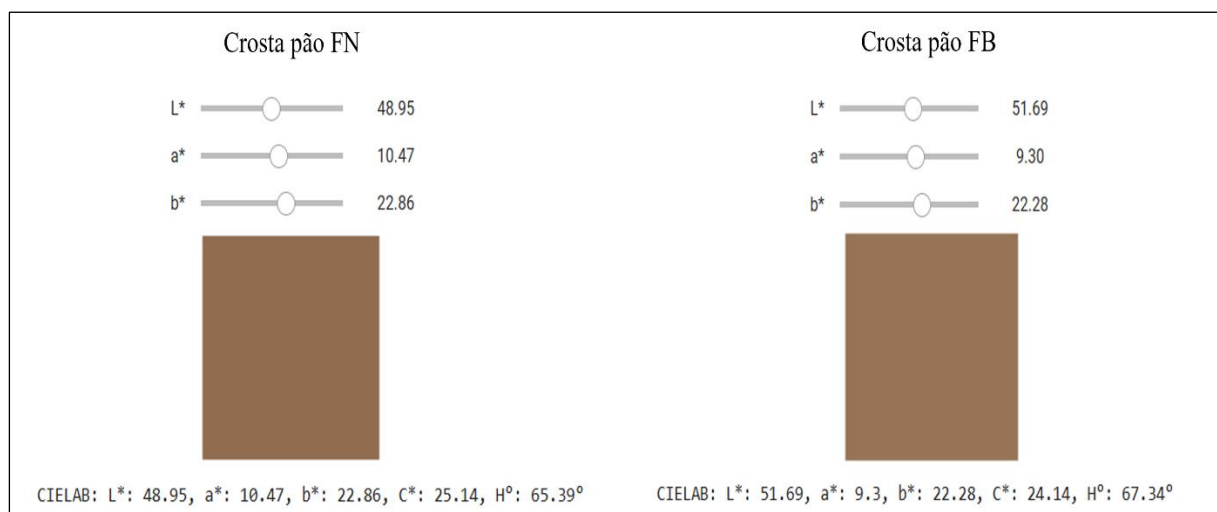


Fonte: Ferreira, Spricigo (2017)

Os valores de C^* (25,10 para FN e 24,14 para FB) e H° (65,39 para FN e 67,34 para FB) da crosta dos pães de fermentação natural e biológica não apresentaram diferença significativa. As amostras têm cores com saturação moderada e tonalidades de cor marrom, com diferenças mínimas perceptíveis aos olhos humanos conforme ilustra a Figura 16.

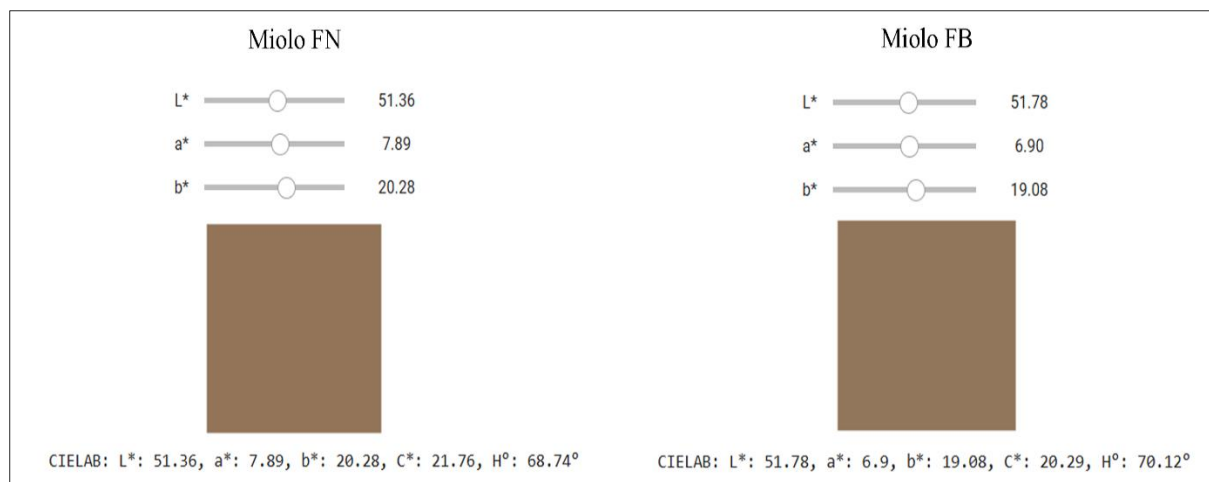
Já com relação ao miolo dos pães, os resultados foram significativamente diferentes. O pão FN com valor de C^* de 21,76 e H° de 68,75 tem cor mais viva. O pão FB com C^* de 20,29 e H° de 70,12 apresenta-se com cor menos saturada, conforme a Figura 17.

Figura 16 - Cor da crosta dos pães correspondente ao círculo cromático do valor de H°



Fonte: a autora

Figura 17 - Cor da crosta dos pães correspondente ao círculo cromático do valor de H°



Fonte: a autora

A Tabela 20 apresenta as propriedades mecânicas dos pães.

Tabela 20 - Propriedades mecânicas - perfil de textura dos pães elaborados por fermentação natural e fermentação biológica

Parâmetros	FN	FB
Dureza (N)	100,03 ^A ±10,21	122,53 ^A ±9,04
Adesividade (N.s)	0,00±0,00	0,00±0,00
Elasticidade	0,76 ^A ±0,06	0,78 ^A ±0,05
Coesividade	0,43 ^A ±0,03	0,44 ^A ±0,02
Mastigabilidade (N)	34,21 ^A ±1,66	38,64 ^B ±0,43
Resiliência	0,18 ^A ±0,01	0,16 ^A ±0,01

FN = fermentação natural; FB = fermentação biológica. Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não apresentam diferença significativa a 5% no Teste T.

Fonte: a autora

O pão de fermentação natural apresentou dureza de 100,03 N, enquanto FB de 122,53 N. Esses resultados podem ser explicados devido ao ácido acético e lático produzidos durante a fermentação natural, influenciarem as propriedades da massa. Durante a fermentação da farinha, as bactérias ácido-láticas (BAL) produzem ácidos orgânicos, enzimas e exopolissacarídeos que beneficiam o pão. Esse processo é relevante no contexto de pães sem glúten (GF), onde a acidificação das farinhas melhora a porosidade do miolo e reduz sua dureza (Diowksz, Sadowska, 2021). A fermentação natural também aumenta a elasticidade e retarda o processo de envelhecimento em pães isentos de glúten. Esses efeitos foram atribuídos à quebra de proteínas

e componentes do amido pelas LAB do fermento natural (Nionelli, Rizzello, 2016).

Os pães não apresentaram valores de adesividade. Isto indica que durante a mastigação não há tendência de aderência de resíduos de pão nos dentes e no céu da boca, sendo uma característica positiva.

Resultados de elasticidade, coesividade e resiliência não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$). Mas a mastigabilidade apresentou diferença significativa entre as diferentes formas de fermentação dos pães, sendo em FB de 38,64 e em FN de 34,21 N, sendo que o valor maior demonstra a necessidade de mais tempo e esforço a ser empregado na mastigação.

Altos valores de resiliência são preferidos devido à sua relação com o frescor e a elasticidade do pão percebidos pelos consumidores. A redução da resiliência é indicativa da perda de elasticidade, demonstrando menor capacidade do material retornar à sua forma original após o estresse. Por outro lado, um miolo de pão com alta coesividade é desejável, pois forma um bolo alimentar e não se desintegra durante a mastigação, enquanto uma baixa coesão indica maior suscetibilidade do pão a fraturar ou esfarelar (Encina-Zelada *et al.*, 2019).

As características físicas de pão isento de glúten com fermentação natural e biológica encontram-se na Tabela 21.

Tabela 21 - Volume específico e índice de expansão dos pães com fermentação natural (FN) e fermentação biológica (FB)

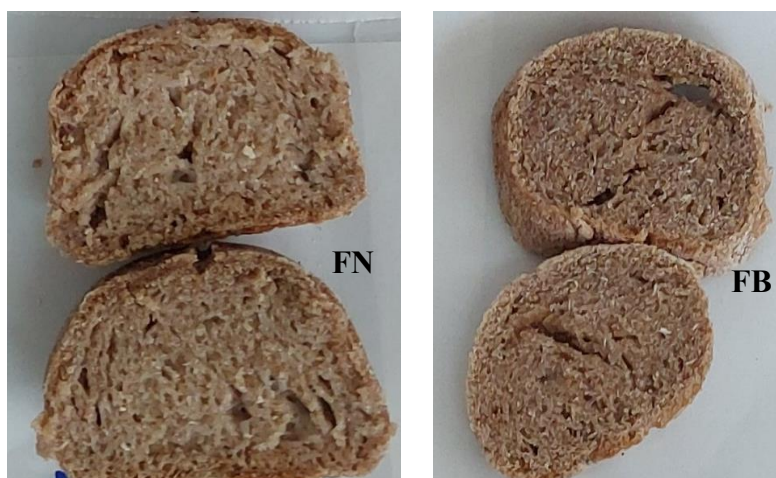
Parâmetros	FN	FB
VE pré forneamento (cm^3g^{-1})	1,93 ^A ±0,09	2,57 ^B ±0,04
VE pós forneamento (cm^3g^{-1})	3,25 ^A ±0,03	2,45 ^B ±0,30
Índice de expansão	1,10 ^A ±0,01	0,82 ^B ±0,04

VE = volume específico. Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não apresentam diferença significativa a 5% no Teste T.

Fonte: a autora

Na Figura 18 observa-se os pães isentos de glúten cortados verticalmente para visualização da estrutura interna nas diferentes formas de fermentação.

Figura 18 - Pães isentos de glúten por fermentação natural (FN) e biológica (FB)



Fonte: a autora

O pão de fermentação natural apresentou volume específico maior após o forneamento ($3,25 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$), enquanto o com fermento biológico diminuiu após este processo com valor final de $2,46 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$. Beltrão Martins *et al.* (2022) encontraram valores de $1,18$ e $1,13 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ de volume específico para pães sem glúten com farinha de maçã e verificaram que esta farinha desenvolveu um pão mais consistente, com menor volume por unidade de peso, podendo ser atribuído ao aumento do conteúdo de fibras. Oliveira *et al.* (2022) encontraram valores de volume específico de $2,61$ a $3,49 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ para pães com sorgo.

Pang *et al.* (2021) destacam que a dureza do miolo e o volume específico estão inversamente correlacionados. O volume específico é um indicador para avaliação da qualidade dos pães e influência na percepção de leveza do produto em relação ao seu volume, podendo influenciar a escolha do consumidor.

Em estudos de pães isentos de glúten, adicionados de diferentes proporções de hidrocoloides, Encina-Zelada *et al.* (2019), encontraram valores de volume específico semelhantes, com variações entre $2,41$ e $2,92 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$.

O índice de expansão, valor que indica o quanto o pão cresce durante o processo de fermentação e forneamento, foi maior no pão de fermentação natural, de $1,10$ enquanto no de fermentação biológica foi de $0,83$.

Couri e Giada (2016) verificaram em pães isentos de glúten com farinha de babaçu, que o índice de expansão diminuiu nas formulações com maiores teores de fibras. Andrade-Neves *et al.*, (2021) verificaram que, mesmo em pães produzidos com farinha contendo glúten, porém elaborados com farinhas integrais, apresentaram menores volumes comparados aos com farinhas refinadas, devido ao efeito da eluição do glúten, que causam relaxamento da rede formada.

6.3.2.3 Digestibilidade dos pães isentos de glúten processados por diferentes métodos de fermentação

A Tabela 22 apresenta o amido total, amido de rápida digestão (RDS - *Rapidly digestible starch*), amido de lenta digestão (SDS - *Slowly digestible starch*) dos pães elaborados.

Tabela 22 - Amido dos pães produzidos por fermentação natural (FN) e biológica (FB)

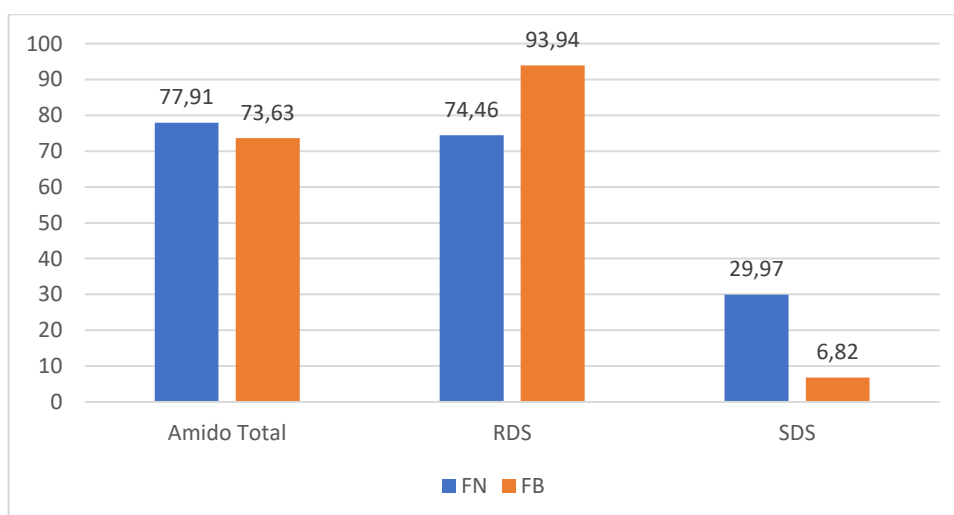
Determinação	FN	FB
Amido Total (g.100g ⁻¹)	77,91 ^A ±0,01	73,63 ^A ±0,01
RDS (g.100g ⁻¹)	58,01 ^B ±0,21	69,16 ^A ±0,47
SDS (g.100g ⁻¹)	23,34 ^A ±0,51	5,02 ^B ±0,20
RDS* (%)	74,46 ^A ±0,27	93,94 ^B ±0,65
SDS* (%)	29,97 ^A ±0,90	6,82 ^B ±0,28

*valor em relação à quantidade total de amido determinado. RDS = amido de rápida digestão; SDS = amido de lenta digestão, RS = amido resistente. Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não apresentam diferença significativa a 5% no Teste T.

Fonte: a autora

A quantidade total de amido foi maior no pão de fermentação natural, apesar de apresentarem a mesma formulação, devido a quantidade de fermento natural (20% em relação a quantidade de farinha), que é adicionada e é composta de farinha de arroz e água. O pão de fermentação natural apresentou menor quantidade de amido de rápida digestão (RDS) 58,01 g.100g⁻¹ ou 74,46% do total de amido determinado em relação ao pão com fermentação biológica com 69,16 g.100g⁻¹ sendo 93,94% do total de amido da amostra (Figura 19), diferença essa considerada significativa (p≤0,05).

Figura 19 - Comparação da digestibilidade do amido *in vitro* dos pães isentos de glúten de fermentação natural (FN) e biológica (FB)



RDS = amido de rápida digestão; SDS = amido de lenta digestão.

Fonte: a autora

Após o consumo de pão, o amido é digerido e absorvido de maneira rápida, causando hiperglicemia em indivíduos com síndrome de resistência à insulina. A inclusão de carboidratos de rápida digestão na dieta diária, pode aumentar os níveis de glicose no sangue e a necessidade de insulina no período pós-prandial. Sob condições ótimas de processamento, microrganismos podem melhorar a funcionalidade dos alimentos. A fermentação natural em produtos de panificação, reduz as respostas glicêmicas e ao produzirem metabólitos, como ácidos orgânicos e exopolissacarídeos, bactérias lácticas podem influenciar de maneira positiva na estrutura das fibras alimentares, tornando-as potencialmente mais benéficas para a digestão (Demirkesen-Bicak *et al.*, 2021).

A fermentação natural influenciou a estrutura do amido, resultando em uma taxa de digestão mais lenta desse carboidrato. Esse processo digestivo mais gradual pode contribuir para a estabilidade dos níveis de glicose no sangue e prolongar a sensação de saciedade após o consumo. Quanto ao conteúdo de amido de lenta digestão, o pão de fermentação natural demonstrou ser superior (23,34 g.100g⁻¹ ou 29,97% do total de amido) em relação ao pão FB 5,02 g.100g⁻¹ ou 6,82%).

O amido de lenta digestão é vantajoso, devido à sua taxa de digestão mais lenta, resultando em uma liberação gradual de glicose na corrente sanguínea e contribuindo para o controle dos níveis de glicose no sangue.

De La Hera, Rosell e Gomez, (2014), estudaram o efeito do teor de água e do tamanho de partículas da farinha de arroz na digestibilidade de pães sem glúten e seus resultados mostraram que a fração de amido de rápida digestão (RDS) foi predominante em todos os pães, variando de 82,07 a 96,54 g.100g⁻¹, sendo estes valores semelhantes aos relatados para pães comerciais sem glúten. Os valores de amido de lenta digestão (SDS) variaram de 0,60 a 11,40 g.100g⁻¹.

Após analisar a digestibilidade *in vitro* do amido de 11 marcas de pães isentos de glúten do mercado espanhol, Matos Segura e Rosell, (2011) verificaram que o principal tipo de amido encontrado nas amostras foi o RDS, representando de 75,6 a 92,5% do total de amido. Esse valor corresponde ao padrão observado em alimentos ricos em amido, onde esse componente é altamente gelatinizado, resultando em uma rápida degradação no intestino delgado e aumento rápido nos níveis de glicose no sangue (alto índice glicêmico). As frações SDS variaram entre 2,4 - 21,1 %. A amostra de maior destaque de SDS foi de 21,1%, valor inferior ao desse estudo no pão de fermentação natural.

Os pães não apresentaram conteúdo de amido resistente, observado pela determinação de valores negativos.

6.3.2.4 Análises microbiológicas e sensoriais dos pães processados por diferentes métodos de fermentação

A Tabela 23 apresenta os resultados das análises microbiológicas dos pães elaborados, em conformidade com os padrões estabelecidos pela Instrução Normativa - IN 161/2022 (Brasil, 2022). Os pães produzidos se encontram dentro dos padrões estabelecidos pelas normas da legislação nacional, sendo seguros para consumo e indicando que as Boas Práticas de Fabricação foram seguidas no processamento.

Tabela 23 - Avaliação microbiológica dos pães isentos de glúten elaborados com fermentação natural (FN) e fermento biológico (FB)

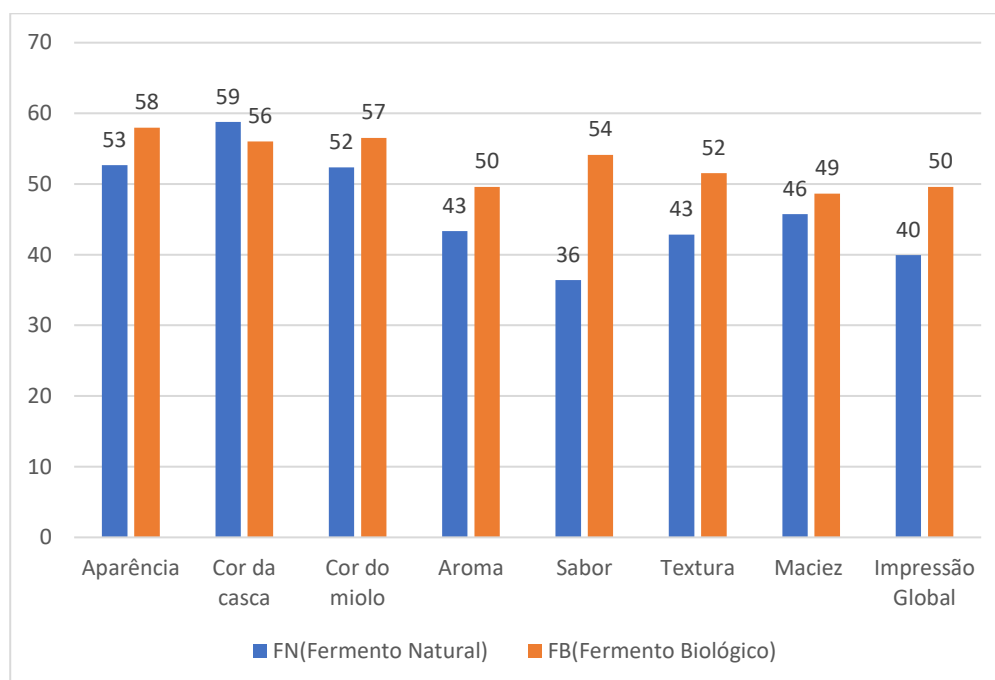
Determinações	FN	FB	Limites*
<i>Salmonella</i> sp (ausência em 25g)	ausência	ausência	ausência
Estafilococos coagulase positiva	$1,0 \times 10^2$	1×10^3	5×10^2
<i>Escherichia coli</i>	$3,0 \times 10$	$3,0 \times 10$	$5,0 \times 10$
Bolores e leveduras (UFC/g)	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$5,0 \times 10^2$

*Limites de tolerância estabelecidos pela Instrução Normativa - IN N° 161 (Brasil, 2022).

Fonte: a autora

A Figura 20 apresenta a aceitabilidade geral dos pães avaliados, calculadas a partir da divisão das médias dos atributos por 9 e multiplicando por 100, seguindo a escala hedônica de 9 pontos. Os valores médios para os atributos sensoriais avaliados dos pães FN e FB encontram-se na Tabela 24.

Figura 20 - Médias da aceitabilidade das formulações de pães isentos de glúten elaborados por fermentação natural e biológica



Fonte: a autora

A aceitabilidade dos atributos avaliados, não atingiram os valores acima do mínimo considerado aceitável para um produto (70%) (Dutcoski, 2007), tanto para fermentação natural quanto para fermentação biológica. A fermentação natural apresentou maior aceitabilidade para o atributo “cor da casca” (59%), sendo esse o único parâmetro em que FN foi superior FB. O atributo com menor aceitabilidade para a fermentação natural e a que mais diferenciou da fermentação biológica, foi o “sabor” com 36% para FN e 50% para FB. Os menores escores de aceitabilidade podem estar associados à menor exposição do provador ao sabor característico do pão de fermentação natural, que possui maior acidez em relação ao de fermento biológico.

Também se fazem necessárias pesquisas adicionais sobre a melhoria dos aspectos sensoriais de pães de sorgo. Akin *et al.* (2022) estudaram a aplicação da farinha de sorgo em pães usando diferentes técnicas para aumentar sua funcionalidade e indicaram que a crosta do pão feito com sorgo tem escores mais altos de acidez e adstringência em comparação ao pão de centeio, mas até 50% de farinha de sorgo é aceitável no sabor.

Laureati *et al.*, (2024) investigaram os principais fatores que influenciam a aceitação de novos alimentos pelos consumidores e constataram que, embora o interesse por alimentos *plant based* tenha crescido significativamente nos últimos anos, para produtos inovadores e menos comuns, a aceitação e apreciação pelos consumidores apresentam grande variação. Fatores como

cor escura, sabor amargo e adstringência, causados por compostos bioativos (polifenóis e fibras), são os principais motivos de rejeição, resultando em notas sensoriais baixas. Para contornar isso, pode-se utilizar aromatizantes, adoçantes ou misturar diferentes fontes vegetais, melhorando a aceitação sem comprometer o valor nutricional.

Tabela 24 - Valores médios para os atributos sensoriais avaliados nos pães elaborados por fermentação natural (FN) e biológica (FB)

Parâmetros	FN	FB
Aparência	4,74 ^A ±2,52	5,22 ^A ±2,39
Cor casca	5,29 ^A ±2,21	5,04 ^A ±2,23
Cor miolo	4,71 ^A ±2,57	5,09 ^A ±2,45
Aroma	3,90 ^A ±2,49	4,46 ^A ±2,23
Sabor	3,28 ^A ±2,42	4,87 ^A ±2,42
Textura	3,86 ^A ±2,39	4,64 ^A ±2,27
Maciez	4,12 ^A ±2,51	4,38 ^A ±2,28
Impressão Global	3,59 ^A ±2,42	4,46 ^A ±2,30

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não apresentam diferença significativa a 5% no Teste T.

Fonte: a autora

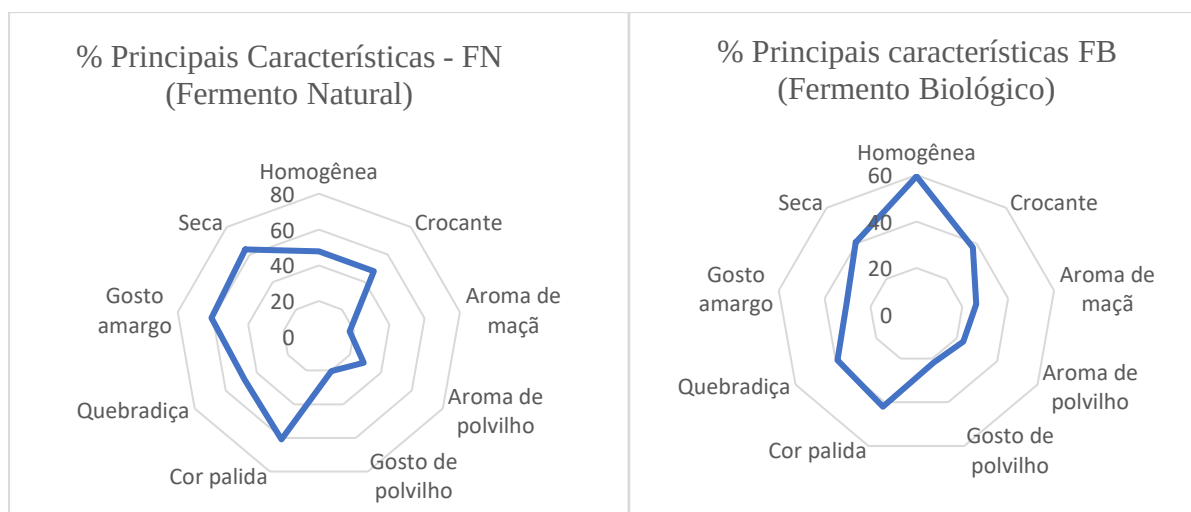
Na avaliação sensorial, as médias atingidas nos atributos avaliados para os pães não apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$). A formulação teve baixa aceitação pelos avaliadores com os dois tipos de fermento, sendo os atributos de aroma e sabor os que mais contribuíram para esse resultado.

Para Oliveira *et al.* (2022) o pão isento de glúten (GFB) é menos aceito do que os pães comuns, pois não faz parte dos hábitos alimentares dos consumidores regulares. Em seus estudos encontraram resultados semelhantes em pão isento de glúten com sorgo, com médias de aceitação dos atributos avaliados em torno de 5, na escala de 9 pontos.

Tóth, Kaszab e Meretei (2022) que analisaram 9 diferentes pães comerciais isentos de glúten, uma das maiores dificuldades com as formulações destes produtos tem sido o sabor. Nas avaliações sensoriais foram descritos como tendo um sabor seco, insípido ou desagradavelmente forte e os comentários relacionados ao sabor e aroma foram mais atribuídos aos pães produzidos a partir de fermentação natural.

Na Figura 21 observa-se pelo gráfico radar, as principais características dos pães, onde nos de fermentação natural “Gosto amargo”, “cor pálida”, “homogênea”, “Seca” e “quebradiça” foram as descrições mais apontadas.

Figura 21 - Principais características avaliadas nas formulações dos pães de fermentação natural (FN) e fermentação biológica (FB)



Fonte: a autora

Adzqia, Suwonsichon e Thongngam (2023) verificaram resultados semelhantes em seus experimentos, atribuindo aos compostos fenólicos e taninos presentes na camada externa dos grãos de sorgo (pericarpo e testa) o sabor amargo.

No pão de fermentação natural os comentários de “gosto amargo” foram mais acentuados. Embora a fermentação da massa azeda possa melhorar o sabor do pão, sua aplicação em matrizes sem glúten de leguminosas e cereais tem sido pouco investigada (Drakula *et al.*, 2024).

Para ambas as formas de fermentação, observa-se que a umidade inicial das amostras isentas de glúten é menor. O uso de farinhas integrais, com maior teor de fibras, resulta em produtos com menor volume e maior firmeza. Esses fatores podem contribuir para a menor aceitabilidade de produtos isentos de glúten (Siepmann *et al.*, 2017).

Produtos isentos de glúten são mais aceitos por pessoas que sofrem de intolerância ao glúten desde a infância, enquanto a aceitação desses pães em adultos diagnosticados mais tarde na vida, ou em indivíduos que não têm o hábito de consumi-los, é mais difícil. Identificar proteínas e carboidratos/amidos solúveis como direcionadores do sabor podem guiar futuras formulações de pães de sorgo isentos de glúten, com altas propriedades antioxidantes, resultando em pães mais saudáveis e mais bem aceitos (Oliveira *et al.*, 2022).

6.4 CONCLUSÃO

As formulações de pães isentos de glúten, com diferentes proporções de sorgo, não apresentaram diferença significativa na composição proximal. As formulações se classificaram como alto teor de fibras pela legislação vigente.

A formulação com maior teor de sorgo apresentou maior atividade antioxidante, e foi selecionada para comparação entre a fermentação natural (FN) e fermento biológico comercial (FB).

Em relação à cor, os valores de L* não mostraram diferenças significativas para crosta e miolo. Os valores de C* e H° para a crosta não diferiram significativamente entre FN e FB, ambas com saturação moderada e tonalidades marrom. Para o miolo, os pães FN apresentaram cor mais saturada e próxima do amarelo, enquanto os pães FB tiveram cor menos saturada.

O pão produzido com fermentação natural apresentou maior volume específico e índice de expansão. A mastigabilidade foi menor nos pães de fermentação natural.

Os pães de fermentação natural apresentaram melhores resultados de digestibilidade, com valores menores para RDS e maiores de SDS, evidenciando a capacidade da fermentação natural regular a digestibilidade do amido e assim poder reduzir o índice glicêmico em pães isentos de glúten.

A aceitabilidade dos atributos avaliados na formulação de pães, tanto para fermentação natural (FN) quanto para biológica (FB), não atingiram o mínimo aceitável de 70% (Dutcoski, 2007). O atributo com menor aceitabilidade para FN foi "sabor". As médias dos atributos sensoriais não apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$). O pão de fermentação natural se destacou apenas na "cor da casca". A formulação teve baixa aceitação para ambos os tipos de fermento, com descrições relacionados ao aroma e sabor. As características mais apontadas no pão de fermentação natural foram "gosto amargo", "cor pálida", "homogênea", "seca" e "quebradiça".

Mais pesquisas se tornam necessárias a fim de explorar o potencial da fermentação natural em benefício da melhoria da qualidade de produtos isentos de glúten, investigando formulações que possam favorecer a aceitação sensorial, disponibilizando produtos mais nutritivos, com potencial funcional e sustentáveis.

6.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se afirmar que este estudo confirmou o potencial das farinhas de sorgo, palmito pupunha e maçã para o desenvolvimento de pães isentos de glúten, destacando suas contribuições nutricionais e tecnológicas. A farinha de sorgo se mostrou rica em amido e antioxidantes, enquanto os subprodutos de palmito e maçã apresentaram elevados teores de fibras e compostos fenólicos. No entanto, o desafio sensorial persiste, principalmente para produtos de fermentação natural, que apresentaram características sensoriais menos aceitas. Ainda assim, a fermentação natural mostrou benefícios importantes, como maior digestibilidade e potencial para a redução do índice glicêmico. Mais pesquisas são necessárias para melhorar a aceitação sensorial, mas os resultados sugerem que essas farinhas podem oferecer uma alternativa sustentável e funcional para a formulação de produtos isentos de glúten.

REFERÊNCIAS

- AACC. **International Approved Methods of Analysis**. 10. Ed. St. Paul, 2000.
- ADZQIA, F.; SUWONSICHON, S.; THONGNGAM, M. Effects of White Sorghum Flour Levels on Physicochemical and Sensory Characteristics of Gluten-Free. **Foods**, v. 12, n. 22, p. 4113, 2023.
- AGUIAR, E. V.; SANTOS, F. G.; CENTENO, A. C. L. S.; CAPRILES, V. D. Defining amaranth, buckwheat and quinoa flour levels in gluten-free bread: A simultaneous improvement on physical properties, acceptability and nutrient composition through mixture design. **Foods**, v. 11, n. 6, p. 848, 2022.
- ANDRADE NEVES, N.; GOMES, P. T. G.; MORAIS, L. A.; SILVEIRA, M. P.; SCHMIELE, M. Produção e avaliação das características tecnológicas e sensoriais de pães obtidos a partir de fermentação natural e acréscimo de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.). **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 11, n. 2, p. 39-48, 2021.
- ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Informe técnico nº69 de 03 de outubro de 2015. Disponível em:<www.anvisa.gov.br/legis> Acessado em 06 de novembro de 2022.
- AKIN, P. A.; DEMIRKESEN, I.; BEAN, S. R.; ARAMOUNI, F.; BOYACI, I. H. Sorghum Flour Application in Bread: Technological Challenges and Opportunities. **Foods**, v. 11, n. 16, p. 2466, 2022.
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. [s.l: s.n.], 2019.
- BELTRÃO MARTINS, R.; NUNES, M. C.; GOUVINHAS, I.; FERREIRA, L. M. M.; PERES, J. A.; BARROS, A. I. R. N. A.; RAYMUNDO, A. Apple Flour in a Sweet Gluten-Free Bread Formulation: Impact on Nutritional Value, Glycemic Index, Structure and Sensory Profile. **Foods**, v. 11, n. 20, p. 3172, 2022.

BENZIE, I. FF; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, n. 1, p. 70-76, 1996.

BOLANHO, B. C; DANESI, E. D. G.; BELÉIA, A. P. Characterization of flours made from peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) by-products as a new food ingredient. **Journal of Food and Nutrition Research**, v. 53, n. 1, p. 51-59, 2014.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, p. 25-30, 1995.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 331, de 26 de dezembro de 2019 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Dispõe sobre padrões microbiológicos para alimentos e suas aplicações. **Diário Oficial da União**, Brasília, 26 dez. 2019a. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-331-de-23-de-dezembro-de-2019-235332272>. Acesso em: 10 jun.2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Instrução Normativa nº 60, de 23 de dezembro de 2019 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Estabelece as listas de padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 26 dez. 2019b. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/4660474/%283%29IN_60_2019_COMP.pdf/f8d1380b-9044-4f25-a5d9-d074c7d1da04. Acesso em: 05 jun. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Instrução Normativa - IN nº 75, de 8 de outubro de 2020 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. **Diário Oficial da União**, Brasília, 09 out. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-75-de-8-de-outubro-de-2020-282071143>. Acesso em: 24 mai. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Instrução Normativa - IN nº 161, de 1º de julho de 2022 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 6 jul.2022.Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/6503717/%282%29IN_161_2022_COMP.pdf/d48b4349-f0e1-4381-a433-f4d841ca3f95. Acesso em: 15 mai. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 711, de 01 de julho de 2022 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Requisitos sanitários dos amidos, biscoitos, cereais integrais, cereais processados, farelos, farinhas, farinhas integrais, massas alimentícias e pães. **Diário Oficial da União**, Brasília, 06 jul. 2022. Disponível em: <http://bibliotecadigital.anvisa.gov.br/jspui/handle/anvisa/7787>. Acesso em: 20 jun. de 2024.

CANTERO, L., SALMERÓN, J., MIRANDA, J., LARRETXI, I., FERNÁNDEZ-GIL, M. D. P., BUSTAMANTE, M. Á., MARTÍNEZ, O. Performance of Apple Pomace for Gluten-Free Bread Manufacture: Effect on Physicochemical Characteristics and Nutritional Value. **Applied Sciences**, v. 12, n. 12, p. 5934, 2022.

COURI, M. H. S.; GIADA, M. L. R. Pão sem glúten adicionado de farinha do mesocarpo de babaçu (*Orbignya phalerata*): avaliação física, química e sensorial. **Revista Ceres**, v. 63, n. 3, p. 297-304, 2016.

CUNHA, M. C. D., TERRA, L. H., CAMPOS E SOUSA, P. I. Ê. T. R. A., VILELA, D. R., OLIVEIRA, A. L., SILVA, J. S., VILAS BOAS, E. V. Physical, chemical and sensory implications of pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) sweet bread made with flour, pulp and fruit by-product. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 95, p. e20201550, 2023.

DANESI, E. D. G.; GRANATO, D.; IWASSA, I. J.; PINZON, C.; BOLANHO, B. C. Effects of industrial by-products from orange, peach palm and soybean on the quality traits and antioxidant activity of flours: a response surface approach. **International Food Research Journal**, v. 25, n. 3, p. 1219- 1227, 2018.

DE LA HERA, E.; OLIVEIRA, C. M.; GOMEZ, M. Effect of water content and flour particle size on gluten-free bread quality and digestibility. **Food Chemistry**, v. 151, p. 526-531, 2014.

DEMIRKESEN-BICAK, H.; ARICI, M.; YAMAN, M.; KARASU, S.; SAGDIC, O. Effect of different fermentation condition on estimated glycemic index, in vitro starch digestibility, and textural and sensory properties of sourdough bread. **Foods**, v. 10, n. 3, p. 514, 2021.

DIOWKSZ, A.; SADOWSKA, A. Impact of sourdough and transglutaminase on gluten-free buckwheat bread quality. **Food Bioscience**, v. 43, p. 101309, 2021.

DJORDJEVIĆ, M.; DJORDJEVIĆ, M.; ŠORONJA-SIMOVIĆ, D.; NIKOLIĆ, I.; ŠEREŠ, Z. Delving into the role of dietary fiber in gluten-free bread formulations: integrating fundamental rheological, technological, sensory, and nutritional aspects. **Polysaccharides**, v. 3, n. 1, p. 59-82, 2021.

DRAKULA, S.; NOVOTNI, D.; MUSTAČ, N. C. Volatile profile and sensory properties of gluten-free bread with yellow pea flour and sourdough. **European Food Research and Technology**, p. 1-16, 2024.

DUTCOSKI, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. 2 ed. Champagnat: Curitiba, 2007.

ENCINA-ZELADA, C. R.; CADAVEZ, V.; TEIXEIRA, J. A.; GONZALES-BARRON, U. Optimization of quality properties of gluten-free bread by a mixture design of xanthan, guar, and hydroxypropyl methyl cellulose gums. **Foods**, v. 8, n. 5, p. 156, 2019.

ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, v.46, p. 33-50, 1992.

FERREIRA, M. D.; SPRICIGO, P. C. **Colorimetria – princípios e aplicações na agricultura**. EMBRAPA Instrumentação, p. 8-10, 2017.

FORATO, L. A.; RAPOSO, F.; BERNARDES FILHO, R. Extração e análise das estruturas secundárias das kafirinas nos corpos proteicos de sorgo sacarino. **EMBRAPA**. ISSN 1517-4786, 2023.

GENEVOIS, C. E.; GRENÓVERO, M. S.; DE ESCALADA PLA, M. F. Use of different proportions of rice milling fractions as strategy for improving quality parameters and nutritional profile of gluten-free bread. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, p. 3913-3923, 2021.

GUMUL, D.; ZIOBRO, R.; KORUS, J.; KRUCZEK, M. Apple pomace as a source of bioactive polyphenol compounds in gluten-free breads. **Antioxidants**, v. 10, n. 5, p. 807, 2021.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos** /coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea - São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, v.1, p. 1020, 2008

KRUPA-KOZAK, U.; BĄCZEK, N.; CAPRILES, V. D., ŁOPUSIEWICZ, Ł. Novel Gluten-Free Bread with an Extract from Flaxseed By-Product: The Relationship between Water Replacement Level and Nutritional Value, Antioxidant Properties, and Sensory Quality. **Molecules**. v. 27, n. 9, p. 2690, 2022.

LAUREATI, M.; DE BONI, A.; SABA, A.; LAMY, E.; MINERVINI, F.; DELGADO, A. M.; SINESIO, F. Determinants of Consumers' Acceptance and Adoption of Novel Food in View of More Resilient and Sustainable Food Systems in the EU: A Systematic Literature Review. **Foods**, v. 13, n. 10, p. 1534, 2024.

MATOS SEGURA, M. E.; ROSELL, C. M. Chemical Composition and Starch Digestibility of Different Gluten-free Breads. **Plant Foods Human Nutrition**, v. 66, p. 224-230, 2011.

MENEZES, E. W.; GRANDE, F.; GIUNTINI, E. B.; LOPES, T. D. V. C.; DAN, M. C. T.; DO PRADO, S. B. R.; LAJOLO, F. M. Impact of dietary fiber energy on the calculation of food total energy value in the Brazilian Food Composition Database. *Food Chemistry*, v. 193, p. 128-133, 2016.

NIONELLI, L.; RIZZELLO, C. G. Sourdough-based biotechnologies for the production of gluten-free foods. **Foods**, v. 5, n. 3, p. 65, 2016.

OLIVEIRA, L. L.; DE OLIVEIRA, G. T.; DE ALENCAR, E. R.; QUEIROZ, V. A. V.; DE ALENCAR FIGUEIREDO, L. F. Physical, chemical, and antioxidant analysis of sorghum grain and flour from five hybrids to determine the drivers of liking of gluten-free sorghum breads. **LWT - Food Science and Technology**, v. 153, p. 112407, 2022.

PANG, J.; GUAN, E.; YANG, Y.; LI, M.; BIAN, K. Effects of wheat flour particle size on flour physicochemical properties and steamed bread quality. **Food Science and Nutrition**, v. 9, n. 9, p. 4691-4700, 2021.

PAPAGIANNI, E.; KOTSIU, K.; MATSAKIDOU, A.; BILIADERIS, C. G.; LAZARIDOU, A. Development of “clean label” gluten-free breads fortified with flaxseed slurry and sesame cake: Implications on batter rheology, bread quality and shelf life. **Food Hydrocolloids**, v. 150, p. 109734, 2024.

PEREIRA, J.; CIACCO, C. F.; VILELA, E. R.; PEREIRA, R. G. Função dos ingredientes na consistência da massa e nas características do pão de queijo **Food Science and Technology**, v. 24, p. 494-500, 2004.

RAMOS, L.; ALONSO-HERNANDO, A.; MARTÍNEZ-CASTRO, M.; MORÁN-PÉREZ, J. A.; CABRERO-LOBATO, P.; PASCUAL-MATÉ, A.; MUJICO, J. R. Sourdough biotechnology applied to gluten-free baked goods: Rescuing the tradition. **Foods**, v. 10, n. 7, p.

1498, 2021.

REIS GALLO, L. R.; REIS, C. E. G.; MENDONÇA, M. A.; DA SILVA, V. S. N.; PACHECO, M. T. B.; BOTELHO, R. B. A. Impact of gluten-free sorghum bread genotypes on glycemic and antioxidant responses in healthy adults. **Foods**, v. 10, n. 10, p. 2256, 2021.

RIZZELLO, C. G.; PORTINCASA, P.; MONTEMURRO, M.; DI PALO, D. M.; LORUSSO, M. P.; DE ANGELIS, M.; GOBBETTI, M. Sourdough fermented breads are more digestible than those started with baker's yeast alone: an in vivo challenge dissecting distinct gastrointestinal responses. **Nutrients**, v. 11, n. 12, p. 2954, 2019.

ROCHA BARBOSA, A. M.; DA SILVA, R. F.; IMADA, K. S.; DE JESUS PINTO, W.; NUNES, G. L. Nutritional composition and microbiological standard of French breads enriched with buriti fruit pulp extract (*Mauritia flexuosa* M.) **Research, Society and Development**, v. 12, n. 9, p. e8412943249-e8412943249, 2023.

ROMAN, L.; GOMEZ, M.; MARTINEZ, M. M. Mesoscale structuring of gluten-free bread with starch. **Current Opinion in Food Science**, v. 38, p. 189-195, 2021.

ROMÃO, B.; BOTELHO, R. B. A.; ALENCAR, E. R.; DA SILVA, V. S. N.; PACHECO, M. T. B.; ZANDONADI, R. P. Chemical Composition and Glycemic Index of Gluten-Free Bread Commercialized in Brazil. **Nutrients**, v. 12, n. 8, p. 2234, 2020.

SANTOS, F. G.; FRATELLI, C.; MUNIZ, D. G.; CAPRILES, V. D. The impact of dough hydration level on gluten-free bread quality: A case study with chickpea flour. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 26, p. 100434, 2021.

SANTOS, D.; SILVA, J. A. L.; PINTADO, M. Potencial de melhoria nutricional e funcional de cereais matinais extrusados com base na incorporação de subprodutos de frutas e hortaliças - Uma revisão. **Tendências em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 125, p. 136-153, 2022.

SANTOS, L.; BOLANHO, B. C.; DANESI, E. D. G. Gestão ambiental e caracterização de resíduos sólidos de agroindústrias de palmito pupunha do estado do Paraná. **Revista eletrônica e- Exacta**, v. 19, n. 1, p. 166-187, 2021.

SHARANAGAT, V. S.; NEMA, P. K.; SINGH, L.; MANI, S.; KISHORE, A. Effect of sorghum pre-processing (roasting and germination) on the replacement level and quality of sorghum-wheat bread: bread characteristics, digestibility, consumer acceptability and microbiological analysis. **Journal of Food Science and Technology**, v. 61, n. 2, p. 253-267, 2024.

ŠKROBOT, D.; DAPČEVIĆ-HADNAĐEV, T.; TOMIĆ, J.; MARAVIĆ, N.; POPOVIĆ, N.; JOVANOVIĆ, P. Techno-Functional Performance of Emmer, Spelt and Khorasan in Spontaneously Fermented Sourdough Bread. **Foods**, v. 11, n. 23, p. 3927, 2022.

SIEPMANN, F. B.; RIPARI, V.; WASZCZYNSKYJ, N.; SPIER. Overview of sourdough technology: From production to marketing. **Food and Bioprocess Technology**, v. 11, p. 242-270, 2018.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; ARRUDA SILVEIRA, N. F.; TANIWAKI, M. H.;

GOMES, R. A. R.; OKAZAKI, M. M. Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água. São Paulo: Blucher, 2017.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In: **Methods in Enzymology**. p. 152-178, 1999.

ŠMÍDOVÁ, Z.; RYSOVÁ, J. Gluten-free bread and bakery products technology. **Foods**, v. 11, n. 3, p. 480, 2022.

SOARES, S. D., DOS SANTOS, O. V., DA CONCEIÇÃO, L. R. V., COSTI, H. T., SILVA JÚNIOR, J. O. C., NASCIMENTO, F. C. A. DO, PENA, R. S. Nutritional and Technological Properties of Albino Peach Palm (*Bactris gasipaes*) from the Amazon: Influence of Cooking and Drying. **Foods**, v.1. p. 23, 2023.

TÓTH, M.; KASZAB, T.; MERETEI, A. Texture profile analysis and sensory evaluation of commercially available gluten-free bread samples. **European Food Research and Technology**, v. 248, p. 1447-1455, 2022.

XU, D.; ZHANG, Y.; TANG, K.; HU, Y.; XU, X.; GÄNZLE, M. G. Effect of mixed cultures of yeast and lactobacilli on the quality of wheat sourdough bread. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, p. 2113, 2019.

**APENDICE A – RESUMO DO ARTIGO QUE SERÁ PUBLICADO NO BOLETIM
DO CEPPA (ISBN 19839774), APRESENTADO NO XVII ERSCTA - 2023**

**DESENVOLVIMENTO DE FERMENTO NATURAL PARA PÃES
ISENTOS DE GLÚTEN**

Débora K. GODINHO^{1*}; Ellen N. MARÇAL¹; Eliane. D. G. DANESI²

¹Pós-graduação / Departamento de Engenharia de Alimentos/Universidade Estadual de Ponta Grossa

²Docente / Departamento de Engenharia de Alimentos/Universidade Estadual de Ponta Grossa

*E-mail para correspondência: debora.godinho@uol.com.br

RESUMO: A fermentação natural é conhecida como uma forma de conferir aos pães atributos sensoriais e agregar valor nutricional. Sendo assim, buscou-se o desenvolvimento de um fermento natural isento de glúten a base de farinha de arroz (FA) em comparação ao fermento natural tradicional com farinha de trigo (FT). Os fermentos foram produzidos com farinha e água e incubados a 26°C por 10 dias, com alimentação diária. Foram realizados acompanhamentos de pH, acidez total titulável (ATT) e contagem microbiológica. Após a obtenção dos fermentos maduros realizou-se acompanhamento do pH e acidez ao longo de 24 h e teste de capacidade fermentativa. O protocolo estabelecido possibilitou a obtenção de fermentos com pH em média de 3,44 para FA e 3,64 para FT. ATT, em mL NaOH 0,1N 100g⁻¹, foi de 13,72 para FA e 13,42 para FT. As populações de leveduras em log UFCg⁻¹ foram de 6,75 para FA e 7,02 para FT e de bactérias lácticas 7,77 e 7,75 para FA e FT respectivamente. Os testes de capacidade fermentativa demonstraram que FA não diferiu de maneira significativa de FT. Conclui-se que FA pode ser uma alternativa interessante para a produção de pão isento de glúten com fermentação natural.

Palavras-chave: farinha de arroz; farinha de trigo, bactérias ácido-láticas; leveduras.

ABSTRACT: The sourdough is known to give breads sensory attributes and add nutritional value. Therefore, the development of a gluten-free sourdough based on rice flour (RF) was sought in comparison to the traditional with wheat flour (WF). Sourdoughs were produced with flour and water and incubated at 26°C for 10 days, with daily feeding. Monitoring of pH, total titratable acidity (TTA) and microbiological count were performed. After obtaining the mature sourdough, pH and acidity were monitored over 24 h and fermentation capacity test was performed. The established protocol made it possible to obtain ferments with pH results averaging 3.44 for RF and 3.64 for WF. TTA, in mL NaOH 0.1N 100g⁻¹, was 13.72 for RF and 13.42 for WF. Yeast populations in log CFUg⁻¹ were 6.75 for RF and 7.02 for WF and lactic bacteria's 7.77 and 7.75 for RF and WF respectively. The results of the fermentative capacity tests showed that RF did not differ significantly from WF. It is concluded that RF can be an interesting alternative to produce gluten-free bread with natural fermentation.

Keywords: rice flour; wheat flour, lactic acid bacteria; yeasts.



APENDICE B - RESUMO APRESENTADO NO SLACAN 2023

AVALIAÇÃO DE FARINHAS DE SORGO E ARROZ PARA A PRODUÇÃO DE FERMENTO NATURAL ISENTO DE GLÚTEN

¹GODINHO, D.K.; ²MARÇAL, E.N.; ³LEMES, F.M.; ⁴DANESI, E.D.G.

¹Universidade Estadual de Ponta Grossa – Paraná, debora.godinho@uol.com.br

²Universidade Estadual de Ponta Grossa – Paraná, ellen_marcal.9@hotmail.com

³Universidade Estadual de Ponta Grossa – Paraná, ffernanda.moreira@gmail.com

⁴Universidade Estadual de Ponta Grossa – Paraná, edgodoy@uepg.br

Palavras-chave: *fermentação natural, pão isento de glúten, levain*

Resumo: Pães isentos de glúten podem ter seus aspectos sensoriais, nutritivos e tecnológicos aprimorados com o emprego da fermentação natural. O primeiro passo para a produção de pães utilizando a fermentação natural é o desenvolvimento do fermento. A fim de avaliar diferentes substratos para a produção de fermento natural, utilizou-se as farinhas de sorgo (FS) e de arroz (FA) e a mistura das duas nas mesmas proporções (FSA). Os fermentos foram produzidos com farinha e água e incubados a 26°C por 10 dias, com alimentação diária. Foram realizados acompanhamentos de pH e acidez total titulável. Nos fermentos maduros realizou-se teste de capacidade fermentativa em tubos graduados por 12h a 26°C. O fermento com FA teve maior aumento de volume, 40% em relação a sua quantidade inicial. Os valores iniciais de pH apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$) e variaram de 6,33 no FS a 6,88 no FA. Ao final dos 10 dias de fermentação FA teve a maior redução de pH diferindo significativamente de FS e FSA com média de 3,38. A acidez (mL NaOH 0,1N 100g⁻¹) variou de 12,95 no FS a 13,73 em FSA. A acidez de FA apresentou maior aumento após o período total de incubação, com média de 12,56, significativamente diferentes de FS e FSA. Conclui-se que a farinha de arroz demonstrou ter maior capacidade de fermentação na produção de fermento natural sem glúten, comparado a farinha de sorgo e à combinação destas duas.

Órgãos Financiadores: CAPES

APENDICE C - PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
PONTA GROSSA - UEPG



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Desenvolvimento de formulações de produtos alimentícios com potencial funcional a partir de cogumelos, subprodutos agroindustriais e biomassas de microrganismos fotossintetizantes

Pesquisador: ELIANE DALVA GODOY

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 58533322.7.0000.0105

Instituição Proponente: Universidade Estadual de Ponta Grossa

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.555.739

Apresentação do Projeto:

Pesquisa sobre potencial funcional de cogumelos, subprodutos agroindustriais e biomassas de microrganismos fotossintetizantes em formulações de produtos alimentícios. As informações elencadas nos campos "Apresentação do Projeto", "Objetivos da Pesquisa" e "Avaliação dos Riscos e Benefícios" foram retiradas do arquivo Informações Básicas da Pesquisa

PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1905107, de 08/04/2022

Objetivo da Pesquisa:

- Avaliar a viabilidade tecnológica e sensorial da adição de subprodutos agroindustriais, de biomassas de microrganismos fotossintetizantes e de cogumelos na elaboração de alimentos com potencial funcional.
- Possibilidade de transferência de tecnologia ao setor agroindustrial para formas de aproveitamento dos subprodutos

Transferência de tecnologia em formulações de alimentos funcionais

Endereço: Av. Gen. Carlos Cavalcanti, nº 4748. UEPG, Campus Uvaranas, Bloco da Reitoria, sala 22

Bairro: Uvaranas

CEP: 84.030-900

UF: PR

Município: PONTA GROSSA

Telefone: (42)3220-3282

E-mail: propespsecretaria@uepg.br

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
PONTA GROSSA - UEPG**

Continuação do Parecer: 5.555.739

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos: Os consumidores serão informados quanto aos ingredientes utilizados na formulação dos produtos, evitando que pessoas alérgicas a algum componente realizem a avaliação e não sejam prejudicadas. A elaboração dos produtos destinados às análises sensoriais seguirão as Boas Práticas de Fabricação e serão previamente submetidos às análises microbiológicas, segundo legislação vigente, garantindo assim a segurança dos julgadores.

Benefícios: Destinar subprodutos gerados em grande escala de maneira integral para alimentação humana implica em redução de custos de tratamentos de resíduos. Os subprodutos agroindustriais aplicados neste estudo apresentam importância nutricional devido aos valores de fibras e antioxidantes e essas ações permitirão inserção em práticas de Economia Circular. As biomassas de microalgas e cogumelos, materiais produzidos por técnicas sustentáveis ou "ecofriendly" possibilitarão oferta de alimentos com potencial funcional para nichos de mercado específicos. A participação voluntária na avaliação sensorial contribuirá com os desfechos das pesquisas, fornecendo informações sobre o posicionamento sobre aceitação destes produtos

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Pesquisa nacional, unicêntrica, prospectivo, com 200 pessoas, de pesquisadora da instituição. Previsão de início em março 2022 e término em fev. 2025

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Em anexo e de acordo com as resoluções 466/2012 e 510/2016

Endereço: Av. Gen. Carlos Cavalcanti, nº 4748. UEPG, Campus Uvaranas, Bloco da Reitoria, sala 22
Bairro: Uvaranas **CEP:** 84.030-900
UF: PR **Município:** PONTA GROSSA
Telefone: (42)3220-3282 **E-mail:** propepsecretaria@uepg.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
PONTA GROSSA - UEPG



Continuação do Parecer: 5.555.739

Recomendações:

Enviar o relatório final ao término do projeto de pesquisa por Notificação via Plataforma Brasil para evitar pendências.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Projeto foi aprovado sem restrições, após avaliação documental. O projeto se encontra dentro dos princípios éticos e metodológicos, de acordo com o Conselho Nacional de Saúde, Resolução 466/2012 e 510/2016.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1905107.pdf	28/07/2022 13:23:08		Aceito
Folha de Rosto	folhaderostoenviadaterceiravez.pdf	28/07/2022 13:22:31	ELIANE DALVA GODOY	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ProjetoCOEP2022.pdf	25/02/2022 16:42:11	ELIANE DALVA GODOY	Aceito
Outros	Modelofichasensorial.pdf	25/02/2022 16:38:02	ELIANE DALVA GODOY	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE2022.docx	25/02/2022 16:34:41	ELIANE DALVA GODOY	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Endereço: Av. Gen. Carlos Cavalcanti, nº 4748. UEPG, Campus Uvaranas, Bloco da Reitoria, sala 22

Bairro: Uvaranas

CEP: 84.030-900

UF: PR

Município: PONTA GROSSA

Telefone: (42)3220-3282

E-mail: propespsecretaria@uepg.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
PONTA GROSSA - UEPG



Continuação do Parecer: 5.555.739

PONTA GROSSA, 01 de Agosto de 2022

Assinado por:
ULISSES COELHO
(Coordenador(a))

Endereço: Av. Gen. Carlos Cavalcanti, nº 4748. UEPG, Campus Uvaranas, Bloco da Reitoria, sala 22

Bairro: Uvaranas

CEP: 84.030-900

UF: PR

Município: PONTA GROSSA

Telefone: (42)3220-3282

E-mail: prospsecretaria@uepg.br