



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

LEILIANE DA FONSECA LIMA HERCULANO

**POTENCIALIDADES DA FARINHA INTEGRAL DO MILHETO (*Pennisetum*
glaucum L.) E APLICAÇÃO EM PÃES SEM GLÚTEN: EFEITO NO
COMPORTAMENTO NUTRICIONAL E TECNOLÓGICO**

FORTALEZA

2023

LEILIANE DA FONSECA LIMA HERCULANO

POTENCIALIDADES DA FARINHA INTEGRAL DO MILHETO (*Pennisetum glaucum* L.)
E APLICAÇÃO EM PÃES SEM GLÚTEN: EFEITO NO COMPORTAMENTO
NUTRICIONAL E TECNOLÓGICO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Dorasilvia Ferreira Pontes.

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Stella Regina Arcanjo Medeiros.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- H464p Herculano, Leiliane da Fonseca Lima.
Potencialidades da farinha integral do milheto (*Pennisetum glaucum* L.) e aplicação em pães sem glúten :
Efeito no comportamento nutricional e tecnológico / Leiliane da Fonseca Lima Herculano. – 2023.
98 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-
Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2023.
Orientação: Profa. Dra. Dorasilvia Ferreira Pontes.
Coorientação: Profa. Dra. Stella Regina Archanjo de Medeiros.
1. cereal. 2. farinha. 3. milheto. 4. pão sem glúten. I. Título.

CDD 664

LEILIANE DA FONSECA LIMA HERCULANO

POTENCIALIDADES DA FARINHA INTEGRAL DO MILHETO (*Pennisetum glaucum* L.)
E APLICAÇÃO EM PÃES SEM GLÚTEN: EFEITO NO COMPORTAMENTO
NUTRICIONAL E TECNOLÓGICO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Produtos de Origem Vegetal.

Aprovada em: 26/01/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Dorasilvia Ferreira Pontes (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dr^ª. Stella Regina Arcanjo de Medeiros
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

Prof^ª. Dr^ª. Márcia Maria Leal de Medeiros
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof^ª. Dr^ª. Maria Nilka de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Luan Ícaro Freitas Pinto
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima (IFRR)

Prof^ª. Dr^ª. Anne Kamilly Nogueira Felix
Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI-CE)

Prof^ª. Dr^ª. Talita Macedo dos Santos
Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI-CE)

A Deus.

Ao meu esposo **Magno Herculano**, aos meus
filhos **Arthur** e **Marcos**, a minha mãe **Luiza**, a
minha tia **Maria José** e a minha sogra
Jesuína, dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao meu bondoso Pai Celeste, pela oportunidade da vida e por iluminar o meu caminho com serenidade, saúde e coragem para superar as dificuldades e os momentos de desânimo. Sempre atendendo aos desejos justos do meu coração.

À Universidade Federal do Ceará, especialmente ao Departamento de Engenharia de Alimentos e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, por me proporcionarem um ensino de qualidade e referência.

À CAPES e FUNCAP, pelo apoio financeiro através da bolsa de estudos concedida.

Ao Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), pela parceria firmada com a UFC, que possibilitou a realização deste trabalho.

À Central Analítica - UFC (financiada pelos programas Finep – CT - INFRA, Pró-Equipamentos CAPES, e MCTI-CNPq-SisNano2.0) pela realização das análises de MEV e EDS.

Ao Laboratório de Produtos Naturais do Horto de Plantas Medicinais Prof. Francisco José de Abreu Matos da UFC, Laboratório de Físico-química de Alimentos e Microbiologia de Alimentos do Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC), Laboratório de Físico-Química de Alimentos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, Laboratório de Frutos e Hortaliças da UFC, pelas análises realizadas.

À minha orientadora, Prof^ª Dorasílvia Ferreira Pontes, pela oportunidade, amizade, ensinamentos, encorajamento e contribuições para meu amadurecimento profissional e pessoal. Principalmente pela maneira verdadeira em que sempre me ouviu, se preocupou, me alertou e ajudou nesse meu processo de dar uma satisfação para a sociedade. Muitíssimo obrigado por ter sido minha orientadora nesse projeto e na vida!

À Prof^ª. Stella Regina Arcanjo de Medeiros, pela coorientação, amizade e ajuda com as valiosas orientações e contribuições.

À Prof^ª. Marcia Maria Leal de Medeiros, que a tenho como referência de profissional por unir ética, comprometimento e competência em tudo que faz.

À Prof^ª. Maria Nilka de Oliveira, pela sincera preocupação e verdadeiro interesse no meu bem-estar.

Ào Prof. Luan Ícaro Freitas Pinto, Prof^ª. Anne Kamilly Nogueira Felix e Prof^ª. Talita Macedo dos Santos, por terem participado da banca examinadora e pelas contribuições com as observações, questionamentos, ensinamentos, críticas e sugestões recebidas.

Ao Sr. Alexandre Sales por ter me apresentado o milheto e suas possibilidades, e ao Engenheiro Agrônomo Timóteo Oliveira, pela doação do milheto e todo suporte sobre a cadeia produtiva.

Ao meu marido Magno Herculano, por todo amor, carinho e cumplicidade. Obrigada por sempre estar ao meu lado, incentivando a conquista de todos os meus sonhos!

À minha mãe, Luiza Fonseca e minha tia, Maria José, pelo amor incondicional, carinho e zelo, sempre acreditando em mim e torcendo pelo meu sucesso.

A meus filhos Arthur e Marcos, por darem luz a minha vida e fazê-la mais feliz.

À minha sogra, Jesuína Herculano, pelo apoio e paciência, ao ficar com meus filhos para que eu pudesse estudar e assim persistir em meus sonhos.

A toda família, primas, cunhadas, cunhados e sobrinhos, que sempre me cercaram de muito apoio, carinho e amor.

Aos amigos do LABCERT, Marcos, Claudilane, Izabel, Lucas, Alane, Yago, Camila, Gabi, Cristiano e Kellen pelo convívio, conselhos, apoio e ajuda imensurável para a realização deste trabalho, assim como os momentos de diversão.

Aos amigos do SENAI-CE, área de alimentos, Deni, Alves, Amanda, Kamilly, John, Adiel, muito obrigado por tudo, a amizade de vocês trouxe motivação e alegria necessária para percorrer esse caminho.

E a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento deste projeto, Muito Obrigado!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Os momentos mais esplêndidos da vida não são os chamados dias de êxito, mas sim aqueles dias em que saindo do desânimo e do desespero, sentimos erguer dentro de nós um desafio: à vida e à promessa de futuras realizações. (Autor desconhecido)

RESUMO

O milheto (*Pennisetum glaucum* L.) é uma cultura adaptada às condições agrícolas do Brasil, no entanto sua produção nacional é destinada apenas para alimentação animal e cobertura vegetal (plantio direto). Um dos motivos para o não consumo humano pode estar relacionado à falta de conhecimento acerca dos benefícios nutricionais e dos tipos de produtos que podem ser elaborados com sua farinha, sendo assim o milheto apresenta potencial de se tornar um novo alimento básico, especialmente em tempos de fome. Este estudo objetivou enfatizar o importante potencial nutricional e tecnológico da farinha integral de milheto para consumo humano em produtos de panificação, despertando indústrias alimentícias e consumidores para seus benefícios, principalmente para os celíacos. Foi produzida a farinha integral de milheto e analisada quanto a composição físico-química, perfil mineral, propriedades funcionais, compostos bioativos, cor, granulometria, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e toxicidade, em seguida foram produzidas 2 formulações de pães sem glúten, sendo FP a formulação padrão e FM a formulação com 25% de farinha integral de milheto, e avaliados quanto ao volume específico, textura, cor do miolo e caracterização físico-química. A farinha integral de milheto foi caracterizada como uma farinha rica em fibras totais e insolúveis, com alto teor de proteínas, lipídios e minerais (P, Mg, Fe e K). Os compostos bioativos, fenólicos totais e flavonoides totais, foram identificados, considerando que os ácidos fenólicos foram detectados em quantidades elevadas, apresentando potencial para aplicação como antioxidante. As características de cor (clara, com tons amarelo), granulometria e propriedades funcionais tecnológicas (com destaque para índice de absorção de água, solubilidade em água e atividade emulsificante) mostraram-se interessantes para utilização da farinha como ingrediente para diversas aplicações na indústria de alimentos, principalmente para produção de pão sem glúten. Não foi demonstrada toxicidade aguda para o microcrustáceo *Artemia salina*, de forma que o produto se mostrou seguro para o consumo. A proporção de 25% de farinha integral de milheto atendeu aos parâmetros tecnológicos, aumentando o volume específico dos pães e reduzindo cor e firmeza nas formulações, características desejadas por consumidores. A caracterização nutricional apresentou uma opção de produto nutritivo e saudável. Pode-se concluir que a farinha integral de milheto é uma excelente opção para desenvolvimento de novos produtos alimentícios, principalmente em pão sem glúten, com ótimas características para ser apresentado como nova opção para o mercado.

Palavras-chave: cereal; farinha; milheto; pão sem glúten.

ABSTRACT

Pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) is a crop adapted to agricultural conditions in Brazil, however its national production is destined only for animal feed and vegetable cover (no-tillage). One of the reasons for non-consumption by humans may be related to the lack of knowledge about the nutritional benefits and types of products that can be made with flour, so millet has the potential to become a new staple food, especially in times of hunger. This study aimed to emphasize the important nutritional and technological potential of whole millet flour for human consumption in bakery products, awakening food industries and consumers to its benefits, especially for celiacs. Whole millet flour was produced and analyzed for physical-chemical composition, mineral profile, functional properties, bioactive compounds, color, granulometry, scanning electron microscopy (SEM) and toxicity, then 2 gluten-free bread formulations were produced, with FP being the standard formulation and FM being the formulation with 25% whole millet flour, and evaluated for specific volume, texture, crumb color and physical-chemical characterization. Whole millet flour was characterized as a flour rich in total and insoluble fiber, with a high content of proteins, lipids and minerals (P, Mg, Fe and K). The bioactive compounds, total phenolics and total flavonoids, were identified, considering that phenolic acids were detected in high amounts, showing potential for application as an antioxidant. The characteristics of color (light, with yellow tones), granulometry and technological functional properties (with emphasis on water absorption index, water solubility and emulsifying activity) proved to be interesting for the use of flour as an ingredient for various applications in the food industry. food, mainly for the production of gluten-free bread. No acute toxicity was demonstrated for the microcrustacean *Artemia salina*, so the product proved to be safe for consumption. The proportion of 25% whole millet flour proved meeting the technological parameters, increasing the specific volume of breads and reducing color and firmness in the formulations, characteristics desired by consumers. The nutritional characterization presented a nutritious and healthy product option. It can be concluded that whole millet flour is an excellent option for the development of food products, especially gluten-free bread, with excellent characteristics to be presented as a new option for the market.

Keywords: cereal; flour; pearl millet; gluten free bread.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Planta, Panícula e Grãos de Milheto (<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br.)	18
Figura 2 – Estrutura do grão de milho (<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br.)	19
Figura 3 – Mercado global de cultivo de milho em 2021	20
Figura 4 – Principais utilizações de milho	21
Figura 5 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) contribuídos pelo Ano Internacional do Milho	25
Figura 6 – Escassez de água projetada para 2025	25
Figura 7 – Estruturas químicas de compostos fenólicos presentes no milho	34
Figura 8 – Produtos alimentícios industriais à base de milho	38
Figura 9 – Grãos de milho (à esquerda) e farinha integral de milho (à direita)	43
Figura 10 – Fluxograma do processamento dos pães sem glúten	54
Figura 11 – Pães sem glúten desenvolvidos com farinha integral de milho e sem	56
Figura 12 – Micrografia eletrônica de varredura da farinha integral de milho	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação nutricional aproximada de milheto (<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br.) com trigo, milho e arroz	26
Tabela 2 – Perfil de aminoácidos do milheto (<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br.) em comparação ao perfil de outros cereais	29
Tabela 3 – Composição de ácidos graxos do milheto (<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br.)	30
Tabela 4 – Teor de vitaminas do milheto (<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br.)	32
Tabela 5 – Teor de minerais do milheto (<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br.)	33
Tabela 6 – Formulações de pães sem glúten	53
Tabela 7 – Tamanho dos grãos de milheto (<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br.)	58
Tabela 8 – Composição centesimal da farinha integral de milheto	59
Tabela 9 – Conteúdo mineral da farinha integral do milheto	62
Tabela 10 – Prospeção fitoquímica na farinha integral de milheto	63
Tabela 11 – Teor de compostos bioativos da farinha integral de milheto	64
Tabela 12 – Propriedades funcionais da farinha integral de milheto	67
Tabela 13 – Capacidade de formação de gel da farinha integral de milheto	70
Tabela 14 – Determinação da cor da farinha integral de milheto	71
Tabela 15 – Perfil granulométrico da farinha integral de milheto	72
Tabela 16 – Resultado da avaliação de toxicidade da farinha integral de milheto em náuplios de <i>Artemia salina</i> Leach	74
Tabela 17 – Volume específico dos pães sem glúten	75
Tabela 18 – Análise de cor no miolo dos pães	77
Tabela 19 – Análise de perfil de textura	78
Tabela 20 – Parâmetros de perfil de textura	80

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. BR	18
2.1.1	<i>Origem, características botânicas e morfológicas</i>	18
2.1.2	<i>Importância Socioeconômica</i>	20
2.1.3	<i>Importância Nutricional</i>	26
2.1.3.1	<i>Carboidratos</i>	27
2.1.3.2	<i>Proteínas</i>	28
2.1.3.3	<i>Lipídios</i>	30
2.1.3.4	<i>Vitaminas e Minerais</i>	31
2.1.3.5	<i>Compostos bioativos</i>	33
2.1.4	<i>Fatores antinutricionais</i>	35
2.1.5	<i>Benefícios para a saúde</i>	36
2.1.6	<i>Usos e potencialidades</i>	38
2.2	<i>Alimentos sem glúten</i>	40
3	MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.1	<i>Matéria-prima</i>	42
3.2	<i>Padronização dos grãos de milho para produção de farinha integral</i>	42
3.3	<i>Caracterização físico-química da farinha integral de milho</i>	43
3.3.1	<i>Umidade</i>	43
3.3.2	<i>Determinação teor de nitrogênio</i>	43
3.3.3	<i>Determinação do Teor de Cinzas</i>	43
3.3.4	<i>Determinação de lipídios</i>	44
3.3.5	<i>Teores de fibra alimentar solúvel e insolúvel</i>	44
3.3.6	<i>Teores de carboidratos</i>	44
3.3.7	<i>Valor calórico</i>	44
3.3.8	<i>pH</i>	44
3.3.9	<i>Acidez total titulável</i>	45
3.4	<i>Perfil mineral</i>	45
3.5	<i>Prospecção fitoquímica qualitativa</i>	45
3.5.1	<i>Teste para taninos</i>	46
3.5.2	<i>Teste para antocianinas</i>	46

3.5.3	<i>Teste para esteróides e triterpenos (Reação de Lieberman-Burchard)</i>	46
3.5.4	<i>Teste para saponinas</i>	46
3.5.5	<i>Teste para alcalóides</i>	46
3.5.6	<i>Teste para cumarinas</i>	47
3.5.7	<i>Teste para antraquinonas</i>	47
3.5.8	<i>Teste heterosídeos digitálicos (Reação de Kedde)</i>	47
3.6	Determinação de compostos bioativos	47
3.6.1	<i>Fenólicos totais</i>	47
3.6.2	<i>Flavonoides totais</i>	48
3.6.3	<i>Determinação da capacidade antioxidante pelos métodos DPPH e ABTS+ ..</i>	48
3.7	Propriedades funcionais da farinha integral de milheto	49
3.7.1	<i>Índice de Absorção de Água (IAA) e Índice de Solubilidade em Água (ISA)</i> .	49
3.7.2	<i>Capacidade de Absorção de Água (CAA) e Capacidade de Absorção de Óleo (CAO)</i>	49
3.7.3	<i>Atividade Emulsificante (AE) e Estabilidade da Emulsão (EE)</i>	50
3.7.4	<i>Densidade aparente</i>	50
3.7.5	<i>Capacidade de Formação de Gel (CFG)</i>	51
3.8	Determinação de cor	51
3.9	Determinação granulométrica	51
3.10	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	52
3.11	Toxicidade em náuplios de Artemia salina	52
3.12	Elaboração de pães sem glúten e avaliações tecnológicas	53
3.12.1	<i>Elaboração de pães sem glúten</i>	53
3.12.2	<i>Volume específico</i>	56
3.12.3	<i>Avaliação de cor do miolo</i>	56
3.12.4	<i>Análise instrumental de textura</i>	57
3.13	Avaliação físico-química dos pães	57
3.14	Tratamento estatístico	57
4	RESULTADOS	58
4.1	Padronização dos grãos de milheto	58
4.2	Caracterização físico-química da farinha integral de milheto	58
4.3	Perfil mineral	61
4.4	Prospecção fitoquímica	63
4.5	Análise de compostos bioativos	64

4.6	Propriedades funcionais	66
4.7	Determinação de cor	70
4.8	Determinação granulométrica	71
4.9	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	73
4.10	Avaliação de toxicidade em náuplios de <i>Artemia salina</i> Leach	74
4.11	Características físicas e tecnológicas dos pães sem glúten	75
4.11.1	<i>Volume específico</i>	75
4.11.2	<i>Cor</i>	76
4.11.3	<i>Textura</i>	77
4.12	Caracterização nutricional dos pães sem glúten	79
5	CONCLUSÃO	82
	REFERÊNCIAS	83
	ANEXO A – ANOVA	96
	ANEXO B – FOTO DA EXICATA REGISTRADA NO HERBÁRIO	
	PRISCO BEZERRA	100

1 INTRODUÇÃO

Os cereais têm um papel significativo na dieta humana como fonte primária de energia, cerca de 50% do consumo total de calorias do mundo é derivado diretamente dos cereais (AWIKA, 2011). No geral, a produção em 2022 foi de 2.756 milhões de toneladas, sendo o Brasil o sexto maior produtor mundial (FAO, 2022).

Com a prevalência da insegurança alimentar em todo o mundo, associada ao aumento da população mundial (estimada em 9 bilhões até 2050), mudanças climáticas e escassez de água, há uma necessidade crescente de utilizar efetivamente substitutos de culturas sustentáveis de cereais para desenvolver alimentos nutritivos, acessíveis e saborosos para a população, afim de atender ao desafio para 815 milhões de pessoas no mundo, a fome (WORLD BANK, 2018).

A diversificação da produção de alimentos e a busca por matérias-primas subutilizadas e pouco conhecidas, muitas das quais são potencialmente valiosas como alimentos, tem sido intensificada para manter um equilíbrio entre o crescimento da população e da produtividade agrícola. O milheto pode ser considerado como uma fonte potencial de alimento alternativo para atender às necessidades dietéticas de uma população crescente (KUMAR *et al.*, 2018; YOUSAF *et al.*, 2021; DIAS-MARTINS *et al.*, 2018) e não pode ser ignorado para alcançar meios sustentáveis de segurança alimentar.

Milheto é um termo genérico que inclui várias espécies de pequenos grãos de forma redonda pertencentes à família de gramíneas *Poaceae*, como o milheto pérola (*Pennisetum glaucum*), milheto miúdo (*Eleusine coracana*), milheto kodo (*Paspalum setaceum*), milheto proso (*Penicum miliaceum*), milheto rabo de raposa (*Setaria italic*) e milheto pequeno (*Panicum sumatrense*). Considerado um importante cereal muito utilizada na alimentação humana na África e na Índia, sendo um dos grãos mais importantes cultivados nessas regiões do globo terrestre (FILHO, 2016; SELLADURAI *et al.*, 2022).

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, não distingue a produção das diferentes espécies de milheto, no entanto o milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), popularmente conhecida como pearl millet, milheto ou milheto-pérola, devido seus grãos terem coloração perolada, detém a maior participação em termos de volume de produção, fato que está relacionado ao seu rico valor nutricional, pois possui teor de ferro 8 vezes maior que o arroz. (TAYLOR, 2016). Além disso, nos últimos anos, sua produção ganhou um interesse considerável, devido à sua capacidade de resistir a condições de estresse hídrico e temperaturas elevadas, com alta sustentabilidade durante condições agroclimáticas

imprevisíveis (SELLADURAI *et al.*, 2022).

O milheto contém cerca de 5 a 12% de proteína, 2 a 6% de gordura, 56 a 72% de carboidratos e 12% de fibra alimentar (LEDER, 2004; SALEH *et al.*, 2013, SINGH, RAGHUVANSHI, 2012). São ricos em polifenóis, antioxidantes e fibras (SHAHIDI, CHANDRASEKARA, 2013). Possuem o menor índice glicêmico quando comparado a outros cereais, como arroz e trigo, e não possui glúten (ANNOR *et al.*, 2017). Os compostos bioativos do milheto podem induzir vários benefícios potenciais à saúde, como atividades antioxidantes e antimicrobianas, redução da taxa de absorção de gordura, reduzindo o risco de doenças cardíacas, diabetes e pressão alta (SINGH, SARITA, 2016). O teor de minerais no milheto varia de 1,7 a 4,3 g/100 g, maior do que os cereais básicos como trigo (1,5%) e arroz (0,6%) (KUMAR *et al.*, 2018). Também são uma alternativa alimentar para celíacos e indivíduos sensíveis ao glúten (SELLADURAI *et al.*, 2022).

Apesar dos inúmeros benefícios potenciais, esta cultura tem demanda comercial limitada, especialmente no Brasil, onde é utilizado para cultivo de cereais (cobertura vegetal) e alimentação animal (grãos e forragem) (FILHO, 2016). Embora o milheto não seja consumido na alimentação humana no Brasil, mundialmente estudos relataram seu consumo como suplemento alimentar para melhorar a segurança nutricional e os meios de subsistência (DIAS-MARTINS *et al.*, 2018; CORDELINO *et al.*, 2019, DURAIRAJ *et al.*, 2019), dessa maneira, este cereal pode ser considerado uma alternativa alimentar para consumo humano no Brasil devido à sua disponibilidade, aspectos nutricionais e também como fonte alimentar isenta de glúten.

Diante do exposto, este estudo visa enfatizar o importante potencial nutricional e tecnológico da farinha de milheto para consumo humano em produtos de panificação, despertando indústrias alimentícias e consumidores para seus benefícios, principalmente para os celíacos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.

2.1.1 Origem, características botânicas e morfológicas

O milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) é um cereal da família das gramíneas Poaceae, originado da grama selvagem da África Ocidental que foi domesticado há mais de 4.000 anos ao sul do Deserto do Saara, espalhando-se posteriormente para a África Oriental e a Índia, onde tem sido consumido desde os tempos pré-históricos (SHARMA *et al.*, 2021).

Gramínea anual de verão, de crescimento ereto, sistema radicular profundo e boa produção de massa verde em um curto ciclo de vida, cuja estatura do colmo é capaz de superar 3 m (Figura 1A), podendo atingir 1,5 m entre 50 e 55 dias após a emergência (FILHO, 2016). A inflorescência é uma espiga falsa, com o tamanho da panícula geralmente variando de 20 a 40 cm de comprimento e 3 a 5 cm de diâmetro, capazes de produzir entre 500 e 2.000 sementes. A panícula tem forma cilíndrica (Figura 1B), cuja formação de sementes pode ser vista cerca de uma semana após a fertilização. Suas sementes têm formato oval, semelhante a uma pérola e os grãos (Figura 1C) têm 3 a 4 mm de comprimento, podendo apresentar coloração cinza, branco, amarelo ou marrom (JUKANTI *et al.*, 2016).

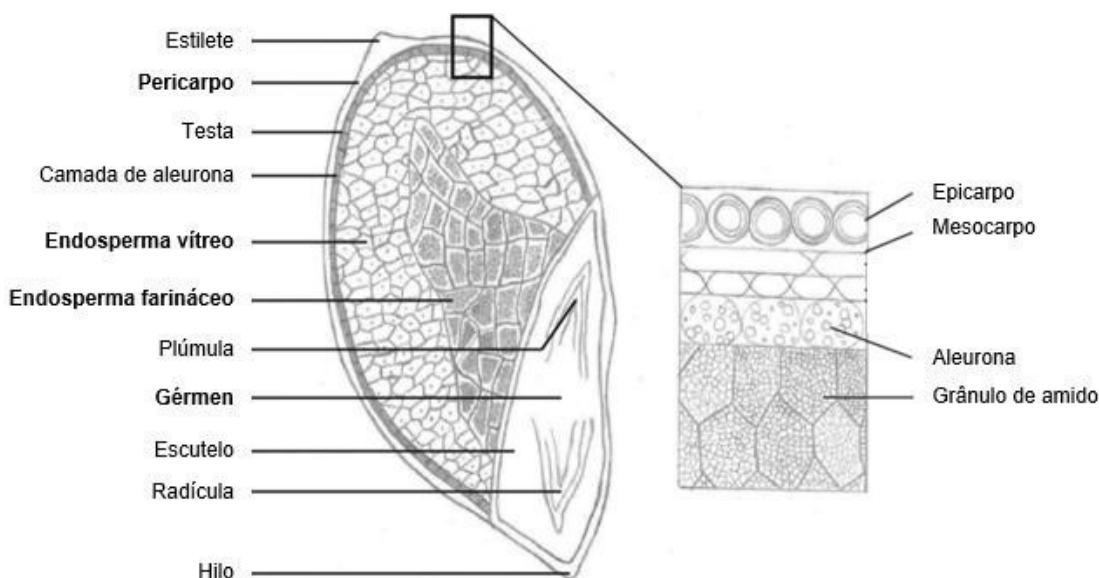
Figura 1 – Planta, Panícula e Grãos de Milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.).



Fonte: FILHO (2016), Figura 1A; RAO *et al.*, (2017), Figura 1B; Autor (2023), Figura 1C.

A estrutura do grão de milho é semelhante à de outros cereais, constituído pelo pericarpo (8,4%), germe (16,5%) e endosperma (75,1%) (KAJUNA, 2001) (Figura 2). O endosperma é considerado a maior parte do grão e atua como um tecido de armazenamento (HASSAN, SEBOLA, MABELELE, 2021).

Figura 2 – Estrutura do grão de milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.).



Fonte: Adaptado de HASSAN, SEBOLA, MABELEBELE (2021).

Uma característica reconhecida do milho é sua adaptabilidade a baixa fertilidade do solo, conteúdo limitado de água no solo, alta salinidade, faixas extremas de pH do solo, altas temperaturas e escassas chuvas. Essa boa adaptação se deve à sua capacidade de extração de nutrientes, face ao seu sistema radicular profundo e abundante, podendo atingir mais de dois metros de profundidade (FRANÇA, MIYAGI, 2012; SERBA, YADAV, 2016). Além disso, pode prosperar e produzir uma quantidade substancial de grãos em áreas propensas à seca que recebem precipitação média anual <250 mm, enquanto outras culturas de cereais, como milho, arroz, trigo e cevada, provavelmente não forneceriam retornos econômicos (NAMBIAR *et al.*, 2011).

Notavelmente, o atributo desta cultura de suportar temperaturas de até 42°C na fase produtiva, está relacionado ao seu eficiente sistema de fotossíntese, pois são cereais C4, favorecendo suas sementes amadurecer em apenas 6 a 8 semanas (GUPTA *et al.*, 2015). Plantas C4 absorvem mais dióxido de carbono da atmosfera e o convertem em oxigênio, tem alta eficiência no uso da água, requerem baixo consumo de energia e, portanto, são mais amigáveis ao meio ambiente (CHOUDHARY *et al.*, 2020).

2.1.2 Importância Socioeconômica

Globalmente, o milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) é a sexta cultura de cereais mais importante depois do arroz (*Oryza sativa*), trigo (*Triticum aestivum*), milho (*Zea mays*), cevada (*Hordeum vulgare*) e sorgo (*Sorghum bicolor*) (SATYAVATHI *et al.*, 2021). Uma considerável cultura de cereal nas regiões áridas e semiáridas do mundo (Figura 3), que atualmente é cultivado em mais de 30 milhões de hectares em todo o mundo, com a maior parte cultivada na África (>18 milhões de hectares) e na Ásia (>10 milhões de hectares), sendo a Índia o maior produtor, tanto em área (6,93 milhões de ha) quanto em produção (8,61T) (DIRECTORATE OF MILLETS DEVELOPMENT, 2020; RAHEEM *et al.*, 2021).

A introdução mais recente dessa cultura foi nos Estados Unidos, desde a década de 1850, e no Brasil, década de 1960 (NATIONAL INSTITUTE OF PLANT HEALTH MANAGEMENT, 2014).

Figura 3 – Mercado global de cultivo de milheto em 2021.

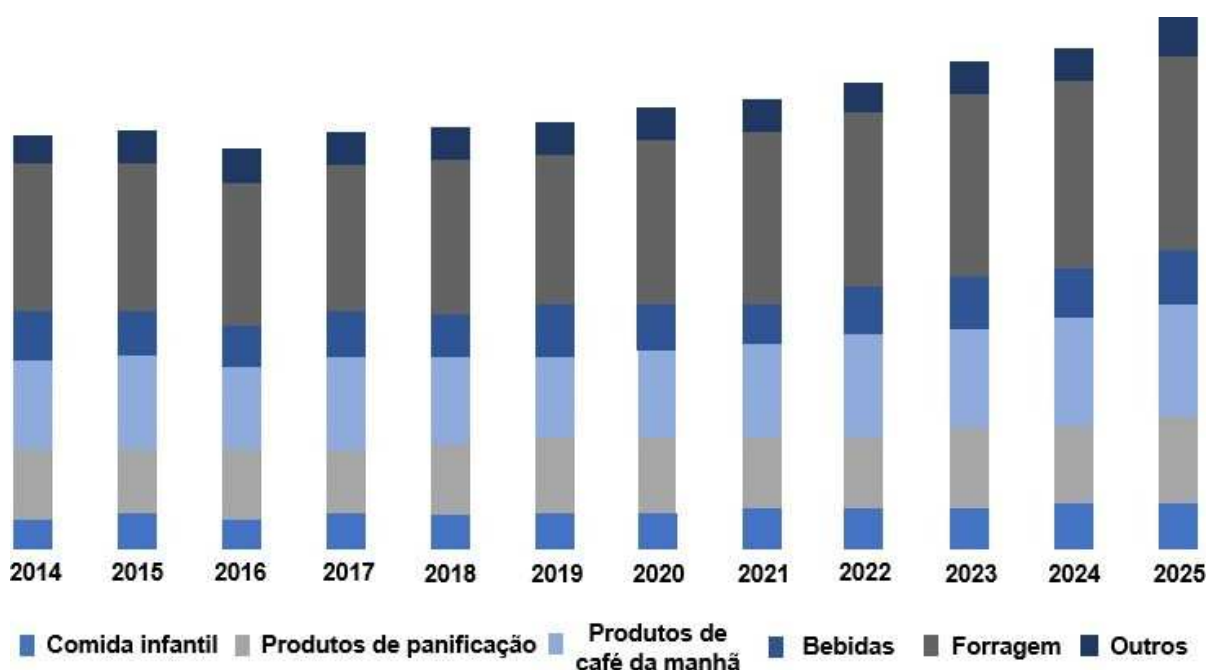


Fonte: Adaptado de MORDOR INTELLIGENCE, (2022).

Em função da tolerância à seca, assim como a adaptação a solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica, o milheto está muito presente no continente africano e asiático, onde é um alimento básico para 90 milhões de pessoas pobres (SRIVASTAVA *et al.*, 2020), já em países como o Estados Unidos e Brasil, o cereal é utilizado, principalmente, como cultura forrageira (MIRANDA, 2019), mas que pode fornecer múltiplas garantias na forma de alimentos, forragem, subsistência, nutrição, saúde e benefícios ecológicos, enquanto o trigo e o arroz fornecem apenas segurança alimentar, tornando-se assim uma cultura de segurança agrícola (FILHO, 2016).

A utilização de milho (Figura 4) está principalmente confinada aos países em desenvolvimento, onde o milho é utilizado basicamente para alimentação humana, embora note-se uma divisão, como ocorre com o milho e o sorgo, do tipo de utilização em função do desenvolvimento econômico de cada país e da disponibilidade de produtos alternativos para consumo humano. Estima-se que cerca de 80% do milho do mundo (e mais de 95% na Ásia e na África) é usado como alimento, sendo o restante dividido entre ração (7%), outros usos (sementes, cerveja, etc.) e resíduos. Um grande volume de milho produzido é cultivado e consumido localmente, a principal forma de utilização é como farinhas empregadas em diferentes tipos de preparações e de acordo com costumes locais, seguida da produção para fazer cerveja, comida infantil e produtos para café da manhã como, flocos e cereais (DUARTE, GARCIA, 2016).

Figura 4 – Principais utilizações de milho.



Fonte: Adaptado de AGRIEXCHANGE, (2023).

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) divulga dados da produção mundial de milho, contudo não apresenta dados da produção brasileira, e as fontes brasileiras tradicionais de dados de produção agrícola, a exemplo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), não apresentam informações sobre o cultivo de milho. Embora não haja dados oficiais de produção no Brasil, a área plantada estimada é de 5 milhões de hectares (DIAS- MARTINS *et al.*, 2018).

A cultura entrou no Brasil pelo estado do Rio Grande do Sul, expandindo por toda a região, atribui-se este fato à sua fácil instalação e à adaptação às condições desfavoráveis de cultivo, destacando-se: tolerância à seca, crescimento rápido e maior capacidade de ciclagem de nutrientes, alta produção de biomassa, boa adaptação a diferentes níveis de fertilidade, sistema radicular profundo e abundante, facilidade de mecanização, resistência a pragas e doenças, facilidade de produção de semente e aproveitamento para pecuária, decorrente da boa qualidade e da elevada produção de forragem. Nas regiões Sudeste e Centro-oeste, a cultura também tem múltiplos propósitos, como alimentação animal na forma de forragem, planta de cobertura e produção de grãos para ração. No Norte e Nordeste, principalmente, o seu uso predominante é como planta forrageira e, em algumas situações, também como planta de cobertura (DUARTE, GARCIA, 2016, MIRANDA, 2019).

Um dos principais impedimentos que tem restringido o aumento da produção de milho é o escasso apoio econômico e tecnológico fornecido (MACAULEY, RAMADJITA, 2015). Infelizmente, a estagnação na cadeia de valor impede que o mercado aproveite melhor essa oportunidade econômica. Uma demonstração disso pode ser vista no aumento constante da demanda pela quinoa “altamente nutritiva”, que não é tradicionalmente cultivada na Índia, mas está ganhando popularidade devido ao seu rótulo de superalimento e adoção por países ocidentais. Curiosamente, a quinoa tem um perfil nutricional semelhante ao do milho (RAGHAVAN, 2017), mas o mesmo está sendo negligenciado pelo mercado emergente devido à sua fraca cadeia de valor. Neste contexto, uma espécie de cultivo como o milho, pode desempenhar um papel crucial no atendimento das demandas de alimentos da crescente população mundial (SATYAVATHI *et al.*, 2021), tendo impacto socioeconômico, alimentar, de saúde e ambiental nas pessoas com poucos recursos do Brasil.

Os benefícios do milho se estendem ao impulso do desenvolvimento sustentável, à eliminação da fome, adaptação às mudanças climáticas, promoção da biodiversidade e transformação dos sistemas agroalimentares. Neste 2023, a ONU promove o Ano Internacional do Milho (IYM). O IYM 2023 é uma oportunidade para aumentar a conscientização e direcionar a atenção das políticas para as questões nutricionais e de benefícios do milho e sua adequação para o cultivo sob condições climáticas adversas e em mudança. É uma ocasião para promover a produção sustentável, ao mesmo tempo em que destaca seu potencial para criar um mercado sustentável de oportunidades para produtores e consumidores, dando visibilidade ao grupo de culturas de “grande potencial” para fortalecer nutrição global, segurança alimentar, empregos decentes e fortalecer economias em meio a esforços pela ação climática (ONU, 2023; FAO, 2023).

O IYM 2023 visa contribuir para a Agenda 2030 da ONU para o Desenvolvimento Sustentável (FAO, 2023), particularmente os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Figura 5) a seguir:

- **ODS 2 (Fome Zero):** A produção sustentável de milho pode combater a fome e contribuir para a segurança alimentar e nutricional. Em áreas áridas, o milho é muitas vezes a única cultura que pode ser colhida na estação seca e são uma parte crucial da cesta básica familiar. Milhos podem ajudar a superar a escassez de alimentos em períodos difíceis, contribuindo assim para a segurança alimentar e nutricional de populações vulneráveis. O milho pode crescer em solos muito pobres e férteis em condições de sequeiro e não se esgotam fortemente os nutrientes do solo. Ao fornecer cobertura de terra em áreas áridas, eles reduzem a degradação do solo e ajuda a apoiar a biodiversidade e a restauração sustentável da terra.
- **ODS 3 (Boa saúde e bem-estar):** Milhos podem ser uma parte importante de uma dieta saudável. São boas fontes de minerais, fibras alimentares, antioxidantes e proteínas. Com um baixo índice glicêmico, eles são uma boa opção para pessoas com alto nível de açúcar no sangue. Não contém glúten e são uma fonte excelente e econômica de ferro para dietas deficientes em ferro. Como grãos integrais, cada variedade de painço fornece diferentes quantidades e tipos de fibras. As fibras dietéticas tem um papel na regulação da função intestinal, açúcar no sangue, lipídios e saciedade.
- **ODS 8 (Trabalho decente e crescimento econômico):** O maior consumo de milho pode oferecer oportunidades aos pequenos agricultores para melhorar seus meios de subsistência. A produção de milho e a demanda por eles diminuíram à medida que outros cereais, como trigo, milho ou arroz tornou-se uma preferência alimentar. Ao promover o painço e reconquistar o mercado, fontes adicionais de receita podem ser criadas para pequenos produtores e no setor de alimentos, impulsionando o crescimento econômico. O milho foi uma das primeiras plantas a ser domesticado e, durante séculos, tem sido uma importante alimento para centenas de milhões de pessoas na África e Ásia. Eles estão profundamente enraizados na cultura e nas tradições dos povos e, portanto, uma cultura estratégica para garantir a segurança alimentar em áreas onde são culturalmente relevantes.

- **ODS 12 (Consumo responsável e produção):** O manuseio adequado do milho é fundamental para manter sua alta qualidade e benefícios nutricionais. A colheita oportuna garante a boa qualidade dos grãos, seguida pela debulha para remover os grãos dos talos. Os processos mecanizados controlados para a debulha de milho, em qualquer escala, são mais eficientes do que o descasque manual, pois reduzem as perdas por derramamento e fornecem grãos intactos que estão prontos para o mercado. Beneficiam-se os pequenos produtores e detentores da cadeia de abastecimento e consequentemente, de melhores rendimentos e trabalho penoso reduzido. O agroprocessamento inovador, especialmente na produção de alimentos nutritivos, pode visar tanto mercados tradicionais e não tradicionais, como consumidores jovens, urbanos, turistas etc. Agregação de valor pode levar à expansão do mercado e aumentar a segurança alimentar e nutricional e rendimentos para os pequenos agricultores. Maior comércio de milho pode melhorar a diversidade do sistema alimentar global. O Milho representa menos de 3% do comércio global de grãos. Com a necessidade de melhorar a resiliência do comércio global e sua capacidade de responder a mudanças repentinas no mercado de grãos alimentícios, é uma opção valiosa para aumentar a diversidade de produção e mitigar riscos relacionados a choques de produção. Estrutura de mercado e transparência, em relação a volumes e preços de milho, são elementos fundamentais para garantir estabilidade e sustentabilidade.
- **ODS 13 (Ação climática) e ODS 15 (Vida terrestre):** O cultivo sustentável de milho pode apoiar uma agricultura resiliente ao clima. O milho é muitas vezes referido como cultura resistente ao clima porque pode crescer em terras áridas com insumos e manutenção mínimos, são tolerantes ou resistentes a doenças e pragas e são mais resistentes aos choques climáticos do que outros cereais. Incluir e/ou expandir a produção de milho nos sistemas agrícolas nacionais pode apoiar a transformação para um sistema agroalimentar mais eficiente, inclusiva, resiliente e sustentável.

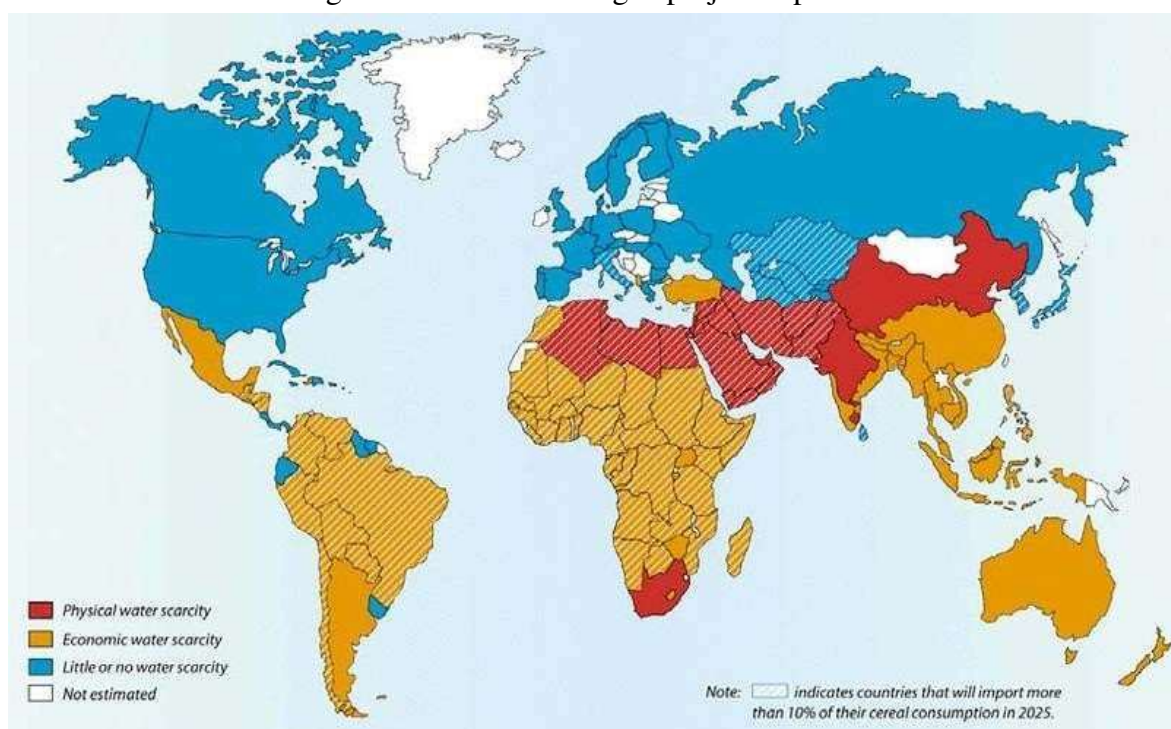
Figura 5 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) contribuídos pelo Ano Internacional do Milheto.



Fonte: FAO, (2023).

A agricultura responde por 70% do consumo total de água, maior na Ásia e África, onde a agricultura está no setor primário da economia. Entre as culturas agrícolas, o arroz e o trigo são alimentos básicos em grandes partes do globo. No entanto, eles são intensivos em água e provavelmente serão insustentáveis, pois os recursos de água doce estão se esgotando em todo o mundo (Figura 6) (MCGRANAHAN, 2002).

Figura 6 – Escassez de água projetada para 2025.



Fonte: MCGRANAHAN, (2002).

Espécies de cultivo dotadas de resiliência a vários efeitos adversos das mudanças climáticas, que requer quantidade mínima de água e com alto valor nutricional, o milho pode contribuir significativamente para a segurança alimentar e nutricional, especialmente nos países em desenvolvimento. Pode ser uma alternativa sustentável ao arroz e ao trigo, como um novo alimento básico. Estando cada vez mais reconhecido por seus altos níveis de resiliência aos efeitos das mudanças climáticas e altas propriedades nutricionais (KUMAR *et al.*, 2018; HASSAN, SEBOLA, MABELELE, 2021).

2.1.3 Importância Nutricional

A ingestão de todos os macros e micronutrientes essenciais através de uma alimentação equilibrada e diversificada em quantidades suficientes é fundamental para garantia da segurança nutricional. A insegurança nutricional é um grande desafio para a crescente população mundial, que depende principalmente de uma dieta à base de cereais (SATYAVATHI *et al.*, 2021).

O milho tem várias propriedades nutricionais em comparação com outros grãos de cereais básicos (Tabela 1), como o trigo, milho e arroz, tendo sido renomeado como “nutri-cereal” (Gazette of India, No. 133, 13 abril, 2018) dado à sua riqueza em nutrientes essenciais em boa quantidade e qualidade, com maior potencial para fornecer segurança nutricional (DIAS-MARTINS *et al.*, 2018; SATYAVATHI *et al.*, 2021). Devido a esses excelentes fatores, está ganhando popularidade em todo o mundo, incluindo países desenvolvidos.

Tabela 1 – Comparação nutricional aproximada de milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) com trigo, milho e arroz.

Parâmetro (%)	Milho	Trigo	Milho	Arroz
Carboidratos	69,1 ± 1,5	69,8 ± 1,6	75,6 ± 2,5	82,8 ± 7,5
Proteínas	11,4 ± 0,8	13,7 ± 1,4	9,3 ± 1,2	5,0 ± 1,4
Lipídios	4,8 ± 0,1	2,8 ± 0,1	3,3 ± 0,4	2,0 ± 1,0
Fibra alimentar	7,8 ± 0,5	13,1 ± 0,1	8,1 ± 0,4	3,5 ± 0,5
Cinzas	2,1 ± 0,2	1,6 ± 0,2	1,3 ± 0,3	0,9 ± 0,4

Fonte: Adaptado de KAJUNA, (2001) e RAMASHIA, MASHAU, ONIPE, (2021). Valores médios em 100g de grão.

Nutricionalmente, o milho é uma boa fonte de energia, proteína de qualidade (com perfil de aminoácidos essenciais), vitaminas, minerais (como ferro, zinco, cálcio, magnésio, fósforo), fibras brutas (incluindo amido resistente, fibras alimentares solúveis e insolúveis), antioxidantes e gordura com melhor digestibilidade do que outros cereais (GOSWAMI *et al.*, 2020). Além de possuir proteínas sem glúten, alto teor de fibras, baixo índice glicêmico e riqueza em compostos bioativos que contribuem na prevenção da deterioração da saúde humana (KANNAN *et al.*, 2013).

No geral, o milho tem a capacidade de combater a deficiência de micronutrientes nos países em desenvolvimento, uma vez que contribui com 30 a 40% dos nutrientes inorgânicos e fornece alimentos básicos acessíveis com um nível adequado de ferro e zinco em suas áreas de cultivo (ANURADHA *et al.*, 2017; SINGHAL *et al.*, 2018) desempenhando um papel vital na superação da desnutrição e garantir a segurança alimentar e nutricional. Além do mais, com a mudança no conceito de consumo alimentar que anteriormente, a ênfase era na sobrevivência e na satisfação da fome, atualmente há o incentivo no uso de alimentos que promova uma melhor saúde e bem-estar, como o milho que possui atividades anti-inflamatórias, diuréticas, anticancerígenas e anti-hipertensivas devido a presença de compostos bioativos (SINGH, SARITA, 2016; NITHIYANANTHAM *et al.*, 2019).

2.1.3.1 Carboidratos

Os carboidratos são os principais componentes do milho que incorporam o amido, seguido das fibras e açúcares solúveis. O teor médio de carboidratos nos grãos de milho (69,1%) é ligeiramente menor do que os outros grãos de cereais, como trigo, milho e arroz (Tabela 1). O amido é considerado um componente predominante do endosperma do milho, que compreende glicose na forma de amilose e amilopectina (HASSAN, SEBOLA, MABELELE, 2021). A maioria dos açúcares totais no milho compreende sacarose e rafinose (IGBETAR, BOSCH, ORFILA, 2018).

O milho é uma fonte rica de fibras, possui a maior quantidade de amido lentamente digerível e amido resistente que respondem por menor índice glicêmico (IG), e é muito preferido nos últimos tempos de transformação de dietas, hábitos alimentares e da indústria alimentícia (SATYAVATHI *et al.*, 2020).

Igbetar, Bosh e Orfila (2018) relataram um teor médio de 12,8% de fibras no milho. As fibras alimentares são classificadas em: (i) solúveis - digeridas lentamente no cólon e (ii) insolúveis (IDF) - metabolicamente inertes e auxiliam na evacuação (TOSH, YADA,

2010). Estudos in vitro das fibras do milho (principalmente arabinose e xilose) provaram que este amido resistente atua como prebiótico e, portanto, aumenta os benefícios para a saúde. O amido resistente também ajuda na produção de metabólitos desejáveis, como ácidos graxos de cadeia curta no cólon, especialmente o butirato, que ajuda a estabilizar a proliferação de células colônicas como um mecanismo preventivo para o câncer de cólon (SINGH, SARITA, 2016; KUMAR *et al.*, 2018). O conteúdo de amido resistente à digestão em grãos de milho é de 1,96%, enquanto outros cereais (trigo, cevada e centeio) contêm <1,0% AR (em base seca) (RAGAE, ABDEL-AAL, NOAMAN, 2006). Atua ainda como um alimento probiótico para a microflora presente em nosso corpo.

2.1.3.2 Proteínas

O segundo componente principal do milho é a proteína. O teor de proteínas no milho (11,4%) foi superior ao encontrado no arroz e milho, no entanto esse teor pode variar de 8 a 24%, considerando que o teor de proteínas dos cereais está diretamente relacionadas a fatores como: características genótípicas, teor de umidade do solo e uso de fertilizantes nitrogenados (FAO, 1995).

A qualidade das proteínas é em função dos aminoácidos essenciais disponíveis, e a composição de proteínas do milho é consideravelmente maior desses aminoácidos essenciais em comparação a outros cereais (DIAS-MARTINS *et al.*, 2018), conforme observado na Tabela 2.

A proteína do milho é enriquecida em aminoácidos essenciais como metionina, treonina, cisteína, valina e lisina (HASSAN, SEBOLA, MABELELE, 2021), e do total de aminoácidos presentes, 44,7% são aminoácidos essenciais (SINGH, MISHRA, MISHRA, 2012). Este conteúdo é superior aos 33,9% de aminoácidos essenciais necessários na proteína de referência da FAO (FAO, 1991).

A maioria dos cereais consumidos em todo o mundo tem perfis de aminoácidos semelhantes, exceto lisina, triptofano, tirosina, leucina e isoleucina (JUKANTI *et al.*, 2016). Uma gama mais ampla de lisina, um aminoácido essencial, foi relatada no milho (1,7–6,5 g/100 g de proteína) (MCDONOUGH *et al.*, 2000). O milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) é comparativamente equilibrado em seu conteúdo de aminoácidos essenciais porque contém mais lisina, treonina e valina do que outras variedades de milho (HASSAN, SEBOLA, MABELELE, 2021).

Tabela 2 – Perfil de aminoácidos do milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) em

comparação ao perfil de outros cereais.

Aminoácido	Milheto	Trigo	Milho	Arroz
Leucina	10,7	6,8	12,3	8,2
Isoleucina	4,4	3,3	3,6	4,1
Valina	4,9	4,3	5,1	5,8
Treonina	4,0	2,8	3,8	3,5
Arginina	4,6	4,9	4,9	8,7
Lisina	3,1	2,7	2,8	3,5
Metionina	1,1	1,7	2,1	2,4
Cisteína	1,5	2,0	1,8	1,8
Triptofano	1,4	1,3	0,7	1,2
Ácido glutâmico	23,0	32,8	18,8	18,4
Alanina	8,7	3,7	7,5	5,6
Prolina	5,8	15,7	8,7	4,7
Ácido aspártico	8,5	5,5	6,9	9,2
Fenilalanina	4,4	5,2	4,9	5,3
Tirosina	3,0	2,1	4,1	5,3
Histidina	2,3	2,7	3,0	2,5
Glicina	2,7	4,3	4,1	4,5
Serina	5,2	4,7	4,7	5,2

Fonte: DIAS-MARTINS *et al.*, (2018). (g/100g de proteína).

A composição de aminoácidos da proteína do milho apresenta níveis elevados de ácido glutâmico (23 g/100 g de proteína), que é um aminoácido não essencial conhecido por ser um neurotransmissor ou precursor do ácido γ -aminobutírico (GABA), que pode atuar na redução dos sintomas da menopausa, pois ele atenua a deficiência de estrogênio neste período (HAN *et al.*, 2015). Além disso, o GABA está associado a várias funções fisiológicas, nutricionais e de ingrediente alimentar (SHARMA, SAXENA, RIAR, 2018).

Além disso, o grão de milho é considerado semelhante ao milho em termos de distribuição de proteínas, particularmente devido as prolaminas reticuladas, levando a uma maior digestibilidade das proteínas. Esse alto nível de equilíbrio de aminoácidos essenciais aprova o milho como uma importante fonte de energia e proteínas para os seres humanos (SINGH *et al.*, 2018).

Ao comparar a digestibilidade entre os aminoácidos essenciais, verificou-se que os

seguintes apresentam maior digestibilidade no milheto do que no milho: arginina, treonina, valina, isoleucina e leucina (HASSAN, SEBOLA, MABELELE, 2021). A germinação e o descascamento das sementes também melhoraram a digestibilidade da proteína de 54% para 78% (HAG *et al.*, 2002). Por ser isento de glúten, é extremamente útil para pessoas que sofrem de doenças celíacas, geralmente alérgicas ao teor de glúten do trigo e de outros cereais (KUMAR *et al.*, 2020).

2.1.3.3 Lipídios

O teor de lipídios do grão de milheto (4,8%) é significativamente maior quando comparado com outros cereais como o do trigo, milho e arroz (tabela 1). Esse cereal contém ácidos graxos poliinsaturados (PUFA, ~50%), ácidos graxos monoinsaturados (MUFA, ~25%) e ácidos graxos saturados (~25%, SFA) (JUKANTI *et al.*, 2016), conforme observado na Tabela 3.

Tabela 3 – Composição de ácidos graxos do milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.).

Ácido Graxo	% lipídios ligados
Cáprico (C10:0)	0,7 – 3,4
Láurico (C12:0)	0,7 – 3,2
Tridecanóico (C13:0)	0,3 – 0,6
Mirístico (C14:0)	0,4 – 0,8
Pentadecanóico (C15:0)	0,3 – 1,3
Palmítico (C16:0)	21,0 – 23,2
Palmitoleico (C16:1)	0,8 – 1,4
Margaric (C17:0)	0,2 – 0,5
Esteárico (C18:0)	4,8 – 7,9
Oleico (C18:1)	16,6 – 19,5
Linoleico (C18:2)	26,6 – 32,3
Linolênico (C18:3)	1,9 – 3,3
Araquídico (C20:0)	5,1 – 7,8
Behênico (C22:0)	-
Lignocérico (C24:0)	5,0 – 8,0
Desconhecido	0,6 – 1,3

Fonte: JUKANTI *et al.*, (2016).

O milheto é uma boa fonte de ácidos graxos insaturados, como ácido linoleico

(C18:2), tipicamente 39–45%; ácido oleico (C18:1), 21–27%; e ácido palmítico (C16:0), 20–21%. (TAYLOR, 2016; ANNOR *et al.*, 2015). O teor de gordura no milho é estimado em cerca de 5–7% (GOPALAN, RAMA SASTRI, BALASUBRAMANIAN, 2003), em comparação com 3,21–7,71% no milho (ULLAH, ALI, FARROQI, 2010).

Os ácidos graxos saturados representam 25,6% do perfil de ácidos graxos totais do milho, enquanto os ácidos graxos insaturados representam 74,4%, como ácido oleico (25%), ácido linoleico (45%) e ácido linolênico (4%), que são considerados os melhores para saúde (DYALL, 2015; SINGH *et al.*, 2018). A composição de ácidos graxos (quantificação e tipo) presente no milho está diretamente relacionada às propriedades hipoglicemiantes desse cereal (ANNOR *et al.*, 2015). Além disso, o milho também é rico em ácidos graxos ômega- 6, o ácido graxo mais essencial responsável por diminuir o risco de doenças cardiovasculares e ácido fítico, considerados úteis na redução do colesterol e do fitato, o que, por sua vez, reduz o risco de câncer (OUATTARA-CHEIK *et al.*, 2006; SATYAVATHI *et al.*, 2021).

O teor elevado de lipídios no milho é originado do gérmen presente no grão (TAYLOR, EMMAMBUX, 2008). O alto teor lipídico pode promover efeitos negativos na estabilidade de produtos como as farinhas, pois os ácidos graxos insaturados são suscetíveis à oxidação (TIWARI, 2014).

2.1.3.4 Vitaminas e Minerais

O milho é uma boa fonte de vitaminas do complexo B, especialmente riboflavina, niacina e tiamina (WECKWERTH *et al.*, 2020), embora não contenha vitamina C (NAMBIAR *et al.*, 2011). Também é considerado fonte de vitamina E (2 mg/100 g) devido ao seu conteúdo substancial de lipídios, assim como fonte de vitamina A (TAYLOR, 2016). O milho não pode ser considerado uma boa fonte de β -caroteno, uma vez que fornece <0,3% da ingestão alimentar recomendada (JUKANTI *et al.*, 2016). O conteúdo das principais vitaminas do milho está apresentado na Tabela 4.

O teor de tiamina e niacina do milho é comparável ao do arroz e do trigo. O teor de riboflavina do milho é maior do que o dos cereais básicos, com 1,48 mg/100 g (KUMAR *et al.*, 2018). Essas vitaminas estão concentradas principalmente nas porções de gérmen e do pericarpo, enquanto o processamento dos grãos reduz seu conteúdo em ~50% (NAMBIAR *et al.*, 2011).

Tabela 4 – Teor de vitaminas no milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.)

Vitaminas (mg/100g)	Kumar <i>et al.</i> , (2018)	Ramashia, Mashau, Onipe (2021)	USDA, (2019)
Tiamina	0,30	0,59	0,42
Niacina	1,11	3,20	4,72
Riboflavina	1,48	0,25	0,29

Fonte: Kumar *et al.*, (2018); USDA, (2019); Ramashia, Mashau, Onipe (2021).

Fósforo (P) (~3,338 mg/kg), potássio (K) (~3,932 mg/kg) e magnésio (Mg) (~1,333 mg/kg) são os principais constituintes minerais do grão de milho e por isso são encontrados em quantidades maiores, mas também apresentam minerais como manganês (Mn), ferro (Fe), cobre (Cu), cálcio (Ca) e zinco (Zn), embora em menor quantidade (JUKANTI *et al.*, 2016; TAYLOR, 2016).

O milho tinha maior teor de Mg (1488 mg/kg) e K (2798 mg/kg) em comparação com o trigo (301,2 e 826,2 mg/kg) ou sorgo (187,7 e 239,9 mg/kg), embora menor do que cevada (4572 mg/kg) (RAGAE *et al.*, 2006). O teor de cálcio Ca no milho (~500 mg/kg) foi relatado como semelhante a outros cereais, mas a biodisponibilidade foi menor (27-32%) (RAHMAN *et al.*, 2005). O teor de ferro do milho é de 17,47 mg/100 g, apenas 10 mg abaixo do valor diário necessário, e do zinco ~43 mg/100 g. O milho é uma fonte rica de ferro, e seu consumo pode atender às necessidades de ferro de mulheres grávidas que sofrem de anemia, juntamente com o zinco desempenham um papel importante no aumento da imunidade (CHANDEL *et al.*, 2014).

O teor de minerais no milho varia de 1,7 a 4,3 g/100 g, o que é maior do que encontrado nos cereais básicos como trigo (1,5%) e arroz (0,6%) (KUMAR *et al.*, 2018). A incorporação de milho na dieta pode ajudar a erradicar as deficiências nutricionais nos países em desenvolvimento (SATYAVATHI *et al.*, 2021).

Entre os 26 principais fatores de risco para a doença estimados em nível global, a deficiência de Fe ocupa a nona posição e a deficiência de Zn cai a décima primeira. Esse problema é grave principalmente em países em desenvolvimento (EZZATI *et al.*, 2002). No Brasil, esse é um problema nutricional recorrente e que atinge, principalmente, crianças, mulheres em idade fértil e gestantes. A Pesquisa Nacional de Demografia e Saúde (PNDS) avalia a prevalência de anemia na população, dados da PNDS constataram que 20,9% das crianças menores de 5 anos apresentavam a doença, ou seja, aproximadamente 3 milhões de crianças brasileiras. A prevalência de anemia em mulheres no país também é elevada, cerca de 29,4% (BRASIL, 2022). Por outro lado, 50% da população mundial é afetada pela deficiência

de zinco (Zn), levando a diarreia, crescimento físico prejudicado e sistema imunológico suprimido (GIBSON *et al.*, 2008). Platel (2013) propôs o uso de farinha de painço como veículo para fortificação de ferro e zinco na Índia.

Os minerais e vitaminas são conhecidos como micronutrientes, pois são necessários em quantidades muito pequenas, e desempenham um papel importante na construção dos ossos, coagulação do sangue, envio e recepção de sinais, manutenção do batimento cardíaco normal, produção de energia celular, transporte de oxigênio, metabolização e síntese de gorduras e proteínas, atuam como coenzimas, fornecem imunidade ao corpo e ajudam o sistema nervoso a funcionar corretamente (SOETAN, OLAIYA, OYEWOLE, 2010).

A natureza do solo em que o grão é cultivado influencia diretamente na composição mineral (MARTÍNEZ-BALLESTA, 2010). O perfil mineral do milheto é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Teor de minerais no milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.)

Teor de minerais (mg/100g)	Hassan <i>et al.</i>, (2018)	Ramashia, Mashau, Onipe (2021)	USDA, (2019)
Fósforo	296	240	285
Potássio	307	220	195
Magnésio	137	100	114
Cálcio	42	10	8
Zinco	3,1	3,4	1,68
Ferro	8	4,8	3
Manganês	1,15	0,7	1,63

Fonte: Kumar *et al.*, (2018); USDA, (2019); Ramashia, Mashau, Onipe (2021).

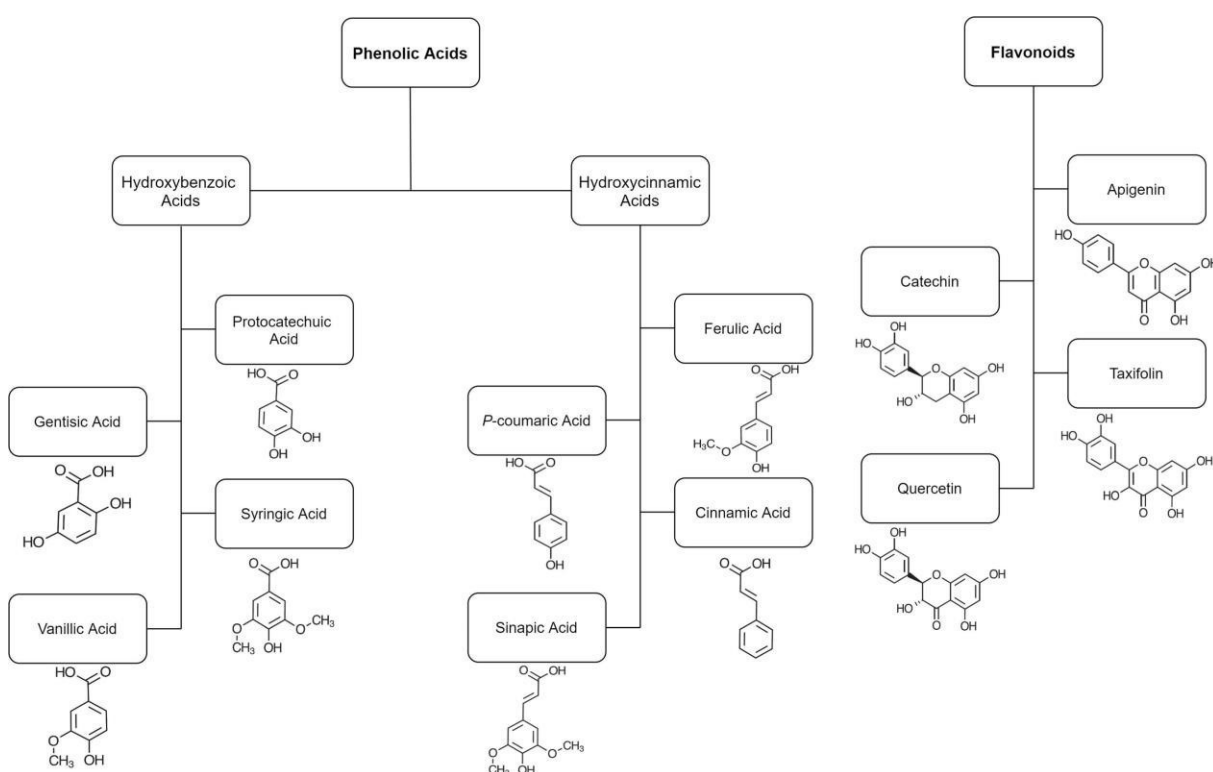
2.1.3.5 Compostos bioativos

O milheto é uma fonte rica de compostos bioativos como fenólicos (ácido fenólico ligado-ácido ferúlico, ácido fenólico livre-ácido protocatecúico), lignanas, β -glucana, inulina, amido resistente, fitatos, esteróis, tocoferol e carotenóides (CHANDRASEKARA, SHAHIDI, 2011; DEVI *et al.*, 2014). Esses compostos são produtos secundários do metabolismo vegetal que estão associados à indução de vários benefícios potenciais à saúde, como atividades antioxidantes e antimicrobianas (SINGH, SARITA, 2016). Além disso, o revestimento de uma semente de milheto, que contém fenóis, tem um efeito antibacteriano em *Bacillus cereus*

(VISWANATH, UROOJ, MALLESHI, 2009).

Em geral, os compostos fenólicos formam um grupo grande de compostos contendo o grupo funcional fenol como componente fundamental, estes podem ser classificados em ácidos fenólicos, flavonoides e taninos (Figura 7) (CHANDRASEKARA, SHAHIDI, 2010; KUMAR *et al.*, 2018). Os fenólicos não são distribuídos uniformemente no grão, são encontrados principalmente no pericarpo, por essa razão a forma mais benéfica de consumir o milho é como grão inteiro ou farinha integral (CHANDRASEKARA, SHAHIDI, 2011).

Figura 7 – Estruturas químicas de compostos fenólicos presentes no milho.



Fonte: YOUSAF *et al.*, (2021).

Ao comparar as quantidades de ácidos fenólicos com outros cereais, foi observado que o milho tinha 1478 µg/g, valor superior ao encontrado no centeio (1366 µg/g), cevada (1346 µg/g), trigo (1342 µg/g), sorgo (746 µg/g), milho (601 µg/g) e aveia (472 µg/g) (DYKES, ROONEY, 2007). Quanto a capacidade antioxidante de cinco grãos inteiros, trigo, milho, arroz, milho e sorgo, os grãos de milho tinham a maioria dos compostos fenólicos e a maior atividade antioxidante (PRAJAPATI *et al.*, 2013).

Os ácidos fenólicos das frações de moagem do milho (farinha integral, tegumento, 3%, 5% e 7%) também foram isolados e os extratos de metanol ácido do revestimento da semente até a farinha integral eram ricos em teor de polifenóis e mostraram-se estáveis por até

48 h em pH 4, 7 e 9 (VISWANATH, UROOJ, MALLESHI, 2009).

Os compostos fenólicos do milho são relatados como tendo efeitos antioxidantes, antimutagênicos, antiestrogênicos, anti-inflamatórios, antivirais e atividade inibidora da agregação plaquetária (DEVI *et al.*, 2014). O efeito benéfico dos fenólicos no diabetes se deve à inibição parcial da amilase e da α -glicosidase durante a hidrólise enzimática de carboidratos complexos e retarda a absorção de glicose, que em última análise controla os níveis de glicose no sangue pós-prandial (KUMAR *et al.*, 2018). Acredita-se que os ácidos ferúlico e p-cumárico, encontrados no milho inteiro, tenham a capacidade de reduzir as células tumorais (CHANDRASEKARA, SHAHIDI, 2011).

2.1.4 Fatores antinutricionais

Assim como outros cereais, o milho também está associado a certos inibidores nutricionais, como taninos, ácidos fílicos e inibidores enzimáticos, que afetam a qualidade nutricional geral do milho, inibindo a biodisponibilidade mineral e a digestibilidade do amido e das proteínas (OSMAN, 2011).

O conteúdo de fatores antinutricionais no milho é menor em comparação com outros cereais, no entanto, atuam como fatores limitantes no consumo de milho, embora seu conteúdo possa ser diminuído ou eliminado pelo processamento (moagem, cozimento e fervura) (JUKANTI *et al.*, 2016). Rousseau *et al.*, (2019), esclarecem que antinutrientes são compostos naturais ou sintéticos que interferem na liberação ou absorção de nutrientes, reduzindo assim sua bioacessibilidade e biodisponibilidade nos alimentos.

A qualidade nutricional do milho pode ser reduzida pela presença desses fatores, como polifenóis e ácido fítico, que interferem na biodisponibilidade mineral e inibem enzimas proteolíticas (que catalisam hidrólise de proteínas) e enzimas amilolíticas (envolvidas na degradação do amido), reduzindo a digestibilidade das proteínas e do amido (BONCOMPAGNI *et al.*, 2018).

O ácido fítico é um dos principais antinutrientes encontrado no milho. Trata-se de um antioxidante natural presente na maioria dos cereais, mas do ponto de vista nutricional, o alto consumo desses compostos pode levar à redução da biodisponibilidade de minerais, como zinco, cálcio e manganês, devido à capacidade quelante de minerais bivalentes (GUPTA, GANGOLIYA, SINGH, 2015). Além disso, pode promover a redução da digestibilidade da proteína inibindo a ação das enzimas proteases no trato digestivo. O teor de ácido fítico no milho variou entre 393–786,2 mg/100 g (ELYAS *et al.*, (2002).

Elyas *et al.*, (2002) relataram ainda a presença de taninos em milheto em 0,12%-0,24% expressos como equivalentes de catequina (CE). O milheto também contém ácidos gentísico (96,3 µg/mg), cumárico (268,2 µg/mg), ferúlico (679,7 µg/mg) e cinâmico (345,3 µg/mg) (DYKES, ROONEY, 2006). Acredita-se que os antinutrientes encontrados no milheto variem sob diferentes condições ambientais, conforme observado por Shibairo *et al.*, (2014).

Assim, sugere-se que os grãos de milheto sejam submetidos a processamento promovendo a redução de fatores antinutricionais para o consumo seguro do grão. Várias técnicas (descorticação, malteação, fermentação, torrefação, floculação e moagem) têm sido usadas para melhorar a qualidade nutricional do milheto (SALEH *et al.*, 2013).

2.1.5 Benefícios para a saúde

A presença de certos nutrientes no milheto leva a um duplo benefício de nutrição e cura, pois fornece fibras dietéticas, proteínas, energia, minerais, vitaminas e antioxidantes necessários para a saúde humana (ANNOR *et al.*, 2015). Vários benefícios potenciais para a saúde, como prevenção de câncer e doenças cardiovasculares, redução da incidência de tumores, redução dos índices glicêmicos, redução da pressão arterial, risco de doenças cardíacas, colesterol e taxa de absorção de gordura, retardo do esvaziamento gástrico e fornecimento de volume gastrointestinal foram relatados no milheto (CHANDRASEKARA, SHAHIDI, 2011; SALEH *et al.*, 2013; DIAS-MARTINS *et al.*, 2018; HASSAN, SEBOLA, MABELELE, 2021; JUKANTI *et al.*, 2016; SINGH, SARITA, 2016).

O milheto é excepcionalmente útil para pessoas que sofrem de doenças como diabetes, obesidade, doença cardíaca, aterosclerose e doenças metabólicas devido às suas propriedades benéficas para a saúde (KUMAR *et al.*, 2018; ANITHA *et al.*, 2021a).

Observou-se que o consumo de alimentos à base de milheto por um período variando de 21 dias a 4 meses teve efeito redutor significativo nos níveis de Colesterol total, triacilglicerol e LDL-C (lipoproteína de baixa densidade – colesterol ruim). O consumo do milheto era na forma de biscoito, mingau, pãezinhos cozidos com água (semelhante ao arroz), pão sírio e bolinho de massa. A quantidade de milheto fornecida aos grupos variou de 50 a 200 g (base de peso seco) em uma refeição ou dividida em duas refeições por dia (ANITHA *et al.*, 2021a).

Uma revisão sistemática recente sobre os efeitos do milheto no gerenciamento e redução do risco de desenvolver diabetes tipo 2 mostrou que o milheto tem efeitos benéficos sobre o diabetes, fornecendo refeições com baixo índice glicêmico, reduzindo os níveis de

glicose no sangue em jejum e pós-prandial, bem como o nível de hemoglobina glicada (ANITHA *et al.*, 2021b). Estudos também mostraram que o consumo de alimentos à base de milho causava saciedade, que se deve ao tempo de esvaziamento gástrico mais lento e ao alto teor de fibras do milho, que ajuda a retardar o movimento dos alimentos do estômago para os intestinos. Isso leva a intervalos alimentares mais longos, o que, por sua vez, previne a obesidade (LONGVAH *et al.*, 2017; ALYAMI *et al.*, 2019). Segundo Annor *et al.*, (2017), os grãos de milho possuem maior amido de digestão lenta do que outros cereais.

Estudos mostraram que a pressão arterial diastólica média em 320 indivíduos foi ligeiramente maior ($86,9 \pm 1,8$ mmHg) do que o normal (<80 mmHg) no início da intervenção, que posteriormente diminuiu 5% (de $86,9 \pm 1,8$ para $82,7 \pm 1,3$ mmHg), juntamente com uma diminuição nos lipídios, após consumir uma dieta à base de milho por 3 meses em comparação com uma dieta regular à base de arroz/trigo. Isso sugere que o consumo de uma dieta à base de milho e a diversificação de alimentos básicos com milho ajudarão a reduzir o risco de hipertensão e doenças cardiovasculares associadas (SINGH *et al.*, 2020; VEDAMANICKAM *et al.*, 2020).

Extratos solúveis de milho contêm flavonoides como quercetina, luteolina, vitexina, isovitexina e apigenina que podem ser usados como potenciais agentes quimiopreventivos na prevenção da carcinogênese (CHANDRASEKARA, SHAHIDI, 2013). O milho é conhecido por ser rico em ácidos fenólicos, taninos e fitato que atuam como “antinutrientes”, no entanto, foi estabelecido que esses antinutrientes reduzem o risco de câncer de cólon e mama em animais. Também foi relatado que as populações que consomem sorgo e milho têm menor incidência de câncer de esôfago do que aquelas que consomem trigo ou milho. Além disso, os fenólicos do milho podem ser eficazes na prevenção do início e progressão do câncer *in vitro* (CHANDRASEKARA, SHAHIDI, 2011).

O excesso de acidez no estômago após o consumo de alimentos é a explicação mais importante para úlceras estomacais, o milho é sugerido para o tratamento de úlceras estomacais, porque é um dos poucos grãos que alcaliniza o estômago e previne úlceras estomacais ou diminui o efeito das úlceras (TAYLOR *et al.*, 2014).

Os grãos de milho são naturalmente isentos de glúten, uma vantagem considerando que a ingestão da proteína do glúten, particularmente encontrada no trigo, pode promover diversos distúrbios metabólicos em determinados indivíduos, causando alergias, intolerâncias, doenças autoimunes e permeabilidade intestinal (SELLADURAI *et al.*, 2022).

2.1.6 Usos e potencialidades

Atualmente, o milheto não é colocado como uma mercadoria na cesta alimentar brasileira, embora, em muitos países africanos e asiáticos, o milheto sirva como um importante componente alimentar. Produtos à base de milheto, como farinha, flocos, biscoitos, massas, pães, etc., são cada vez mais visíveis no mercado consumidor, principalmente nos EUA, Europa e Ásia-Pacífico (SATYAVATHI *et al.*, 2021) (Figura 8). O milheto está ganhando destaque na Europa e na América do Norte devido às suas propriedades sem glúten e hipoglicemiantes, ideais também para a população vegetariana e vegana. Em 2021, a *Slurrp Farm*, uma marca de alimentos infantis, foi pioneira em trazer de volta o milheto supergrão em toda a Índia e, mais recentemente, nos Emirados Árabes Unidos. A *Wholesome Foods*, empresa controladora da *Slurrp Farm*, levantou recentemente US\$ 7 milhões em uma nova rodada de financiamento. Este fundo permite que a *Slurrp Farm*, intensifique a inovação de produtos e as atividades de marketing e aumente sua presença global (MORDON INTELLIGENCE, 2022).

Figura 8 – Produtos alimentícios industriais à base de milheto.



Fonte: BLISSTREE, (2023). A – Farinha de milheto, B – Mingau, C – Biscoitos.

Antes do consumo e para a preparação de alimentos, os grãos de milheto são geralmente processados por técnicas de processamento tradicionais comumente usadas, incluindo decorticação, fermentação, torrefação, descamação e moagem para melhorar suas propriedades comestíveis, nutricionais e sensoriais, embora, os métodos industriais de processamento de milheto não são tão bem desenvolvidos quanto os métodos usados para processamento de trigo e arroz (DIAS-MARTINS *et al.*, 2018). Portanto, com estratégias de valor agregado e tecnologias de processamento apropriadas, o milheto pode encontrar um lugar na preparação de vários produtos alimentícios saudáveis e de valor agregado, o que pode

resultar em alta demanda de grandes populações urbanas e usuários não tradicionais.

O milho é usado em diferentes formas em nível global. Diversos produtos alimentícios processados são preparados a partir da farinha de milho. Alimentos tradicionais como mingau ou pão achatado e não fermentado (chapatti) são exemplos, além desses, o milho também é uma boa matéria-prima para a indústria de panificação. Os biscoitos de milho produzidos apresentam características de textura, semelhantes aos feitos com farinha de trigo. Diferentes tipos de biscoitos e bolos com boas qualidades sensoriais estão sendo produzidos a partir de farinha de milho. A farinha de milho também é usada para preparar diferentes tipos de bebidas alcoólicas e não alcoólicas (YADAV *et al.*, 2012; JUKANTI *et al.*, 2016). Sua farinha pode substituir (10-20%) a farinha de trigo em pães “integrais”, pretzels, crackers, tortilhas e cereais secos e cremosos (SATYAVATHI *et al.*, 2021). Pão produzido com farinha de milho, feijão, junça e goma xantana foi uma alternativa viável para substituir 100% a farinha de trigo na produção de pães (AWOLU, 2017).

É consumido como mingau na Rússia, Polônia e China. Uma panqueca fina feita de milho moído é famosa no Sudão. No Senegal, a farinha é consumida como mingau com vegetais misturados e um molho de carne. No Paquistão, é consumido na forma de chapatti. Cozido a vapor “Couscous” é mais comum em países como Mali e Guiné. Na Nigéria, é usado para fazer um bolo frito chamado masa (YOUSAF *et al.*, 2021; SATYAVATHI *et al.*, 2021). Fermentados preparados por cozimento (assados e cozidos no vapor) são cafés da manhã muito famosos na Índia, e pode ser um substituto completo do arroz (KULKARNI, SAKHALE, GIRI, 2018). Estourado misturado em uma porção com trigo, amaranto, linhaça, sementes de girassol, mel, açúcar, óleo e água para desenvolver um cereal matinal saudável pronto para comer, com atributos sensoriais altamente aceitáveis (KUMARI *et al.*, 2019).

Embora o consumo desse milho tenha aumentado nos últimos anos, o foco no processamento e na agregação de valor desses grãos ainda permanece baixo devido à falta de conhecimento sobre seus benefícios e potencialidades, para tanto é necessário aumentar a demanda do mercado e a aceitabilidade dos produtos no mercado global (SELLADURAI *et al.*, 2022).

2.2 Alimentos sem glúten

Prevê-se que o mercado global de consumo de produtos sem glúten se expanda a uma taxa de 7,6% ao ano de 2020 a 2027 (FAJARDO *et al.*, 2020). Além da população sensível ao glúten, os alimentos sem glúten também são consumidos pela população sem quaisquer distúrbios relacionados ao glúten devido a crença pública em considerar os produtos sem glúten mais saudáveis e como um meio de melhorar a saúde geral (EL- KHOURY, BALFOUR-DUCHARME, JOYE, 2018).

Os pacientes diagnosticados com doença celíaca (DC) representam 1% da população mundial, onde o único tratamento para pacientes com DC é a adesão estrita a uma dieta isenta de glúten por toda a vida, pois a reexposição pode reativar a doença, mesmo depois de muitos anos (KOEHLER, WIESER, KONITZER, 2014).

O milheto é um cereal desprovido de glúten recomendado para uma dieta alternativa para pessoas com intolerância ao glúten e desafios relacionados à doença celíaca (ADIAMO, FAWALE, OLAWOYE, 2018). Embora numerosos produtos sem glúten tenham sido feitos a partir de diferentes cereais, a busca por novos ingredientes e intervenções tecnológicas para melhorar a qualidade são processos contínuos (SELLADURAI *et al.*, 2022). O milheto é especialmente adequado para desenvolver produtos para celíacos, que é um distúrbio crônico de má absorção do intestino delgado causado pela exposição ao glúten (presente em cereais como trigo, cevada e centeio) em indivíduos geneticamente predispostos (RAI, KAUR, CHOPRA, 2018).

A proteína do glúten é um componente essencial que fornece viscoelasticidade e estrutura a produtos à base de trigo, como massas, pães e biscoitos. A ausência de glúten impacta múltiplas dimensões sensoriais de um produto, incluindo textura, aparência e sabor, levando a uma percepção negativa do consumidor, portanto, juntamente com o milheto ingredientes adicionais como hidrocolóides, enzimas, amidos e emulsificantes são rotineiramente usados para melhorar a estabilidade do processamento na ausência de glúten (BALAKRISHNAN, SCHNEIDER, 2022).

Um estudo de Moss e McSweeney (2021) examinou a aceitabilidade sensorial e do consumidor de pão sem glúten preparado com semente de chia, quinoa e milheto, em comparação com aqueles preparados com farinha de arroz integral. Seu estudo indicou que o uso de milheto em proporções menores (25% da formulação) levou a um gosto do consumidor comparável ao pão de farinha de arroz integral. Produtos sem glúten são fontes pobres de minerais (como ferro), vitaminas (como folato, tiamina, niacina e riboflavina) e fibras, portanto,

o conteúdo nutricional dos alimentos sem glúten é uma área de preocupação crescente (RAI, KAUR, CHOPRA, 2018), dessa forma, o uso de milho na formulação de produtos sem glúten precisa ser direcionado e explorado globalmente.

No entanto, é preciso ter clareza que a dieta sem glúten possui caráter complexo e restritivo, além de possuir um custo financeiro muito elevado, quando comparado ao que se considera uma dieta convencional. O valor nutricional dos produtos alimentícios sem glúten costuma ser também uma limitação enfrentada por indivíduos com intolerância. Comumente, os alimentos sem glúten são desenvolvidos a partir de farinhas refinadas e amidos, que não são enriquecidos ou fortificados e, portanto, não possuem a mesma quantidade de nutrientes disponíveis em alimentos correspondentes que contêm glúten (GALLAGHER, 2009).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Estudo prospectivo, de cunho exploratório descritivo e experimental, qualitativo e quantitativo (MARCONI, LAKATOS, 2019). Realizado na cidade de Fortaleza, CE, no Laboratório de Cereais, Raízes e Tubérculos (LABCERT), do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará (UFC); Laboratório de Produtos Naturais do Horto de Plantas Medicinais Prof. Francisco José de Abreu Matos da UFC, Laboratório Físico-química de Alimentos do Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC) e Laboratório de Frutos e Hortaliças da UFC.

A atividade de acesso ao Patrimônio Genético/CTA, foi cadastrada no SisGen, em atendimento ao previsto na Lei nº 13.123/2015 e seus regulamentos sob o Nº A7F154A.

3.1 Matéria-prima

Grãos de milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br) cultivar ADR 300 colhidos em 2020 foram doados por produtores da Cidade de Balsas - Maranhão. A cultivar ADR 300 é geralmente cultivada na região Nordeste devido as melhorias agronômicas, enquanto outras cultivares são melhores adaptadas a região Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

Após a colheita, os grãos foram armazenados em sacos de juta e então transportados para o laboratório, realizou-se inspeção visual quanto a hastes, objetos estranhos, pedras e grãos defeituosos. Os grãos foram limpos manualmente, armazenados em recipientes herméticos de polietileno em ambiente fresco e ventilado até o processamento.

Além disso, foram coletados colmo, folhas, raízes e panícula, e tais produtos foram enviados ao Herbário Prisco Bezerra da Universidade Federal do Ceará, para identificação e catalogação da exsicata. Seu exemplar está catalogado sob o número da exsicata EAC 64623.

3.2 Padronização dos grãos de milho para produção de farinha integral

Os grãos foram secos em estufa ventilada a 30°C por 3h até atingir teor de umidade de 11%, seguindo orientação de Rani *et al.*, (2018) afim de melhorar a manutenção da qualidade da farinha integral de milho.

O tamanho dos grãos foi medido pesando 100 g em peneiras previamente pesadas de aço inox com as seguintes malhas 2,30 mm, 2,00 mm, 1,80 mm, 1,60 mm e 1,40 mm montado em um agitador GRANOSICHTER MOD CGL 6/20 por 10 min. O peso das amostras

retidas por cada peneira foi registrado e expresso como % de retenção. Em seguida, os grãos foram moídos em um moinho de martelos LM3100 (Perten Instruments, Huddinge, Suécia) equipado com uma malha de 0,8 mm. A farinha resultante foi acondicionada em embalagens de polietileno até posterior análise. A figura 9 apresenta os grãos e a farinha de milho obtida.

Figura 9 – Grãos de milho (à esquerda) e farinha integral de milho (à direita).



Fonte: Autor (2022).

3.3 Caracterização físico-química da farinha integral de milho

3.3.1 Umidade

Estabelecida por meio do teor de umidade determinado em estufa a 105°C até peso constante, seguindo as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

3.3.2 Determinação teor de nitrogênio

Determinado pelo método de micro-Kjeldahl descrito pela AOAC (2010), utilizando o valor de 6,25 como fator de conversão em proteína bruta.

3.3.3 Determinação do Teor de Cinzas

Determinadas através da calcinação de 1 g da amostra por 5 h, em mufla a 550 °C e o teor final de cinzas foi dado em porcentagem pela relação massa das cinzas/massa da amostra, segundo a metodologia da AOAC (2010).

3.3.4 Determinação de lipídios

Determinado utilizando-se 5 g da amostra, extraídos em aparelho Soxhlet, utilizando hexano como solvente extrator, conforme descrito por (IAL, 2008).

3.3.5 Teores de fibra alimentar solúvel e insolúvel

As frações insolúveis e solúveis da fibra dietética alimentar foram determinadas de acordo com o método 991.43 da AOAC (2010), utilizando analisador automático de fibra alimentar total (TDF) da ANKON (ANKON Technology Corporation). A fibra alimentar total foi obtida pela soma das frações insolúvel e solúvel, conforme método.

3.3.6 Teores de carboidratos

Determinados pelo cálculo da diferença entre 100 gramas de amostra e a soma total dos valores encontrados para proteínas, lipídios, umidade e cinzas, conforme metodologia descrita por AOAC (2010).

3.3.7 Valor calórico

O valor calórico da porção de 100 gramas das amostras foi calculado de acordo com a tabela de composição de alimentos (BRASIL, 2011). Utilizou fatores de conversão de Atwater: 4 kcal/g (carboidratos), 9 kcal/g (lipídios) e 4 kcal/g (proteínas).

3.3.8 pH

Determinado utilizando pHmetro calibrado a cada utilização com soluções tampão de pH 7,0 e 4,0, de acordo com AOAC (2010), e a amostra diluída em água destilada (1:10).

3.3.9 Acidez total titulável

Determinada por titulação de 1 g da amostra diluída em 50 mL de água destilada, com solução de NaOH 0,1 N padronizada, usando como indicador solução de fenolftaleína 1% diluída em etanol, conforme descrito pelo IAL (2008).

3.4 Perfil Mineral

Foram pesadas 200 mg (0,2 g) da amostra em tubo de digestão e adicionados 5 mL da solução digestora (solução nitro-perclórica, 2:1). Os tubos foram colocados em bloco digestor por cerca de duas horas até atingir 200°C. Após a digestão, os extratos apresentaram-se transparentes e límpidos e com um volume aproximado de 2 mL.

Fósforo (P) – foi realizada por colorimetria, segundo método descrito por Silva & Queiroz (2002).

Potássio (K) e Sódio (Na) – Após a etapa da digestão, o extrato foi avolumado com água destilada até 20 mL. Ocorreu a homogeneização, foi realizada a retirada de 2 mL de extrato e transferida para tubo de ensaio com 2 mL de água destilada, a leitura foi realizada diretamente em espectrofotômetro de chama, marca Micronal, modelo 906 AA.

Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) – Após a etapa da digestão, o extrato foi avolumado com água destilada até 20 mL e homogeneizado. Foi aliquoteado 800 µL do extrato e transferido para um tubo de ensaio, onde foram adicionados 7 mL de lantânio e 6,2 mL de água destilada, depois foi homogeneizado e a leitura foi prosseguida no espectro de absorbância atômica, marca GBC, modelo B462, selecionando previamente o elemento a ser analisado no software do equipamento.

Ferro (Fe), Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Cobre (Cu) – Após a etapa da digestão, o extrato foi avolumado com água destilada até 20 mL. Em seguida foi homogeneizado e a leitura foi feita no espectrofotômetro de absorção atômica, marca GBC, modelo B462, selecionando previamente o comprimento de onda específico de cada elemento a ser analisado no software do equipamento.

3.5 Prospecção fitoquímica qualitativa

Realizada em triplicata seguindo metodologia descrita em Matos (2009).

3.5.1 Teste para taninos

Para identificação dos taninos utilizou-se 3 mL de extrato aquoso e 3 gotas de solução alcoólica de cloreto férrico (FeCl_3). Agitou e observou qualquer variação de cor ou formação de precipitado. Coloração/ Precipitado escuro de tonalidade azul indicou a presença de taninos hidrolisáveis ou pirogálicos, verde indicou a presença de taninos condensados ou catéquicos, e cinza indicou mistura de classes químicas, também chamado de taninos totais.

3.5.2 Teste para antocianinas

Para identificação de antocianinas utilizou-se 3 mL de extrato hidroalcoólico promovendo alteração de pH usando ácidos e bases, acompanhado por fita de pH. Mudanças drásticas de coloração foi indicativo de presença de antocianinas (Azul em $\text{pH} > 12$; Vermelho em $\text{pH} < 4$).

3.5.3 Teste para esteróides e triterpenos (Reação de Lieberman-Burchard)

Para identificação de esteróides e triterpenos utilizou-se 3 mL de extrato etéreo ou clorofórmico, adicionou 1 mL de anidrido acético e 1 mL de ácido sulfúrico (sem agitar para não haver projeção do líquido). Coloração azul ou verde foi indicativo da presença de esteróides livre (núcleo esteroidal), e coloração vermelha, rosa, púrpura violeta ou castanho, presença de triterpenoides pentacíclicos livres (triterpenos).

3.5.4 Teste para saponinas

Para identificação de saponinas e triterpenos utilizou-se 3 mL de extrato aquoso, agitou o tubo de ensaio vigorosamente por dois ou três minutos. A persistência e estabilidade da espuma por mais de 15 minutos indicou a presença de heterósides saponínicos (saponinas).

3.5.5 Teste para alcalóides

Para identificação de alcalóides utilizou-se 6 tubos de ensaio contendo em cada 2 mL de extrato aquoso ácido (1%) e adicionou a cada um dos tubos, respectivamente, cinco gotas de um reagente de precipitação para alcalóides, sendo eles: Dragendorff, Bertrand, Hager,

Mayer, Bouchardat e Sonnenshein. O aparecimento de precipitado ou turvação em mais de 3 tubos foi indicativo de presença de alcalóides.

3.5.6 Teste para cumarinas

Para identificação de cumarinas utilizou-se extrato hidroalcólico. Fez-se uma mancha do extrato em papel filtro e uma mancha do padrão de cumarina (a fim de comparação). Embebeu-se o papel filtro em solução de KOH 10% e verificou a fluorescência expondo o papel filtro à ação da luz UV por cerca de dois a três minutos. O aparecimento de fluorescência verde-amarelada ou amarela indicou presença de cumarina.

3.5.7 Teste para antraquinonas

Para identificação de antraquinonas utilizou-se 3 mL de extrato clorofórmico e adicionou 2 mL de solução de hidróxido de amônio (NH_4OH). O aparecimento de coloração rósea ou avermelhada na fase aquosa indicou a presença de antraquinonas.

3.5.8 Teste heterosídeos digitálicos (Reação de Kedde)

Para identificação de antraquinonas utilizou-se 3 mL de extrato clorofórmico e adicionou 2 ml do reativo de Kedde (solução metanólica a 2% de ácido 3,5-dinitrobenzóico) e 3 ml de solução de KOH metanólico (ou etanólico) 1N. Coloração castanho avermelhado a vermelho-violeta indicou presença de heterosídeos digitálicos.

3.6 Determinação de compostos bioativos

3.6.1 Fenólicos totais

A determinação do teor de fenólicos totais seguiu a metodologia descrita por Swain e Hills (1959). Inicialmente as amostras foram solubilizadas em água destilada. Das soluções preparadas foram retiradas uma alíquota de 0,5 mL e transferidos para tubos de ensaio, adicionado 8 mL de água destilada e 0,5 mL do reagente Folin Ciocalteau 20% (v:v). Em seguida, a solução foi homogeneizada em agitador tipo vórtex, e após 3 min, foi acrescido 1 mL de solução de carbonato de sódio (Na_2CO_3) a 20% (m:v). Após 1h em banho maria a 37°C,

foram realizadas as leituras das densidades óticas dessa solução em espectrofotômetro à 720 nm. Utilizou como padrão de referência o ácido gálico (Sigma®), para construção da curva de calibração. A partir da equação da reta obtida na curva de calibração, foi realizado o cálculo do teor de fenólicos totais, expresso em mg EAG (equivalente ao ácido gálico)/ 100 g de amostra (mg EAG/100 g).

3.6.2 Flavonoides totais

A determinação de flavonoides seguiu a metodologia de Francis (1982). Pesou-se 1g de amostra, a qual foi diluída em 2 mL de água destilada. Em seguida, foi adicionado 30 mL de solução extratora (etanol 95% + HCl 1,5 mol.L⁻¹ (85:15)). O conteúdo foi transferido para balão volumétrico âmbar de 50 mL e aferido com solução extratora. Deixou-se em descanso por 24h em geladeira, procedendo-se a leitura da absorbância 374 nm. Os resultados foram expressos em mg/100mg, calculados de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Flavonoides} \left(\frac{\text{mg}}{100\text{ml}} \right) = \frac{\text{Fator de diluição} \times \text{Absorbância}_{374}}{76,6}$$

3.6.3 Determinação da capacidade antioxidante pelos métodos DPPH e ABTS+

Para determinação da atividade antioxidante pelo método DPPH, foi utilizado 1,5 mL da solução etanólica do radical DPPH• (6 × 10⁻⁵ M) e uma alíquota de 0,5 mL das amostras contendo diferentes concentrações de cada extrato. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 517 nm, após 30 min do início da reação. As determinações foram feitas em triplicata acompanhada de um controle negativo (sem antioxidante) e dois controles positivos (padrões: ácido ascórbico e Trolox®, natural e sintético respectivamente). Foi calculada a concentração eficaz para inibir 50% do radical DPPH• (μmol TE/100g)).

Para determinação da atividade antioxidante pelo método ABTS+, o radical ABTS•+ foi gerado a partir da reação de 7 mM de ABTS com 2,45 mM de persulfato de potássio, sendo reservados à temperatura ambiente e na ausência de luz, por 12-16 h. Transcorrido esse período, a solução foi diluída em etanol P.A. até obter-se uma solução com absorbância de 0,70 (± 0,01).

Foi adicionado 40 μL das amostras diluídas (em etanol) a 1960 μL da solução contendo o radical, determinando-se a absorbância em espectrofotômetro a 734 nm, após 30

min de reação (RE *et al.*, 1999, adaptado por LIMA, 2008). Como solução padrão, foi utilizado o antioxidante sintético Trolox® (análogo da vitamina E), para construção de uma curva de calibração. Todas as leituras foram realizadas em triplicata, e os resultados expressos em TEAC – Capacidade Antioxidante Equivalente ao Trolox® (mg de Trolox® por 100 g).

3.7 Propriedades funcionais da farinha integral de milho

3.7.1 Índice de Absorção de Água (IAA) e Índice de Solubilidade em Água (ISA)

O índice de absorção de água (IAA) e o índice de solubilidade em água (ISA) da farinha de milho foram determinados por referência ao método relatado por Kaur e Singh (2005) e modificação de Du *et al.*, (2015), 2,5g de amostra foi dissolvida em 30 mL de água destilada e aquecido em banho-maria a 70°C por 30 min. Em seguida, a amostra aquecida foi resfriada à temperatura ambiente, transferida para tubos de centrifuga pré-pesados e centrifugada a 3000 rpm por 20 min. O líquido sobrenadante foi decantado em uma placa de Petri previamente tarada em estufa a 105°C até peso constante. Foram realizadas determinações em triplicata. O IAA e o ISA foram calculados usando as equações a seguir.

$$IAA = \frac{\text{Peso do sedimento (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}}$$

$$ISA = \frac{\text{Peso de sólidos dissolvidos no sobrenadante (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \times 100$$

3.7.2 Capacidade de Absorção de Água – CAA e Capacidade de Absorção de Óleo – CAO

A absorção de água foi medida pelo método de centrifugação relatado por Kaur e Singh (2005) e por Du *et al.*, (2015). Farinha de milho (3,0 g) foi dissolvida em 25 mL de água destilada e colocada em tubos de centrifuga pré-pesados de 50 mL. As misturas foram agitadas em intervalos de 5 min e mantidas por 30 min, seguidas de centrifugação por 30 min a 3000 rpm. O sobrenadante foi decantado, o excesso de umidade foi removido por drenagem por 25 minutos a 50°C e a amostra foi novamente pesada.

Para absorção de óleo, o método de Kaur e Singh (2005) e modificações de Du *et al.*, (2015) foi usado. Farinha de milho (2,5 g) foi misturada com 30 mL de óleo de soja em tubos de centrifuga pré-pesados e agitados por 1 min. Após um período de espera de 30 min, os tubos foram centrifugados a 3000 rpm por 30 min. O óleo foi então removido com uma pipeta

quando formou uma camada separada; os tubos foram invertidos por 25 min para drenar o óleo antes da repesagem.

Foram realizadas determinações em triplicata e as capacidades de absorção de água e óleo foram expressas em gramas de água ou óleo ligado por grama de amostra em base seca. A CAA e a CAO foram calculados usando as equações a seguir.

$$CAA = \frac{\text{Peso do sedimento (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}}$$

$$CAO = \frac{\text{Peso do óleo absorvido (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}}$$

3.7.3 Atividade Emulsificante (AE) e Estabilidade da Emulsão (EE)

A atividade emulsificante das amostras foi determinada pelo método de Yasumatsu *et al.*, (1972) e modificações de Kaur *et al.*, (2015). A emulsão (1 g de amostra, 10mL de água destilada, 10 mL de óleo de soja) foi preparada em um tubo de centrífuga graduado. A emulsão foi centrifugada a 2000 rpm por 5 min. A atividade emulsificante foi calculado de acordo com a equação abaixo:

$$\% AE = \frac{\text{Volume da emulsão}}{\text{Volume total}} \times 100$$

A estabilidade da emulsão (EE) foi avaliada com um método semelhante ao método da atividade emulsificante (ALPIZAR-REYES *et al.*, 2017). Após a homogeneização das emulsões, elas foram aquecidas em banho-maria a 80°C por 30 min, e posteriormente resfriadas até a temperatura ambiente (20 ± 2°C), e centrifugadas por 10 min. A camada emulsionada foi medida e a EE calculada usando equação a seguir.

$$\% EE = \frac{\text{Volume final da emulsão}}{\text{Volume inicial da emulsão}} \times 100$$

3.7.4 Densidade aparente

A densidade aparente foi determinada de acordo com o descrito por Du *et al.*, (2014) e Kaur *et al.*, (2015). As amostras de farinha foram suavemente preenchidas em proveta graduada de 10 mL, previamente tarada. O fundo do cilindro foi suavemente batido em uma bancada de laboratório várias vezes até que não houvesse mais diminuição do nível da amostra

após o enchimento até a marca de 10 mL. A densidade aparente foi calculada como o peso da amostra por unidade de volume da amostra (g/mL). As medições foram feitas em triplicata.

3.7.5 Capacidade de Formação de Gel - CFG

A CFG foi determinada pelo método descrito por Coffman e Garcia (1977) com modificações de Kaur *et al.*, (2015). As dispersões de farinha de 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 e 30 g/100 mL (p/v), respectivamente, foram preparadas em 5 mL de água destilada em tubos de ensaio, que foram aquecidos a 90°C por 1 h em banho-maria. As dispersões aquecidas foram resfriadas à temperatura ambiente e então refrigeradas a 10±2°C por 2 h. Em seguida os tubos foram invertidos e analisados quanto à formação de gel (Ausência de gelificação –; Gel frágil ±; Gel resistente +). A concentração mínima de gelificação é a concentração acima da qual a amostra não caiu ou escorregou quando o tubo de ensaio foi invertido (KAUR, SINGH, 2005).

3.8 Determinação de cor

Determinada utilizando o Colorímetro Konica Minolta® CR-400 (Osaka, Japão), com uma área de medição de 8 mm e geometrias d/0°, ângulo de visão de 10° e iluminante padrão D65, segundo o método nº 14-22 (AACC, 2010) e os resultados expressos no sistema CIE (L*, a*, b*) (Commission Internationale de l'Eclairage) utilizando os seguintes parâmetros: L*, a*, b* (L* = luminosidade; a* positivo = tonalidade vermelha e a* negativo = tonalidade verde; b* positivo = tonalidade amarela; b* negativo = tonalidade azul).

3.9 Determinação granulométrica

A análise granulométrica foi realizada através do peneiramento de 100 g de farinha integral de milho, onde foram necessárias as pesagens das peneiras com as frações através de medidas diretas, para isso foram utilizadas peneiras previamente pesadas de aço inox com as seguintes aberturas 30, 40, 60, 80 e 100 mesh, com aberturas de malhas de 600 µm, 425 µm, 250 µm, 180 µm e 150 µm montadas em um agitador GRANOSICHTER MOD CGL 6/20 por 10 min, segundo metodologia descrita pelo método nº 66-20 (AACC, 2010).

3.10 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura permite a visualização detalhada das microestruturas do material em análise. As amostras foram fixadas nos stubs por meio de uma fita adesiva de carbono em seguida submetidas ao processo de metalização com uma fina camada de ouro de 20 nm. Este procedimento permite que as amostras apresentem condutividade ao feixe eletrônico emitido pelo microscópio eletrônico de varredura, proporcionando a formação das imagens pelos detectores de elétrons secundários do equipamento. As análises de MEV-EDS foram realizadas no equipamento Quanta 450 FEG – FEI, com tensão de 20 kV de aceleração de elétrons com aumento de 3000 x.

O tamanho médio dos grânulos foi determinado selecionando aleatoriamente os grânulos usando o software Image J (um programa de processamento e análise de imagens de domínio público baseado em Java) para garantir um nível aceitável de incerteza no parâmetro medido. A imagem foi calibrada para correlacionar as dimensões da imagem com as dimensões físicas. Em seguida, as medições foram processadas executando a opção “Analisar partículas” do Image J. Após isso, o software forneceu a média do tamanho do grânulo.

3.11 Toxicidade em náuplios de *Artemia salina*

De acordo com a metodologia proposta por Meyer *et al.* (1982) foi preparada uma solução salina na concentração de 30 g/L (3,0%). O pH desta solução foi ajustado para um valor intermediário entre 8,0 - 9,0, com a adição lenta de uma solução de NaOH, na concentração de 0,1 mol/L. Em seguida, os ovos de *Artemia salina* foram colocados na solução por 24 horas, até a eclosão. Este ambiente contendo a solução e os ovos, foi mantido com aeração constante, sob iluminação artificial em temperatura controlada de $25^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ em um aquário. Após a eclosão, os náuplios (larvas) foram transferidos para os frascos contendo os extratos aquosos de farinha de milho nas concentrações de 100, 500 e 1000 $\mu\text{g/mL}$, e novamente incubados em temperatura de 27°C , sob iluminação de artificial, por 24 horas. Ao final deste período de exposição dos organismos às soluções, foi realizada a contagem dos organismos mortos e daqueles que permaneceram vivos e calculada a concentração letal média utilizando pelo método PROBIT, com uso de software e confiança estatística de $p < 0,05$.

3.12 Elaboração de pães sem glúten e avaliações tecnológicas

3.12.1 Elaboração de pães sem glúten

Os pães foram confeccionados seguindo as proporções apresentadas na Tabela 6, conforme as características e funções de cada ingrediente descritos no quadro 1.

Tabela 6 – Formulações de pães sem glúten.

Ingredientes* (%)	FP (%)	FM (%)
Farinha de arroz	100	100
Fécula de mandioca	31	31
Amido de milho	34	34
Farinha integral de milheto	-	25
Açúcar	19	19
Mucilagem de chia	40	40
Goma xantana	2,2	2,2
Água	136	136
Óleo de girassol	19	19
Fermento biológico seco	5,5	5,5
Sal	2	2

*Baseado no peso total da farinha de arroz. FP: Formulação Padrão; FM: Formulação com 25% de farinha integral de milheto.

Fonte: Adaptado de Rai, Kaur, Chopra (2018).

A formulação do pão sem glúten foi desenvolvida a partir de testes anteriores, foi levado em consideração a viabilidade financeira quanto a aquisição dos ingredientes, bem como características do produto obtido e apresentação de um produto que apresente o mínimo de ingredientes considerados alergênicos. O mix de farinha de arroz, fécula de mandioca e amido de milho foi escolhido baseado nas indicações de Rai, Kaur, Chopra (2018), para comporem a mistura juntamente com a farinha integral de milheto.

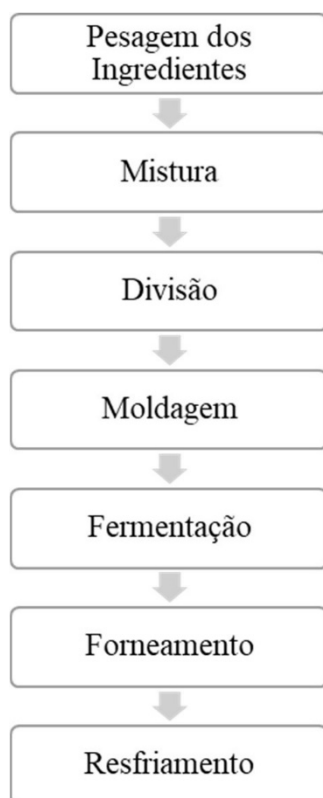
Dessa maneira foi realizada uma formulação padrão (sem farinha integral de milheto) e uma formulação com 25% de farinha integral de milheto. Um estudo de Moss e McSweeney (2021) examinou a aceitabilidade sensorial e do consumidor de pão sem glúten preparado com semente de chia, quinoa e painço, em comparação com aqueles preparados com farinha de arroz integral. Seu estudo indicou que o uso de milheto em proporções menores (25% da formulação) levou a um gosto do consumidor comparável ao pão de farinha de arroz integral.

O preparo da massa foi realizado com uma batedeira planetária (Britânia BBP515

Turbo) equipada com batedor mais plano até completa homogeneização. A mucilagem de chia foi previamente preparada utilizando uma proporção de 1:10 (w/v) a temperatura de 35°C, mantido sob agitação por 5 min. O fermento biológico seco foi previamente ativado com água a 35°C/5 min. Todos os ingredientes secos foram homogeneizados por 2 min, antes da adição dos ingredientes líquidos.

As massas foram divididas em porções de 150g e colocadas em formas metálicas retangulares para pão de forma sem tampa com dimensões de fundo de 13 cm x 5,5 cm e dimensão da parte superior de 14,5 cm x 7 cm x 4,5 cm, previamente untadas com óleo de soja e colocadas em câmara de fermentação a 35°C por 45 min. Os pães foram então assados em forno elétrico Philco 38L a 200°C por 30 min, depois deixado arrefecer à temperatura ambiente. Após resfriamento, foram armazenados em embalagens de polietileno até posterior análise. A descrição do fluxograma de processo encontra-se na figura 10 e a imagem dos pães na figura 11.

Figura 10 – Fluxograma do processamento dos pães sem glúten.



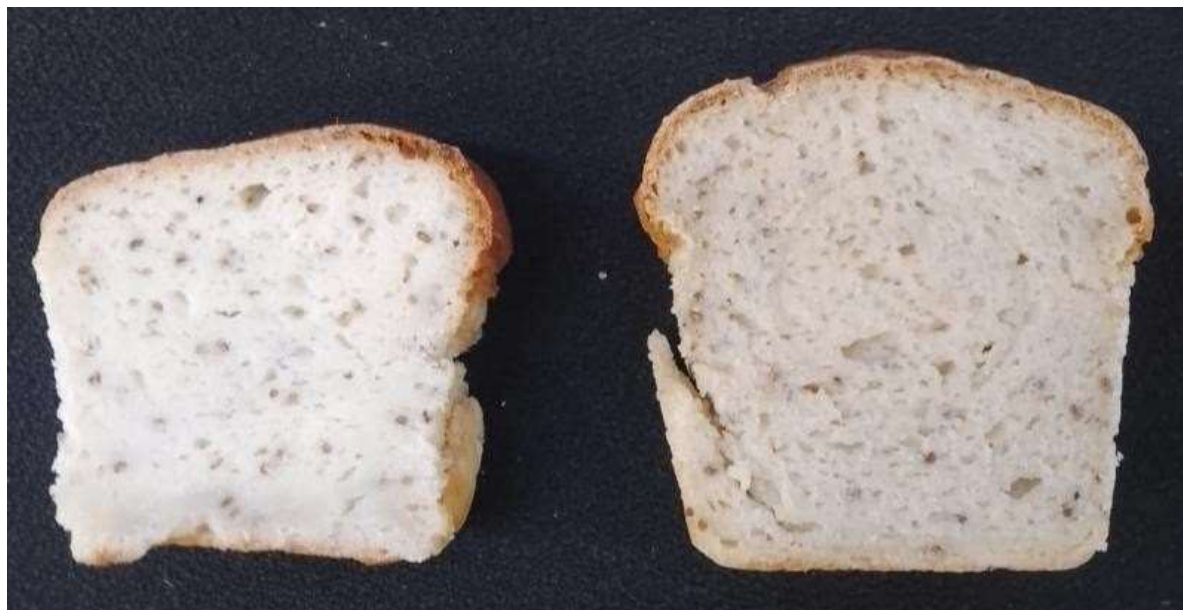
Fonte: Autor (2022).

Quadro 1 – Ingredientes e funções na panificação.

Ingrediente	Função	Referência
-------------	--------	------------

Farinha de arroz	Substituição da farinha de trigo na fabricação de produtos sem glúten pois além de ser hipoalergênica, possui sabor suave, coloração branca e boa digestibilidade.	Clerici, Airoidi, El-dash (2009).
Fécula de mandioca	Utilizada como base para dar estrutura, na substituição da farinha de trigo. Oferece poder espessante.	Onyango <i>et al.</i> , (2011).
Amido de milho	Usado como ingrediente gelificante, espessante, aderente, retentor de umidade, estabilizante, formador de filme, texturizante e antienvelhecimento na ausência de glúten. Nos produtos sem glúten, o amido é incorporado à formulação do alimento para melhorar as características de panificação, como volume específico, cor, estrutura e textura do miolo.	Horstmann, Lynch, Arendt (2017).
Açúcar	Poder de adoçar, servir de alimento para o fermento biológico, conferir sabor e cor, proporcionar maciez e atuar na validade do produto, por conservarem a umidade.	Gisslen (2011).
Mucilagem de chia	Atua como fibra solúvel, tem excelentes propriedades de retenção de água, proporcionando hidratação, desenvolvimentode viscosidade e conservação de frescor, podendo ser utilizada em substituição a gorduras animais.	Fernandes, Salas-Mellado (2017).
Goma xantana	Responsável pela maciez e elasticidade em pães. Aumenta a estabilidade e diminui a sinérese. Confere maior estabilidade durante a fermentação, atuando como aditivo na substituição do glúten.	Pahwa, Kaur, Puri (2016).
Óleo de girassol	Aumenta o volume, vida útil e maciez dos pães, pois a interação entre o óleo e o amido dificulta a retrogradação.	Dias <i>et al.</i> , (2019).
Fermento biológico	Promover liberação de dióxido de carbono, iniciando a formação de bolsas contendo o gás que permite a expansão da massa. Favorecer a cor da casca, e intensificar o aroma e o sabor	Dias <i>et al.</i> , (2019).
Sal	Realçar sabor e aroma e controlar a velocidade da fermentação.	Vianna (2018).

Figura 11 – Pães sem glúten desenvolvidos com farinha integral de milho e sem.



Fonte: Autor (2022). À esquerda, formulação padrão (FP), à direita, formulação com farinha integral de milho (FM).

3.12.2 Volume específico

O volume específico foi determinado pelo método 10-11 da AACC (2010). Após a pesagem dos pães assados, o volume foi determinado usando o método de deslocamento de sementes de milho. Em recipiente plástico e transparente parte das sementes foi substituída pela amostra e o volume completado até a borda, sendo nivelado com auxílio de régua plástica. As sementes remanescentes, correspondente ao volume deslocado pela amostra, foram colocadas em proveta graduada, expressando o resultado em mL. O volume específico do pão (cm^3/g) foi calculado como o volume deslocado dividido pelo peso do pão assado.

3.12.3 Avaliação de cor do miolo

A cor instrumental dos miolos das fatias de pães foi medida conforme o método nº 14-22, (AACC, 2000b). em colorímetro (chroma meter CR-410 – Konica Minolta® Sensing Inc., Osaka, Japão), padronizado com fonte de luz D65 (luz do dia incluindo a radiação UV) e sistema de cor CIELab de coordenadas cartesianas em espaço tridimensional.

3.12.4 Análise instrumental de Textura

As texturas dos miolos das fatias dos pães de forma foram determinadas em texturômetro TA–XT2i (*Stale Micro Systems*) com o auxílio do software fornecido com o equipamento, utilizando método nº 74-09 (AACC, 2000d), com probe de alumínio (P/35), pelo método de TPA (*Texture Profile Analysis*) aplicável para pão. Os testes foram realizados sob as seguintes condições: Velocidade do Pré-Teste: 2,0 mm/s; Velocidade do Teste: 1,7 mm/s; Velocidade do Pós-Teste: 10,0 mm/s; Distância: 10 mm; Tempo: 5 segundos; Gatilho (tipo): auto (force); Gatilho (força): 0,04903N. Para a análise, foram utilizadas três fatias centrais de 2,5 cm de espessura, sobrepostas em dois ciclos que simularam a ação da mandíbula durante a mastigação. O TPA foi realizado para medir dureza (Hd, N), adesividade (Ad, g·s), coesividade (Co), elasticidade (Sp), mastigabilidade (Ch, N) e resiliência (R).

3.13 Avaliação físico-química dos pães

Os pães foram analisados quanto à umidade, cinzas, fibras totais, lipídios, proteínas, carboidratos, valor energético, pH e acidez, conforme descrito no item 3.3.

3.14 Tratamento estatístico

Os resultados foram submetidos a tratamento estatístico para análise de variância ANOVA, determinação das médias e desvios padrões com aplicação do Teste de Tukey (1949) em nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Foi utilizado o programa STATISTIC.

4 RESULTADOS

4.1 Padronização dos grãos de milho

O diâmetro médio de 45,7% dos grãos inteiros de milho foi de 2,0 mm, 22,3% eram menores que 2 mm (até 1,80 mm) e 18,5% tinham diâmetro menor que 1,80 mm (Tabela 7). Esse resultado para o diâmetro médio dos grãos inteiros foi semelhante ao encontrado (2,0 mm) por DIAS-MARTINS *et al.*, (2019).

Tabela 7 – Tamanho dos grãos de milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br).

Diâmetro dos grãos (mm)	Média $\pm$ Desvio Padrão* (%)
2,30	11,8 $\pm$ 1,95
2,00	45,7 $\pm$ 2,15
1,80	22,3 $\pm$ 2,46
1,60	18,5 $\pm$ 1,90
1,40	1,7 $\pm$ 0,46

*Os dados são expressos como média $\pm$ desvio padrão de 3 observações.

A variação no tamanho dos grãos de milho tem sido atribuída a grãos pertencentes à mesma panícula com diferentes graus de maturidade fisiológica e sua localização na mesma. Em geral, os grãos localizados no ápice da panícula são menores do que aqueles localizados no centro ou na base. Grãos maiores possuem endosperma maior que, por sua vez, requer maior tempo para promover a gelatinização completa do amido, ao contrário dos grãos pequenos (DIAS-MARTINS *et al.*, 2019).

4.2 Caracterização físico-química da farinha integral de milho

Proteína, gordura, fibras, carboidratos, minerais e vitaminas são componentes básicos dos alimentos que indicam sua composição macro e micromolecular e são usados para descrever o perfil nutricional, principalmente se tratando da farinha de milho que é uma matéria-prima recente e ainda em perspectivas de uso e aplicação na indústria de alimentos no Brasil. A Tabela 8 apresenta os resultados da caracterização físico-química da farinha integral de milho.

Tabela 8 – Composição centesimal da farinha integral de milho.

Parâmetros (%)	Média ± Desvio Padrão*
Umidade	6,56 ± 0,07
Cinzas	1,84 ± 0,56
Carboidratos	73,44 ± 1,01
Lipídeos	6,84 ± 0,25
Proteínas	10,52 ± 0,49
Fibra alimentar solúvel	7,10 ± 0,85
Fibra alimentar insolúvel	8,05 ± 0,35
Fibra alimentar total	15,15 ± 0,49
Valor Calórico (Kcal/100g)	395,56 ± 3,90
pH	6,05 ± 0,05
Acidez (% ácido cítrico)	0,64 ± 0,03

*Os dados são expressos como média ± desvio padrão de 3 observações.

Em farinhas, a umidade é um parâmetro importante sob o ponto de vista de conservação, uma vez que pode ser atribuído à utilização da umidade por microrganismos para diferentes atividades metabólicas, sendo assim, manter os valores de umidade abaixo de 15% reduz o risco de crescimento microbiano durante o armazenamento, para tanto, a legislação brasileira (BRASIL, 2022) especifica que esse deve ser o teor máximo de umidade para farinhas, amido e farelo. A umidade obtida na farinha integral de milho (6,56%) atende aos padrões exigidos pela legislação brasileira, atribui-se ainda esse baixo teor ao processo de secagem que os grãos foram submetidos. Kumari *et al.*, (2022) obteve uma farinha integral de milho com umidade de 9,43%, superior ao obtido no estudo, esse valor está relacionado com o preparo e tempo de moagem do grão.

O teor total de cinzas do milho (1,8%) é semelhante ao do trigo (1,9%), superior ao do milho (1,3%) e do arroz (0,9%) e inferior ao da aveia (2,5%) e da cevada (2,2%) (DIAS-MARTINS *et al.*, 2018).

O milho é uma rica fonte de carboidratos e contém açúcares livres e amido (MUTSHINYANI *et al.*, 2020), e a farinha integral de milho apresentou maior teor de cinzas (1,84%), carboidratos (73,44%), lipídeos (6,84%) e proteínas (10,52%) quando comparado com as principais culturas de cereais cultivadas, como trigo, milho e arroz (KUMAR *et al.*, 2018; RAMASHIA, MASHAU, ONIPE, 2021; DIAS-MARTINS *et al.*, 2018). Kumari *et al.*, (2022) encontraram valores próximo em farinha integral de milho para carboidratos (68,08%),

proteínas (10,50%) e cinzas (2,00%), embora para lipídios (8,56%) tenha sido superior que a farinha em estudo. Essas variações podem ocorrer em função de condições diversas de plantio.

O alto teor de lipídios na farinha integral de milho pode ter um efeito negativo sobre a estabilidade dos produtos gerados, devido à suscetibilidade a oxidação, embora a presença de gorduras insaturadas seja benéfica em termos de aspecto nutricional (TIWARI *et al.*, 2014). Apesar da superioridade nutricional, a utilização da farinha de milho é limitada a algumas regiões no mundo devido à baixa qualidade de conservação e desenvolvimento de odor desagradável durante o armazenamento (RANI *et al.*, 2018). A baixa qualidade de conservação da farinha de milho deve-se à rancidez oxidativa/hidrolítica causada por enzimas como lipase e lipoxigenase (LOX). A lipase catalisa a hidrólise de triacilglicerol (TAG) em diacilgliceróis, mono glicerol, glicerol e ácidos graxos livres (GOSWAMI *et al.*, 2020). No milho, a enzima lipase está presente no pericarpo e na camada de aleurona do grão, o que pode desenvolver odores e sabores desagradáveis na farinha e seus produtos (YADAV *et al.*, 2012).

A ingestão adequada de proteínas da dieta é necessária para a manutenção da boa saúde durante as diferentes fases da vida (CARBONE, PASIAKOS, 2019). Como achado do estudo observou-se que a farinha integral de milho consiste em valor de proteína bruta (10,52%) semelhante ao que Kumari *et al.*, (2022) encontrou (10,50%). O conteúdo total de proteína da semente/grão de milho está na faixa de 7 a 11%, aproximadamente o dobro da quantidade presente no trigo, milho e arroz (MOTA *et al.*, 2016).

A fibra alimentar se destacou para a farinha integral de milho, com valores de 15,15% para fibra alimentar total, 7,10% de fibra solúvel e 8,05% de fibra insolúvel. A fração de fibra alimentar total foi superior ao obtido por Dias-Martins *et al.*, (2018), (7,8%). Fibra alimentar é a porção de material vegetal que inclui celulose, polissacarídeos não celulósicos como mucilagens, gomas, substâncias pécicas, hemicelulose e componentes não carboidratos como lignina, que são altamente resistentes à digestão enzimática, e tem uma série de benefícios para a saúde, como controlar a resposta glicêmica, diminuir o colesterol e o risco de distúrbios cardiovasculares, aliviar a constipação e câncer colorretal (DHINGRA *et al.*, 2012). De acordo com a legislação brasileira, são considerados alimentos com alto conteúdo de fibras (alegação funcional) aqueles que apresentam no mínimo 5,0 g de fibras alimentares total, por porção de consumo do produto (100 g) (BRASIL, 2020). A dieta humana composta por fibras alimentares desempenha um papel importante na digestão, atuando como prebiótico (DEVRIES *et al.*, 2001).

O conteúdo energético da farinha de milho pode ser devido ao alto teor de proteínas e lipídeos, não necessariamente os carboidratos que contribuem significativamente

para o valor energético. O valor energético da farinha integral de milho foi equivalente ao do arroz integral (JAYBHAYE *et al.*, 2014).

Teores de proteína, lipídeos, cinzas e fibras diminuíram de acordo com o aumento da umidade (8% a 10%) e do tempo de moagem, portanto, a remoção da fração de farelo, que é conhecidamente rica em nutrientes, como fibras, minerais e antioxidantes, leva à diminuição do valor nutritivo e dos potenciais benefícios à saúde, sugerindo o uso de farinha de grãos integrais na nutrição humana na promoção da saúde (SALEH *et al.*, 2013).

O pH da farinha integral de milho (6,05) foi próximo ao valor de 6,60 relatado por Azeez *et al.*, (2022) para farinha de milho (Eleusine coracana), característico de alimento na faixa de neutralidade. Um pH mais baixo prolongaria a vida útil das farinhas, pois é impossível para as bactérias sobreviverem abaixo do pH inferior a 4, dessa maneira, alguns estudiosos usaram farinhas de milho fermentadas, pH de 3,97 a 3,79, e observaram aumento na vida útil da farinha, impedindo o crescimento de microrganismos e também contribuindo para o sabor (MUTSHINYANI *et al.*, 2020).

O teor de acidez titulável foi 0,64%, em ácido cítrico, acima de 0,10% obtido por Azeez *et al.*, (2022) para farinha de milho (*Eleusine coracana*). O teor de acidez titulável é importante para evitar a proliferação de microrganismos, essencial na conservação dos alimentos.

4.3 Perfil Mineral

O conteúdo mineral da farinha integral de milho é apresentado na tabela 9.

Os teores de Ca (150 mg/100 g), Mg (1120 mg/100 g) e P (3000 mg/100 g), da farinha integral de milho foram comparáveis aos valores relatados por Obadina *et al.*, (2016), 130 mg/100 g, 1119 mg/100 g e 2686 mg/100 g, respectivamente. Diferentemente dos teores de K (4470 mg/100 g) e Zn (31,95 mg/kg) que foram superiores (2120 mg/100 g – K e 16,10 mg/100 g – Zn), comparados aos de Azeez *et al.*, (2022).

Tabela 9 – Conteúdo mineral da farinha integral de milho.

Minerais (mg/100 g)	Média ± Desvio Padrão*
Ca	150,00 ± 0,03
Mg	1120,00 ± 0,03
K	4470,00 ± 0,17
P	3000,00 ± 0,10
Fe	83,27 ± 9,73
Mn	6,47 ± 1,45
Zn	31,95 ± 1,76
Cu	6,01 ± 0,42

*Os dados são expressos como média ± desvio padrão de 3 observações.

O fósforo forma um componente importante dos dentes, ossos e fosfolípidios. Ajuda a manter o pH fisiológico, a síntese de nucleotídeos e várias reações de transferência de energia (MOHAMMAD, GHARIBZAHEDI, MAHDI, 2017). O cálcio forma a estrutura estrutural básica dos dentes e ossos. Também é vital para a comunicação intracelular, coagulação sanguínea, contratilidade e excitabilidade dos músculos estriados, transmissão neuromuscular e manutenção da permeabilidade celular (JUKANTI *et al.*, 2016). O ferro regula principalmente o transporte de elétrons e oxigênio, participa do metabolismo celular, é um componente de numerosas enzimas e heme/mioglobina (OWHERUO *et al.*, 2019). O potássio ajuda a manter o volume do fluido inter e intracelular, regula parcialmente a pressão sanguínea, regula e gera impulsos nervosos por (ADEBIYI *et al.*, 2017). O magnésio forma um componente importante dos ossos, regula o relaxamento muscular, rege o sal, a água e o equilíbrio ácido-base. Também regula a transmissão nervosa e governa o metabolismo energético mediado por enzimas (ADETOLA *et al.*, 2019). O zinco regula a síntese de proteínas, imunidade, maturação sexual, enzimas do metabolismo de macronutrientes, sensação de sabor, metabolismo do DNA e expressão gênica (ADETOLA *et al.*, 2019). O manganês funciona como um cofator para enzimas envolvidas no metabolismo de carboidratos, aminoácidos e colesterol (ADEBIYI *et al.*, 2017). O cobre participa da síntese de elastina e colágeno, atua como antioxidante, forma a hemoglobina e os glóbulos vermelhos. É também o cofator primário de várias metaloenzimas participando do metabolismo do ferro e da respiração celular (RAGAEI *et al.*, 2006; TOMAR *et al.*, 2021).

Para Marriott *et al.*, (2020), as concentrações de minerais da farinha integral de milho contribuem com 20 a 50% do ferro, 36 a 100% do magnésio, 15 a 61% do zinco, 24 a

73% das necessidades de cobre e 100% das necessidades de manganês para as necessidades diárias de ingestão de crianças e adultos. A legislação brasileira (BRASIL, 2020) apresenta valores recomendados para ingestão diária de vitaminas e minerais como parâmetros para o atendimento das necessidades nutricionais de saúde da população. Os valores obtidos para a farinha integral de milho atendem a necessidade de minerais da população brasileira, exceto cálcio e cobre.

O aumento do conteúdo mineral das farinhas de milho processadas é uma maneira para o fornecimento desses nutrientes para as funções normais do corpo.

4.4 Prospecção fitoquímica

A análise fitoquímica qualitativa na farinha integral de milho evidenciou a presença de diversos compostos benéficos à saúde, conforme pode ser observado na Tabela 10.

Tabela 10 – Prospecção fitoquímica na farinha integral de milho.

Ensaio realizado	Resultados desejáveis	Resultados
Alcalóides	SIM/NÃO	POSITIVO +++
Antraquinonas	SIM	NEGATIVO
Antocianinas	NÃO	NEGATIVO
Esteróides e triterpenos	NÃO	POSITIVO +
Heterosídeos digitálicos	NÃO	POSITIVO +++
Saponinas	SIM	POSITIVO +
Taninos	SIM	VESTÍGIOS +

Observou-se a presença de alcaloides. De todos os grupos de princípios ativos, os alcaloides são os que representam fonte altamente provável de obtenção de produtos bioativos (SOUZA, MELO, LOPES, 2011). Essa constatação na farinha integral de milho, evidencia substancial potencial funcional, porém, dada a ampla variabilidade desses compostos, fazem-se necessários mais estudos para sua identificação e segurança, visto que alguns alcaloides podem apresentar toxicidade.

Também se verificou traços de terpenos, o que indica que provavelmente a parte da planta analisada apresenta traços de óleos essenciais. Conforme Souza, Melo e Lopes (2011), estes compostos voláteis e aromáticos podem apresentar diversas propriedades, desde atividade antimicrobiana a anti-inflamatória. No entanto, este estudo não realizou ensaios para extração

desses compostos, visto que houve a presença apenas de traços, o que do ponto de vista econômico não seria justificado.

A presença de saponinas, compostos que apresentam um amplo espectro de ação, desde ação tensoativa a antimicrobiana, também foi detectada, e para Souza, Melo, Lopes (2011), pode significar um amplo aproveitamento para o mercado.

Do ponto de vista de segurança, a espécie apresentou ausência de antraquinonas o que é benéfico, sob a óptica da tecnologia de alimentos, dado que estes compostos podem estar correlacionados à toxicidade renal em humanos, como assevera Matos (2007). Entretanto, a espécie apresentou heterósídeos digitálicos, necessitando de futuros estudos que venham a identificar os tipos, e consequentemente, estabelecer limites de segurança para emprego na indústria de alimentos.

4.5 Análise de compostos bioativos

Os teores de compostos bioativos da farinha integral de milho são apresentados na tabela 11.

Tabela 11 – Teor de compostos bioativos da farinha integral de milho.

Parâmetros*	Farinha Integral de Milho
TPC (mg EAG/100g)	163,01 ± 0,54
TFC (mg/100g)	51,84 ± 2,19
DPPH (μmol TE/100g)	186,01 ± 0,01
Capacidade de eliminação de radicais ABTS (mg TE/100g)	0,115 ± 0,01

*Os dados são expressos como média ± desvio padrão de 3 observações. TPC – conteúdo fenólico total. TFC – conteúdo total de flavonoides. DPPH – atividade sequestradora do radical 1,1-difenil-2-picril-hidrazil; ABTS - ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolína-6-sulfônico.

O milho é rico em compostos bioativos, especialmente ácidos fenólicos e flavonoides, que possuem atividades antioxidantes, fornecendo mecanismos biologicamente ativos que reduzem os radicais livres induzidos pelo estresse oxidativo (SALEH *et al.*, 2013). O teor total de fenólicos, flavonoides, DPPH e ABTS da farinha integral de milho foram 163,01 mg EAG/100g, 51,84 mg/100g, 186,01 μmol TE/100g e 0,115 mg TE/100g.

O valor obtido para o teor de fenólicos é semelhante ao relatado por Obadina *et al.*,

(2016) que obtiveram em farinha integral de milho (*Pennisetum glaucum*) valor de 169,85 mg EAG/100g antes de aplicar tratamento térmico de torrefação, após o tratamento os valores variaram de 90,60 a 144,10 mg EAG/100 g. O tratamento térmico aplicado aos alimentos pode afetar os componentes bioativos e observou-se que a torrefação reduziu o composto fenólico da farinha de milho em relação ao controle.

Azeez *et al.*, (2022), obtiveram valor de flavonoides em farinha integral de milho, 119 mg/100 g, superior ao do presente estudo. O milho contém diferentes compostos fenólicos, incluindo ácidos fenólicos e flavonoides (flavonas). O conteúdo reduzido pode ser devido à degradação de flavonoides por aquecimento ou lixiviação no endosperma para formar complexos com macromoléculas como proteínas e outras, tornando assim uma menor quantidade de flavonoides extraíveis. Essa redução no conteúdo fenólico causou correspondentemente uma diminuição na atividade antioxidante do milho torrado de 89,89 para 86,78% (SINGH *et al.*, 2018).

O conteúdo total de ácido fenólico no grão de milho foi relatado em cerca de 147,8 mg/100 g (DYKES, ROONEY, 2007), mas outro estudo relatou uma faixa maior de 294–314 mg/100 g (ELYAS *et al.*, 2002).

As variações no teor de fenólicos e flavonoides das farinhas podem ser atribuídas ao conteúdo químico e aos fenóis predominantes nos grãos crus. Os fenóis dominantes, bem como suas quantidades e distribuições no revestimento da semente, podem diferir dentro das variedades. A reação química do fenol no tegumento da semente é responsável pelo desenvolvimento da cor nos grãos de cereais (DUENAS, HERNÁNDEZ, ESTRELLA, 2002). Esses ácidos fenólicos estão presentes tanto na forma solúvel quanto na forma ligada, pertencentes aos grupos de ácidos hidroxil-benzóico e hidroxil-cinâmico em várias espécies de milho (SHAHIDI, CHANDRASEKARA, 2013).

Farinha integral de milho e farinha refinada, foram analisadas quanto aos componentes bioativos (polifenóis e flavonoides). Verificou-se que as farinhas diferiram significativamente em sua composição. A farinha integral apresentou os maiores teores de polifenóis e flavonoides totais, 4,18 e 15,85 g/kg, respectivamente, no entanto, a bioacessibilidade foi maior na farinha refinada (OGHBAEI, PRAKASH, 2012).

As atividades de eliminação de DPPH e ABTS da farinha integral de milho foram de 131 µmolTE/100 g, e 36,80%, respectivamente (AZEER *et al.*, 2022). A atividade de eliminação de DPPH em farinha integral de milho (*Eleusine coracana*) foi de 52% (MUTSHINYANI *et al.*, 2020). Houve uma correlação positiva entre fenólicos totais e atividade antioxidante também observada em estudos anteriores (SAHARAN, SADH,

DUHAN, 2017).

A germinação e fermentação combinadas de milho aumentaram TPC, TFC, DPPH, FRAP e ABTS em 31,97%, 30,86%, 29,24%, 30,33% e 78,55%, respectivamente. Portanto, o aumento das atividades antioxidantes (TFC, DPPH, FRAP e ABTS) da farinha de milho pode estar associado ao aumento dos compostos fenólicos (AZEEZ *et al.*, 2022)

Odusola *et al.*, (2013) realizaram um estudo para determinar a capacidade antioxidante do milho. Uma avaliação de seu potencial antioxidante foi determinada usando propriedade redutora, conteúdo fenólico total e atividade sequestrante em 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazil (DPPH). Os resultados revelaram que milho (*Pennisetum glaucum*) possui alto teor fenólico e alta atividade de eliminação de radicais livres.

Com isso, observa-se que o milho, mesmo influenciado por fatores como cultivo, clima e genéticos, apresenta teores consideráveis de compostos fenólicos, como flavonoides, considerados componentes desejáveis por sua atividade antioxidante, capazes de inibir a oxidação de lipoproteínas de baixa densidade (LDL), além do consumo de alimentos ricos nestes compostos estar associado à redução à tendência a doenças trombóticas, e já ter sido descrito por suas ações antimicrobiana, anti-inflamatória e de efeitos no controle de peso (DEGÁSPARI, WASZCZYNSKYJ, 2004).

Estes estudos verificaram atividade antioxidante nas amostras estudadas, indicando que vários fatores podem influenciar nesta característica. O presente estudo deparou-se com dificuldades na comparação dos resultados obtidos com outros reportados na literatura, devido às diferenças dos métodos empregados para a análise e das diferentes unidades de medida utilizadas. Porém, mesmo havendo dificuldades de comparação, verificou-se farinha integral de milho apresentou teores de fenóis totais, flavonoides e atividade antioxidante semelhantes a outros estudos, podendo contribuir para o consumo de compostos bioativos na alimentação humana.

4.6 Propriedades funcionais

Os resultados das propriedades funcionais da farinha integral de milho são mostrados na tabela 12. As propriedades funcionais são fortemente afetadas pela composição da farinha e refletem as interações entre os componentes da farinha.

Tabela 12 – Propriedades funcionais da farinha integral de milho.

Parâmetros	Média ± Desvio Padrão*
Índice de Absorção de Água – IAA (g/g)	3,45 ± 0,20
Índice de Solubilidade em Água – ISA (g/100g)	9,55 ± 2,16
Capacidade de Absorção de Água – CAA (g/g)	2,06 ± 0,02
Capacidade de Absorção de Óleo – CAO (g/g)	1,52 ± 0,08
Atividade Emulsificante – AE (%)	50,71 ± 1,58
Estabilidade da Emulsão – EE (%)	95,83 ± 0,00
Densidade Aparente (g/mL)	0,54 ± 0,01

*Os dados são expressos como média ± desvio padrão de 3 observações.

A propriedade funcional de índice de absorção de água (IAA) reflete a capacidade da amostra de se associar com água. Conforme mostrado na tabela 12, observou-se que o IAA da farinha integral de milho foi de 3,45 g/g. Farinha de milho teve o menor IAA em comparação com farinha de milho fermentada, provavelmente devido à degradação do amido que resultou em perda estrutural de polímeros de amido responsáveis por maior IAA (KUMARI *et al.*, 2022). O teor de proteína da farinha de milho também pode contribuir na absorção máxima de água devido à presença de grupos de aminoácidos polares. Além disso, a presença dessas proteínas sem glúten são responsáveis pela desintegração de vários compostos de proteína-amido e ligações dissulfeto, levando ao aumento do IAA (BHATT *et al.*, 2021).

Correia *et al.*, (2020) analisaram um genótipo de sorgo e o índice de absorção de água obtido foi 2,06 g/g, inferior ao encontrado nesta pesquisa. O IAA é uma propriedade importante no estudo da utilização da farinha como matéria-prima, pois permite avaliar o acréscimo deste componente em produtos cárneos, pães e bolos, permitindo a adição de água a fim de facilitar o manuseio da massa e evitar seu ressecamento, durante o armazenamento (BORGES *et al.*, 2021). Sendo assim, quanto maior a porcentagem de farinha integral de milho utilizada para a elaboração destes produtos, maior será a absorção de água e, conseqüentemente, mais líquido poderá ser utilizado no processo, diminuindo, possivelmente, os custos de produção.

Por outro lado, quando se deseja um produto instantâneo, onde as partículas de pó formam uma solução com o líquido, maior atenção deve ser dada ao índice de solubilidade em água (ISA), que se relaciona à quantidade de sólidos solúveis em uma amostra seca e permite verificar o grau de separação por tratamento em função da degradação, gelatinização e

consequentemente da solubilidade do amido (CONTRERAS-JIMENEZ *et al.*, 2014, KOÇ, KAYMAK-ERTEKIN, 2014). A farinha de integral de milho apresentou ISA de 9,55 g/100g, esse valor pode estar associado à presença de várias moléculas solúveis e à degradação do amido (SIMWAKA *et al.*, 2017).

A capacidade de absorção de água (CAA) mede a capacidade da farinha de absorver água e inchar em condições onde a água é limitante (ANGELIS *et al.*, 2021). Variações na CAA podem depender da estrutura das proteínas e da presença de carboidratos hidrofílicos (KAUR *et al.*, 2015).

Observou-se que a farinha de milheto apresentou capacidade de absorção de água de 2,06 g/g, inferior ao obtido por Azeez *et al.*, (2022) que analisaram milheto cru e encontraram uma capacidade de 3,58 g/g, o que pode ser atribuído à presença de menor quantidade de constituintes hidrofílicos. Esta é uma característica relevante, pois pode ajudar a reter a umidade, permitindo mais água a ser adicionada à massa e melhorando o manuseio do material, para a aplicabilidade da farinha em produtos como de panificação (SILVA *et al.*, 2021). O baixo valor de capacidade de absorção de água também implica que mais amostra seria necessária para reconstituição quando comparada com outras amostras de farinha na preparação de alimentos.

A capacidade de absorção de óleo (CAO) é a capacidade da farinha de absorver óleo e isso é conveniente, pois o óleo retém o sabor e melhora a sensação na boca e a capacidade de absorção de óleo da farinha integral de milheto foi de 1,52g/g. Azeez *et al.* (2022) que, analisando farinha de milheto crua, encontrou um resultado de 1,33 g/g para a capacidade de absorção de óleo, resultado inferior ao desta pesquisa. Para Mozafarpour *et al.* (2019), uma alta capacidade de absorção de óleo pode ser causada por um aumento na concentração de proteína causada pela umidade reduzida. Essa concentração forma proteínas menores agregados que melhoram a funcionalidade da proteína, ligando as partes proteicas da farinha a as moléculas de óleo. O teor de fibra da amostra e a natureza hidrofóbica da fibra também é conhecida por aumentar a capacidade de absorção de óleo (DHINGRA *et al.*, 2012). Obadina *et al.*, (2016) obtiveram ISA de farinha de milheto entre 5,12 a 7,76%, e CAO entre 0,33 a 0,68%, valores atribuídos a alterações na biodisponibilidade de nutrientes como proteínas na farinha durante a torrefação, bem como na interação entre a cadeia lateral de hidrocarbonetos livres com a cadeia de aminoácidos apolares (ADEBIYI *et al.*, 2017).

Di Cairano *et al.*, (2020) realizou uma investigação abrangente das propriedades nutricionais e funcionais de farinhas sem glúten de 12 fontes diferentes de cereais e leguminosas. Do ponto de vista funcional, quinoa, milheto e amaranto apresentaram capacidade

de absorção de água (CAA) e capacidade de absorção de óleo (OAC) comparável à farinha de arroz. Essas propriedades são desejáveis para produtos de panificação sem glúten, uma vez que CAA e OAC mais altos são necessários para uma textura mais macia, melhor sensação na boca, e retenção de sabor em produtos acabados.

Em relação a atividade emulsificante e estabilidade da emulsão, os valores respectivos foram 50,71% e 95,83, quer atribui-se alto poder de atividade emulsificante e estabilidade da emulsão, tornando o uso da farinha integral de milho como substituto de ingredientes em sistemas de emulsão. Farinha de trigo integral apresentou 40% de atividade emulsificante e 33% de estabilidade da emulsão, já a farinha refinada apresentou 13% de atividade emulsificante e 75% de estabilidade da emulsão (SANTANA, OLIVEIRA FILHO, EGEA, 2017).

A principal característica de um agente emulsificante é a de possuir na mesma molécula partes hidrofílicas e hidrofóbicas, o que permite a formação de uma camada entre as duas fases, separando-as e impedindo que os glóbulos da fase interna coalesçam, o que resultaria na quebra da emulsão (NASCIMENTO *et al.*, 2021). As propriedades emulsionantes normalmente são influenciadas pela qualidade e quantidade de proteína solúvel das farinhas (SIDDIQ *et al.*, 2010).

A densidade aparente foi de 0,54g/mL, inferior aos valores encontrados por Di Cairano *et al.*, (2020), 0,67 g/mL e Azeez *et al.*, (2022), 0,95 g/mL, ambos em farinha de milho, essa variação pode estar relacionada à granulometria heterogênea das farinhas (dados não apresentados). A presença de lipídios, que podem atuar como adesivos na aglomeração de partículas de farinha, bem como as condições de moagem pode afetar a granulometria e a densidade aparente dá uma indicação do peso da farinha (ADEBIYI *et al.*, 2017). A baixa densidade aparente da farinha integral de milho encontraria aplicação útil em formulações de alimentos onde é necessária baixa densidade aparente.

A Tabela 13 apresenta a capacidade de formação de gel da farinha integral de milho na concentração entre 2 a 30%, onde foi utilizada uma medida da quantidade mínima de farinha para formar um gel num determinado volume de água. A capacidade gelificante desempenha papel fundamental em determinados alimentos, como produtos lácteos, produtos de carne cozidos, gelatinas, massa de pão, etc (ORDÓÑEZ, 2005).

Tabela 13 – Capacidade de formação de gel da farinha integral de milho.

Porcentagem de farinha (%)	Capacidade de Formação de Gel*
2	–
4	–
6	–
8	–
10	–
12	–
18	±
30	±

* Testes realizados em triplicata: Ausência de gelificação (–); Gel frágil (±); Gel resistente (+).

A propriedade gelificante de diferentes farinhas de cereais está relacionada aos diferentes constituintes, como proteínas, carboidratos e lipídios, e a interação entre esses componentes afeta as propriedades funcionais (KAUR *et al.*, 2015). O fenômeno de gelificação resulta na formação de uma rede tridimensional de carboidratos modificados ou não, por processos térmicos, juntamente com moléculas de proteína e lipídios parcialmente desnaturadas (ADEBOWALE, LAWAL, 2003).

Houve formação de gel frágil na presença acima de 18% de farinha de milho. A Farinha de trigo integral formou gel frágil a partir de 4%, já a farinha refinada a partir de 2% formou gel frágil e a partir de 12% gel resistente (SANTANA, OLIVEIRA FILHO, EGEA, 2017). A gelificação é frequentemente uma agregação de moléculas desnaturadas, que envolve uma formação contínua de rede entrelaçada que exibe certo grau de ordem (NASCIMENTO *et al.*, 2021). Aparentemente, as fibras existentes nas farinhas integrais, interferem na formação da rede contínua da molécula para formar gel, possivelmente o valor de 18% encontrado para a farinha integral de milho foi devido à concentração e natureza das proteínas, além da presença de fibras.

4.7 Determinação de cor

Quanto aos parâmetros de cor, de acordo com a Commission Internationale de l'Eclairage (C.I.E, 1976) o parâmetro L* (luminosidade) apresenta valor máximo de 100, que corresponde a cor branca, capaz de refletir perfeitamente a luz que incide sobre uma superfície que apresente este valor de luminosidade, enquanto a ausência total de reflexão de luz (ou total

absorção) é representada pelo valor mínimo de zero, constituindo o preto. De acordo com Mendes (2012), o ângulo Hue representa o ângulo de tonalidade, onde $+a^*$ (0°) indica o vermelho, $+b^*$ (90°) indica o amarelo, $-a^*$ (180°) corresponde ao verde e $-b^*$ (270°) corresponde ao azul. Os resultados para os padrões de cores estão expressos na tabela 14.

Tabela 14 – Determinação de cor da farinha integral de milho.

Parâmetros	Média $\pm$ Desvio Padrão*
Luminosidade (L^*)	84,13 $\pm$ 1,01
Intensidade de vermelho/verde (a^*)	1,35 $\pm$ 0,01
Intensidade de amarelo/azul (b^*)	15,31 $\pm$ 0,16

*Os dados são expressos como média $\pm$ desvio padrão de 3 observações.

A luminosidade (L^*) apresentada pela farinha integral de milho (84,13) foi superior ao valor obtido (78,3) por Mutshinyani *et al.*, (2020) em farinha de milho (*Eleusine coracana*), indicativo de coloração mais clara, dado a natureza esbranquiçada do amido presente no grão. O parâmetro b^* com valor de 15,31 indica coloração amarelada da farinha integral de milho. A cor amarela se dá devido a existência de pigmentos polifenólicos nas áreas de pericarpo, aleurona e endosperma dado à oxidação enzimática da polifenol oxidase na farinha.

A cor é um aspecto bastante relevante, sendo um dos parâmetros que interferem na decisão de qual farinha será adquirida no comércio. O consumidor apresenta preferência por farinhas de colorações brancas ou levemente mais claras, o que não necessariamente indica melhor qualidade, pois a cor é resultado de uma série de fatores, alguns são de natureza intrínseca ao tipo de matéria prima, como o teor de pigmentos (GUTKOSKI, 2009).

4.8 Determinação granulométrica

A tabela 15 apresenta a quantidade de farinha retirada em cada peneira durante a análise granulométrica. A granulometria é a distribuição das partículas e grânulos que constituem o produto, segundo os seus tamanhos.

A Instrução Normativa nº 8 de 02 de junho de 2005 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2005) estabelece que a farinha de trigo, de acordo com a sua granulometria, deverá 95% do produto passar através da peneira com abertura de malha de 250 μm , constatou-se que 60,53% passou da peneira de 250 μm , ou seja, os maiores percentuais

de partículas apresentam tamanhos entre 0,25 mm (250 μm) e 0,18 mm (180 μm), superior a granulometria estabelecida para farinha de trigo comercial.

Tabela 15 – Perfil granulométrico da farinha integral de milho.

Tamanho das partículas (μm)	Peso de partículas (g)
600	0,63 $\pm$ 0,05
425	7,06 $\pm$ 1,15
250	28,36 $\pm$ 0,46
180	42,90 $\pm$ 1,90
150	17,63 $\pm$ 0,46

*Os dados são expressos como média $\pm$ desvio padrão de 3 observações.

A granulometria é um aspecto de qualidade importante na padronização de farinha em geral, tendo influência com o índice de absorção de água da farinha, pois à medida que se tem um aumento da granulometria das frações, o índice de absorção sofre uma redução devido à diminuição da área superficial para difusão da água, além disso, tamanho de partícula afeta o escoamento da farinha e está negativamente correlacionado com a coesividade das massas de pães (KUMARI *et al.*, 2022).

Comettant-Rabanal *et al.*, (2021), caracterizaram farinhas integrais de milho, arroz e sorgo quanto a distribuição granulométrica. As farinhas integrais de milho e sorgo apresentaram a maior porcentagem de tamanho de partícula dentro da faixa de 0,1–0,5 mm. Apenas 7-12% das partículas em todas as farinhas integrais foram encontradas na faixa de <0,1.

A uniformidade do tamanho de partícula também é relevante, partículas de 250 μm aumenta a quantidade de amido acessível que promove alto grau de gelatinização e retrogradação de amido, facilitando a formação da rede tridimensional substituindo as propriedades viscoelásticas do glúten, contribuindo para a estrutura final do produto (FERREIRA *et al.*, 2016).

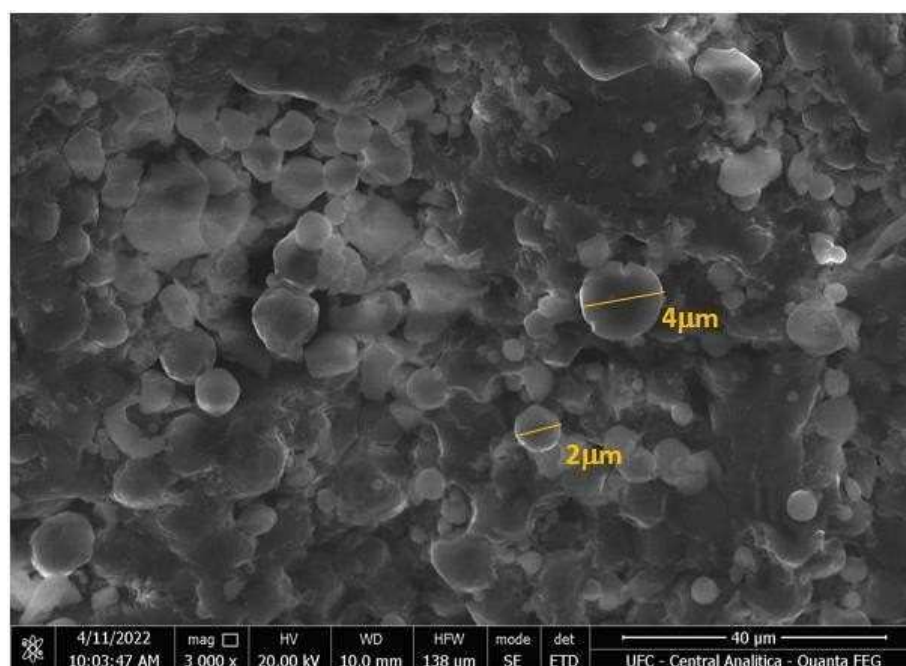
O tamanho da partícula da farinha é um dos fatores mais importantes que afetam a qualidade do pão e dos produtos de panificação. Para a produção de pão, tamanho de partícula maior é mais adequado, partículas abaixo de 80–100 μm não devem ser usadas se for desejado pão sem glúten com alto volume e miolo macio. Farinhas com partículas muito grandes podem resultar em pães com textura arenosa, portanto, 200 μm é o tamanho máximo de partícula (ŠMÍDOVÁ, RYSOVÁ, 2022). Farinhas com partículas maiores demonstraram reduzir a capacidade de retenção de gás da massa, bem como o volume final do pão (GÓMEZ,

SCIARINI, 2015).

4.9 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A imagem de MEV (figura 12) apresenta aspecto característico de amido de milho que são principalmente poligonais e de forma esférica (MAHAJAN *et al.*, 2021). Nota-se aglomerações, grânulos de amido de tamanho pequeno e médio como ovais ou esféricos, enquanto grânulos maiores era tipicamente irregular, com tamanhos entre 2 – 4 μm , dentro da faixa relatada para amido de milho (MAHAJAN *et al.*, 2021). À direita da imagem é possível detectar a presença de materiais com formatos diferentes dos esféricos, esses são fragmentos dos tegumentos dos grãos processados que são partes mais lignificadas então mais duras, que resistiram mais ao processo de moagem e quebraram-se menos do que os grânulos de amido.

Figura 12 – Micrografia eletrônica de varredura da farinha integral de milho.



O tamanho dos grânulos de amido de quatro tipos de milho (*foxtail*, *pearl*, *finger* e *proso millets*) foi encontrado na faixa de 2,5 a 24 μm . Suas formas eram principalmente poligonais com grânulos de forma esférica (MARCONE, BERTOFT, SEETHARAMAN, 2014). No entanto, a morfologia do amido é fortemente afetada pelo tipo de tratamento ou modificação a que foi submetido e também com os fatores ambientais, como as espécies cultivadas em grandes altitudes (possuindo menor temperatura média) possuem granulometria

maior (WEN *et al.*, 2014). Os fatores que influenciam a reologia, as propriedades funcionais e estruturais dos alimentos à base de amido são os diferentes tamanhos de grânulos e sua forma (SCHIRMER *et al.*, 2012).

Nesta farinha não se encontrou nenhum tipo de material estranho, nem partes de insetos, nem qualquer outro tipo de sujidade, o que permite conferir ótima qualidade à mesma. Destacando que não apresentou fraude na sua composição, que é quando se constata a substituição intencional de uma parcela ou de todo o material alimentício (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

4.10 Avaliação de toxicidade em náuplios de *Artemia salina* Leach

Artemia salina é um microcrustáceo comumente utilizado em bioensaios de toxicidade de compostos bioativos provenientes de diferentes fontes, sendo notadamente utilizada em testes para detecção de atividade tóxica em extratos vegetais (ALVES *et al.*, 2000).

De acordo com Meyer *et al.*, (1982), amostras que apresentam uma dose letal média (DL50) inferior a 1000 µg/mL, são consideradas atóxicas e amostras que apresente uma DL50 superior a 1000 µg/mL são classificadas como tóxicas para a espécie.

No presente estudo, foi avaliada a toxicidade de três extratos aquosos preparados em diferentes concentrações e obtidos por infusão da farinha integral de milho. Os resultados obtidos revelaram que todos os extratos foram considerados atóxicos para este microcrustáceo, conforme apresentado na tabela 16.

Tabela 16 – Resultado da avaliação de toxicidade da farinha integral de milho em náuplios de *Artemia salina* Leach.

Amostra	Concentração (µg/mL)	DL50 (µg/mL)
Extrato 1	100	Inferior a 1000
Extrato 2	500	Inferior a 1000
Extrato 3	1000	Inferior a 1000

4.11 Características físicas e tecnológicas dos pães sem glúten

4.11.1 Volume específico

Os volumes específicos dos pães sem glúten podem ser visualizados na tabela 17.

Tabela 17 – Volume específico dos pães sem glúten.

Formulação	Volume específico (mL/g)
FP	1,90 ^b ± 0,02
FM	2,19 ^a ± 0,12

*Os dados são expressos como média ± desvio padrão de 3 observações. FP: Formulação Padrão; FM: Formulação com 25% de farinha integral de milho. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre as amostras ($p < 0,05$).

Os volumes específicos dos pães apresentaram significância ($p < 0,05$) ao nível de 5% de confiança dos dados, de acordo com ANOVA, ou seja, a incorporação de 25% de farinha integral de milho teve efeito positivo sobre o volume específico de FM. Este resultado está diretamente relacionado a uma análise do perfil de textura, em que FM apresenta maior maciez.

A aceitação do pão pelo consumidor tem relação direta com seu volume, quanto melhor o volume do pão mais é a aceitação do consumidor. Esse aumento no volume específico está relacionado com a melhora na consistência da massa, o que por sua vez pode ser atribuído à conversão de estruturas biopoliméricas levando a um aumento da absorção de água, favorecendo o fenômeno de reticulação por meio da formação de ligações moleculares (BARBIROLI *et al.*, 2013). Além disso, o volume do pão é fortemente influenciado pela quantidade de gás retida pela massa durante a fase de amassamento. Quanto maior for a capacidade de retenção de gás da massa, maior será o volume dos pães e a adição de várias farinhas a massas sem glúten geralmente aumenta o volume específico do pão. No entanto, a interação entre os tipos de farinha, as concentrações utilizadas e a quantidade de água adicionada podem afetar os resultados de volume específico (AMMAR *et al.*, 2022).

Azarbad *et al.*, (2019) constataram que uma formulação de pão sem glúten contendo 17,8% de farinha de arroz, 67,2% de farinha de sorgo e 15% de farinha de milho resulta em um volume específico de cerca de 2,56 mL /g, superior aos obtidos no presente estudo.

A hidratação durante a formação da massa define as propriedades reológicas da massa sem glúten, adicionar o volume certo de água pode controlar aspectos de qualidade do

pão sem glúten, como, volume específico do pão e dureza do miolo (ROZYLO *et al.*, 2015). O sistema água-amido depende de ligações intermoleculares frágeis para estabilidade estrutural ou a falta dela, portanto, a massa sem glúten tem baixa tolerância à mistura e baixa propriedade extensional (LAZARIDOU *et al.*, 2007).

FP apresentou volume menor, provavelmente devido às fortes interações entre o hidrogênio e a água durante o preparo e falta de formação de rede capaz de reter o gás liberado durante a fermentação. Baixos volumes de pão sem glúten resultam à medida que o gás vaza das bolhas, ele abre caminho através das partículas fracamente conectadas e dos canais formados pelo gás que pressiona as partículas. Consequentemente, a massa fermenta insuficientemente e o pão resultante tem baixo volume (ONYANGO *et al.*, 2011).

Chakraborty, Kotwaliwale, Naval, (2020) desenvolveram pães sem glúten com farinha de milheto e o volume específico obtido foi de 1,21 mL/g, em comparação com pão desenvolvido com farinha de trigo integral, cujo volume específico foi de 2,23 mL/g (COMETTANT-RABANAL *et al.*, 2021), o valor obtido de FM foi bem próximo ao pão integral tradicional.

Estudos relatam que pães de cereais de sorgo e milheto são caracterizados por volumes específicos menores e menor dureza em comparação com pães de cereais de trigo, centeio e aveia, devido à ausência de glúten (TORBICA *et al.*, 2019). Em comparação com o pão de trigo, existe um grande desafio na produção de pães sem glúten devido à retenção deficiente de gases durante a fermentação produzida na formação de alvéolos irregulares e pães com altura e volume baixos, que alteram a maciez do miolo, onde pães com maiores volumes específicos apresentam maior maciez e maior formação de alvéolos (AOKI, 2020).

4.11.2 Cor

A tabela 18 apresenta os parâmetros de cor do miolo dos pães FP e FM. Os pães apresentaram significância ($p < 0,05$) ao nível de 5% de confiança dos dados, para os parâmetros de cor L, a*, b*, de acordo com ANOVA.

Tabela 18 – Análise de cor no miolo dos pães.

Formulação	L	a*	b*
FP	73,78 ^a ± 0,28	-1,35 ^b ± 0,06	13,50 ^b ± 0,45
FM	67,99 ^b ± 0,26	-0,64 ^a ± 0,09	17,31 ^a ± 0,17

*Os dados são expressos como média ± desvio padrão de 3 observações. FP: Formulação Padrão; FM: Formulação com 25% de farinha integral de milho. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre as amostras ($p < 0,05$).

Entre as formulações FP e FM, observa-se que a luminosidade do miolo de FM diminuiu conforme foi adicionada a farinha integral de milho, possivelmente resultado do teor de açúcares e aminoácidos fornecidos pela farinha integral de milho que contribuiu para a reação de Maillard e caramelização. De fato, quanto maior o teor de açúcar da farinha, mais pronunciada é a reação de Maillard. Em relação ao parâmetro a*, que apresentou valores negativos, a inclusão de farinha integral de milho fez com que FM tivesse cor mais escura em comparação ao FP, quanto ao parâmetro b*, indica que a cor dos miolos se apresentou na região do amarelo, que corresponde a valores positivos de b*. Este comportamento é consistente com a observação visual dos pães.

Torbica *et al.*, (2019), desenvolveram pães sem glúten com farinha de milho e ao analisarem os parâmetros de cor do miolo obtiveram os seguintes resultados: L (60,77), a* (4,77) e b* (19,01), valores bem próximos do presente estudo.

Existem alguns fatores que afetam as reações dos consumidores quanto à cor dos alimentos, o que pode se tornar significativo no nível da escolha do consumidor. O parâmetro de cor é importante devido a sua grande relação com as propriedades sensoriais dos produtos de panificação. A melhoria da cor causada pela farinha de milho é vantajosa, pois a cor mais escura é desejável pelos consumidores em comparação com a cor clara (AMMAR *et al.*, 2022), já que pães sem glúten geralmente tendem a ter uma cor mais clara do que os pães de trigo (GALLAGHER *et al.*, 2004).

4.11.3 Textura

Os resultados obtidos na avaliação das características de textura dos pães FP e FM são apresentados na tabela 19. Verificou-se a partir da análise de variância (ANOVA) uma influência significativa ($p < 0,05$) nos atributos avaliados nos pães, exceto para o atributo elasticidade.

Tabela 19 – Análise de perfil de textura.

Ensaio	FP	FM
Firmeza (N)	58,71 ^a ± 2,83	27,44 ^b ± 3,50
Elasticidade	0,89 ^a ± 0,02	0,91 ^a ± 0,02
Coesão	0,58 ^b ± 0,05	0,71 ^a ± 0,04
Gomosidade	3487,95 ^a ± 459,40	1998,74 ^b ± 365,80
Mastigabilidade	3132,80 ^a ± 463,54	1828,22 ^b ± 373,69

*Os dados são expressos como média ± desvio padrão de 4 observações. FP: Formulação Padrão; FM: Formulação com 25% de farinha integral de milho. Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas entre as amostras ($p < 0,05$).

Os parâmetros de textura são uma das principais características que determinam a aceitabilidade de novos produtos alimentícios formulados. Geralmente, para o pão sem glúten, em particular, o envelhecimento rápido é um dos principais problemas, uma vez que a presença de glúten pode retardar o envelhecimento na matriz de amido (AHLBORN *et al.*, 2005).

FM apresentou dureza significativamente menor ($p < 0,05$) do que FP, o que demonstrou que a farinha integral de milho pode ajudar a reduzir os efeitos da dureza e melhorar a aparência geral do pão. A dureza reduzida de FM em relação à FP pode ser devida à capacidade de retenção de água das fibras presentes na farinha integral de milho, evitando a perda de umidade e retardando a retrogradação do amido, indicando que a fibra alimentar, em particular a fibra insolúvel, contribuiu para a menor firmeza do miolo de FM (PHIMOLSIRIPOL, MUKPRASIRT, SCHOENLECHNER, 2012).

Esse resultado se assemelha dos de Pessanha *et al.*, (2021) que desenvolveram pães sem glúten com farinha de milho e constataram que os pães eram mais macios, menor firmeza, quando comparados com o pão controle, que era um pão integral sem glúten comercial. O valor de firmeza do miolo de FM foi menor do que os relatados por Torbica *et al.*, (2019), em pães sem glúten com farinha de milho, cujos valores para firmeza foi de 33,31 N após 1 h do forneamento e 45,76 N após 24h do forneamento, muito embora as pães com farinha de milho tenha apresentado a maior firmeza em comparação aos pães sem glúten de centeio, aveia e sorgo. A firmeza de pães está relacionada com a força aplicada para ocasionar uma deformação ou rompimento da amostra, podendo ser correlacionada com a mastigação humana (BORGES *et al.*, 2012).

Em geral, a elasticidade é um indicador da capacidade da massa de promover a retenção de gases da fermentação, e a baixa elasticidade leva à perda da estrutura formada

durante a fermentação, causando uma redução na capacidade de retenção de gases (PATIL *et al.*, 2016). No presente estudo, a elasticidade (cujo valor mais baixo indica rápida recuperação após a deformação) foi semelhante ($p > 0,05$) nos pães FP e FM, indicando que a adição de farinha integral de milho não afetou significativamente esse parâmetro. A elasticidade do pão sem glúten produzido a partir de farinha integral de milho foi próxima a amostra comercial sem glúten, apesar de serem estatisticamente diferentes (PESSANHA *et al.*, 2021).

A coesão descreve a capacidade do alimento manter sua forma entre a 1ª e a 2ª mastigação, um indicativo da força dos laços internos que compõem o miolo do pão (PESSANHA *et al.*, 2021). FM apresentou coesão significativamente maior ($p < 0,05$) do que FP, e próximo ao valor obtido (0,80) para pão desenvolvido com farinha de trigo refinada, pão com glúten (CHAKRABORTY, KOTWALIWALE, NAVAL, 2020). FP apresentou coesividade inferior a FM e de fato foi o pão que mais se esfarelou, com a massa sem consistência ideal.

Em relação à gomosidade e mastigabilidade (facilidade de manipular na boca), FM apresentou valores aproximadamente 2 vezes menores do que FP, diferindo estatisticamente ($p < 0,05$), a adição da farinha integral de milho, que apresenta baixa taxa de absorção de água provocou, como consequência, menor gomosidade e mastigabilidade, ou seja, redução da energia requerida para desintegrar um alimento semi-sólido, tornando-o apto a ser deglutido (SILVA *et al.*, 2013). Pessanha *et al.*, (2021) obtiveram menor taxa de gomosidade e mastigabilidade em pão com farinha de milho comparado ao pão integral sem glúten comercial. Os resultados revelaram que os valores de mastigabilidade são altamente dependentes da dureza.

4.12 Caracterização nutricional dos pães sem glúten

O pão sem glúten geralmente tem um baixo valor nutritivo, contudo uma revisão recente (AGUIAR *et al.*, 2021) identificou que o pão sem glúten tem menor teor de proteína e maior teor de lipídios do que o pão convencional.

A Tabela 20 apresenta os resultados da caracterização nutricional dos pães sem glúten.

Tabela 20 – Parâmetros nutricionais dos pães sem glúten.

Parâmetros (%)	FP	FM
Umidade	45,63 ^a ± 0,89	45,54 ^a ± 0,56
Cinzas	1,02 ^a ± 0,07	1,84 ^a ± 0,56
Proteínas	11,60 ^b ± 0,46	18,24 ^a ± 0,76
Lipídeos	2,77 ^a ± 0,19	2,88 ^a ± 0,16
Carboidratos	41,98 ^a ± 0,09	38,51 ^b ± 0,06
Fibra total	1,09 ^a ± 0,09	1,27 ^a ± 0,32
Valor Calórico (Kcal/100g)	227,25 ^a ± 0,89	224,92 ^b ± 0,42

*Os dados são expressos como média ± desvio padrão de 3 observações. FP: Formulação Padrão; FM: Formulação com 25% de farinha integral de milho. Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas entre as amostras ($p < 0,05$).

A umidade em pães apresenta-se como avaliação importante, a avaliação deste parâmetro é correlacionada à atividade microbiana no produto. Um teor elevado de umidade em pães aumenta a atividade microbiana, deixa o produto “grudento e borrachudo”, alterando sua textura, sendo este um dos fatores responsáveis pela perda da qualidade do produto (OLIVEIRA *et al.*, 2011), no entanto em produtos sem glúten onde a massa é mais líquida, espera-se que o teor de umidade seja elevado, como o observado no estudo onde FP e FM apresentaram alto teor de umidade, não diferindo significativamente ($p > 0,05$).

O teor de umidade apresentado no presente estudo mostrou-se satisfatório, apresentando na mesma faixa do apresentado por Kurek *et al.*, (2017) em estudo com pães de trigo com alto teor de fibras, onde obtiveram valores de umidade variando entre 41,6-66,6%. Embora Patil *et al.*, (2016) ao estudar o efeito da farinha de milho (Eleusine coracana L.) em pão tradicional, adicionando 10, 20 e 30% de farinha de milho na formulação, tenham obtido valores de umidade de 34,74%, 34,11% e 33,35%, respectivamente, enquanto do pão controle (farinha de trigo refinada) tenha sido de 36,53%, valores inferiores ao encontrado.

O teor de cinzas de FP e FM não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$), tendo valor inferior ao verificado por Moss e McSweeney (2021) em estudo sobre o efeito da adição de farinha de milho na aceitabilidade do consumidor de pão sem glúten, obtiveram o valor de cinzas de 2,9% e 3,4% para pães com adição da 25% e 50% de farinha de milho respectivamente.

A farinha integral de milho aumentou significativamente ($p < 0,05$) o teor de

proteína de FM, mesmo efeito observado por Moss, McSweeney (2021), onde a farinha de milho também aumentou significativamente o teor de proteína do pão quando substituíram completamente a fécula de batata por 50% de farinha de milho. Estudos de pães contendo farinha de milho apresentaram valores de teor de proteína inferiores ao exposto neste trabalho (10,3 g/100g; 7,6 g/100g) (PESSANHA *et al.*, 2021, TORBICA *et al.*, 2019).

A adição da farinha de milho não alterou significativamente ($p>0,05$) o teor de lipídios dos pães. Verificou-se que as farinhas de milho aumentaram o teor de lipídios de pães sem glúten (ČUKELJ MUSTAČ *et al.*, 2020). Apesar dos baixos níveis, têm um papel importante na qualidade do pão, em particular, o volume do pão é sensível à composição, estabilidade e teor global de lipídeos (SROAN, RITCHIE, 2009).

Não houve diferença significativa ($p>0,05$) em relação ao teor de fibras totais. Para fins de melhor comparação a análise do teor de fibra alimentar total seria o adequado, onde estudos com pães contendo farinha de milho apresentaram valores de teor de fibras alimentares totais entre (4,3 g/100g; 5,9 g/100g; 8,0 g/100g) (TORBICA *et al.*, 2019; MOSS, MCSWEENEY, 2021; PESSANHA *et al.*, 2021).

O valor de carboidratos calculado por diferença neste estudo está abaixo do valor apresentado na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos para o pão de forma integral clássico que é de 45,62 g/100g para carboidratos (TACO, 2011). Em pães com formulação contendo farinha de milho foram relatados valores variáveis para frações de carboidratos, entre 44,5 – 58,3g/100g (PESSANHA *et al.*, 2021; TORBICA *et al.*, 2019). O valor de carboidrato é positivo para pães, assim podendo ser fonte de carboidrato na dieta de seus consumidores.

O valor calórico de FP e FM apresentaram diferença significativa ($p<0,05$) e foi menor que o encontrado por Torbica *et al.*, (2019), 280,9 kcal, possivelmente devido a escolha de se utilizar de uma formulação isenta de leite e ovos, a fim de disponibilizar uma opção com menos riscos de irritações/alergias alimentares. Porém, em regiões com concentração de população carente de alimentos, novas alternativas com baixo custo podem proporcionar uma dieta com valor calórico da formulação estudada para atender a esta demanda.

5 CONCLUSÃO

A farinha integral de milho foi caracterizada como uma farinha rica em fibras totais e insolúveis, com alto teor de proteínas, lipídios e minerais (P, Mg, Fe e K).

Os compostos bioativos, fenólicos totais e flavonoides totais, foram identificados, considerando que os ácidos fenólicos foram detectados em quantidades elevadas. De acordo com os resultados obtidos neste estudo, pelos métodos DPPH, ABTS, a farinha integral de milho apresentou potencial para aplicação como antioxidante.

As características de cor (clara, com tons amarelo), granulometria e propriedades funcionais tecnológicas (com destaque para índice de absorção de água, solubilidade em água e atividade emulsificante) mostraram-se interessantes para utilização da farinha como ingrediente para diversas aplicações na indústria de alimentos, principalmente para produção de pão sem glúten.

Não foi demonstrada toxicidade aguda para o microcrustáceo *Artemia salina*, de forma que o produto se mostrou seguro para o consumo.

A proporção de 25% de farinha integral de milho mostrou-se efetiva, atendeu aos parâmetros tecnológicos, aumentando o volume específico do pão e reduzindo cor e firmeza nas formulações, características desejadas por consumidores.

A caracterização nutricional das formulações apresentou um produto saudável..

Pode-se concluir que a utilização de farinha integral de milho resultou em um pão sem glúten com ótimas características para ser apresentado como nova opção para o mercado alimentício sem glúten, com qualidade nutricional e visual.

O milho é um importante cereal sem glúten, no entanto, devido a vários desafios funcionais, esses grãos ainda não foram totalmente adotados em muitas dietas. Assim, a possibilidade de incorporá-los em diversos tipos de produtos alimentícios tem um vasto campo de estudos e pesquisas para a racionalização científica de suas propriedades nutricionais. No entanto, estudos muito limitados foram focados nesses cereais como alimentos no Brasil, revelando a necessidade de uma ampla abordagem na pesquisa do milho em vários aspectos, atender a essas lacunas de pesquisa pode não apenas ajudar na compreensão do escopo de utilização do milho, mas também na comercialização efetiva como ingrediente em produtos alimentícios, para aplicações em escala doméstica, comunitária e industrial.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-RAHMAN, S. M.; BABIKER, E. E.; EL TINAY, A. H. Effect of fermentation on antinutritional factors and HCl extractability of minerals of pearl millet cultivars. **Journal of Food Technology**, *s.l.*, v. 3, ed. 4, p. 516–522, 2005.
- ADEBIYI, J. A.; OBADINA, A. O.; ADEBO, O. A.; KAYITESI, E. Comparison of nutritional quality and sensory acceptability of biscuits obtained from native, fermented, and malted pearl millet (*Pennisetum glaucum*) flour. **Food Chemistry**, *s.l.*, v. 232, p. 210-217, 2017.
- ADEBOWALE, K. O.; LAWAL, O. S. Foaming, gelation and electrophoretic characteristics of mucuna bean (*Mucuna pruriens*) protein concentrates. **Food Chemistry**, *s.l.*, v. 83, p. 237 – 246, 2003.
- ADETOLA, O. Y.; KRUGER, J.; WHITE, Z.; TAYLOR, J. R. N. Comparison between food-to-food fortification of pearl millet porridge with moringa leaves and baobab fruit and with adding ascorbic and citric acid on iron, zinc and other mineral bioaccessibility. **LWT - Food Science and Technology**, *s.l.*, v. 106, p. 92-97, 2019.
- ADIAMO, O. Q.; FAWALE, O. S.; OLAWOYE, B. Recent trends in the formulation of gluten-free sorghum products. **Journal of Culinary Science & Technology**, *s.l.*, v. 16, p. 311-325, 2018.
- AGUIAR, E. V.; SANTOS, F. G.; KRUPA-KOZAK, U.; CAPRILES, V. D. Nutritional facts regarding commercially available gluten-free bread worldwide: recent advances and future challenges. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, *s.l.*, 2021.
- AGRIEXCHANGE. **Market Intelligence Report for millets**. 2023. Disponível em: https://agriexchange.apeda.gov.in/Weekly_eReport/Milletts_Report.pdf. Acesso em: 01 jan 2023.
- AHLBORN, G. J.; PIKE, O. A.; HENDRIX, S. B.; HESS, W. M.; HUBER, C. S. Sensory, mechanical, and microscopic evaluation of staling in low-protein and gluten-free breads. **Cereal Chemistry**, *s.l.*, v. 82, n. 3, pp. 328-335, 2005.
- ALYAMI, J.; WHITEHOUSE, E.; YAKUBOV, G. E.; PRITCHARD, S. E.; HOAD, C. L.; BLACKSHAW, E.; HEISSAM, K.; CORDON, S. M.; BLIGH, H. F. J.; SPILLER, R. C.; MACDONALD, I. A.; AITHAL, G. P.; GOWLAND, P. A.; TAYLOR, M. A.; MARCIANI, L. Glycaemic gastrointestinal hormonal and appetitive responses to pearl millet or oats porridge breakfasts: a randomized crossover trial in healthy humans. **British Journal of Nutrition**, *s.l.*, v. 122, n. 10, p. 1142–1154, 2019.
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved Methods of Analysis**. 10. ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 2010.
- AMMAR, I.; SEBII, H.; ALOUI, T.; ATTIA, H.; HADRICHI, B.; FELFOUL, I. Optimization of a novel, gluten-free bread's formulation based on chickpea, carob and rice flours using response surface design. **Heliyon**, *s.l.*, v. 8, n. 12, e12164, 2022.

ANITHA, S.; BOTHA, R.; KANE-POTAKA, J.; GIVENS, D. I.; RAJENDRAN, A.; TSUSAKA, T. W.; BHANDARI, R. K. Can millet consumption help manage hyperlipidemia and obesity? A systematic review and meta-analysis. **Frontiers in Nutrition**, *s.l.*, v. 8, 700778, 2021.

ANITHA, S.; KANE-POTAKA, J.; TSUSAKA, T. W.; BOTHA, R.; RAJENDRAN, A.; GIVENS, D. I.; PARASANNANAVAR, D. J.; SUBRAMANIAM, K.; PRASAD, K. D. V.; VETRIVENTHAN, M.; BHANDARI, R. K. A systematic review and meta-analysis of the potential of millets and sorghum for managing and preventing diabetes mellitus. **Frontiers in Nutrition**, *s.l.*, v. 8, p.1–18, 2021.

ANNOR, G. A.; TYL, C.; MARCONE, M.; RAGAE, S.; MARTI, A. Why do millets have slower starch and protein digestibility than other cereals? **Trends Food Science Technol**, *s.l.*, v. 66, p. 73–83, 2017.

ANNOR, G. A.; MARCONE, M.; CORREDIG, M.; BERTOFT, E.; SEETHARAMAN, K. Effects of the amount and type of fatty acids present in millets on their in vitro starch digestibility and expected glycemic index (eGI). **Journal of Cereal Science**, *s.l.*, v. 64, p. 76–81, 2015.

ANURADHA, N.; SATYAVATHI, C. T.; MEENA, M. C.; SANKAR, S. M.; BHARADWAJ, C.; BHAT, J.; SINGH, O.; SINGH, S. P. Evaluation of pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] for grain iron and zinc content in different agro climatic zones of India. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, *s.l.*, v. 77, ed. 1, p. 65–73, 2017.

AOKI, N.; KATAOKA, T.; NISHIBA, Y. Crucial role of amylose in the rising of gluten- and additive-free rice bread. **Journal of Cereal Science**, *s.l.*, v. 92, p. 102905, 2020.

AWIKA, J. M. Major cereal grains production and use around the world. In: Advances in cereal science: implications to food processing and health promotion. **ACS Symposium Series**, *s.l.*, v. 1089, p. 1–13, 2011.

AWOLU, O. O. Optimization of the functional characteristics, pasting and rheological properties of pearl millet-based composite flour. **Heliyon**, *s.l.*, v. 3, n. 2, article e00240, 2017.

AZARBAD, H.; MAZAHARI TEHRANI, M.; RASHIDI, H. Optimization of gluten-free bread formulation using sorghum, rice, and Millet flour by D-optimal mixture design approach. **Journal of Agricultural Science and Technology**, *s.l.*, v. 21, n. 1, pp. 101–115, 2019.

AZEEZ, S. O.; CHINMA, C. E.; BASSEY, S. O.; EZE, U. R.; MAKINDE, A. F.; SAKARIYAH, A. A.; OKUBANJO, S. S.; DANBABA, N.; ADEBO, O. A. Impact of germination alone or in combination with solid-state fermentation on the physicochemical, antioxidant, in vitro digestibility, functional and thermal properties of brown finger millet flours. **LWT - Food Science and Technology**, *s.l.*, v. 154, p. 1–9, 2022.

BALAKRISHNAN, G.; SCHNEIDER, R. G. The Role of Amaranth, Quinoa, and Millets for the Development of Healthy, Sustainable Food Products. **A Concise Review. Foods**, *s.l.*, v. 11, n. 16, p. 2442, 2022.

BARBIROLI, A.; BONOMI, F.; CASIRAGHI, M.C.; IAMETTI, S.; PAGANI, M. A.; MARTI, A. Process conditions affect starch structure and its interactions with proteins in rice pasta. **Carbohydrate Polymers**, *s.l.*, v. 92, n. 2, pp. 1865-1872, 2013.

BHATT, S.; KUMARI, N.; ABHISHEK, V.; GUPTA, M. Elucidating the role of amaranth flour in formulation of gluten free black rice muffins and its premix: Nutritional, physico-chemical and textural characteristics. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 15, n. 1, pp. 675-685, 2021.

BLISSTREE. **Products**. 2023. Disponível em: <https://bliss-tree.in/collections/all?page=4>. Acesso em: 21 dez 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 711, de 1 de julho de 2022**. Dispõe sobre os requisitos sanitários dos amidos, biscoitos, cereais integrais, cereais processados, farelos, farinhas, farinhas integrais, massas alimentícias e pães. Brasília, DF: ANVISA, 2022a.

BRASIL. **Anemia ferropriva: deficiência de ferro é um dos fatores que podem estar associados à mortalidade materna**. 2022b. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2022/agosto/anemia-ferropriva-deficiencia-de-ferro-e-um-dos-fatores-que-podem-estar-associados-a-mortalidade-materna#:~:text=A%20anemia%20por%20defici%C3%Aancia%20de,em%20idade%20f%C3%A9rtil%20e%20gestantes>. Acesso em: 19 dez 2022.

BONCOMPAGNI, E.; OROZCO-ARROYO, G.; COMINELLI, E.; GANGASHETTY, P. I.; GRANDO, S.; KWAKU ZU, T. T.; DAMINATI, M. G.; NIELSEN, E.; SPARVOLI, F. Antinutritional factors in pearl millet grains: Phytate and goitrogens content variability and molecular characterization of genes involved in their pathways. **PLoS One**, *s.l.*, v. 13, Article e0198394, 2018.

BUREŠOVÁ, I.; TOKÁR, M.; MAREČEK, J.; HRIVNA, L.; FAMĚRA, O.; ŠOTTNÍKOVÁ, V. The comparison of the effect of added amaranth, buckwheat, chickpea, corn, millet and quinoa flour on rice dough rheological characteristics, textural and sensory quality of bread. **Journal of Cereal Science**, *s.l.*, v. 75, p. 158–164, 2017.

CARBONE, J. W.; PASIAKOS, S. M. Dietary protein and muscle mass: translating science to application and health benefit. **Nutrients**, *s.l.*, v. 11, n. 5, p. 1136, 2019.

CHAKRABORTY, S. K.; KOTWALIWALE, N.; NAVALE, S. A. Selection and incorporation of hydrocolloid for gluten-free leavened millet breads and optimization of the baking process thereof. **LWT - Food Science and Technology**, *s.l.*, v. 119, 108878, 2020.

CHANDEL, G.; KUMAR, M.; DUBEY, M.; KUMAR, M. Nutritional properties of minor millets: neglected cereals with potentials to combat malnutrition. **Current Science**. *s.l.*, v. 07, n. 7, p.1109–11, 2014.

CHANDRASEKARA, A.; SHAHIDI, F. Content of insoluble bound phenolics in millets and their contribution to antioxidant capacity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. *s.l.*, v. 58, p. 6706-6714, 2010.

CHANDRASEKARA, A.; SHAHIDI, F. Bioactivities and antiradical properties of millet grains and hulls. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, *s.l.*, v. 59, n. 17, pp. 9563-9571, 2011.

CHOUDHARY, S.; GUHA, A.; KHOLOVA, J.; PANDRAVADA, A.; MESSINA, C. D.; COOPER, M.; VADEZ, V. Maize, sorghum, and pearl millet have highly contrasting species strategies to adapt to water stress and climate change-like conditions. **Plant Science**, *s.l.*, v. 295, 2020.

CLERICI, M. T. P. S.; AIROLDI, C.; EL-DASH, A. Production of acidic extruded rice flour and its influence on the qualities of gluten-free bread. **LWT - Food Science and Technology**, *s.l.*, v. 42, n. 2, p. 618–623, 2009.

COMETTANT-RABANAL, R.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R.; CHÁVEZ, D. W. W.; GERMANI, R. Extruded whole grain flours and sprout millet as functional ingredients for gluten-free bread, **LWT - Food Science and Technology**, *s.l.*, v. 150, 112042, 2021.

CORDELINO, I. G.; TYL, C.; INAMDAR, L.; VICKERS, Z.; MARTI, A.; ISMAIL, B. P. Cooking quality, digestibility, and sensory properties of proso millet pasta as impacted by amylose content and prolamin profile. **LWT - Food Science and Technology**, *s.l.*, v. 99, p. 1-7, 2019.

ČUKELJ MUSTAČ, N.; NOVOTNI, D.; HABUŠ, M.; DRAKULA, S.; NANJARA, L.; VOUČKO, B.; BENKOVIĆ, M.; DUŠKA. Storage stability, micronisation, and application of nutrient-dense fraction of proso millet bran in gluten-free bread. **Journal of Cereal Science**, *s.l.*, 91, 102864, 2020.

DEGÁSPARI, C. H.; WASZCZYNSKYJ, N. Propriedades antioxidantes de compostos fenólicos. **Visão Acadêmica**, *s.l.*, v. 5, n. 1, p. 33-40, 2004.

DEVI, P. B.; VIJAYABHARATHI, R.; SATHYABAMA, S.; MALLESHI, N. G.; PRIYADARISINI, V. B. Health benefits of finger millet (*Eleusine coracana* L.) polyphenols and dietary fiber: a review. **Journal of Food Science and Technology**, *s.l.*, v. 51, p. 1021-1040, 2014.

DEVRIES, J. W.; CAMIRE, M. E.; CHO, S.; CRAIG, S. A. S.; GORDON, D.; JONES, J. M.; LI, B.; LINEBACK, D.; PROSKY, L.; TUNGLAND, B. The definition of dietary fiber. **Cereal Foods World**, *s.l.*, v. 46, ed. 3, p. 112-129, 2001.

DHINGRA, D.; MICHAEL, M.; RAJPUT, H.; PATIL, R. T. Dietary fibre in foods: a review. **Journal of Food Science and Technology**, *s.l.*, v. 49, p. 255-266, 2012.

DIAS, A. R. G.; COLUSSI, R.; ZAVAREZE, E. R.; EL HALAL, S. L. M. **Ciência e tecnologia de panificação**. Pelotas: Cópias Santa Cruz, 326 p., 2019.

DIAS-MARTINS, A. M.; PESSANHA, K. L. F.; PACHECO, S.; RODRIGUES, J. A. S.; CARVALHO, C. W. P. Potential use of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) in Brazil: Food security, processing, health benefits and nutritional products, **Food Research International**, *s.l.*, v. 109, p. 175-186, 2018.

DIAS-MARTINS, A. M.; CAPPATO, L. P.; MATTOS, M. C.; RODRIGUES, F. N.; PACHECO, S.; CARVALHO, C. W. P. Impacts of ohmic heating on decorticated and whole pearl millet grains compared to open-pan cooking, **Journal of Cereal Science**, *s.l.*, v. 85, p. 120-129, 2019.

DI CAIRANO, M.; CONDELLI, N.; CARUSO, M. C.; MARTI, A.; CELA, N.; GALGANO, F. Functional properties and predicted glycemic index of gluten free cereal, pseudocereal and legume flours. **LWT - Food Science and Technology**, *s.l.*, v. 133:109860, 2020.

DIRECTORATE OF MILLETS DEVELOPMENT. Department of Agriculture, Co-operation & Farmers Welfare, Ministry of Agriculture & Farmers Welfare, **Government of India**, 2020. Disponível em: https://www.millets.res.in/millets_info.php. Acesso em: 02 dez 2022.

DUARTE, J. O.; GARCIA, J. C. **Embrapa Milho e Sorgo Sistema de Produção**, 3 ISSN 1679-012X 3 Versão Eletrônica 5ª edição | Apr/2016. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/748807/1/Milheto-Importancia-economica.pdf>. Acesso em: 02 dez 2022.

DUEÑAS, M.; HERNANDEZ, T.; ESTRELLA, I. Phenolic composition of the cotyledon and the seed coat of lentils (*Lens Culinaris* L.). **European Food Research and Technology**, *s.l.*, v.215, p. 478-483, 2002.

DURAIRAJ, M.; GURUMURTHY, G.; NACHIMUTHU, V.; MUNIAPPAN, K.; BALASUBRAMANIAN, S. Dehulled small millets: The promising nutriceals for improving the nutrition of children. **Maternal & child nutrition**, *s.l.*, 15 Suppl 3(Suppl 3), e12791. 2019.

DYALL, S. C. Long-chain omega-3 fatty acids and the brain: a review of the independent and shared effects of EPA, DPA and DHA. **Frontiers in Aging Neuroscience**, *s.l.*, v. 7, p. 52, 2015.

DYKES, L.; ROONEY, L. W. Sorghum and millet phenols and antioxidants. **Journal of Cereal Science**, *s.l.*, v. 44, p. 236-251, 2006.

DYKES, L.; ROONEY, L. Phenolic compounds in cereal grains and their health benefits. **Cereal Foods World**, *s.l.*, v. 52, n. 3, pp. 105-111, 2007.

EL-KHOURY, D.; BALFOUR-DUCHARME, S.; JOYE, I. J. A review on the gluten-free diet: technological and nutritional challenges. **Nutrition**, *s.l.*, v. 10, p. 1410, 2018.

ELYAS, S. H. A.; EL TINAY, A. H.; YOUSIF, N. E.; ELSHEIKH, E. A. E. Effect of natural fermentation on nutritive value and *in vitro* protein digestibility of pearl millet. **Food Chemistry**, *s.l.*, v. 78, p. 75-79, 2002.

EZZATI, M.; LOPEZ, A. D.; RODGERS, A.; VANDERHOORN, S.; MURRAY, C. J. L. Selected major risk factors and global and regional burden of disease. **Lancet**. *s.l.*, v. 360, p. 1347–1360. 2002.

FAJARDO, V.; GONZÁLEZ, M. P.; MARTÍNEZ, M.; SAMANIEGO-VAESKEN, M. L.; ACHÓN, M.; ÚBEDA, N., ALONSO-APERTE, E. Updated food composition database for cereal-based gluten free products in Spain: is reformulation moving on? **Nutrition**, *s.l.*, v. 12, p. 2369, 2020.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Cereal Supply and Demand Brief World Food Situation**. (n.d.). Retrieved March 26, 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/>. Acesso em: 02 dez 2022.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **International Year of Millets**. 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/millet-2023/en>. Acesso em: 03 dez 2022.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Sorghum and millets in human nutrition**. Agriculture and Consumer Protection, n. 27, 1995. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/T0818e/T0818E00.htm/>. Acesso em: 03 dez 2022.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Amino Acid Scoring Pattern. In Protein quality evaluation, FAO/WHO, **Food and Nutrition Paper**, Italy. p. 12–24, 1991.

FERNANDES, S. S.; SALAS-MELLADO, M. M. Addition of chia seed mucilage for reduction of fat content in bread and cakes. **Food Chemistry**, *s.l.*, v. 227, p. 237–244, 2017.

FERREIRA, S. M. R.; MELLO, A. P.; DE ANJOS, M. C. R.; KRÜGER, C. C. H.; AZOUBEL, P. M.; ALVES, M. A. O. Utilization of sorghum, rice, corn flours with potato starch for the preparation of gluten-free pasta. **Food Chemistry**, *s.l.*, v. 191, p. 147–151, 2016.

FILHO, I. A. P. **Embrapa Milho e Sorgo**. Sistema de Produção, Abr/2016. 5ª edição. Disponível em: <https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/>. Acesso em: 16 dez. 2022.

FRANÇA, A. F. S.; MIYAGI, E. S. Alternativas alimentares para animais no cerrado–milheto: apenas uma solução proteica? (In Portuguese) **Revista UFG**, Goiânia, v. 13, p. 42–47, 2012.

GALLAGHER, E. Celiac disease and gluten-free research: what does the future hold for the physician, the patient and the scientist? In: Gallagher E (ed) **Gluten-free food science and technology**. Wiley-Blackwell, London, p. 225–232, 2009.

GIBSON, R. S., HESS, S. Y., HOTZ, C., AND BROWN, K. H. Indicators of zinc status at the population level: a review of the evidence. **British Journal of Nutrition**, *s.l.*, v. 99, S14–S23, 2008.

GISSLEN, W. **Panificação e confeitaria profissionais**. 5. ed. São Paulo: Manole, 2011.

GÓMEZ, M.; SCARINI, L. S. Gluten-free bakery products and pasta. IN: ARRANZ E., FERNÁNDEZ-BAÑARES F., ROSELL C.M., RODRIGO L., PEÑA A.S., editors. **Advances in the Understanding of Gluten Related Pathology and the Evolution of Gluten-Free Foods**. OmniaScience; Barcelona, Spain: pp. 565–604, 2015.

GOPALAN, C.; RAMA, S. B. V.; BALASUBRAMANIAN, S. C. Nutritive value of Indian foods. **Hyderabad: National Institute of Nutrition**, *s.l.*, 2003.

GOSWAMI, S.; ASRANI, P.; ANSHEEF ALI, T. P.; KUMAR, R. D.; VINUTHA, T.; VEDA, K.; KUMARI, S.; SACHDEV, A.; SINGH, S. P.; SATYAVATHI, C. T.; KUMAR, R. K.; PRAVEEN, S. Rancidity matrix: development of biochemical indicators for analysing the keeping quality of pearl millet flour. **Food Analytical Methods**, *s.l.*, v. 13, p. 2147-2164, 2020.

GUPTA, R. K.; GANGOLIYA, S. S.; SINGH, N. K. Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains. **Journal of Food Science and Technology**, *s.l.*, v. 52, n. 2, pp. 676-684, 2015.

GUTKOSKI, L. C. **Controle de Qualidade de grãos e farinhas de cereais**. Universidade de Passo Fundo – Centro de pesquisa e alimentação. Passo Fundo – RS, 2009. Disponível em: http://200.135.19.1/4simposio/docs/avaliacao_qualidade_de_graos_concordia_2009.pdf Acesso em 10 Mar. 2022.

HAN, N. R.; HAN, H. Y.; KIM, W. M.; YANG, H. J.; JEONG, H. M.; KIM. Glutamic acid ameliorates estrogen deficiency-induced menopausal-like symptoms in ovariectomized mice. **Nutrition Research**, *s.l.*, v. 35, ed. 9, p. 774-783, 2015.

HAG, M. E.; TINAY, A. H.; YOUSIF, N. E. Effect of fermentation and dehulling on starch, total polyphenols, phytic acid content and *in vitro* protein digestibility of pearl millet. **Food Chemistry**, *s.l.*, v. 77, p. 193-196, 2002.

HORSTMANN, S. W.; LYNCH, K. M.; ARENDT, E. K. Starch characteristics linked to gluten-free products. **Foods**, *s.l.*, v. 6, n. 29, 2017.

ICRISAT a key actor in opening ceremony of International Year of Millets. **ICRISAT**, 2023. Disponível em: <https://pressroom.icrisat.org/icrisat-a-key-actor-in-opening-ceremony-of-international-year-of-millet-2023>. Acesso em: 16 dez. 2022.

IGBETAR, B.; BOSCH, C.; ORFILA, C. Pearl millet: a sustainable cereal with low glycemic potential. **Proceedings of the Nutrition Society**, *s.l.*, v. 77, p. E136, 2018.

JAIN, N.; ARORA, P.; TOMER, R.; MISHRA, S. V.; BHATIA, A.; PATHAK, H.; CHAKRABORTY, D.; KUMAR, V.; DUBEY, D.S.; HARIT, R. C.; *et al.* Greenhouse gases emission from soils under major crops in Northwest India. **Science Total Environ**, *s.l.*, v. 542, p. 551-561, 2016.

JAYBHAYE, R.V.; PARDESHI, I. L.; VENGAIAH, P. C.; SRIVASTAV, P.P. Processing and technology for millet based food products: a review. **Journal of Ready to Eat Food**. *s.l.*, v. 1, ed. 2, p. 32-48, 2014.

JUKANTI, A. K.; GOWDA, C. L. L.; RAI, K. N.; MANGA, V. K.; BHATT, R. K. crops that feed the world 11. Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* L.): an important source of food security, nutrition and health in the arid and semi-arid tropics. **Food Security**, *s.l.*, v. 8, p.307-329, 2016.

KAJUNA. Star millet: Post-harvest operations. **Food and Agricultural Organization**, United Nations; 2001. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-av009e.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2022.

KANNAN, S. M.; THOORYAVATHY, R. A.; KARIYAPA, R. T.; SUBRAMANIAN, K.; VIJAYALAKSHMI, K. **Seed production techniques for cereals and millets**. In: Vijayalakshmi K, editor. Seed node of the Revitalizing Rainfed Agriculture Network, Centre for Indian knowledge systems (CIICS). p. 1–39, 2013. Disponível em: <http://www.ciks.org/downloads/seeds/5.%20Seed%20Production%20Techniques%20for%20Cereals%20and%20Millets.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2022.

KAUR, M.; SANDHU, K. S.; ARORA, A. P.; SHARMA, A. Gluten free biscuits prepared from buckwheat flour by incorporation of various gums: Physicochemical and sensory properties. **Food Science and Technology**, *s.l.*, v. 62, n. 1, pp. 628-632, 2015.

KOEHLER, P.; WIESER, H.; KONITZER, K. Celiac Disease and Gluten: Multidisciplinary Challenges and Opportunities. **Academic Press**; Cambridge, MA, USA: 2014.

KUMAR, A.; TOMER, V.; KAUR, A.; KUMAR, V.; GUPTA, K. Millets: a solution to agrarian and nutritional challenges. **Agriculture & Food Security**, *s.l.*, v. 7, ed. 1, p. 1-15, 2018.

KULKARNI, D.; SAKHALE, B.; GIRI, N. A potential review on millet grain processing. **International Journal of Nutritional Sciences**, *s.l.*, v. 3, n. 1, p. 1018, 2018.

KUMARI, R.; BHATT, S.; AGRAWAL, H.; DADWAL, V.; GUPTA, M. Effect of fermentation conditions on nutritional and phytochemical constituents of pearl millet flour (*Pennisetum glaucum*) using response surface methodology. **Applied Food Research**, *s.l.*, v.2, ed. 1, 2022.

KUMARI, R.; SINGH, K.; SINGH, R.; BHATIA, N.; NAIN, M. S. Development of healthy ready-to-eat (RTE) breakfast cereal from popped pearl millet. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, *s.l.*, 89, 5, 2019.

KUREK, M. A.; KARPJ, W. S.; BRZESKA, M.; WIERZBICKA, A. Comparative analysis of dough rheology and quality of bread baked from fortified and high-in-fiber flours. **Journal of Cereal Science**, *s.l.*, v. 74, p. 210-217, 2017.

LAZARIDOU, A., D. DUTA, M. PAPAGEORGIOU, N. BELC, C.G. BILIADERIS. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations **Journal of Food Engineering**, *s.l.*, v. 79, pp. 1033-1047. 2007.

LEDER I. Sorghum and Millets. Cultivated plants, primarily as food sources. In: Gyargy F, editor. **Encyclopedia of life support systems**, UNESCO, Eolss Publishers, Oxford; 2004.

MACAULEY, H.; RAMADJITA, T. **Cereal crops: Rice, maize, millet, sorghum, wheat**. In U.N.E.C.F. (Ed.). Feeding Africa (pp. 36). Abdou Diouf International Conference Center. (2015).

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**, 8. ed. - [3. reimpr.]. – São Paulo: Atlas, 2019.

MARRIOT, B. P.; BIRT, D.F.; STALLINGS, V. A.; YATES, A. A. Present knowledge in nutrition: Clinical and applied topics in nutrition. **Academic Press**, *s.l.*, v. 2, ed. 11, 2020.

MCGRANAHAN, G. Demand-Side Water Strategies and the Urban Poor. **International Institute for Environment and Development (IIED)**, 2002. PIE Series No. 4. London, UK. Disponível em: http://www.iied.org/enveco/publications/pub_pie.html. Acesso em: 16 dez 2022.

MCDONOUGH, C. M.; ROONEY, L. W.; SERNA-SALDIVAR, S. O. The millets. In K. Kulp, & J. G. Ponte (Eds.), **Handbook of cereal science and technology**, p. 177-202, 2000. New York, : Marcel Dekker Inc.

MIRANDA, R. A. Relatório de avaliação dos impactos de tecnologias geradas pela Embrapa. **Embrapa, Sete Lagoas**, 2019. Disponível em: https://bs.sede.embrapa.br/2018/relatorios/milhoesorgo_2018_milheto.pdf. Acesso em: 16 de dez 2022.

MOHAMMAD, S.; GHARIBZAHEDI, T.; MAHDI, S. Trends in Food Science & Technology the importance of minerals in human nutrition: bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. **Trends in Food Science and Technology**, *s.l.*, v. 62, p. 119-132, 2017.

MOTA, C.; SANTOS, M.; MAURO, R.; SAMMAN, N.; MATOS, A. S., TORRES, D.; CASTANHEIRA, I. Protein content and amino acids profile of pseudocereals. **Food Chem**, *s.l.*, v. 193, p.55–61, 2016.

MORDOR INTELLIGENCE. Millet Market - Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts, 2023 - 2028. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/millets-market>. Acesso em: 16 dez 2022.

MUTSHINYANI, M.; MASHAU, M. E.; JIDEANI, A. I. O. Bioactive compounds, antioxidant activity and consumer acceptability of porridges of finger millet (*Eleusine coracana*) flours: effects of spontaneous fermentation. **International Journal of Food Properties**, *s.l.*, v. 23, ed. 1, p. 1692-1710, 2020.

NKHATA, S.G; AYUA, E.; KAMAU, E. H.; SHINGIRO, J. B.; Fermentation and germination improve nutritional value of cereals and legumes through activation of endogenous enzymes. **Food Sciences and Nutrition**, *s.l.*, v. 6, ed. 8, p. 2446-2458, 2018.

NAMBIAR, V. S.; DHADUK, J. J.; SAREEN, N.; SHAHU, T.; DESAI, R. Potential functional implications of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) in health and disease. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, *s.l.*, v. 1, ed. 10, p. 62-67, 2011.

NATIONAL INSTITUTE OF PLANT HEALTH MANAGEMENT. **AESA based IPM package–pearl millet**. New Delhi, India: Department of Agriculture & Cooperation, Ministry of Agriculture. 2014. Disponível em: <https://niphm.gov.in/IPMPackages/Pearlmillet.pdf>. Acesso em: 16 dez 2022.

NITHIYANANTHAM, S.; KALAISELVI, P.; MAHOMOODALLY, M. F.; ZENGIN, G.; ABIRAMI, A.; SRINIVASAN, G. Nutritional and functional roles of millets-a review. **Journal Food Biochemistry**, *s.l.*, v. 43, ed. 7, 2019.

OBADINA, A.; ISHOLA, I. O.; ADEKOYA, I. O.; SOARES, A. G.; CARVALHO, C. W. P. de; BARBOZA, H.T. Nutritional and physico-chemical properties of flour from native and roasted whole grain pearl millet (*Pennisetum glaucum* [L.] R. Br.). **Journal of Cereal Science**, *s.l.*, v. 70, p. 247-252, 2016.

ODUSOLA, K.; ILESANMI, F.; AKINLOYE, O. A. Assessment of nutritional composition and antioxidant ability of pearl millet (*Pennisetum glaucum*). **American Journal of Research Communication**, *s.l.*, v.1, ed. 6, p. 262-272, 2013.

OGHBAEI, M.; PRAKASH, J. Bioaccessible nutrients and bioactive components from fortified products prepared using finger millet (*Eleusine coracana*). **Journal Science Food Agriculture**, *s.l.*, v. 92, ed. 11, p. 2281-2290, 2012.

ONU, Ano Internacional do Milheto enfatiza oportunidades de um mercado sustentável. **ONU News**, 2023. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2023/01/1807552>. Acesso em: 16 dez 2022.

OLIVEIRA, N. M. A. L.; MACIEL, J. F.; LIMA, A. S.; SALVINO, É. M.; MACIEL, C. E. P. Características físico-químicas e sensoriais de pão de forma enriquecido com concentrado proteico de soro de leite e carbonato de cálcio. **Revista Instituto Adolfo Lutz**. São Paulo; 70(1): 16-22, 2011.

OWHERUO, J. O.; IFESAN, B. O. T.; KOLAWOLE, A. O. Physicochemical properties of malted finger millet (*Eleusine coracana*) and pearl millet (*Pennisetum glaucum*) **Food Science Nutrition**, *s.l.*, v. 7, ed. 2, p. 476-482, 2019.

OUATTARA-CHEIK, A. T.; ALY, S.; YAYA, B.; ALFRED, T. S. A comparative study on nutritional and technological quality of fourteen cultivars of pearl millets *Pennisetum glaucum* (L) Leek in Burkina Faso. **Pakistan Journal Nutrition**, *s.l.*, v. 5, ed. 6, p. 512-521, 2006.

RAGAEI, S.; ABDEL-AAL, E. M.; NOAMAN, M. Antioxidant activity and nutrient composition of selected cereals for food use. **Food Chemistry**, *s.l.*, v. 98, p. 32-38, 2006.

RAGHAVAN, V. **Millets—Shrouded Gold**. Bioresource Engineering McGill University, 2017. Disponível em: <http://www.dhan.org/smallmillets2/file/Dr.Vijaya-Raghavan.pdf>. Acesso em: 16 dez 2022.

RAHEEM, D.; DAYOUB, M.; BIRECH, R.; NAKIYEMBA, A. The contribution of cereal grains to food security and sustainability in Africa: potential application of UAV in Ghana, Nigeria, Uganda, and Namibia. **Urban Science**, v. 5, ed. 1, p. 8, 2021.

RAMASHIA, S. E.; MASHAU, M. E.; ONIPE, O. O. Millets Cereal Grains: Nutritional Composition and Utilisation in Sub-Saharan Africa. In: Goyal, A. K., editor. **Cereal Grains - Volume 1** [Internet]. London: IntechOpen; 2021.

RANI, S.; SINGH, R.; SEHRAWAT, R.; KAUR, B. P.; UPADHYAY, A. Pearl millet processing: a review. **Nutrition and Food Science**, *s.l.*, v. 48, ed. 1, p. 30-44, 2018.

ROUSSEAU, S.; KYOMUGASHO, C.; CELUS, M.; HENDRICKX, M. E. G.; GRAUWET, T. Full article: Barriers impairing mineral bioaccessibility and bioavailability in plant-based foods and the perspectives for food processing. **Food Science and Nutrition**, *s.l.*, v. 60, ed. 5, p. 826-843, 2019.

DAYAKAR, R. B.; BHASKARACHARY, K.; CHRISTINA, A. G. D.; SUDHA, D. G.; VILAS, A. T. Nutritional and Health benefits of Millets. **ICAR_Indian Institute of Millets Research (IIMR) Rajendranagar**, Hyderabad, p. 112, 2017.

SHARMA, S.; SHARMA, R.; GOVINDARAJ, M.; MAHALA, R. S.; SATYAVATHI, C. T.; SRIVASTAVA, R. K.; GUMMA, M. K.; KILIAN, B. Harnessing wild relatives of pearl millet for germplasm enhancement: challenges and opportunities. **Crop Science**, *s.l.*, v. 61, ed. 1, p. 177-200, 2021.

SALEH, A. S. M.; ZHANG, Q.; CHEN, J.; SHEN, Q. Millet grains: nutritional quality, processing, and potential health benefits. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, *s.l.*, v. 12, ed. 3, p. 281-295, 2013.

SATYAVATHI, C. T.; KHANDELWAL, V.; SUPRIYA, A.; BENIWAL, B. R.; SUSHILA, B.; MAHESH, C. K. Pearl Millet-Hybrids and Varieties. **Jodhpur: ICAR-All India Coordinated Research Project on Pearl Millet**. 2020.

SATYAVATHI, C. T.; AMBAWAT, S.; KHANDELWAL, V.; SRIVASTAVA, R. K. Pearl Millet: A Climate-Resilient Nutricereal for Mitigating Hidden Hunger and Provide Nutritional Security. **Frontiers in Plant Science**, *s.l.*, v. 12, 2021.

SERBA, D. D.; YADAV, R. S. Genomic tools in pearl millet breeding for drought tolerance: status and prospects. **Frontiers in Plant Science**, *s.l.*, v. 7, 2016.

SELLADURAI, M.; PULIVARTHI, M. K.; RAJ, A. S.; IFTIKHAR, M.; PRASAD, P. V. V.; SILIVERU, K. Considerations for gluten free foods - pearl and finger millet processing and market demand. **Grain & Oil Science and Technology**, *s.l.*, v. 5, p. 2590-2598, 2022.

SHAHIDI, F.; CHANDRASEKARA, A. Millet grain phenolics and their role in disease risk reduction and health promotion: A review. **Journal of Functional Foods**, *s.l.*, v. 5, ed. 2, p. 570-581, 2013.

SHARMA, S.; SAXENA, D. C.; RIAR, C. S. Changes in the GABA and polyphenols contents of foxtail millet on germination and their relationship with in vitro antioxidant activity. **Food Chemistry**, *s.l.*, v. 245, p. 863-870, 2018.

SINGH, P.; RAGHUVANSHI, S. R. Finger millet for food and nutritional security. **African Journal of Food Science**, *s.l.*, v. 6, ed. 4, p. 77-84, 2012.

SINGH, K. P.; MISHRA, A.; MISHRA, H. N. Fuzzi analysis of sensory attributes of bread prepared from millet-based composite flours. **LWT - Food Science Technology**, *s.l.*, v. 48, p. 276-282, 2012.

- SINGHAL, T.; SATYAVATHI, C. T.; KUMAR, A.; SANKAR, S. M.; SINGH, S. P.; BHARADWAJ, C.; ARAVIND, J.; ANURADHA, A.; MEENA, M. C.; SINGH, N. Genotype × environment interaction and genetic association of grain iron and zinc content with other agronomic traits in RIL population of pearl millet. **Crop and Pasture Science**, *s.l.*, v. 69, ed. 11, p. 1092-1102, 2018.
- SRIVASTAVA, R. K.; SINGH, R. B.; PUJARULA, L. V.; BOLLAM, S.; PUSULURI, M.; CHELLAPILLA, S. M.; YADAV, R. S.; GUPTA, R. *et al.* Genome wide association studies and genomic selection in Pearl millet: Advances and Prospects. **Frontiers in Genetics**, *s.l.*, v. 10, 2020.
- SROAN, B. S.; RITCHIE, F. M. Mechanism of gas cell stabilization in breadmaking. II. The secondary liquid lamellae. **Journal of Cereal Science Volume**, *s.l.*, v. 49, Issue 1, January, Pages 41-46, 2009.
- TAYLOR, J. R. N. Millet pearl: Overview encyclopedia of grains. **Academic Press**, Oxford, ed. 2, p. 190-198, 2016.
- TAYLOR, J. R.; EMMAMBUX, M. N. Gluten-free foods and beverages from millets San Diego, CA, Elsevier, **Academic Press**, *s.l.*, p. 119-14, 2008.
- TIWARI, A.; JHA, S.; PAL, R.; SETHI, S.; KRISHAN, L. Effect of pre-milling treatments on storage stability of pearl millet flour. **Journal of Food Processing and Preservation**, *s.l.*, v. 38, ed. 3, p. 1215-1223, 2014.
- TOMAR, M.; BHARDWAJ, R.; KUMAR, M.; SINGH, S. P.; KRISHNAN, V.; KANSAL, R.; VERMA, R.; YADAV, V. K.; DAHUJA, A.; AHLAWAT, S. P.; RANA, J. C.; BOLLINEDI, H.; KUMAR, R. R.; GOSWAMI, S.; T, V.; SATYAVATHI, C. T.; PRAVEEN, S.; SACHDEV, S. Nutritional composition patterns and application of multivariate analysis to evaluate indigenous Pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) germplasm. **Journal of Food Composition and Analysis**, *s.l.*, v. 103, 2021.
- TACO - Tabela Brasileira de Composição de Alimentos, 4. ed. rev. e ampl. - Campinas: NEPA- UNICAMP, 2011. Disponível em: [[http:// https://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada /](http://https://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada/)]. Acesso em: 17 dez 2022.
- TOSH, S. M.; YADA, S. Dietary fibres in pulse seeds and fractions: characterization, functional attributes, and applications. **Food Research International**, *s.l.*, v. 43, p. 450-460, 2010.
- ULLAH, I.; ALI, M.; FAROOQI, A. Chemical and Nutritional Properties of Some Maize (*Zea mays* L) **Varieties Grown in NWFP**. Pakistan, v. 9, p. 1113-1117, 2010.
- WECKWERTH, W.; GHATAK, A.; BELLAIRE, A.; CHATURVEDI, P.; VARSHNEY, R. K. PANOMICS meets germplasm. **Plant Biotechnol**, v. 18, p. 1507-1525, 2020.
- WORLD BANK. **Agriculture and Food**, 2017. Disponível em: <http://www.worldbank.org/en/topic/agriculture/overview>. Acesso em: 22 março 2018.

YADAV, D.N.; BALASUBRAMANIAN, S.; KAUR, J.; ANAND, T; SINGH, A.K.
Optimization and shelf- life evaluation of pearl millet based halwa dry mix. **Journal of Food Science and Engineering**, *s.l.*, v. 1, p. 313-322, 2011.

YOUSAF, L.; HOU, D.; LIAQAT, H.; SHEN, Q. Millet: A review of its nutritional and functional changes during processing. **Food Research International**, *s.l.*, v. 142, 2021.

ANEXO A – ANOVA

ANOVA para o volume específico dos pães sem glúten.

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	0,125672	1	0,125672	16,67176	0,01506	7,708647
Dentro dos grupos	0,030152	4	0,007538			
Total	0,155824	5				

ANOVA para luminosidade (L) dos pães sem glúten.

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	50,17042	1	50,17042	671,4756	1,32E-05	7,708647
Dentro dos grupos	0,298867	4	0,074717			
Total	50,46928	5				

ANOVA para cromaticidade a* dos pães sem glúten.

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	0,770417	1	0,770417	122,9388	0,000376	7,708647
Dentro dos grupos	0,025067	4	0,006267			
Total	0,795483	5				

ANOVA para cromaticidade b* dos pães sem glúten.

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	21,81227	1	21,81227	186,5625	0,000166	7,708647
Dentro dos grupos	0,467667	4	0,116917			
Total	22,27993	5				

ANOVA para firmeza dos pães sem glúten.

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	20326630,62	1	20326630,62	196,0418705	8,27706E-06	5,987377607
Dentro dos grupos	622110,896	6	103685,1493			
Total	20948741,51	7				

ANOVA para elasticidade dos pães sem glúten.

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	0,00045	1	0,00045	0,671307807	0,443915414	5,987377607
Dentro dos grupos	0,004022	6	0,000670333			
Total	0,004472	7				

ANOVA para coesão dos pães sem glúten.

Fonte de variação	SQ	Gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	0,0335405	1	0,0335405	14,75442648	0,008547487	5,987377607
Dentro dos grupos	0,0136395	6	0,00227325			
Total	0,04718	7				

ANOVA para gomosidade dos pães sem glúten.

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	4435518,165	1	4435518,165	25,7232528	0,002283905	5,987377607
Dentro dos grupos	1034593,455	6	172432,2425			
Total	5470111,62	7				

ANOVA para mastigabilidade dos pães sem glúten.

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	3403855,344	1	3403855,344	19,20276904	0,004657622	5,987377607
Dentro dos grupos	1063551,409	6	177258,5681			
Total	4467406,752	7				

ANOVA para umidade dos pães sem glúten.

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	0,01215	1	0,01215	0,021646821	0,890148383	7,708647422
Dentro dos grupos	2,245133333	4	0,561283333			
Total	2,257283333	5				

ANOVA para proteína dos pães sem glúten.

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	10,4544	1	10,4544	26,39333502	0,006803314	7,708647422
Dentro dos grupos	1,5844	4	0,3961			
Total	12,0388	5				

ANOVA para lipídios dos pães sem glúten.

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	0,01997574	1	0,01997574	0,610859876	0,47813777	7,708647422
Dentro dos grupos	0,130804073	4	0,032701018			
Total	0,150779813	5				

ANOVA para cinzas dos pães sem glúten.

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	1,025066667	1	1,025067	6,263136456	0,066579	7,708647
Dentro dos grupos	0,654666667	4	0,163667			
Total	1,679733333	5				

ANOVA para fibras dos pães sem glúten.

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	0,299266667	1	0,299267	4,193367585	0,109968	7,708647
Dentro dos grupos	0,285466667	4	0,071367			
Total	0,584733333	5				

ANOVA para pH dos pães sem glúten.

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	0,129066667	1	0,129067	58,22556391	0,001584	7,708647
Dentro dos grupos	0,008866667	4	0,002217			
Total	0,137933333	5				

ANOVA para acidez dos pães sem glúten.

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	0,00193422	1	0,001934	156,59594	0,000235	7,708647
Dentro dos grupos	4,94067E-05	4	1,24E-05			
Total	0,001983627	5				

**ANEXO B – FOTO DA EXICATA REGISTRADA NO HERBÁRIO PRISCO
BEZERRA**

